



KIMIA INDUSTRI JILID 1

untuk SMK

Suparni Setyowati R., dkk.



JILID 1

Suparni Setyowati Rahayu, dkk.

Kimia Industri

untuk
Sekolah
Menengah
Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional



Suparni Setyowati Rahayu
Sari Purnavita

KIMIA INDUSTRI

SMK

JILID 1



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

KIMIA INDUSTRI

Untuk SMK

JILID 1

Penulis : Suparni Setyowati Rahayu
Sari Purnavita

Editor : Setia Budi Sasongko, DEA

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

RAH RAHAYU, Suparni Setyowati
k Kimia Industri untuk SMK Jilid 1 /oleh Suparni Setyowati
Rahayu, Sari Purnavita ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah
Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan
Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
xxii, 239 hlm
Daftar Pustaka : LAMPIRAN A.
Glosarium : LAMPIRAN B.
ISBN : 978-602-8320-41-2
ISBN : 978-602-8320-42-9

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada d luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat, taufik dan hidayahNya, maka tersusunlah buku ini dengan judul “KIMIA INDUSTRI”

Tujuan disusunnya buku ini adalah untuk memenuhi kebutuhan program pendidikan dan pengajaran Kimia Industri yang disesuaikan dengan perkembangan teknologi dan industri.

Dalam kaitannya dengan upaya untuk hal tersebut di atas, maka penulis berpedoman pada kurikulum tahun 2004 dan disesuaikan dengan kaidah-kaidah ilmu pengetahuan dan teknologi yang diperlukan dalam dunia industri, sehingga isi dan materi bersifat tekstual dan kontekstual. Materi yang disajikan menyangkut juga indikator-indikator yang mampu mendorong siswa dalam aspek-aspek kognitif, afektif dan psikomotorik yang terdiri atas Pengenalan Kimia Industri, Bahan Baku Untuk produk Industri, Teknologi Proses, Instrumentasi dan Pengukuran, Utilitas Pabrik, Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) serta limbah.

Keseluruhan materi diharapkan mampu mendukung kompetensi lulusan SMK Kimia Industri sesuai dengan kebutuhan pasar kerja industri dan jika dimungkinkan mampu kerja mandiri.

Manfaat yang dapat diperoleh dari buku ini dalam proses pembelajaran adalah bahwa guru akan bertambah sumber belajarnya yang lebih aplikatif terutama ilmu terapan, sehingga guru akan bertambah wawasannya terutama dalam bidang kimia industri. Sedangkan bagi siswa akan bertambah buku pegangannya untuk lebih mudah belajar kimia industri, karena buku ini penyusunannya baik dalam sistematika dan materinya disesuaikan dengan tingkat kemampuan siswa dalam proses pembelajaran.

Penulis dalam menyusun buku ini sudah berupaya secara maksimal dan berupaya memberikan yang terbaik, namun masih disadari adanya kekurangan-kekurangan, sehingga diharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak guna menyempurnakan keberadaan buku ini.

Akhirnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan buku ini kami sangat berterima kasih, dan semoga menjadi amal jariah. Mudah-mudahan buku ini dapat mendorong generasi muda Indonesia lebih maju dalam berkarya dalam era globalisasi dan teknologi.

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|----------------------------------|------|
| KATA SAMBUTAN | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| SINOPSIS | xi |
| DESKRIPSI KONSEP PENULISAN | xiii |
| PETA KOMPETENSI | xix |

JILID 1

| | |
|---|-----------|
| BAB I PENGENALAN KIMIA INDUSTRI | 1 |
| 1.1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.2. DEFINISI KIMIA INDUSTRI..... | 1 |
| 1.3. SISTEM MANAJEMEN DALAM SUATU INDUSTRI | 7 |
| 1.4. PENGELOLAAN LINGKUNGAN KERJA..... | 17 |
| RANGKUMAN | 21 |
| CONTOH SOAL | 23 |
| LATIHAN SOAL | 25 |
| | |
| BAB II BAHAN BAKU DAN PRODUK INDUSTRI | 27 |
| 2.1. PENANGANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG..... | 28 |
| 2.2. PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG..... | 29 |
| 2.3. PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG YANG TERSISA | 30 |
| 2.4. MENEMUKAN PERMASALAHAN DAN PELUANG PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN BAHAN PENUNJANG..... | 30 |
| 2.5. LOGAM..... | 33 |
| 2.6. BAHAN NON METAL | 104 |
| RANGKUMAN..... | 145 |
| CONTOH SOAL..... | 147 |
| LATIHAN SOAL | 148 |

| | |
|--|------------|
| BAB III INSTRUMENTASI DAN PENGUKURAN..... | 149 |
| 3.1. DEFINISI..... | 149 |
| 3.2. STANDARD DAN SATUAN..... | 150 |
| 3.3. ANGKA PENTING DAN GALAT | 153 |
| 3.4. KLASIFIKASI ALAT UKUR..... | 155 |
| 3.5. PENCATATAN SKALA UKUR | 167 |
| 3.6. KELAINAN SKALA UKUR | 168 |
| 3.7. KLASIFIKASI ALAT UKUR | 171 |
| 3.8. KLASIFIKASI INSTRUMENTASI | 196 |
| 3.9. ALAT KENDALI KETINGGIAN | 197 |
| RANGKUMAN..... | 201 |
| CONTOH SOAL | 203 |
| LATIHAN SOAL | 211 |

JILID 2

| | |
|---|------------|
| BAB IV TEKNOLOGI PROSES | 213 |
| 4.1. DIAGRAM ALIR PROSES..... | 214 |
| 4.2. IDENTIFIKASI SATUAN PROSES DAN OPERASI PADA KIMIA INDUSTRI..... | 240 |
| 4.3. PROSES MENGUBAH UKURAN BAHAN PADAT | 241 |
| 4.4. PROSES PENCAMPURAN BAHAN | 243 |
| 4.5. PENYULINGAN (<i>Distillation</i>)..... | 248 |
| 4.6. ADSORPSI..... | 269 |
| 4.7. ABSORBSI | 271 |
| 4.8. EKSTRAKSI..... | 277 |
| 4.9. FILTRASI | 294 |
| 4.10. SUBLIMASI..... | 299 |
| 4.11. EVAPORASI..... | 302 |
| 4.12. PENUKAR PANAS | 303 |
| 4.13. SATUAN PROSES KIMIA (REAKSI KIMIA DAN KATALIS) | 307 |
| RANGKUMAN | 327 |
| CONTOH SOAL | 328 |
| LATIHAN SOAL | 339 |

| | |
|---|------------|
| BAB V UTILITAS PABRIK | 341 |
| 5.1. UNIT PENYEDIAAN LISTRIK..... | 342 |
| 5.2. UNIT PENYEDIAAN AIR | 343 |
| 5.3. UNIT PENGADAAN UAP | 358 |
| 5.4. SISTEM UTILITAS UDARA TEKAN | 363 |
| 5.5. BAHAN BAKAR | 371 |
| 5.6. OPERASI PEMBAKARAN | 384 |
| 5.7. PETUNJUK UNTUK OPERATOR..... | 385 |
| 5.8. LABORATORIUM PENUNJANG INDUSTRI KIMIA | 388 |
| RANGKUMAN | 410 |
| CONTOH SOAL | 414 |
| LATIHAN SOAL | 420 |
| | |
| BAB VI KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA . | 421 |
| 6.1. PENDAHULUAN | 421 |
| 6.2. MANAJEMEN RESIKO | 483 |
| 6.3. BAHAYA BAHAN KIMIA..... | 507 |
| 6.4. LIMBAH INDUSTRI..... | 528 |
| 6.5. PEMBUATAN LAPORAN INFENTARISASI BAHAN | |
| KIMIA..... | 549 |
| 6.6. PEDOMAN KESELAMATAN KERJA YANG | |
| BERHUBUNGAN DENGAN PERALATAN..... | 552 |
| 6.7. PEMERIKSAAN KEAMANAN SEBELUM | |
| MENGHIDUPKAN PERALATAN | 553 |
| RANGKUMAN | 558 |
| CONTOH SOAL | 559 |
| LATIHAN SOAL | 559 |

JILID 3

| | |
|--------------------------------------|------------|
| BAB VII LIMBAH INDUSTRI | 561 |
| 7.1. PENCEMARAN DAN LINGKUNGAN..... | 562 |
| 7.2. JENIS LIMBAH INDUSTRI..... | 574 |
| 7.3. LIMBAH GAS DAN PARTIKEL..... | 586 |
| 7.4. LIMBAH PADAT | 593 |
| 7.5. NILAI AMBANG BATAS | 605 |
| RANGKUMAN | 742 |
| CONTOH SOAL | 742 |
| LATIHAN SOAL | 744 |

LAMPIRAN A. DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN B. GLOSARIUM

SINOPSIS

Buku merupakan salah satu masukan (*input*) dalam proses pembelajaran dengan demikian akan mempunyai pengaruh terhadap keluaran (*output*). Buku sebagai bagian dari proses pada dasarnya merupakan suatu kumpulan dari teori-teori yang masih berlaku dan dalam bidang kejuruan teknik teori tersebut dapat diaplikasikan dalam bentuk nyata untuk mempermudah kehidupan manusia. Buku dengan judul “Kimia-Industri” merupakan buku yang diperuntukkan bagi siswa maupun pengajar dalam bidang kejuruan teknik khususnya kimia.

Buku ini diawali (dalam bab I) dengan membahas mengenai pengenalan Kimia Industri, yaitu aplikasi (bagian utama dalam bidang kejuruan teknik) dari ilmu kimia maupun ilmu penunjang yang lain seperti fisika untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dalam skala industri. Pengenalan ini cukup penting, karena aplikasi kimia dalam skala industri diperlukan ilmu-ilmu penunjang tersebut. Membahas skala industri, tentunya akan mempunyai interpretasi produk dalam skala yang besar (baik kuantitas maupun kualitas). Oleh karenanya akan diperlukan bahan baku dan juga manusia sebagai salah satu bagian dari “sumber daya”, telah dibahas pada bab I. Sedangkan bab-bab selanjutnya merupakan pembahasan lebih lanjut dari bab I.

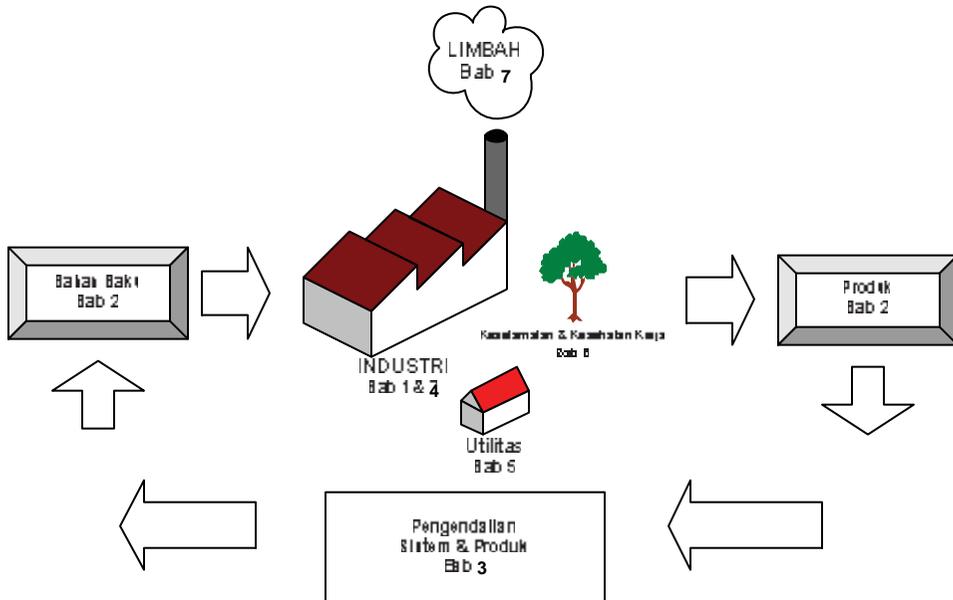
Bab II membahas bahan baku awal (sebagai bahan baku) maupun akhir (sebagai bagian dari produk) yang merupakan tujuan utama dari seseorang yang bergerak dibidang kejuruan teknik khususnya kimia. Sedangkan bagaimana mengubah dari bahan baku menjadi suatu produk akan dibahas pada bab IV mengenai teknologi proses.

Dalam memproduksi suatu bahan dalam skala industri, tentunya selain mempertimbangkan kuantitas juga perlu mempertimbangkan kualitas. Untuk menjaga kualitas dari suatu produk, maka diperlukan instrumen untuk mengendalikannya sistem proses yang dibahas pada bab III. Sedangkan satuan (*unit*) penunjang dalam suatu industri berupa pembangkit tenaga listrik, pembangkit uap, pengolahan air proses maupun pengolahan air limbah dibahas pada bab VII.

Kesan industri sebagai bagian sistem yang mengeksplorasi dari “sumber daya” perlu mendapat perhatian khusus agar tidak merusakkan sumber daya tersebut sehingga kelestariannya dapat dipertahankan. Permasalahan ini dibahas pada bab VI. Dua hal yang perlu diperhatikan keterkaitannya dengan sumber daya, yaitu sumber daya alam dan sumber daya manusia. Sumber daya alam menyangkut permasalahan

penggunaan bahan baku khususnya yang langsung diambil dari alam dan juga bahan yang dibuang ke alam. Bahan hasil produksi yang dibuang ke alam baik berupa bahan padat, cair maupun gas dibahas dalam sub-bab mengenai masalah limbah. Sedangkan untuk melestarikan sumber daya manusia sebagai bagian dari pada kehidupan, dibahas lebih mendalam pada sub bab K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja).

Garis Besar Isi Buku

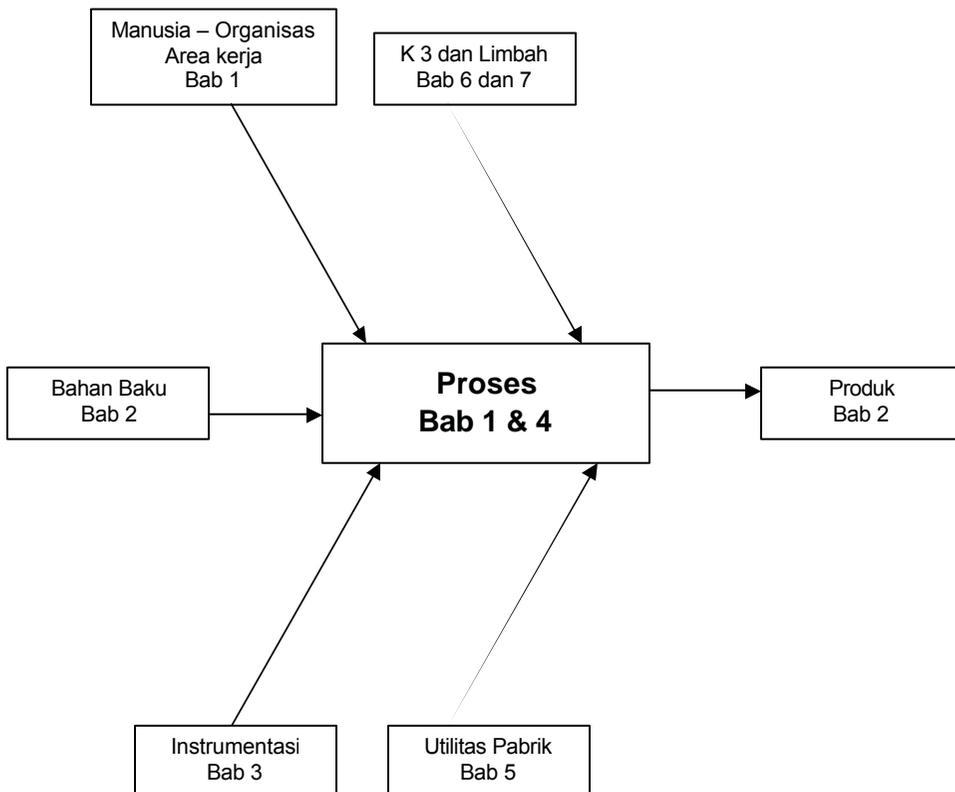


DESKRIPSI KONSEP PENULISAN

Era globalisasi sedang berlangsung baik dalam bidang perdagangan maupun bidang lainnya, seperti informatika dan pendidikan. Globalisasi ini membawa dampak positif, antara lain kebebasan pertukaran informasi, perdagangan dan perindustrian, yang pada akhirnya dapat memajukan masyarakat karena terjadinya peningkatan ilmu pengetahuan.

Menyikapi kondisi tersebut, penulis menyusun buku Kimia Industri sebagai buku pegangan siswa agar mempunyai wawasan, jika nantinya bekerja di dunia industri.

Adapun konsep penulisan sebagai berikut :



Bab 1 : Pengenalan Kimia Industri

Kimia Industri mencakup hal yang cukup luas. Pada bagian ini akan diperkenalkan mengenai Kimia Industri, yang akan dimulai berdasarkan akar katanya, yaitu Kimia dan Industri. Selanjutnya pada sub bab selanjutnya akan dibahas mengenai sistem manajemen dalam suatu industri dan area kerja, khususnya industri besar dimana pada bagian ini akan terlihat pembagian pelaksanaan tugas mulai dari tingkat pelaksana

yang dalam hal ini diduduki oleh seseorang dengan klasifikasi pendidikan minimal Sekolah Menengah Kejuruan Teknik / STM sampai dengan tingkat manajer puncak dengan kalsifikasi pendidikan minimal sarjana. Dengan demikian diharapkan dapat sebagai gambaran kompetensi yang diperlukan apabila seseorang bekerja pada bidang industri kimia.

Bab II : Bahan Baku untuk Produk Industri

Menjelaskan persiapan bahan baku dan bahan penunjang serta persiapan bahan kimia untuk menghasilkan suatu produk. Selain itu juga pengelolaan bahan-bahan cadangan.

Bab III : Instrumentasi dan Pengukuran

Setiap alat yang digunakan dan dioperasikan dalam sebuah pabrik dilengkapi dengan instrumen untuk mengukur parameter-parameter tertentu sesuai kondisi operasi yang harus selalu dipantau setiap saat. Instrumen yang dimaksud terdiri dari dua macam yaitu instrumen lokal dan instrumen panel. Skala ukur yang terbaca dalam instrumen lokal merupakan kontrol terhadap skala ukur instrumen panel.

Untuk mendasari pengetahuan yang diperlukan dalam kegiatan mengukur maka di bawah ini dibahas tentang satuan dan standardnya, konsep angka penting dan galat serta kelainan skala ukur. Alat-alat ukur yang banyak digunakan dalam industri dapat diklasifikasikan terdiri dari alat pengukur suhu, alat pengukur tekanan, alat pengukur aliran, dan alat pengukur sifat kimiawi: pH atau keasaman, COD, BOD.

Bab IV : Teknologi Proses

Kata teknologi mempunyai arti **aplikasi** dari ilmu pengetahuan (scientific) yang digunakan dalam rangka untuk memepermudah kehidupan manusia. Dengan teknologi, maka manusia akan dapat melakukan sesuatu menjadi lebih mudah. Sedangkan proses secara umum merupakan **perubahan** dari **masukkan** (*input*) dalam hal ini bahan baku setelah melalui proses maka akan menjadi **keluaran** (*output*) dalam bentuk produk. Ada tiga kata kunci dalam mengartikan proses, yaitu input, perubahan dan output.

Dengan demikian “teknologi proses” merupakan aplikasi dari ilmu pengetahuan untuk merubah bahan baku menjadi produk atau bahan yang mempunyai nilai lebih (*added value*), dimana perubahan dapat berupa perubahan yang bersifat fisik maupun perubahan yang bersifat kimia dalam skala besar atau disebut dengan skala industri. Perubahan yang bersifat fisik disebut dengan satuan operasi (*unit operation*), sedangkan yang bersifat perubahan kimia disebut dengan satuan proses (*unit process*).

Untuk bisa memahami suatu proses yang terjadi di industri kimia maka terlebih dahulu harus bisa membaca diagram alir proses serta mengenal simbol dan jenis-jenis peralatan yang digunakan pada industri kimia.

Untuk bisa mengoperasikan peralatan industri kimia maka perlu memahami beberapa satuan operasi, mulai dari (1) Proses mengubah ukuran bahan padat dengan menggunakan mesin pemecah (*crusher*), mesin giling (*grinder*), dan mesin potong (*cutting machine*), (2) Pencampuran bahan yang merupakan peristiwa menyebarnya bahan-bahan secara acak, dimana bahan yang satu menyebar ke dalam bahan yang lain demikian pula sebaliknya, sedang bahan-bahan itu sebelumnya terpisah dalam keadaan dua fase atau lebih yang akhirnya membentuk hasil yang lebih seragam (homogen), (3) Distilasi (penyulingan) adalah proses pemisahan komponen dari suatu campuran yang berupa larutan cair-cair dimana karakteristik dari campuran tersebut adalah mampu-campur dan mudah menguap, selain itu komponen-komponen tersebut mempunyai perbedaan tekanan uap dan hasil dari pemisahannya menjadi komponen-komponennya atau kelompok-kelompok komponen. Karena adanya perbedaan tekanan uap, maka dapat dikatakan pula proses penyulingan merupakan proses pemisahan komponen-komponennya berdasarkan perbedaan titik didihnya. Baik distilasi dengan peralatan skala laboratorium maupun skala industri, (4) Adsorpsi atau penyerapan adalah proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang akan dipisahkan ditarik oleh permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Misalnya, limbah industri pencucian kain batik diadsorpsi zat warnanya dengan menggunakan arang tempurung kelapa yang sudah diaktifkan. Limbah elektroplating yang mengandung nikel, logam berat nikel diadsorpsi dengan zeolit yang diaktifkan, (5) Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan adsorben cair yang diikuti dengan pelarutan. Tujuannya untuk meningkatkan nilai guna dari suatu zat dengan cara merubah fasenya, (6) Ekstraksi adalah pemisahan suatu zat dari campurannya dengan pembagian sebuah zat terlarut antara dua pelarut yang tidak dapat bercampur untuk mengambil zat terlarut tersebut dari satu pelarut ke pelarut yang lain, (7) Filtrasi adalah pembersihan partikel padat dari suatu fluida dengan melewatkannya pada medium penyaringan, atau *septum*, dimana zat padat itu tertahan. Pada industri, filtrasi ini meliputi ragam operasi mulai dari penyaringan sederhana hingga pemisahan yang kompleks. Fluida yang difiltrasi dapat berupa cairan atau gas; aliran yang lolos dari

saringan mungkin saja cairan, padatan, atau keduanya. Filtrasi dengan peralatan skala laboratorium sampai skala pilot plant/industri baik *batch* maupun *kontinyu*, (8) Operasi evaporasi atau penguapan pada dasarnya merupakan operasi pendidihan khusus, dimana terjadi peristiwa perpindahan panas dalam cairan mendidih. Tujuan operasi evaporasi adalah untuk memperoleh larutan pekat dari larutan encer dengan jalan pendidihan dan penguapan, (9) Penukar panas atau dalam industri kimia populer dengan istilah bahasa Inggrisnya, *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (*super heated steam*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien.

Satuan Proses Kimia merupakan proses yang melibatkan reaksi Kimia dan katalis. Reaksi kimia merupakan suatu proses dimana bahan sebelum diproses disebut dengan reaktan dan hasilnya produk. Lambang dari reaksi kimia sebelum dan sesudah proses menggunakan tanda panah. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi adalah ukuran partikel/zat, suhu dan katalis. Jenis-jenis reaksi kimia yang banyak digunakan diindustri adalah reaksi katalitik (reaksi dengan katalis) dan reaksi netralisasi. Contoh Proses Kimia dengan Reaksi Katalitik pada Industri Kecil – Menengah : Industri pembuatan biodiesel dari bahan alami yang terbarukan (minyak nabati) dan katalis kimia atau biologis. Sedangkan industri minyak jagung adalah contoh untuk proses kimia yang melibatkan reaksi netralisasi.

Bab V : Utilitas Pabrik

Sebuah pabrik mempunyai dua sistem proses utama, yaitu sistem pereaksian dan sistem proses pemisahan & pemurnian. Kedua sistem tersebut membutuhkan kondisi operasi pada suhu dan tekanan tertentu. Dalam pabrik, panas biasanya 'disimpan' dalam fluida yang dijaga pada suhu dan tekanan tertentu. Fluida yang paling umum digunakan adalah air panas dan uap air karena alasan murah dan memiliki kapasitas panas tinggi. Fluida lain biasanya digunakan untuk kondisi pertukaran panas pada suhu di atas 100 °C pada tekanan atmosfer. Air atau uap air bertekanan (dinamakan kukus atau *steam*) mendapatkan panas dari ketel uap (*boiler*).

Sistem pemindahan panas bertugas memberikan panas dan menyerap panas. Misalnya, menyerap panas dari sistem proses yang

menghasilkan energi seperti sistem proses yang melibatkan reaksi eksotermik atau menyerap panas agar kondisi sistem di bawah suhu ruang atau suhu sekitar. Sistem pemroses yang melakukan ini adalah *cooling tower*.

Cooling tower, *boiler* dan tungku pembakaran merupakan sistem-sistem pemroses untuk sistem penyedia panas dan sistem pembuang panas. Kedua sistem proses ini bersama-sama dengan sistem penyedia udara bertekanan, sistem penyedia listrik dan air bersih untuk kebutuhan produksi merupakan sistem penunjang berlangsungnya sistem proses utama yang dinamakan **sistem utilitas**. Kebutuhan sistem utilitas dan kinerjanya tergantung pada seberapa baik sistem utilitas tersebut mampu 'melayani' kebutuhan sistem proses utama dan tergantung pada efisiensi penggunaan bahan baku dan bahan bakar.

Proses kimia sangat membutuhkan kelengkapan laboratorium kimia untuk pengontrolan kualitas bahan baku dan produk.

Bab VI : Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Seirama dengan derap langkah pembangunan negara dewasa ini, kita akan memajukan industri yang maju dan mandiri dalam rangka mewujudkan Era industrialisasi. Proses industrialisasi maju ditandai antara lain dengan mekanisme, elektrifikasi dan modernisasi.

Dalam keadaan yang demikian maka penggunaan mesin-mesin, pesawat-pesawat, instalasi-instalasi modern serta bahan berbahaya semakin meningkat. Hal tersebut disamping memberi kemudahan proses produksi dapat pula menambah jumlah dan ragam sumber bahaya di tempat kerja. Didalam hal lain akan terjadi pula lingkungan kerja yang kurang memenuhi syarat, proses dan sifat pekerjaan yang berbahaya, serta peningkatan intensitas kerja operasional tenaga kerja. Masalah tersebut diatas akan sangat memengaruhi dan mendorong peningkatan jumlah maupun tingkat keseriusan kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja dan pencemaran lingkungan.

Untuk itu semua pihak yang terlibat dalam usaha berproduksi khususnya para pengusaha dan tenaga kerja diharapkan dapat mengerti, memahami dan menerapkan keselamatan dan kesehatan kerja di tempat kerja masing-masing. Agar terdapat keseragaman dalam pengertian, pemahaman dan persepsi K3, maka perlu adanya suatu pola yang baku tentang keselamatan dan kesehatan kerja itu sendiri. Buku ini disusun sebagai materi pengantar K3 agar lebih memudahkan untuk mempelajari lebih jauh tentang keselamatan dan kesehatan kerja.

Bab VII : Limbah Industri

Adalah konsekuensi logis dari setiap pendirian pabrik meskipun tidak semua pabrik memproduksi limbah. Limbah yang mengandung senyawa kimia berbahaya dan beracun dengan konsentrasi tertentu lepas ke dalam lingkungan menciptakan pencemaran dalam wadah penerima baik sungai, tanah maupun udara.

Pemahaman akan pencemaran sangat penting artinya bagi masyarakat maupun pengusaha. Seringkali pencemaran itu diinterpretasikan secara sempit sehingga jangkauan pemahaman pun terbatas pada hal-hal yang sifatnya insidental pula. Padahal pencemaran dan akibat yang ditimbulkan dapat diketahui setelah puluhan tahun berlangsung.

Banyak industri berdiri tanpa program pencegahan dan pengendalian pencemaran. Ketika menyadari bahwa program itu merupakan prioritas pengembangan usaha, ditemui berbagai rintangan seperti lahan yang terbatas, perlu investasi tambahan, perlu tenaga ahli dan sejumlah kekurangan lain yang perlu segera ditangulangi.

PETA KOMPETENSI KIMIA INDUSTRI TINGKAT PELAKSANA (1)

| MATERI | KELOMPOK DASAR | | | | | | | | | | | KELOMPOK UTAMA | | | | | | | | | | |
|------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|
| | KIN.KL.11.001.01 | KIM.IP.11.002.01 | KIN.KL.11.003.01 | KIN.KL.11.004.01 | KIN.BP.11.005.01 | KIN.BP.11.006.01 | KIN.BP.11.007.01 | KIN.BP.11.008.01 | KIN.TP.11.009.01 | KIN.KL.11.010.01 | KIN.IP.11.011.01 | KIN.BP.11.012.01 | KIN.IP.12.013.01 | KIN.KL.12.014.01 | KIN.IP.12.015.01 | KIN.IP.12.016.01 | KIN.IP.12.017.01 | KIN.TP.12.018.01 | KIN.TP.12.019.01 | KIN.UP.12.020.01 | KIN.TP.12.021.01 | |
| B.1 | Pengenalan Kimia Industri | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | v | | | |
| 1.3 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.2 | Bahan dan Produk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | | | | | v | | v | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.3 | Instrumentasi dan Pengukuran | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 | | v | | | | | | | | | | | | | | v | | | | | | |
| 3.4 | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | v | |
| 3.5 | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.6 | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.4 | Teknologi Proses | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.3 | | | v | | | | | | | | | | | | | | v | | | | | |
| 4.4 | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | v | | | |
| 4.5 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.6 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.7 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.8 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.9 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.10 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.11 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.12 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| 4.13 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| B.5 | Utilitas Pabrik | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.3 | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | v | |
| 5.5 | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.6 | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.7 | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.8 | v | | | | v | v | v | | | | v | | | | | | | | | | | |
| B.6 | K3 (Kesehatan & Keselamatan Kerja) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | | | v | v | | | | | | | v | v | | | | | | | | | | |
| 6.2 | | | | | | | | | | | v | v | | | | | | | | | | |
| 6.3 | | | | | | v | | | | | v | v | | | | | | | | | | |

| MATERI | KELOMPOK DASAR | | | | | | | | | | | KELOMPOK UTAMA | | | | | | | | | |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | KIN.KL.11.001.01 | KIM.IP.11.002.01 | KIN.KL.11.003.01 | KIN.KL.11.004.01 | KIN.BP.11.005.01 | KIN.BP.11.006.01 | KIN.BP.11.007.01 | KIN.BP.11.008.01 | KIN.TP.11.009.01 | KIN.KL.11.010.01 | KIN.IP.11.011.01 | KIN.BP.11.012.01 | KIN.IP.12.013.01 | KIN.KL.12.014.01 | KIN.IP.12.015.01 | KIN.IP.12.016.01 | KIN.IP.12.017.01 | KIN.TP.12.018.01 | KIN.TP.12.019.01 | KIN.UP.12.020.01 | KIN.TP.12.021.01 |
| 6.4 | | | | | | | | < | | | < | | | | | | | | | | |
| B.7 | Limbah | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.1 | v | | v | | | | | | | | < | < | | | | | | | | | |
| 7.2 | v | | v | | | | | | | | < | < | | | | | | | | | |
| 7.3 | v | | v | | | | | | | | < | < | | | | | | | | | |

PETA KOMPETENSI KIMIA INDUSTRI TINGKAT PELAKSANA (2)

| MATERI | KELOMPOK DASAR | | | | | | | | | | | KELOMPOK UTAMA | | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|
| | KIN.KL.11.001.01 | KIM.IP.11.002.01 | KIN.KL.11.003.01 | KIN.KL.11.004.01 | KIN.BP.11.005.01 | KIN.BP.11.006.01 | KIN.BP.11.007.01 | KIN.BP.11.008.01 | KIN.TP.11.009.01 | KIN.KL.11.010.01 | KIN.IP.11.011.01 | KIN.BP.11.012.01 | KIN.IP.12.013.01 | KIN.KL.12.014.01 | KIN.IP.12.015.01 | KIN.IP.12.016.01 | KIN.IP.12.017.01 | KIN.TP.12.018.01 | KIN.TP.12.019.01 | KIN.UP.12.020.01 | KIN.TP.12.021.01 | |
| B.1 | Pengenalan Kimia Industri | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | v | | v | v | | v | | v | | | | | v | v | | | | | | | | |
| 1.3 | v | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | v | | |
| 1.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.2 | Bahan dan Produk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.3 | Instrumentasi dan Pengukuran | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.5 | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.6 | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | |
| B.4 | Teknologi Proses | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.3 | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4 | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.5 | | | | v | | | | | | v | | | | | | | | | | | | |
| 4.6 | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.7 | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.8 | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.9 | | | | | | | | | | | | | | | v | | | | | | | |
| 4.10 | | | | | | | | | | | | | v | | | | | | | | | |
| 4.11 | | | | | | | | | | | | | v | | | | | | | | | |
| 4.12 | | | v | | | | | | | | | | | | | | v | | | | | |
| 4.13 | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.5 | Utilitas Pabrik | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | v | | v | |
| 5.3 | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | | v | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.5 | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.6 | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.7 | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | v | |
| B.6 | K3 (Kesehatan & Keselamatan Kerja) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | | | | | | | | | | | | v | | | | | | | | | | |
| 6.2 | | | | | | | | | | | | | | v | | | | | | | | |
| 6.3 | | | | | | | | | | | | | v | | | | | | | | | |
| 6.4 | | | | | | | | | | v | | | | | v | | | | | | | |

| MATERI | KELOMPOK DASAR | | | | | | | | | | | KELOMPOK UTAMA | | | | | | | | | |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | KIN.KL.11.001.01 | KIM.IP.11.002.01 | KIN.KL.11.003.01 | KIN.KL.11.004.01 | KIN.BP.11.005.01 | KIN.BP.11.006.01 | KIN.BP.11.007.01 | KIN.BP.11.008.01 | KIN.TP.11.009.01 | KIN.KL.11.010.01 | KIN.IP.11.011.01 | KIN.BP.11.012.01 | KIN.IP.12.013.01 | KIN.KL.12.014.01 | KIN.IP.12.015.01 | KIN.IP.12.016.01 | KIN.IP.12.017.01 | KIN.TP.12.018.01 | KIN.TP.12.019.01 | KIN.UP.12.020.01 | KIN.TP.12.021.01 |
| B.7 | Limbah | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.1 | | | | | | | | | | | | < | | | | | | | | | |
| 7.2 | | | | | | | | | | | | | | < | | | | | | | |
| 7.3 | | | | | | | | | | | | | | | | < | | | | | |

BAB I

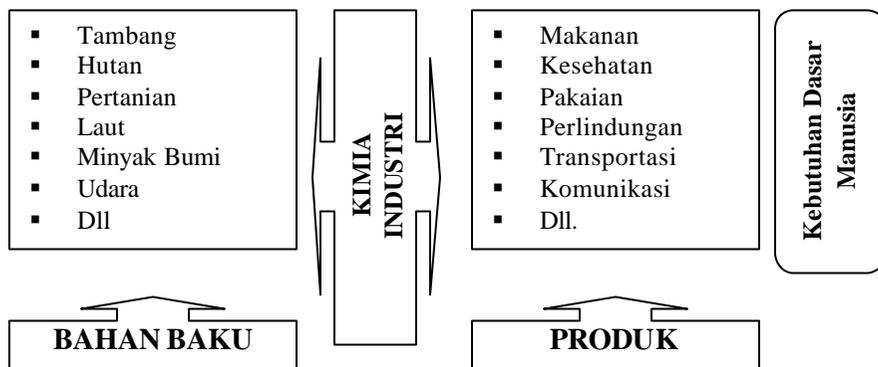
PENGENALAN KIMIA INDUSTRI

1.1. PENDAHULUAN

Kimia Industri mencakup hal yang cukup luas. Pada bagian ini akan diperkenalkan mengenai Kimia Industri, yang akan dimulai berdasarkan akar katanya, yaitu Kimia dan Industri. Selanjutnya pada sub bab selanjutnya akan dibahas mengenai sistem manajemen dalam suatu industri, khususnya industri besar dimana pada bagian ini akan terlihat pembagian pelaksanaan tugas mulai dari tingkat pelaksana yang dalam hal ini diduduki oleh seseorang dengan klasifikasi pendidikan minimal Sekolah Menengah Kejuruan Teknik / STM sampai dengan tingkat manajer puncak dengan klasifikasi pendidikan minimal sarjana. Dengan demikian diharapkan dapat sebagai gambaran kompetensi yang diperlukan apabila seseorang bekerja pada bidang industri kimia.

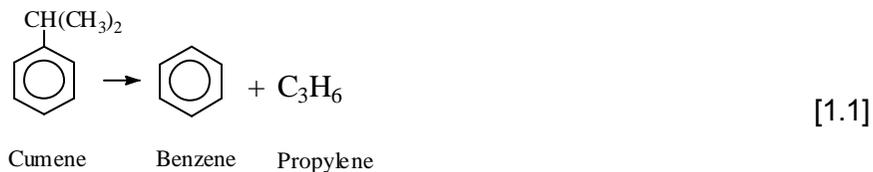
1.2. DEFINISI KIMIA INDUSTRI

Pengenalan tentang “Kimia-Industri” diawali dengan pembahasan berdasarkan asal katanya, yang dimulai dari kata “Industri” dan dilanjutkan dengan kata “Kimia”. Kata Industri merupakan suatu proses yang mengubah bahan-baku menjadi produk yang berguna atau mempunyai nilai-tambah, serta produk tersebut dapat digunakan secara langsung oleh konsumen sebagai pengguna akhir dan produk tersebut disebut dengan “produk-akhir”, selain itu produk dari industri tersebut dapat juga digunakan sebagai bahan baku oleh industri lain, yang disebut juga sebagai “produk-antara”. Kata produk dalam Kimia Industri tentunya melibatkan Industri yang menghasilkan zat kimia. Sedangkan bahan baku yang diproses dalam industri tersebut dapat diperoleh melalui proses penambangan, petrokimia, pertanian atau sumber-sumber lain. Hubungan antara bahan-baku dengan produk baik produk-akhir maupun produk-antara dapat dilihat pada gambar 1.1, dimana produk yang dihasilkan dari industri merupakan produk yang diperlukan oleh manusia dalam hal ini produk tersebut mempunyai nilai tambah.



Gb.1.1: Ruang lingkup Kimia Industri

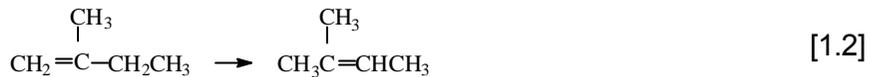
Sedangkan kata “kimia” dapat diartikan sebagai suatu proses dimana sebelum dan sesudah proses terjadi perubahan “identitas kimia” yang ditandai dengan perubahan unsur-unsur penyusunnya dan atau perubahan massa molekulnya ataupun struktur molekulnya, dimana proses tersebut pada umumnya disebut dengan “reaksi-kimia”. Bahan sebelum terjadinya proses reaksi kimia disebut dengan “reaktan”, hasil dari reaksi kimia tersebut disebut dengan “produk”, sedangkan proses reaksi-kimia yang memisahkan sebelum dan sesudah proses menggunakan simbol panah, sebagai contoh proses reaksi kimia pada persamaan [1.1] berikut:



Pada persamaan [1.1], terjadi perubahan “identitas-kimia” dari reaktan *cumene* menjadi produk *benzene* dan *propylene*. Perubahan identitas kimia tersebut ditandai dengan berubahnya rumus molekul yang akan diikuti dengan perubahan Berat Molekulnya. Reaksi-kimia atau perubahan identitas kimia seperti pada reaksi [1.1] disebut dengan proses **dekomposisi** yaitu perubahan reaktan menjadi produk yang rumus molekul lebih sederhana. Kebalikan dari proses dekomposisi adalah **kombinasi** yaitu penggabungan reaktan menjadi produk dengan

berat molekul yang lebih besar, jadi dalam hal ini, *cumene* sebagai produk, didapat dengan jalan mereaksikan *Benzene* dan *Propylene*.

Akan tetapi ada juga perubahan identitas-kimia yang tidak diikuti dengan perubahan Berat Molekul, sebagaimana yang terjadi pada persamaan reaksi [1.2].



Pada reaksi persamaan [1.2] tidak terjadi perubahan berat molekul, akan tetapi terjadi perubahan konfigurasi dari molekulnya.

Peristiwa perubahan identitas-kimia atau reaksi kimia dapat terjadi pada kondisi fisis tertentu, misalnya suhu, tekanan ataupun pada fasa tertentu. Sebagai contoh proses pembuatan asam nitrat secara komersial dilaksanakan dari Oksida Nitrik (NO), sebagai bahan-baku, bahan-baku tersebut diproduksi dari oksidasi amonia pada fase gas, dengan reaksi sebagai mana ditunjukkan pada persamaan [1.3].

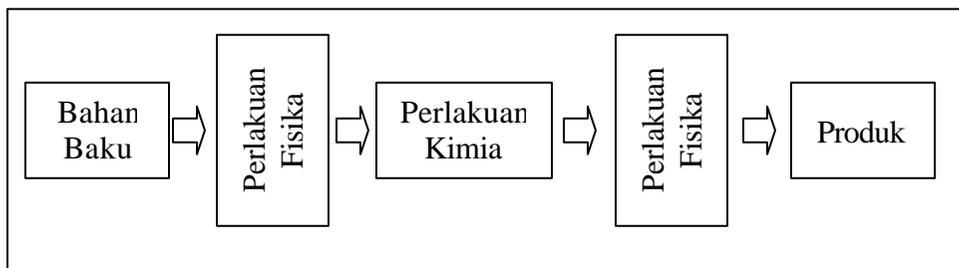


Kondisi operasi reaktan masuk pada reaktor (alat yang merupakan tempat terjadi reaksi kimia) pada tekanan 8,2 atm dan suhu 227°C dengan komposisi 15% mol amonia pada udara. Apabila kondisi operasi tidak memenuhi, maka reaksi tidak akan terjadi. Sedangkan keadaan mula-mula dari udara sebagai bahan baku atau reaktan pada persamaan [1.3] berada pada kondisi tekanan 1 atm dan suhu kamar (sekitar 27°C). Oleh karenanya, sebelum masuk (umpan) pada reaktor, maka udara harus diubah kondisi operasinya dulu dengan jalan menaikkan suhu dan tekanannya sehingga sesuai dengan kondisi operasi yang diperlukan untuk reaksi, yaitu 8,2 atm dan 227°C. Perubahan kondisi operasi ini dikategorikan dengan “perubahan kondisi-fisis”. Dimana perubahan kondisi fisis ini tidak terjadi perubahan identitas kimia. Untuk merubah kondisi-fisis dari suatu bahan (zat) diperlukan peralatan (*equipment*), seperti peralatan “penukar-kalor” (*heat exchanger*) yang digunakan untuk

merubah suhu, “kompresor” alat untuk menaikkan tekanan material fase gas dan lain-lain yang dibahas lebih lanjut pada bab-bab berikutnya.

Karena luasnya yang harus ditangani dalam bidang Kimia Industri, kemudian beberapa guru besar dibidang Teknik Kimia dari Massachusetts Institute of Technology yang bekerja dibidang Industri pada tahun 1910 mengelompokan bidang ini menjadi dua bagian besar, yaitu “**Satuan-Proses**” (*Unit Process*) dan “**Satuan-Operasi**” (*Unit Operation*), (Shreve, 1967). Permasalahan yang berhubungan dengan perubahan-perubahan yang bersifat fisika dalam Industri Kimia dikategorikan dalam “Satuan-Operasi”, sedangkan perubahan yang bersifat kimia dimasukkan dalam kelompok “Satuan-Proses”.

Oleh sebab itu “Kimia-Industri” merupakan suatu proses yang merubah bahan baku menjadi suatu produk (kimia) yang mempunyai nilai tambah dimana dalam proses tersebut selain terjadi proses perubahan yang bersifat fisis (Satuan-Operasi) juga terjadi perubahan yang bersifat kimiawi (Satuan-Proses). Gabungan dari proses perlakuan fisik (*physical treatment process*) dan proses kimiawi (*chemical treatment process*) untuk mengubah bahan-baku menjadi produk, menjadi suatu kesatuan “sistem”, sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 1.2 dalam bentuk diagram-balok.



Gb 1.2: Diagram-balok sistem proses dalam Kimia Industri

Pada gambar 1.2, dapat dijelaskan bahwa bahan baku yang diambil dari sumber alam, mempunyai spesifikasi yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan pada proses perlakuan kimia, oleh karena itu sebelum masuk pada proses perlakuan kimia pada umumnya bahan baku dilakukan perlakuan fisika. Perlakuan fisika (sebagai bagian dari

satuan operasi) yang dilakukan sebelum masuk pada perlakuan kimia antara lain:

1. Pengecilan ukuran (*size reduction*)

Proses ini dilakukan untuk bahan fase padat. Pada proses perlakuan kimia dengan sistem padat, umumnya sangat dipengaruhi oleh luas permukaan dari bahan padat tersebut. Semakin luas permukaannya, maka perlakuan kimia akan semakin baik. Dimana luas permukaan dari suatu bahan padat berhubungan erat dengan ukuran dari bahan tersebut, artinya semakin kecil ukuran dari bahan padat, maka permukaannya akan semakin luas.

Selain berhubungan dengan perlakuan kimia, dengan ukuran bahan padat yang kecil, maka pengolahan akan lebih mudah, seperti pada proses pencampuran (*mixing*) dari beberapa bahan padat akan didapat hasil yang lebih homogen. Disamping itu, juga akan mempermudah proses pengangkutan.

2. Pengangkutan bahan (*material transport*)

Dalam suatu industri besar, tempat bahan baku, peralatan (*equipment*) proses fisika, kimia maupun tempat produk pada umumnya berjauhan. Hal ini dapat disebabkan karena peralatan tersebut mempunyai ukuran yang cukup besar, disamping itu juga ada pertimbangan keselamatan dan kesehatan. Oleh karenanya untuk pendistribusian bahan baku, peralatan proses sampai dengan tempat penyimpanan produk diperlukan alat pengangkutan bahan (transportasi bahan). Alat pengangkutan bahan ini dibagi berdasarkan fase dari bahannya, yaitu fase padat, cair dan gas. Misalnya untuk pengangkutan bahan padat secara kontinyu digunakan konveyor (*conveyor*), bahan cair dengan pompa, sedangkan untuk bahan fase gas dapat digunakan kompresor yang dihubungkan melalui pipa-pipa, sehingga dalam suatu industri besar satu hal yang cukup penting juga adalah sistem pemipaan (*piping system*).

3. Proses Pemisahan (*Separation process*)

Dalam satuan operasi, salah satu bagian yang cukup memegang peranan adalah proses pemisahan. Bahkan prosentase peralatan yang ada dalam Kimia Industri adalah peralatan pemisah. Oleh karenanya, proses-pemisahan dalam perlakuan fisika terjadi baik

sebelum maupun sesudah perlakuan kimia. Pentingnya proses ini disebabkan pada kenyataannya sangat jarang ada bahan yang mempunyai kemurnian tinggi, selalu mengandung ketidakmurnian (impuritas) atau "bahan-pengotor". Ketidakmurnian dari bahan tersebut "menggangu" perlakuan kimia, oleh karenanya diperlukan proses pemisahan. Kata menggangu tersebut mempunyai arti yang bermacam-macam, ada kalanya adanya ketidakmurnian akan mengurangi "konversi" dari reaksi kimia, selain itu bahan-pengotor kadang-kadang akan menyebabkan racun (poisson) bagi "katalis" pada perlakuan kimia, atau ada kalanya ketidakmurnian akan menyebabkan terjadi "reaksi-samping".

Dengan munculnya reaksi samping, maka produk dari hasil perlakuan kimia (reaksi) akan mempengaruhi pada kemurnian dari hasil reaksi. Oleh karenanya keluar dari perlakuan kimia, masih dilanjutkan lagi dengan proses pemisahan, agar didapat produk dengan kemurnian yang tinggi (sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan konsumen).

4. Perubahan fase (*Change of phase*)

Perlakuan kimia dilakukan pada fase tertentu, misalkan fase padat, cair atau gas. Dimana adakalanya fase dari bahan-baku atau reaktan tidak berada pada fase yang dispesifikasikan pada reaktor tersebut, oleh karenanya perlu dilakukan perubahan fase.

5. Pengubahan kondisi operasi

Selain diperlukan spesifikasi fase tertentu pada perlakuan kimia, juga diperlukan kondisi operasi tertentu, sebagaimana yang telah dijelaskan pada reaksi persamaan [1.3] yaitu pembuatan oksida nitrik (NO) dari amonia dan oksigen dapat berlangsung pada suhu 227°C dengan tekanan 8,2 atm.

Dengan demikian, secara lebih luas ilmu dalam bidang Kimia Industri merupakan Ilmu yang mempelajari konsepsi, sintesis, perancangan, pengujian dan pembesaran skala (*scale up*), pengoperasian dan pengendalian suatu proses kimia berskala industri, yang mengubah: keadaan, kandungan energi, struktur mikro dan

komposisi kimia suatu bahan, dengan cara perlakuan fisika dan kimia (katalitik/non katalitik termokimia, biokimia & elektrokimia).

1.3. SISTEM MANAJEMEN DALAM SUATU INDUSTRI

Dalam suatu industri khususnya industri-besar merupakan suatu komunitas yang perlu diatur kinerjanya agar dapat berjalan dengan baik sehingga sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan. Contoh suatu industri kimia dengan skala besar dapat dilihat pada gambar 1.3., sebagaimana terlihat pada gambar tersebut banyaknya peralatan dengan ukuran yang besar, dengan demikian tentunya diperlukan operator yang pengoperasikan peralatan-peralatan tersebut, oleh karenanya diperlukan adanya pengorganisasian yang baik dalam sistem tersebut..



Gambar 1.3. Industri Kimia skala besar

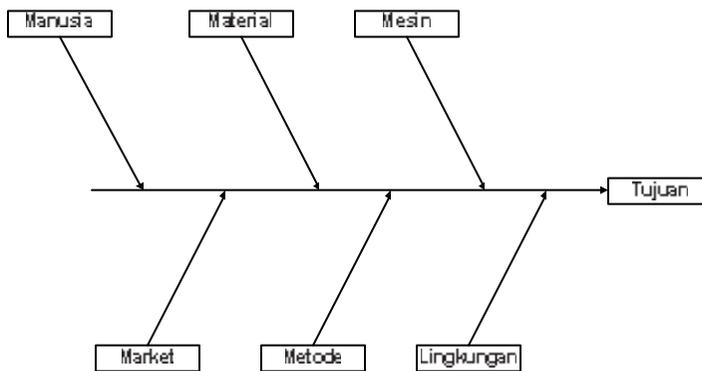
1.3.1. Manajemen Berdasarkan Sumber Daya Manusia

Pengorganisasian dari suatu komunitas tersebut diperlukan **sistem manajemen**. Dimana sistem tersebut harus dapat menyatukan elemen-elemennya agar dapat berjalan dengan baik. Secara garis besar terdapat enam elemen sistem yang perlu diatur yaitu:

1. Manusia
2. Material
3. Metode
4. Mesin
5. Market
6. Lingkungan

Keenam elemen sistem tersebut (M5L) yang saling mendukung agar dapat tercapai tujuan dari organisasi tersebut, sebagaimana yang dapat digambarkan dalam bentuk diagram tulang ikan (*fish-bone*), gb.1.4.

Sistem manajemen yang baik sebagaimana yang digambarkan pada gambar 1.4, harus dapat menyatukan sekumpulan karyawan (**manusia**) yang bekerja secara kontinyu pada suatu industri, yang dapat mengubah **material** agar dapat mempunyai nilai lebih, dengan menggunakan peralatan (**mesin**) dengan **metoda** tertentu, dimana jumlah dari produksi material tersebut tergantung dari kebutuhan konsumen atau pasar (**market**) dan juga harus memperhatikan faktor **lingkungan** baik secara mikro maupun makro.



Gambar 1.4. Elemen sistem yang perlu diatur dalam suatu industri

Diantara elemen-elemen dalam sistem tersebut, yang mempunyai peran yang cukup besar adalah manusianya, dimana dalam era sekarang ini, manusia merupakan salah satu bagian dari sumber daya, yang selanjutnya disebut dengan sumber daya manusia (sdm). Kolektivitas manusia dalam suatu organisasi mempunyai kemampuan (*skill*), pengetahuan (*knowledge*), pengalaman (*experience*) yang berbeda. Berdasarkan hal tersebut, organisasi dalam suatu industri (perusahaan) dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu: manajemen puncak, manajemen menengah dan manajemen pelaksana.

1. Manajemen puncak

Dalam sistem organisasi, manajemen puncak merupakan manajemen tertinggi, dimana orang-orang yang duduk pada posisi ini mempunyai tugas yang cukup berat karena harus memutuskan

hal-hal penting dan mengatur yang menyangkut kelangsungan hidup dan keberhasilan dari organisasi atau perusahaan tersebut. Orang yang duduk pada manajemen puncak ini biasanya disebut dengan direktur dan juga pemilik modal dalam perusahaan, atau yang tergabung dalam bentuk dewan (dewan direksi, dewan komisaris). Dewan Direksi dapat terdiri dari Direktur Utama, Direktur Keuangan dan Umum serta Direktur Produksi dan Teknik.

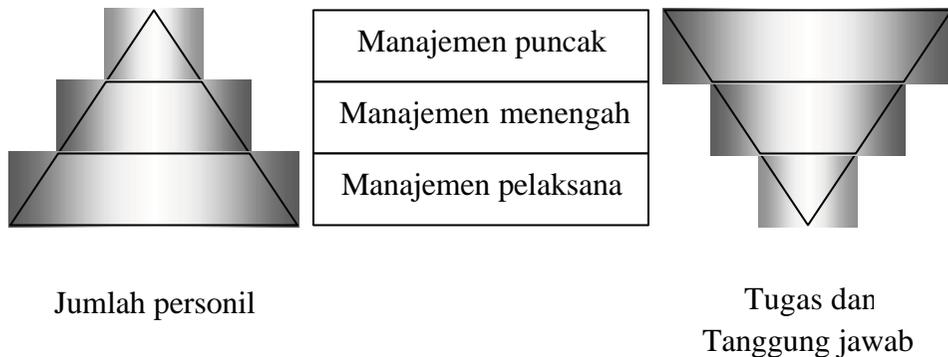
2. Manajemen menengah

Manajemen ini terdiri dari pimpinan-pimpinan pabrik (dalam suatu industri, misalnya industri petrokimia, industri pupuk dapat terdiri lebih dari satu pabrik), atau kepala-kepala divisi. Tugas dari bagian ini adalah mengembangkan dan menjalankan rencana-rencana yang telah ditetapkan oleh manajemen puncak.

3. Manajemen pelaksana

Pada tingkat ini, terdiri dari personil yang melaksanakan tugas yang telah dikembang oleh manajemen menengah dan bertanggung jawab kepadanya.

Berdasarkan keterangan tersebut, maka semakin tinggi tingkat manajemennya akan diduduki oleh semakin sedikit jumlah personilnya, sebaliknya demikian pula sebaliknya tingkat manajemen pelaksana terdiri dari jumlah personil yang cukup banyak, hal ini digambarkan dalam bentuk piramida dengan kerucut diatas, sebagaimana gambar 1.5. Sebalik untuk tugas dan tanggung jawab, semakin tinggi tingkat manajemen, maka dia mempunyai tugas dan tanggung jawab yang lebih tinggi, hal ini digambarkan dalam bentuk piramida terbalik dengan kerucut dibawah.



Jumlah personil

Tugas dan
Tanggung jawab

Gambar 1.5. Hubungan antara jumlah personil dan tugas-tanggung jawab pada sistem manajemen

Organisasi dalam bentuk “*Line and Staff system*” merupakan bentuk yang sering digunakan sebagai organisasi dalam suatu manajemen. Ada dua kelompok orang – orang yang berpengaruh dalam menjalankan organisasi sistem *line and staf* ini , yaitu :

- a. Sebagai garis atau *line* yaitu orang-orang yang melaksanakan tugas pokok organisasi dalam rangka mencapai tujuan .
- b. Sebagai *staff* yaitu orang – orang yang melaksanakan tugasnya dengan keahlian yang dimilikinya , dalam hal ini berfungsi untuk memberikan saran – saran kepada unit operasional.

Secara umum, dalam suatu perusahaan atau industri, person (orang) yang bekerja didalamnya terdiri dari:

1. Pemegang saham sebagai pemilik perusahaan (untuk perusahaan berbentuk Badan Usaha Milik Swasta) dalam pelaksanaan tugas sehari-harinya dibantu oleh Dewan Komisaris, sedangkan tugas untuk menjalankan perusahaan dilaksanakan oleh Direktur Utama dibantu oleh Direktur Teknik dan Direktur Keuangan dan Umum.
2. Direktur Teknik membawahi bidang teknik dan produksi. Sedangkan Direktur Keuangan dan Umum membidangi kelancaran keuangan perusahaan.
3. Beberapa Kepala bagian yang berada dibawah direktur-direktur diatas akan bertanggung jawab membawahi bagian dalam perusahaan, sebagai pendelegasian wewenang dan tanggung jawab.
4. Masing-masing kepala bagian membawahi beberapa seksi dan masing-masing seksi akan membawahi beberapa karyawan perusahaan pada masing-masing bidangnya.

5. Karyawan perusahaan akan dibagi dalam beberapa kelompok regu yang setiap kepala regu akan bertanggung jawab kepada pengawas masing-masing seksi.

Pembagian tugas dan tanggung jawab personalia tersebut apabila dihubungkan dengan tingkat pendidikan minimal adalah sebagai berikut:

1. Direktur Utama : Sarjana semua jurusan
2. Direktur Teknik dan Produksi : Sarjana Teknik Kimia/
Mesin/ Elektro
3. Direktur Keuangan dan Umum : Sarjana Ekonomi/ ISIP/ Hukum
4. Staff Ahli : Sarjana Teknik Kimia/
Mesin/ Elektro
5. Kepala Bagian Litbang : Sarjana Teknik Kimia / Kimia
6. Kepala Bagian Produksi : Sarjana Teknik Kimia
7. Kepala Bagian Teknik : Sarjana Teknik Mesin
8. Kepala Bagian Pemasaran : Sarjana Ekonomi
9. Kepala Bagian Keuangan : Sarjana Ekonomi
10. Kepala bagian Umum : Sarjana Hukum / FISIP
11. Kepala Seksi : Sarjana Muda / DIII
12. Operator dan karyawan biasa : SMK / SMU / sederajat/ D III
13. Sekretaris : Akademi Sekretaris
14. Medis : Dokter
15. Perawat : Akademi Keperawatan
16. Sopir dan Satpam : SMK / SMU
17. Pesuruh dan Cleaning Service : SMP / sederajat

Selain pembagian diatas, ada juga pembagian pekerjaan berdasarkan **jam kerja** berada di perusahaan, khususnya untuk perusahaan yang beroperasi secara kontinyu dalam arti beroperasi selama 24 jam sehari, dan 330 hari dalam setahun. Dimana sisanya digunakan untuk perawatan dan perbaikan. Untuk itu dalam menentukan jam kerja, karyawan dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu :

1. **Karyawan non shift (Daily)**

Karyawan non shift adalah karyawan yang tidak menangani proses produksi secara langsung. Karyawan non shift terdiri dari Direktur, Kepala Bagian, Kepala Seksi dan karyawan bagian administrasi. Karyawan non shift dalam satu minggu akan bekerja selama 5 hari

mulai jam 08.00 – 17.00 dengan masa istirahat selama 1 jam antara jam 12.00 –13.00.

2. Karyawan shift

Karyawan shift adalah karyawan yang langsung menangani proses produksi atau mengatur bagian-bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan keamanan dan kelancaran produksi. Karyawan shift terdiri dari kepala regu dan operator produksi, sebagian dari bagian teknik dan bagian keamanan. Para karyawan shift bekerja bergantian sehari semalam. Karyawan shift dibagi dalam 3 shift dengan pengaturan sebagai berikut :

- Shift pagi : pukul 08.00 – 16.00
- Shift sore : pukul 16.00 – 24.00
- Shift malam : pukul 24.00 – 08.00

Karyawan shift ini dibagi menjadi 4 regu, yaitu 3 regu bekerja dan 1 regu istirahat atau libur yang dilakukan secara bergantian. Setiap regu mendapat giliran 3 hari kerja dan 1 hari libur untuk setiap shift dan masuk lagi untuk shift berikutnya. Untuk hari libur nasional, regu yang bertugas tetap masuk diperhitungkan sebagai kerja lembur. Jadwal kerja dari karyawan shift, dengan bentuk 3 hari kerja dan 1 hari libur, dapat dilihat pada tabel 1.1

Tabel 1.1: Jadwal Kerja karyawan shift, bentuk 3 hari kerja, 1 hari libur.

| Regu | Hari | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Sen | Sel | Rab | Kms | Jum | Sab | Mng | Sen | Sel | Rab | Kms | Jum | Sab | Mng |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| A | P | P | P | L | M | M | M | L | S | S | S | L | P | P |
| B | S | S | L | P | P | P | L | M | M | M | L | S | S | S |
| C | M | L | S | S | S | L | P | P | P | L | M | M | M | L |
| D | L | M | M | M | L | S | S | S | L | P | P | P | L | M |

Keterangan :

- P = Shift pagi
- S = Shift sore
- M = Shift malam
- L = Libur

Bentuk lain dari jadwal kerja untuk karyawan sift dapat dilihat pada tabel 1.2. Dimana pada tabel tersebut terlihat karyawan bekerja selama 2 hari dan 1 hari libur dengan jumlah regu sama seperti pada tabel diatas, yaitu regu A, B, C dan D.

Tabel 1.2: Jadwal Kerja karyawan sift, bentuk 2 hari kerja, 1 hari libur.

| SIFT | Hari | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Sen | Sel | Rab | Kms | Jum | Sab | Mng | Sen | Sel | Rab | Kms | Jum | Sab | Mng |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| P | A | A | B | B | C | C | D | D | A | A | B | B | C | C |
| S | D | D | A | A | B | B | C | C | D | D | A | A | B | B |
| M | C | C | D | D | A | A | B | B | C | C | D | D | A | A |
| L | B | B | C | C | D | D | A | A | B | B | C | C | D | D |

Pembagian jadwal kerja karyawan, khususnya karyawan sift pada bagian produksi cukup penting. Dimana kelancaran produksi dari suatu industri (pabrik) sangat dipengaruhi oleh kedisiplinan karyawannya, karena kelancaran produksi secara tidak langsung akan mempengaruhi jalannya perkembangan dan kemajuan perusahaan, untuk itu kepada seluruh karyawan perusahaan diberlakukan absensi. Disamping masalah absensi nantinya akan digunakan oleh pimpinan perusahaan sebagai dasar dalam pengembangan karier pada karyawan di dalam perusahaan.

1.3.2. Manajemen Berdasarkan Proses

Salah satu bagian yang cukup penting pada manajemen berdasarkan proses ada empat elemen, yaitu: Perencanaan (*Planning*), Pengorganisasian (*Organizing*), Pelaksanaan (*Actuating*), Pengendalian (*Controlling*). Keempat elemen ini perlu berjalan secara simultan, sehingga akan didapatkan perusahaan yang sehat dan kuat.

1. Perencanaan (*Planning*)

Dalam perencanaan khususnya produksi perlu dipertimbangkan dua hal, yaitu faktor luar (eksternal) dan faktor internal.

Faktor eksternal merupakan faktor yang menyangkut jumlah produk yang perlu dihasilkan berdasarkan pada kemampuan pasar (*market*). Berdasarkan pada kemampuan pasar, maka dapat dibagi menjadi dua (2) kemungkinan yaitu :

- Kemampuan pasar lebih besar dibandingkan kemampuan pabrik maka rencana produksi disusun maksimal.
- Kemampuan pasar lebih kecil dibandingkan dengan kemampuan pabrik. Dalam hal ini, maka rencana produksi diambil berdasarkan tiga kemungkinan, yaitu:
 - Rencana produksi sesuai dengan kemampuan pasar atau produksi diturunkan sesuai dengan kemampuan pasar dengan mempertimbangkan untung dan rugi.
 - Rencana produksi tetap dengan mempertimbangkan bahwa kelebihan produksi disimpan dan dipasarkan di tahun berikutnya.
 - Mencari daerah pemasaran yang lain dan menggunakan fasilitas-fasilitas pemasaran yang mudah diakses seperti menggunakan e-bussines

Sedangkan **faktor internal** merupakan faktor yang menyangkut jumlah produksi berdasarkan kemampuan dari pabrik tersebut. Dalam hal ini tergantung dari empat hal (selain faktor **Manusia** sebagai bagian dari Sumber Daya Manusianya dan **Market** sebagai bagian dari faktor eksternal), yaitu:

1. Mesin (peralatan)
2. Material
3. Metoda
4. Lingkungan

Isu lingkungan dalam industri kimia merupakan isu cukup penting untuk diperhatikan.

2. Pengorganisasian (*Organizing*)

Setelah tahap perencanaan telah dilakukan, sesuai dengan tujuan dari perusahaan, dilanjutkan pengorganisasian pada semua bagian dari elemen sistem (M5L). Mulai pengorganisasian Manusia dengan pembagian tugas dan tanggung jawabnya; Materialnya dengan menentukan spesifikasi baik bahan baku maupun produk yang akan dihasilkan, berdasarkan kemampuan pasar (*market*). Mesin dengan penentuan jadwal pengoperasian, perawatan, penggantian *spare part*nya; Metoda yang digunakan baik dalam sistem unit proses maupun unit operasinya; Lingkungan harus

diperhatikan dengan baik, dalam artinya proses produksi yang bersifat ramah terhadap lingkungan.

3. Pelaksanaan (*Actuating*)

Pelaksanaan ini merupakan implementasi dari diskripsi tugas (*job description*) yang telah dibuat pada kedua tahap sebelumnya yaitu perencanaan dan pengorganisasian oleh manajemen menengah keatas.

4. Pengendalian (*Controlling*)

Kegiatan ini dilaksanakan dengan tujuan (sebagai subyek) agar dihasilkan produk yang mutunya (**kualitas**) sesuai dengan standar dan jumlah produksi (**kuantitas**) sesuai dengan rencana serta **waktu** yang tepat sesuai jadwal. Dalam hal ini, obyek yang dikendalikan merupakan elemen-elemen sistem seperti manusianya, material, mesin).

a. Pengendalian Kualitas

Kualitas dari suatu produk mempunyai pengaruh yang cukup kuat untuk keberhasilan dari suatu perusahaan. Kualitas produk dapat tergantung dari permintaan konsumen (artinya produsen tergantung dari konsumen) atau tergantung dari internal perusahaan tersebut (konsumen tergantung dari produsen). Oleh karenanya pengendalian kualitas diperlukan karena mutu bahan baku yang akan diproses bersifat fluktuatif, selain itu ketidakmampuan dari mesin (alat) kadang-kadang tidak dapat diprediksi. Penyimpangan dapat diketahui dari hasil monitoring atau analisa pada bagian laboratorium pemeriksaan.

b. Pengendalian Kuantitas

Penyimpangan kuantitas terjadi karena kesalahan dari operator, kerusakan mesin, keterlambatan pengadaan bahan baku, perbaikan alat terlalu lama dan lain-lain. Penyimpangan tersebut perlu diidentifikasi penyebabnya dan diadakan evaluasi.

c. Pengendalian Waktu

Waktu mempunyai peran penting dalam proses produksi. Sebagai contoh suatu produk dimana kebutuhannya dari

1.4. PENGELOLAAN LINGKUNGAN KERJA

1.4.1 Pendahuluan

Pengelolaan lingkungan kerja yang selama ini dilakukan selalu dianggap sebagai suatu pengelolaan yang memerlukan pengoperasian dan biaya yang mahal. Persepsi ini terkadang menyebabkan keengganan suatu kegiatan usaha untuk melakukan pengelolaan lingkungan kerja baik pada kegiatan usaha skala besar, menengah maupun kecil.

Para pakar telah membuat suatu konsep pengelolaan lingkungan kerja yang dilakukan secara bertahap, dimulai dari tahap yang paling sederhana dan murah.

Pengelolaan lingkungan kerja merupakan serangkaian kegiatan yang pada prinsipnya ditujukan untuk mengamati hal-hal yang sederhana namun dalam pelaksanaannya tidak hanya didasarkan pada cara

membersihkan lingkungan kerja Anda. Selain itu juga memerlukan komitmen dari setiap bagian perusahaan untuk mengatur penggunaan bahan baku, energi dan air secara optimal, yang pada akhirnya akan meningkatkan produktifitas kerja dan upaya pencegahan pencemaran lingkungan.

Pengelolaan lingkungan kerja mengutamakan penyelesaian masalah lingkungan melalui tata kerja yang baik (manajemen) yang baik, bukan melalui penyelesaian secara teknis yang mahal. Dengan kata lain pengelolaan lingkungan kerja bertumpu pada pemberdayaan sumberdaya yang telah ada dalam kegiatan usaha.

Sasaran pengelolaan lingkungan kerja :

- Mewujudkan tempat kerja yang nyaman dan bersih.
- Melatih manusia pekerja yang mampu mandiri mengelola pekerjaannya.

1.4.2 Membersihkan area kerja dari bahan pengotor dan terdispersi bahan-bahan kimia yang berbahaya.

Ruang dan meja kerja harus selalu dalam keadaan bersih. Apabila terdapat kotoran-kotoran dan terdispersi bahan-bahan kimia yang berbahaya di area kerja harus segera dibersihkan. Pembersihan adalah sejumlah upaya yang perlu dilakukan untuk mengurangi bahaya dari suatu bahan kimia. Apabila bahan kimia yang tumpah tersebut berbahaya, selain dibersihkan dengan lap, tangan harus dilindungi oleh sarung tangan. Sarung tangan sangat penting untuk melindungi tangan dari bahaya bahan kimia yang menempel atau meresap pada lap pembersih.

Ditempat kerja kemungkinan terhadap sumber bahaya potensial terhadap kesehatan pekerja. Dalam melakukan pekerjaan apapun, sebenarnya kita beresiko untuk mendapat gangguan kesehatan atau penyakit yang ditimbulkan oleh pekerja tersebut. Oleh karena itu area kerja harus bersih dari bahan-bahan kimia yang berbahaya.

1.4.3. Membersihkan area kerja dari debu dan gas

Area kerja sering terpapar oleh debu dan gas. Untuk membersihkan area kerja dari gas-gas dapat dipasang *exhaust fan* dan atau lemari asam. Lemari asam merupakan alat yang paling sering

digunakan untuk menghilangkan gas, debu, kabut, uap dan asap dari kegiatan kerja untuk meminimalkan racun dan konsentrasi bahan yang mudah terbakar.

Area kerja yang terpapar oleh debu mineral dapat menyebabkan penyakit. Pneumokoniosis adalah sekumpulan penyakit yang disebabkan oleh penimbunan debu-debu di dalam jaringan paru-paru. Biasanya berupa debu mineral. Tergantung dari jenis debu mineral yang ditimbun, nama penyakitnya pun berbeda-beda. Gejalanya pun berbeda-beda, tergantung dari derajat dan banyaknya debu yang ditimbun di dalam paru-paru.

Ketika bernapas, udara yang mengandung debu masuk ke dalam paru-paru. Tidak semua debu dapat menimbun di dalam jaringan paru-paru, karena tergantung besar ukuran debu tersebut. Debu-debu yang berukuran 5 – 10 mikron akan ditahan oleh jalan napas bagian atas, sedangkan yang berukuran 3 – 5 mikron ditahan di bagian tengah jalan napas. Partikel-partikel yang berukuran 1 – 3 mikron akan ditempatkan langsung di permukaan jaringan dalam paru-paru.

Secara umum gejala-gejalanya antara lain batuk-batuk kering, sesak napas, kelelahan umum, berat badan berkurang dan lain-lain. M Gmbaran foto rontgen, menunjukkan adanya kelainan dalam paru-paru. Namun, pemeriksaan di tempat kerja harus menunjukkan adanya debu yang diduga sebagai penyebab pneumokoniosis.

Area kerja yang kemungkinan terpapar oleh debu akibat proses industri dapat dicegah dengan jalan :

1. Mencegah terbentuknya awan debu yang eksplosif. Bagi mesin yang mengolah dan peralatan yang mengepak bubuk, hal ini dapat diselenggarakan dengan pengisian mesin dan peralatan tersebut dengan gas-gas yang tidak dapat terbakar, sehingga kadar oksigen dalam udara berada di bawah 5% menurut volume. Nitrogen dan karbon dioksida dapat dipergunakan untuk keperluan tersebut, tetapi untuk debu-debu logam ringan sebaiknya dipakai helium dan argon.
2. Mencegah terbentuknya awan debu eksposif dicegah dengan cara :
 - a. Konstruksi pabrik yang bebas debu.
 - b. Pengaturan tekanan udara dalam pabrik, sehingga sedikit kurang dari tekanan di udara.
 - c. Pemasangan instalasi ventilasi keluar seperti pada tempat-tempat yang tepat yaitu tempat debu-debu ke luar ke udara.

- d. Perencanaan, agar tidak terjadi limpahan yang berlebihan.
 - e. Pemeliharaan dan perawatan serta ketatarumahtangaan yang baik, agar bangunan pabrik dan sekitarnya tetap bersih dari debu-debu.
3. Pencegahan terhadap bahaya paparan debu dan gas ditujukan kepada penekanan sekecil-kecilnya kemungkinan terbentuknya campuran-campuran yang dapat terbakar dan menghilangkan sumber-sumber terjadinya pembakaran. Pencegahan tersebut adalah:
- a. Pembersihan terjadinya campuran yang eksplosif dari debu. Adalah esensial untuk mencegah terbentuknya campuran-campuran eksplosif dari debu, uap-uap atau gas dengan udara, terutama dalam ruang-ruang atau bangunan-bangunan dengan kegiatan yang membahayakan. Pencegahan ini dapat dilaksanakan dengan pencegahan bebasnya debu, uap dan gas dengan pemakaian ventilasi mekanis yang baik.
 - b. Pembersihan dengan sistem pengumpulan debu yang efektif, dengan penambahan bahan-bahan tak berbahaya yang tepat seperti debu kapur atau gas-gas inert, tergantung kepada keadaan masing-masing, dan dengan perhatian yang cukup terhadap ketata-rumahtangaan.
 - c. Jika terdapat bahaya peledakan debu, menurut pengalaman peledakan sekunder dari debu-debu yang mengendap yang diawali dengan peledakan ringan adalah sangat berbahaya. Pengendapan debu-debu pada permukaan-permukaan di tempat-tempat kerja harus dihindari dan sebaiknya dengan penghisap debu. Penghisap vakum sangat berguna dalam hal ini.

RANGKUMAN :

1. Kimia industri merupakan salah satu proses yang merubah bahan baku menjadi suatu produk yang mempunyai nilai tambah sehingga dalam proses tersebut selain terjadi proses perubahan yang bersifat fisis juga terjadi perubahan yang bersifat kimiawi.
2. Permasalahan yang berhubungan dengan perubahan-perubahan yang bersifat fisik dalam industri kimia dikategorikan dalam satuan operasi, sedangkan perubahan yang bersifat kimiawi dimasukkan dalam kelompok satuan proses.
3. Perlakuan fisika antara lain pengecilan ukuran (size reduction), pengangkutan bahan (material transport), proses pemisahan (separation process) perubahan fase (change of phase) dan pengubahan kondisi operasi.
4. Ilmu di bidang kimia industri merupakan ilmu yang mempelajari konsepsi, sintesis, perancangan dan pengendalian suatu proses berskala industri yang mengubah keadaan, kandungan energi, struktur mikro dan komposisi kimia suatu bahan dengan cara perlakuan fisika dan kimia (katalitik/non katalitik, termokimia, biokimia dan elektrokimia).
5. Sistem manajemen dalam suatu industri mengatur enam elemen sistem yaitu manusia, material, metode, mesin, market dan lingkungan.
6. Manajemen berdasarkan proses ada empat elemen, yaitu perancangan (planning), pengorganisasian (organizing) pelaksanaan (actuating), dan pengendalian (controlling).
7. Faktor eksternal merupakan faktor yang menyangkut jumlah produk yang perlu dihasilkan berdasarkan pada kemampuan pasar (market).
8. Faktor internal merupakan faktor yang menyangkut jumlah produksi berdasarkan kemampuan dari pabrik yang tergantung mesin, material, metode dan lingkungan.
9. Sistem pengorganisasian berdasarkan sistem M5L yaitu manusia market, material, mesin, metode dan lingkungan.
10. Pelaksanaan (actuating) merupakan implementasi dari diskripsi tugas.
11. Pengendalian (controlling) dilaksanakan dengan tujuan agar dihasilkan produk yang mutunya (kualitas) sesuai dengan rencana serta waktu yang tepat sesuai jadwal.

12. Sasaran pengelolaan lingkungan kerja :
 - Mewujudkan tempat kerja yang nyaman dan bersih.
 - Melatih manusia pekerja yang mampu mandiri mengelola pekerjaannya.
13. Pembersihan adalah sejumlah upaya yang perlu dilakukan untuk mengurangi bahaya dari suatu bahan kimia.
14. Sarung tangan sangat penting untuk melindungi tangan dari bahaya bahan kimia yang menempel atau meresap pada lap pembersih.
15. Pengendapan debu-debu pada permukaan-permukaan di tempat-tempat kerja harus dihindari dan sebaiknya dengan penghisap debu

CONTOH SOAL :

- a. Apa yang dimaksud dengan industri dan berikan contoh industri kimia?

Jawab :

Industri merupakan proses yang mengubah bahan baku menjadi produk yang berguna atau mempunyai nilai tambah.

Contoh industri kimia adalah industri pelapisan logam, yang menghasilkan produk-produk hasil pelapisan antara lain knalpot kendaraan yang dilapisi dengan khrom, rangka kursi lipas yang dilapisi dengan nikel dan khrom.

- b. Produk suatu industri dapat berupa produk antara dan produk akhir. Berikan contoh-contoh produk antara dan produk akhir ?

Jawab :

a. Produk antara :

1. Bubur tembaga (bahan baku untuk pembuatan kawat tembaga)
2. Surimi (bahan baku untuk pembuatan bakso ikan, nugget ikan, sosis ikan)
3. Tepung gandum (bahan baku untuk pembuatan roti)

b. Produk akhir

4. Air minum dalam kemasan
5. Sabun
6. Mur, baut

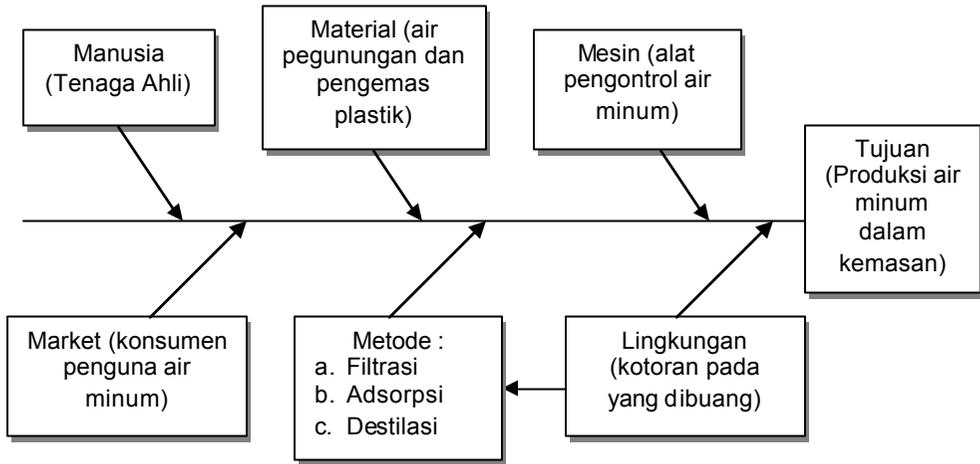
- c. Produksi industri selalu mencakup produksi masal produk tipe sama. Untuk pengendalian mutu produk, variasi apa saja yang perlu diminimumkan ?

Jawab :

- a. Variasi dalam bahan
- b. Variasi dalam mesin dan peralatan
- c. Variasi dalam orang dan metode (pekerjaan dan metode operasi)
- d. Variasi dalam pengukuran

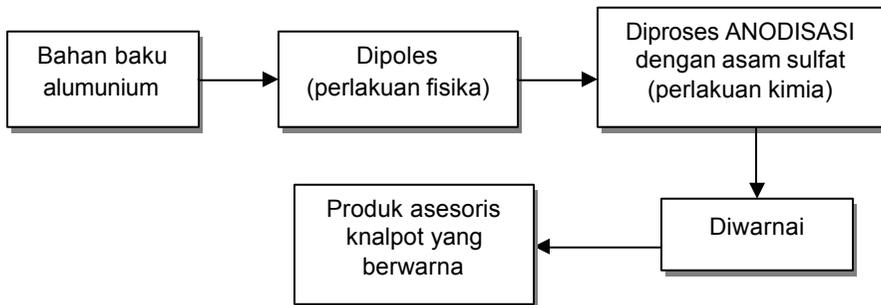
- d. Coba jelaskan hubungan M5L yang saling mendukung untuk mencapai tujuan suatu industri yang memproduksi air minum dalam kemasan !

Jawab :



- e. Buatlah diagram balok sistem proses dalam kimia industri untuk menghasilkan produk asesoris kendaraan dari bahan alumunium yang menghasilkan produk asesoris knalpot yang berwarna !

Jawab :



LATIHAN SOAL :

1. Apa yang dimaksud dengan produk antara dan produk akhir ? Berikan masing-masing contoh !
2. Bahan baku yang berupa minyak bumi diproses pada industri kimia, produk-produk apa saja yang dapat dihasilkan dari industri kimia tersebut ?
3. Jelaskan tentang reaksi dekomposisi dan reaksi kombinasi ? Berikan contoh-contohnya !
4. Suatu industri kimia memproduksi pupuk organik. Elemen-elemen apa saja yang diperlukan oleh industri tersebut untuk mencapai tujuan membuat pupuk organik ?
5. Hasil produksi suatu industri menghasilkan botol-botol gelas, ternyata banyak yang mengalami keretakan. Bagaimana cara pengendalian kualitas botol-botol gelas tersebut ?
6. Jelaskan cara pembersihan area kerja yang tercecer oleh bahan kimia.
7. Bagaimana membersihkan area kerja yang terpapar oleh debu dan gas-gas hasil reaksi kimia.

BAB II

BAHAN BAKU DAN PRODUK INDUSTRI

Bahan-bahan terdapat di sekitar kita; dan telah menjadi bagian dari kebudayaan dan pola berpikir manusia bahkan telah menyatu dengan keberadaan kita. Kenyataannya, bahan telah menyatu dengan kebangkitan manusia sehingga dikenal peradaban atau Zaman Batu, Zaman Perunggu dan Zaman Besi. Bahan berasal dari alam dan bahan buatan yang telah merupakan bagian integral dari hidup kita seringkali di-sepelekan, meski bahan-bahan, termasuk makanan, pemukiman, energi dan informasi merupakan sumber daya yang mendasar bagi kehidupan manusia. Bahan-bahan memang telah menyatu dengan kehidupan manusia dan tidak saja merupakan bagian gaya hidup melainkan turut memegang peran penting dalam kesejahteraan dan keselamatan bangsa.

Apakah hakikat bahan itu? Bagaimana memahami, mengolah dan menggunakannya? Bahan, dengan sendirinya merupakan bagian dari alam semesta, akan tetapi secara lebih terinci bahan-bahan adalah benda yang dengan sifat-sifatnya yang khas dimanfaatkan dalam bangunan, mesin, peralatan atau produk. Termasuk di dalamnya logam, keramik, semi konduktor, polimer (plastik), gelas, dielektrik, serat, kayu, pasir, batu dan berbagai komposit.

Karena tubuh manusia dapat dianggap sebagai bangunan atau mesin atau alat, kita dapat juga menggolongkan makanan, obat-obatan, tanaman, pupuk dan lain-lainnya dalam kelompok bahan-bahan, namun telah menjadi kebiasaan untuk membahasnya dalam ilmu biologi dan pertanian. Demikian pula halnya dengan bahan bakar fosil, air dan udara yang dapat dimasukkan dalam kelompok bahan secara umum, biasanya dibahas dalam bidang ilmu lain.

Bahan-bahan yang digunakan manusia mengikuti siklus bahan mulai dari ekstraksi, pembuatan sampai pelapukan. Bahan mentah diambil dari bumi melalui penambangan, pengeboran, penggalian, atau panen; kemudian diolah menjadi bahan baku seperti ingot logam, batu belah, bahan petrokimia, kayu gelondongan; dan kemudian diolah menjadi bahan-bahan teknik seperti kawat listrik, besi beton, plastik dan kayu lapis, untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Akhirnya, setelah

digunakan selama beberapa waktu, bahan-bahan tersebut kembali ke asalnya, ke bumi sebagai bekas/sisa (scrap) atau memasuki siklus untuk diolah kembali dan digunakan lagi sebelum dibuang.

Suatu aspek yang sangat penting dalam konsep siklus bahan adalah kaitan yang erat antara bahan, energi dan lingkungan, hal ini berarti bahwa ketiga-tiganya harus diperhitungkan dalam perencanaan nasional dan pengkajian teknologi. Pertimbangan-pertimbangan ini menjadi sangat penting karena meningkatnya kelangkaan energi dan bahan, tepat pada saatnya di mana penduduk bumi mulai sadar akan arti lingkungan hidup yang baik. Sebagai contoh, bila aluminium bekas dapat diolah kembali secara efektif, maka hanya diperlukan seperdua puluh dari energi untuk mengolah aluminium primer dari bijih setiap tonnya, dan bumi tidak perlu dikeruk untuk menambang bijih.

Dalam menentukan pilihan, perancang harus memperhatikan sifat-sifat seperti: kekuatan, konduktivitas (listrik), daya hantar panas, berat jenis dan sebagainya.

Selanjutnya seseorang harus memperhatikan sifat bahan selama proses pembentukannya dan perilaku selama penggunaannya, (mampu bentuk, mampu mesin, stabilitas listrik, ketahanan kimia, dan sifat radiasi merupakan faktor yang penting), demikian pula masalah biaya dan pengadaan. Sebagai contoh, baja yang digunakan untuk roda gigi transmisi harus mudah dibentuk dan kemudian harus dapat memiliki sifat tangguh setelah mengalami proses pengerjaan lanjutan sehingga tahan dalam pemakaian. Spatbor harus dibuat dari logam yang mudah dibentuk akan tetapi yang memiliki ketahanan terhadap deformasi impak. Pengawatan listrik harus tahan suhu yang berbeda dan semikonduktor harus memiliki karakteristik arus dan tegangan tetap untuk jangka waktu yang lama.

Pada kegiatan industri dibutuhkan bahan baku dari bahan penunjang untuk proses produksi yang menghasilkan produk.

2.1. PENANGANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG

Kegiatan ini bertujuan untuk efisiensi penggunaan bahan baku dan penunjang, dengan cara :

- Memantau konsumsi bahan baku dan penunjang serta merencanakan produksi secara maksimal.

- Mengkaji kehilangan bahan baku dan penunjang secara rutin dan terencana mulai dari pengangkutan pada saat pembelian, penyimpanan dan pemakaian.
- Menghindari kehilangan akibat tumpahan dan / atau kebocoran pada pipa maupun peralatan.
- Melaksanakan pemeliharaan peralatan untuk mencegah terjadinya kerusakan bahan baku dan penunjang.
- Mengganti dan / atau mengurangi pemakaian bahan baku dan penunjang yang bersifat berbahaya dan beracun (B3) terhadap lingkungan dan manusia.

2.2. PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG

Kelompok kegiatan ini bertujuan untuk mengurangi terjadinya tumpahan, rusaknya kualitas bahan baku dan penunjang akibat kadaluarsa maupun kontak dengan media lain (udara, air, tanah, bahan lain, dll), dengan cara:

- Memantau mutu bahan baku dan penunjang yang dibeli, termasuk kemasan. Kemasan yang rusak dapat menyebabkan rusaknya kualitas bahan.
- Menyimpan bahan baku dan penunjang secara benar dan baik. Misalnya tempat penyimpanan harus terhindar dari banjir maupun kebocoran atap.
- Melakukan penyimpanan dan pengambilan bahan dengan menerapkan prinsip “yang terlebih dahulu masuk harus terlebih dahulu keluar/digunakan” atau istilah umumnya adalah first in first out (FIFO)
- Menyimpan bahan berbahaya dan beracun sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
- Membersihkan dan membuang dengan benar kemasan bekas, terutama kemasan bahan berbahaya dan beracun sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
- Menangani bahan yang berbahaya dan beracun dengan baik sesuai dengan aturan keselamatan kerja.
Misalnya harus mengenakan masker dan sarung tangan

2.3. PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN BAHAN PENUNJANG YANG TERSISA

Tujuannya :

- Memperoleh penghematan biaya
- Mengurangi bahaya
- Meningkatkan keselamatan

Penyimpanan dilakukan dengan cara :

- a. Identifikasi seluruh bahan baku dan penunjang yang digunakan
- b. Pelabelan / penyimpanan catatan
- c. Penyediaan dan penggunaan lembar data keselamatan bahan baku dan bahan penunjang
- d. Penyimpanan dan pemindahan secara aman
- e. Penanganan dan penggunaan secara aman
- f. Upaya berkala untuk melakukan tata laksana dan pembuangan.

2.4. MENEMUKAN PERMASALAHAN DAN PELUANG PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN BAHAN PENUNJANG

Untuk membantu persiapan pelaksanaan penanganan bahan baku dan penunjang, daftar periksa yang memuat pertanyaan-pertanyaan dasar sebagaimana disajikan pada bagian berikut ini dapat memberikan gambaran mengenai potensi permasalahan dilingkungan kerja Anda. Setiap pertanyaan yang dimuat dalam daftar periksa kemudian ditindaklanjuti dengan sub-sub pertanyaan yang membimbing Anda untuk dapat melakukan pengamatan (observasi) dan langkah-langkah penanganan selanjutnya.

Berikut ini adalah contoh penelusuran masalah mengenai Penyimpanan Baku dan Penunjang dengan menggunakan daftar periksa.

Contoh 1 : Daftar Periksa Penyimpanan Bahan baku dan Penunjang:

Dengan melakukan daftar periksa dan kolom observasi, Anda dapat secara cepat mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan yang dimiliki. Kelemahan yang teridentifikasi dapat secara cepat dan mudah untuk

ditangani dengan cara yang lebih terstruktur dengan menyusun rencana tindakan. Rencana tindakan merupakan serangkaian tindakan perbaikan yang akan Anda dilaksanakan berdasarkan hasil observasi. Rencana tindakan mencakup:

- a. Tujuan, yang menguraikan dengan jelas semua sasaran yang akan dicapai
- b. Tindakan, menyangkut langkah-langkah Tata kelola yang benar yang akan dilaksanakan berdasarkan hasil identifikasi permasalahan dengan menggunakan daftar periksa
- c. Investasi dan biaya, merupakan salah satu dasar untuk menentukan prioritas tindakan yang akan dilaksanakan
- d. Potensi penghematan biaya, sebagai salah satu alasan kuat untuk melaksanakan tindakan yang direncanakan
- e. Prioritas, bertujuan untuk mempermudah perencanaan tindakan secara terstruktur. Prioritas ditentukan berdasarkan biaya yang diperlukan, potensi penghematan biaya, kemudahan dalam pelaksanaan serta jangka waktu yang diperlukan penanggung jawab, yaitu seseorang yang ditunjuk untuk bertanggung jawab dalam melaksanakan tindakan yang akan diambil

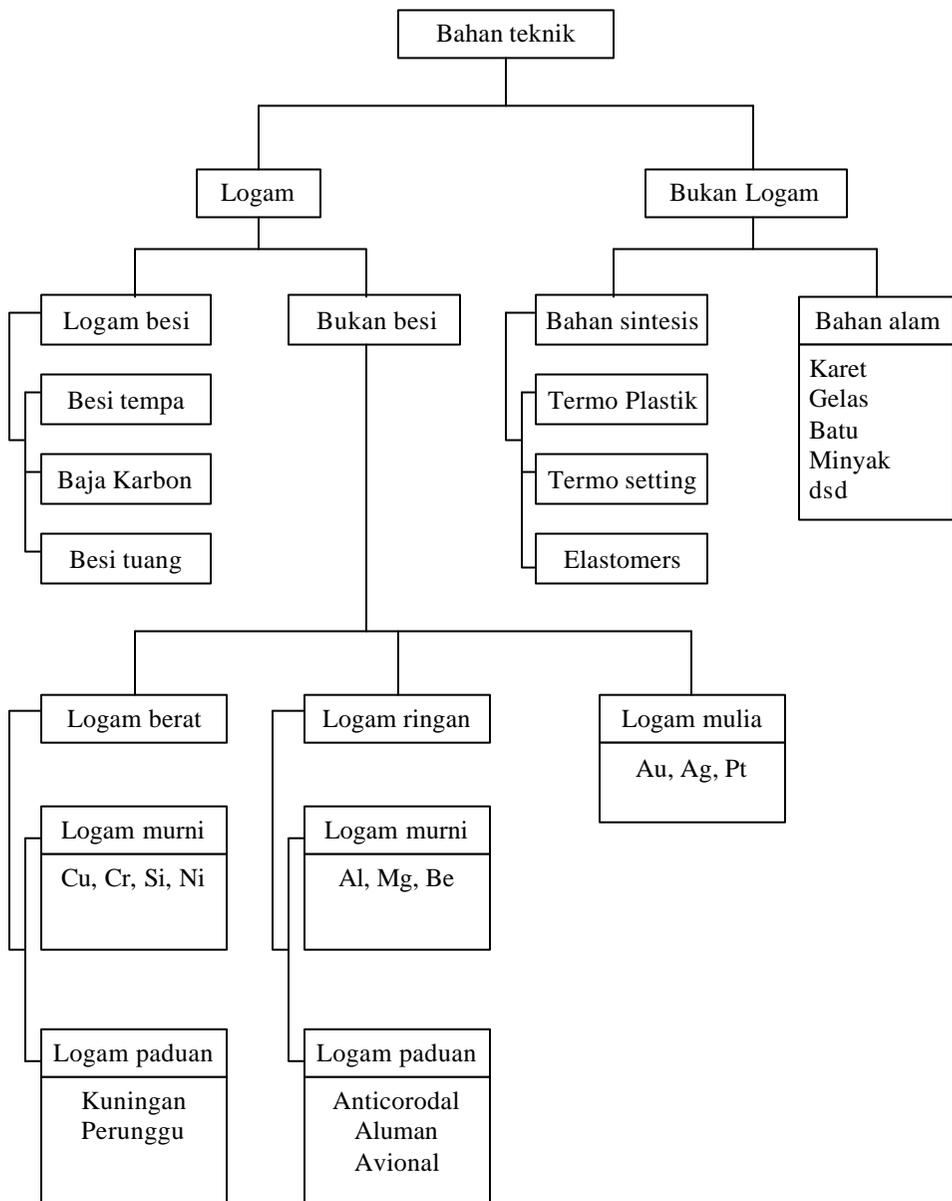
Dalam menyusun rencana tindakan perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- a. menunjuk penanggung jawab berdasarkan kemampuannya
- b. menyusun dan melakukan uraian kerja dalam melakukan tindakan yang diperlukan (siapa yang melakukan apa, dengan cara apa, dll)
- c. menetapkan jangka waktu yang realistis dan motivasi karyawan maupun penanggung jawab
- d. melakukan pemeriksaan terhadap hasil yang telah dicapai untuk melihat dan mencatat kemajuan yang dicapai sesuai dengan jangka waktu yang ditetapkan. Bila sasaran tidak tercapai Anda perlu menganalisa penyebabnya
- e. menetapkan target baru, sehingga Anda dapat melakukan perbaikan secara terus menerus
- f. melakukan pengkajian tahunan pada setiap bagian (proses) produksi yang berkaitan dengan praktek-praktek Tata kelola yang benar (menggunakan kembali daftar periksa Tata kelola yang benar)
Perkembangan dan penemuan bahan-bahan yang baru sangat

mempengaruhi desain, sebagai contoh dapat dikemukakan transistor, tanpa tersedianya bahan yang sesuai barang ini tidak dapat dibuat; pengembangan laser memerlukan jenis kristal dan gelas yang baru dan meskipun desain teknik dari mesin turbin gas mengalami kemajuan pesat, masih tetap di perlukan bahan yang lebih murah dan lebih tahan terhadap pengaruh suhu tinggi untuk sudut-sudut turbin.

Karena sifat-sifatnya yang menguntungkan, logam biasanya digunakan sebagai bahan dasar. Tetapi karena logam murni tidak selalu mempunyai ketahanan yang cukup dalam menghadapi serangan kimia dari bahan proses, maka umumnya dibuat logam paduan, atau logam yang murah ditutup atau dilapis logam mulia. Di samping itu, digunakan pula bahan seperti graft, atau bahan bukan logam, bahan anorganik seperti gelas, email dan keramik. Beberapa bahan tersebut memiliki kekuatan tarik yang rendah, tetapi lebih tahan terhadap bahan kimia (seperti asam kuat) dibandingkan logam, dan harganya cukup murah. Molekul dari bahan dasar organik mengandung ikatan rantai karbon yang memanjang, juga semen, asbes sering memiliki ikatan silang (*crosslink*). Jenis bahan organik yang digunakan terutama bahan sintetik yang diperoleh dari polimerisasi, karena hampir semua turunan polimer ini tahan terhadap asam, basa, kulit dan garam. Sebaliknya, sebagian besar bahan sintetik tidak tahan terhadap pelarut organik. Secara mekanik, bahan sintetik hanya dapat diberi beban yang tidak terlalu besar dan hanya bisa dipakai pada daerah temperatur yang terbatas. Pada temperatur yang lebih tinggi, bahan sintetik akan menjadi lunak atau terurai dan kebanyakan dapat terbakar (rantai karbon putus, molekul pecah). Bahan organik alami serta produk-produknya yang digunakan dalam jumlah terbatas adalah kayu (misalnya untuk filter press) dan karet (misalnya untuk selang dan kerat pelapis), yang juga digimakan sebagai bahan untuk kertas fitter dan kapas.

Karena merupakan penghantar listrik yang buruk, bahan dasar organik mudah mendapat muatan elektrostatis. Oleh karena itu, bahan tersebut jarang digunakan pada transportasi bahan proses elektrostatis. Oleh karena itu, bahan tersebut jarang digunakan pada transportasi bahan proses untuk memudahkan pembakaran, pengelompokan bahan dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Diagram bahan

2.5. LOGAM

Logam-logam yang banyak ditemukan dalam kehidupan kita sehari-hari, secara umum mempunyai sifat-sifat dapat mengkilat, dapat mengantar kalor dan listrik, berwarna putih seperti perak (kecuali

tembaga berwarna kemerah-merahan dan emas berwarna kuning). Logam-logam tersebut mempunyai kekerasan yang berbeda-beda mulai dari lunak sekali (natrium dan kalium) sampai keras sekali (seperti, chrom dll.) sementara raksa berbentuk cair.

Menurut massa jenisnya logam digolongkan atas logam berat (yang massa jenisnya diatas 5) dan logam ringan (yang massa jenisnya kurang dari 5).

Ditinjau dari sifat kimianya logam-logam mempunyai oksida-oksida pembentuk basa dan berdasarkan sifat-sifat logam terhadap oksida ini logam-logam tersebut dapat digolongkan menjadi;

- Logam Mulia, yaitu logam yang tidak dapat mengalami oksida, misalnya; Au, Pt, Ag dan Hg.
- Logam setengah mulia, yaitu logam yang agak sukar teroksidasi, misalnya Cu.
- Logam tidak Mulia, yaitu logam-logam yang dalam keadaan biasa dan pada perubahan temperatur mudah teroksidasi, misalnya K, Na, Mg, Ca, Al, Zn, Fe, Sn, Pb dll.

Sumber Logam (source of metal) adalah bijih-bijih logam yang diperoleh dari penambangan biasanya masih bercampur dengan bahan-bahan ikutan lainnya. Prosentase berat dari unsur-unsur yang terkandung didalam bijih-bijih ini bergantung pada kedalaman lapisan tanah dari mana bijih tersebut diperoleh, misalnya untuk lapisan tanah dengan kedalaman 16 Km. akan diperoleh bijih-bijih dengan 46,59 % Oksigen, 27,72 % Silikon dan selebihnya unsur lain termasuk logam-logam.

Logam-logam yang terdapat pada bijih-bijih ini biasanya masih dalam keadaan terikat dengan unsur-unsur lain (berupa senyawa), misalnya

- Berupa oksida-oksida (untuk bijih-bijih Fe, Mn, Cr, Sn dll.)
- Berupa karbonat-karbonat (untuk bijih-bijih Zn, Cu, Fe dll.)
- Berupa sulfida (untuk bijih-bijih Pb, Zn, Cu dll.),

2.5.1. Logam Besi (Ferrous Metal)

Logam besi didapat di alam (ditambang) antara lain

- Berbentuk batu, contoh batu besi merah (Fe_2O_3).
- Berbentuk pasir, contoh pasir besi titan (TiO_2).
- Berbentuk halus, contoh pasir besi spat (Fe_2CO_3)

Bijih besi ini sebelum diolah ke dalam dapur-dapur untuk mendapatkan bentuk/struktur sesuai dengan yang diinginkan.

Berikut ini kita bahas satu persatu dapur-dapur untuk mengolah bijih-bijih besi menjadi besi tuang atau baja sesuai dengan yang kita inginkan.

A. Dapur tinggi (*blast furnace*)

Pada umumnya dapur tinggi digunakan untuk mengolah bijih-bijih besi untuk dijadikan besi kasar. Besi kasar yang dihasilkan oleh dapur tinggi diolah kembali ke dalam dapur, untuk dijadikan baja atau baja tuang; juga besi tuang. Konstruksi dapur tinggi dapat dilihat pada gambar 2-1.

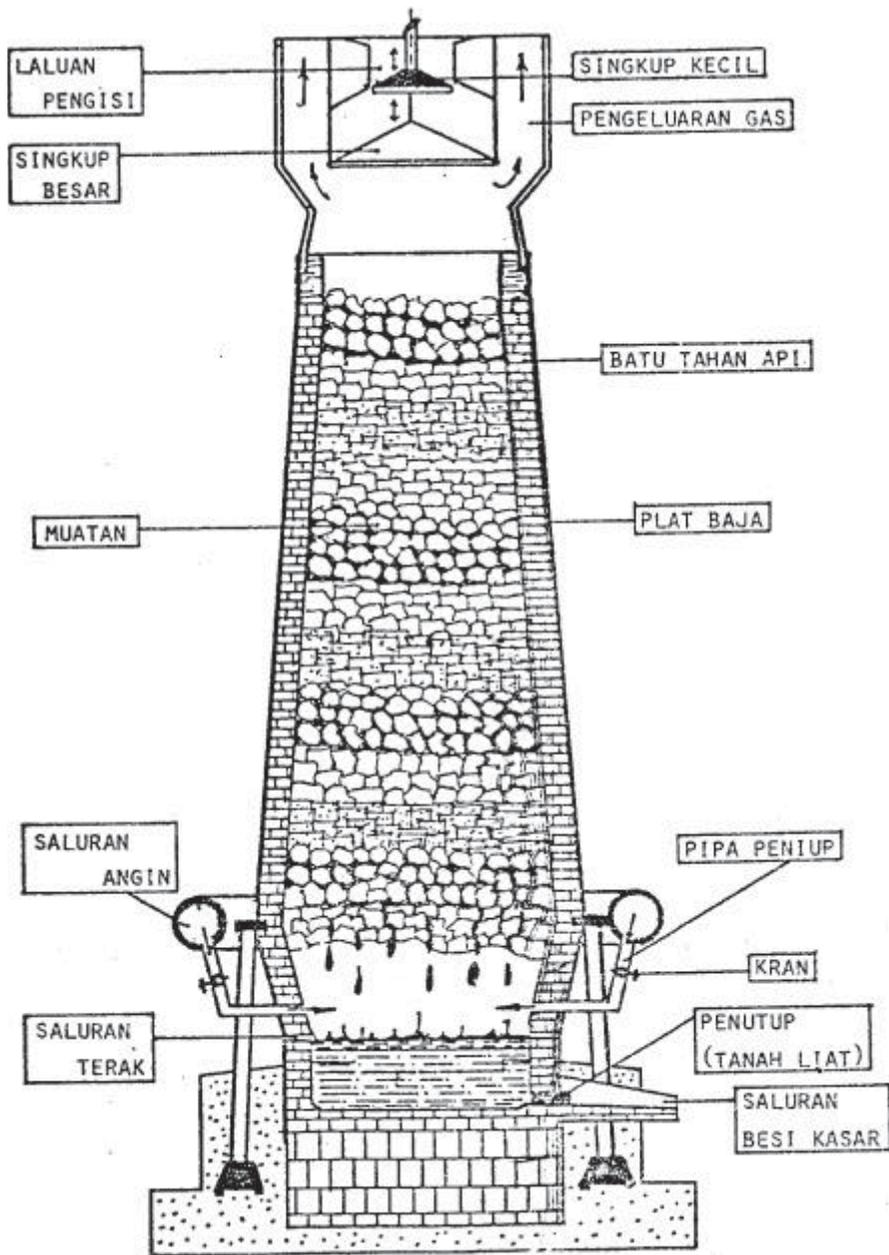
Bahan yang digunakan dalam proses dapur tinggi untuk menghasilkan besi kasar dari dapur tinggi diperlukan bahan-bahan antara lain : Bijih besi, batu kapur, bahan bakar dan udara panas.

1. Bijih Besi.

Bijih besi didapat dari tambang setelah melalui proses pendahuluan. Bijih besi merupakan bahan pokok dari dapur tinggi.

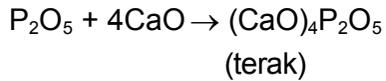
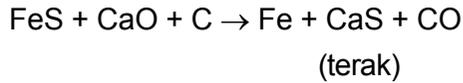
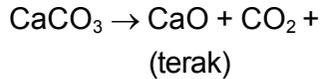
2. Batu Kapur.

Batu kapur digunakan untuk mengikat bahan-bahan yang ikut campur dalam cairan besi untuk menjadikan terak.



Gambar : 2.2. Dapur tinggi

Proses pengikatan bahan yang ikut dalam cairan besi antara lain dapat dilihat pada reaksi kimia sebagai berikut :



Dengan adanya terak yang terletak di permukaan cairan-besi ini, terjadinya oksidasi oleh udara dapat dihindari. Sebagai bahan tambahan biasanya digunakan batu kapur (CaCO_3) murni, kadang pula dolomit yang merupakan campuran dari CaCO_3 dan MgCO_3

3. Bahan Bakar.

Dahan bakar yang digunakan dalam proses dapur tinggi ialah kokas, arang kayu, juga antrasit,

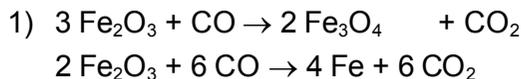
4. Udara panas.

Udara panas digunakan untuk mengadakan pembakaran dengan bahan bakar menjadi CO_2 dan gas CO guna menimbulkan panas, juga untuk mereduksi bijih-bijih besi. Udara panas dihembuskan dengan maksud agar pembakaran sempurna, hingga kebutuhan kokas berkurang. Pemanasan udara dilakukan pada dapur pemanas cowper.

B. Proses Kimia dalam Dapur Tinggi.

Operasi dapur tinggi modern secara ringkas sbb: Pada waktu bijih-bijih besi, bahan bakar dan tambak dimasukkan kedalam dapur, pertama-tama dihilangkan kelembaban dan kadar air pada daerah suhu 200-300°C.

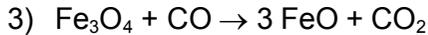
Dengan meningkatnya suhu, terjadinya reaksi tak langsung terhadap bijih-bijih besi dengan reaksi sbb:



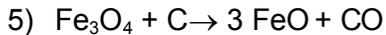
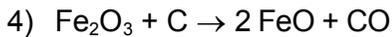
Pada suhu $\pm 535^\circ\text{C}$, carbon monoksida mulai terurai menjadi karbon bebas dan karbon dioksida, dengan reaksi sbb :



Pada daerah suhu 400 – 600°C, terjadi reaksi sbb:

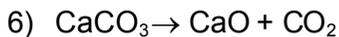


Pada suhu $\pm 400^\circ\text{C}$ reduksi langsung terdapat bijih-bijih besi sbb :



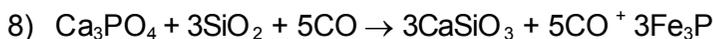
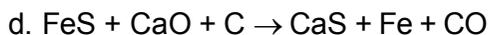
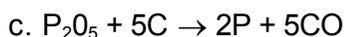
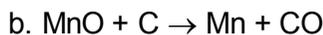
Pada daerah suhu $700 - 800^\circ\text{C}$ reduksi langsung ferro oksida mulai dengan membentuk besi spong yang mengandung karbon. Reaksi ini terjadi antara pertengahan (setengah jalan antara puncak dan dasar dapur tinggi).

Batu kapur terurai pada suhu 800°C . dan dolomit pada suhu 1075°C dengan reaksi :



Sementara besi spong memperoleh kandungan karbon yang menurunkan titik lebur dan dalam peleburan menyerap karbon dari kokas semakin lama semakin banyak.

Batu kapur mengikat kotoran-kotoran bijih besi dan abu kokas. Semakin ke bawah suhu semakin meningkat dan terjadi reduksi langsung paduan dan metalloid dan reaksi sbb



Didekat tuyer (Lubang tiup) ada hembusan udara panas yang mengenai kokas terjadi reaksi sbb:



Sehingga selalu ada gas CO yang dipakai untuk reduksi. Jadi kokas didalam dapur tinggi berfungsi selain sebagai sumber kalor adalah berfungsi untuk mereduksi oksigen dalam bijih-bijih besi.

C. Besi kasar

Ada dua macam besi kasar yang dihasilkan oleh dapur tinggi yaitu besi kasar putih dan besi kasar kelabu.

1) Besi kasar kelabu (*Kishy pig iron*)

Nama besi kasar ini didapat berdasarkan warna bidang patahnya, yang berwarna kelabu muda sampai tua hampir hitam. Besi kasar kelabu lebih halus lebih liat dibandingkan dengan besi kasar putih, Titik Cairnya $\pm 1300^{\circ}\text{C}$ dan berat jenisnya 7 Sampai 7,2, kg/dm^3

Besi kasar kelabu ada 2 macam yaitu

- Besi kasar kelabu muda.

Besi kasar ini mengandung silisium $\frac{1}{2} \% - 1 \%$ dan butir-butirnya halus baik untuk silinder mesin.

- Besi kasar kelabu tua.

Sifat-sifatnya mudah dituang butir-butirnya kasar juga tahan terhadap tekanan tinggi

2) Besi kasar putih (Forge pig iron).

Nama besi kasar ini juga didapat dari warna bidang patahnya. Pada besi kasar ini zat arangnya sebagian besar berbentuk karbid besi (Fe_3C), sehingga sifatnya keras dan getas. Titik cairnya + 1100°C . Kadar karbonnya 2,3 % - 3,5 %, dan kadar mangannya agak besar. Besi kasar ini paling baik untuk digunakan untuk baja berat jenisnya 7,58 - 7,73. kg/dm^3

D. Besi Tuang (Cast iron)

Susunan besi tuang biasa serupa dengan besi kasar yang dihasilkan oleh dapur tinggi.

- Komposisi pada besi tuang.

Besi tuang biasa mengandung unsur-unsur sebagai berikut:

| | |
|----------|-------------|
| Karbon | : 3 - 4 % |
| Silicon | : 1 - 3 % |
| Mangan | : 0,5 - 1 % |
| Belerang | : < 0,1 %. |
| Phospor | : < 1% |

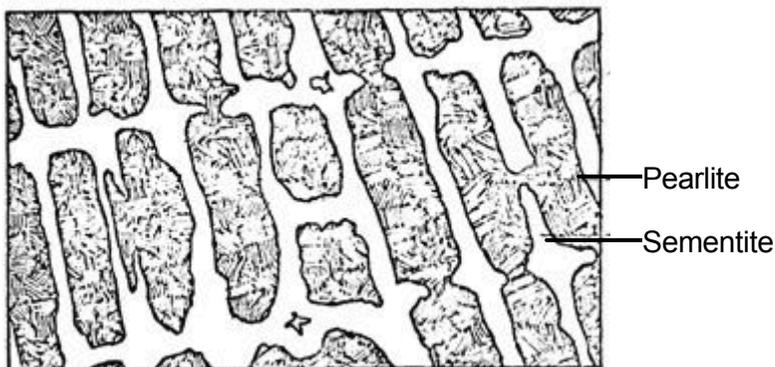
1. Pengaruh unsur-unsur terhadap sifat-sifat besi tuang.

Karbon yang berada dalam besi tuang berupa grafit atau besi karbid (sementit) yang rapuh. Bila besi tuang banyak mengandung sementit besi tuang menjadi rapuh dan sulit dimesin.

- Silikon.

Silikon (Si) mempermudah pemisahan grafit. Si, cenderung membentuk besi tuang kelabu dan membuat besi tuang mudah dimesin.

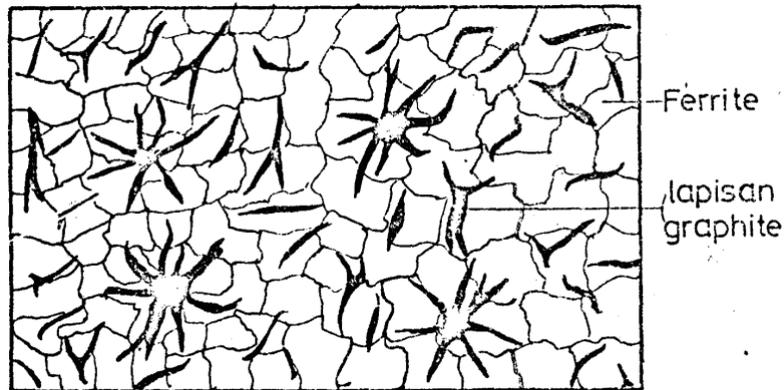
- Mangan.
Mn mencegah panggrafitan dan menggalakkan kestabilan sementit dan larut didalamnya. Ia membuat butir-butir halus yang perlitis dan mencegah pengendapan ferrit, dengan penambahan mangan akan didapatkan struktur perlit dan grafit yang menguletkan & menguatkan besi.
 - Belerang.
S menstabilkan sementit sehingga menyebabkan besi menjadi rapuh.
 - Phospor.
P mengurangi kelarutan karbon dan memperbanyak sementit, akibatnya besi menjadi keras dan rapuh.
 - Pengaruh kecepatan pendinginan. Jika didinginkan dengan cepat karbon akan dipaksa jadi sementit yang keras. Jika didinginkan dengan cepat karbon akan dipaksa jadi sementit yang keras. Jika didinginkan perlahan-lahan sementit terurai menjadi grafit.
2. Macam-macam besi tuang. .
- a. Besi tuang putih.
- Namanya diambil dari warna bidang patahnya. Karbon berbentuk sementit yang keras sehingga besi menjadi keras. Struktur logam dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Bentuk struktur besi tuang putih.

b. Besi tuang kelabu.

Namanya diambil dari warna bidang patahnya. Karbon dalam keadaan bebas. Sifat mampu mesinnya baik. Struktur besi tuang kelabu dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4. Bentuk struktur besi tuang kelabu.

c. Besi tuang cil

alah besi tuang yang permukaannya terdiri dari besi tuang putih dan bagian dalamnya terdiri dari besi tuang kelabu.

d. Besi tuang grafit bulat.

Disebut juga besi tuang nodules. Dibuat dengan jalan mencampurkan magnesium, kalsium atau serium ke dalam cairan logam.

Sifat-sifat kekuatan dan ketahanan tinggi, tahan aus juga tahan panas.

e. Besi tuang inoculated.

Dibuat dengan menambahkan kalsium silikon yang dicampur sebelum penuangan guna menghasilkan butiran-butiran halus. Sifat-sifat permesinan diperbaiki.

f. Besi tuang kelas tinggi.

Mengandung sedikit karbon silikon dan grafit bebasnya lebih kecil dibandingkan dengan besi tuang kelabu.

g. Besi tuang mampu tempa.

Dibuat dari besi tuang putih yang dilunakan dengan heat treatment. Struktur sementit dari besi tuang putih berubah menjadi ferrit dan perlit serta karbon yang ditemper mengendap.

Sifat-sifat sangat baik jika dibandingkan dengan besi tuang kelabu tetapi harganya mahal.

Paduan besi tuang.

Sifat-sifat yang dihasilkan unsur-unsur paduan pada besi tuang serupa dengan yang dihasilkan oleh unsur-unsur baja.

- Nikel (Ni)
Menghasilkan butiran-butiran halus juga menguletkan bagian tipis yang mudah retak.
- Chromium (Cr).
Menstabilkan karbid dan membentuk chromium karbid yang lebih keras dari pada sementit biasa. Untuk besi berdaya tahan tinggi.
- Molybdenum (Mo)
Menaikan kekerasan bagian yang tebal dan juga memperbaiki keuletan.
- Vanadium (V)
Meningkatkan keuletan dan kekerasan juga meningkatkan daya tahan panas dari besi tuang dengan menstabilkan cementite.
- Copper (Cu)
Cu hanya sedikit pengaruhnya tetapi disini digunakan terutama untuk memperbaiki daya tahan karat.

2.5.2. Logam-logam Yang Bukan Besi (Nonfero Metal)

A. Tembaga

Tembaga berwarna coklat keabu-abuan dan mempunyai struktur kristal FCC. Tembaga ini mempunyai sifat-sifat yang sangat baik yakni; sebagai penghantar listrik dan panas yang baik, mampu tempa, duktil dan mudah dibentuk menjadi plat-plat atau kawat.

Bijih-bijih tembaga dapat diklasifikasikan atas tiga golongan ;

- Bijih Sulfida
- Bijih Oksida
- Bijih murni (native).

Bijih-bijih tembaga yang terpenting

| Mineral | Rumus kimia | Kandungan tembaga |
|---------------|---|-------------------|
| Chalcopyrite | Cu Fe S_2 | 34,6 % |
| Bornite | $\text{Cu}_3 \text{Fe}_2 \text{S}_3$ | 55,6 70 % |
| Cholcocite | $\text{Cu}_2 \text{S}$ | 68,5 % |
| Melactite | $\text{Cu CO}_3 \text{Cu(OH)}_2$ | 57,4 % |
| Native Copper | Cu | 99,99 % |
| Herogenite | $\text{Cu}_2\text{O}_3 \text{CuO}_n \text{H}_2\text{O}$ | - |

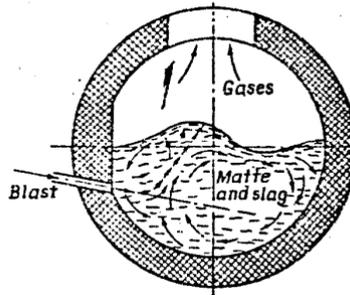
Proses pemurnian bijih tembaga :

Proses pemurnian bijih tembaga dapat dilakukan dengan dua cara;

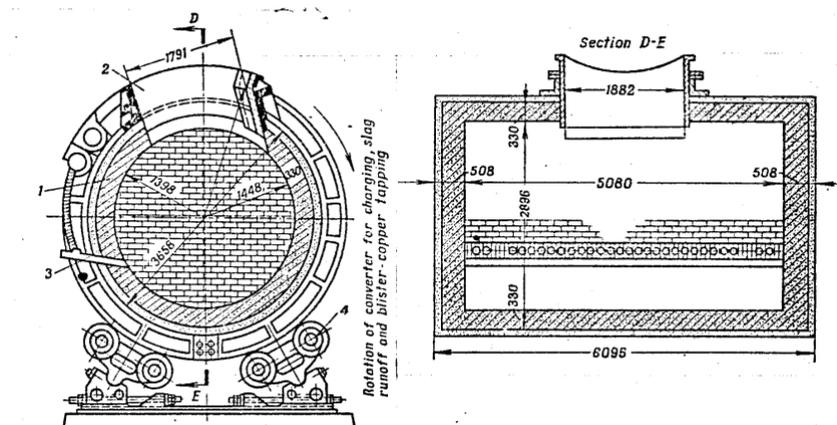
1. Proses Pyrometallurgy :

Proses ini menggunakan temperatur tinggi yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar. Bijih tembaga yang telah dipisahkan dari kotoran-kotoran (tailing) dipanggang untuk menghilangkan asam belerang dan selanjutnya bijih ini dilebur.

Berikut ini diberikan gambar dapur peleburan tembaga tersebut.



Gambar 2.5 Diagram proses konverter



Gambar 2.6. Konverter untuk Tembaga

1-lining; 2-nose or mouth; 3-tuyere; 4-roller stand. Pada peleburan tersebut bijih-bijih dipisahkan dari terak dan akan dihasilkan matte, selanjutnya matte ini diproses pada converter sehingga unsur-unsur besi dan belerang dapat dipisahkan dan akan menghasilkan tembaga blister.

Tembaga blister masih mengandung sejumlah unsur-unsur besi, belerang, seng, nikel, arsen dsb. sehingga blister ini harus diproses ulang (refining) yang pelaksanaannya dapat dilakukan pada Reverberatory

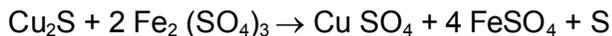
2. Proses Hydrometallurgy:

Metoda ini ini dilakukan dengan cara melarutkan bijih-bijih tembaga (*leaching*) ke dalam suatu larutan tertentu, kemudian tembaga dipisahkan dari bahan ikutan lainnya (kotoran).

– Untuk meleaching bijih tembaga yang bersifat oksida, digunakan asam sulfat (H_2SO_4), seperti ditunjukkan pada reaksi di bawah ini;

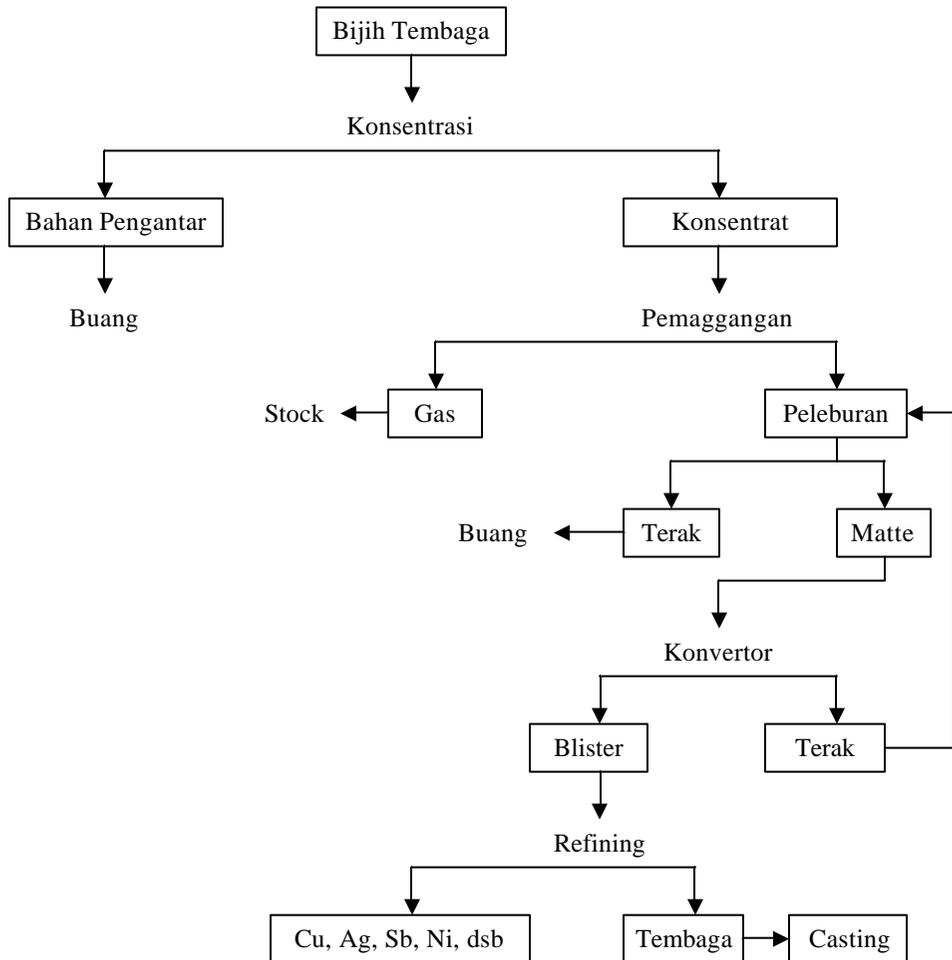


– Untuk meleaching bijih yang bersifat sulfida atau native digunakan ferri sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$), seperti bijih chalcocite di bawah ini ;



Untuk bijih chalcopyrite dan bornite, reaksinya berjalan lambat dan tidak dapat larut seluruhnya.

Setelah hasil *leaching* dipisahkan dari bagian-bagian yang tidak dapat larut, kemudian larutan ini diproses secara elektrolisa, sehingga didapatkan tembaga murni.



Gambar 2.7. Diagram Proses Pyrometallurgy Tembaga

Sifat-sifat Tembaga

Rapat massa am- ρ .tLf : 8,9 gr/cm³

Titik lebur : 1070-1093°C (tergantung kadar kemurniannya).

Sifat-sifat : - Tembaga murni adalah lunak, kuat dan malkabel,
- Konduktivitas panas dan listriknya sangat tinggi.

Penggunaan : Tembaga banyak digunakan untuk konduktor listrik, alat solder, pipa spiral pendingin, kerajinan tangan, sebagai bahan dasar pembuatan kuningan dan perunggu dll.

Kekuatan tarik : 200 - 300 N/mm²

B. Aluminium

Sifat aluminium yang menonjol adalah berat jenisnya yang rendah dan daya hantar listrik/panas yang cukup baik.

Logam aluminium mempunyai struktur kristal FCC. Logam ini tahan terhadap korosi pada media yang berubah-ubah dan juga mempunyai duktilitas yang tinggi.

Bijih-bijih Aluminium dapat digolongkan menjadi beberapa golongan, yaitu ;

- Bauksit; bijih ini didapat dalam bentuk batu-batuan yang berwarna merah atau coklat. Bauksit setelah dipisahkan dari kotoran-kotoran pengantar didapat kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Boehmite/diaspore ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), gibbsite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$),
- Nepheline ($(\text{Na K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)
- Alunite ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot \text{Al}(\text{OH})_3$)
- Cynite ($\text{Al}_4\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$); bijih ini tidak diproduksi untuk Aluminium, tetapi diproduksi untuk peleburan langsung paduan Aluminium-Silikon.

Metoda proses pemurnian Aluminium dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu ;

1). Proses Elektrothermis :

Pada proses ini bijih-bijih dicairkan / direduksi dalam dapur listrik sehingga diperoleh cairan Aluminium. Proses ini jarang digunakan karena diperlukan energi listrik yang sangat besar.

2). Proses Asam :

Pada proses ini bijih-bijih Aluminium dilarutkan dengan larutan asam (H_2SO_4 , HCl dsb.). Dari reaksi ini didapatkan garam $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{AlCl}_3$ dsb. Sehingga unsur-unsur pengantar dapat dipisahkan. Setelah garam terpisah dari pengantarnya baru kemudian dipisahkan logam dari garam tersebut.

Proses ini dalam industri digunakan dalam batas-batas tertentu, karena dibutuhkan peralatan-peralatan tahan asam yang sangat mahal.

3). Proses Alkaline :

Proses ini adalah effect dari reaksi bauksit dengan NaOH atau Na_2CO_2 dengan bahan Lambahan kapur/batu kapur. Dari hasil ini akan didapatkan Sodium Aluminate. Pada proses ini unsur-unsur

oksida besi, titanium, dan calcium dapat dipisahkan, dan silisium yang ada dalam bijih-bijih akan bereaksi dengan alkali yang mengakibatkan sebagian dari alkalis dan aluminium yang bereaksi akan mengotori aluminium yang akan dihasilkan. Oleh karenanya maka metode alkalin sering digunakan pada bijih-bijih dengan kandungan silika yang rendah.

Sifat-sifat Aluminium

| | |
|----------------|--|
| Rapat massa | : 2,7 gr/cm ³ |
| Titik lebur | : 660 ^o C |
| Kekuatan tarik | : Dituang : 90 – 120 N/mm ² |
| | di annealing : 70 N/mm ² |
| | di roll : 130 : 200 N/mm ² |
| Sifat-sifat | : - Paling ringan diantara logam-logam yang sering digunakan – Penghantar panas dan listrik yang tinggi – Lunak, ulet dan kekuatan tariknya rendah – tahan terhadap korosi |
| Penggunaan | : - Karena sifatnya yang ringan, maka banyak digunakan dalam pembuatan kapal terbang, rangka khusus untuk kapal laut modern, kendaraan-kendaraan dan bangunan-bangunan industri. – Karena ringan dan penghantar panas yang baik, banyak dipakai untuk keperluan alat-alat masak. – Banyak dipakai untuk kabel-kabel listrik karena konduktivitas listriknya tinggi dan relatif lebih murah jika dibandingkan dengan tembaga. – Aluminium tuang dibuat jika dikehendaki konstruksi yang ringan dengan kekuatan yang tidak terlalu besar. |

C. Nikel

Nikel mempunyai sifat yang keras, bentuk struktur kristalnya FCC. dan juga bersifat magnetis. Nikel cocok dibuat paduan binary dan ternary untuk memperbaiki sifat tahan korosi dan tahan panas.

Bijih-bijih nikel dapat diklassifikasikan menjadi dua golongan ;

– Bijih Sulfida; bijih ini mengandung:

| | | | | |
|-----|---|------|---|--------------------------------|
| 0,5 | – | 5,6 | % | Ni |
| 34 | – | 52 | % | Fe |
| 2 | – | 22 | % | SiO ₂ |
| 4 | – | 6 | % | Al ₂ O ₃ |
| 0,8 | – | 1,8 | % | Cu |
| 21 | – | 28 | % | S |
| 1,9 | – | 7 | % | CaO |
| | | 2,25 | % | MgO. |

– Bijih Silikat; terdiri dari .

| | | | | |
|-----|---|------|---|--------------------------------|
| 0,9 | – | 1,6 | % | Ni |
| | | 0,01 | % | Si. |
| 0,1 | – | 1,5 | % | CaO |
| 5,1 | – | 22 | % | MgO |
| 12 | – | 14 | % | Fe |
| 34 | – | 42 | % | SiO ₂ |
| | | 1 | % | Al ₂ O ₃ |

– Setelah bijih mengalami proses pendahuluan yang meliputi crushing-drying, sintering, kemudian bijih diproses lanjut secara

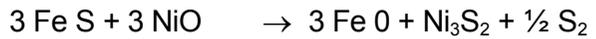
- Proses Pyrometallurgy
- Proses Hydrometallurgy

– Proses Pyrometallurgy

Reduksi yang terjadi pada proses ini hanya sebagian dari besi saja yang dapat diikat menjadi terak, dan sebagian besar masih dalam bentuk ferro-nikel alloy.

Dalam hal ini untuk memisahkan besi dari nikel pada reaksi peleburan tersebut ditambahkan beberapa bahan yang mengandung belerang (Gypsum atau Pyrite). Karena perbedaan daya ikat besi dan nikel terhadap oksigen dan belerang, sehingga proses ini didapatkan metal

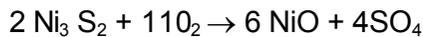
yaitu paduan Ni_3S_2 dan FeS dan sebagian besar besi dapat diterakkan.



Metal yang dihasilkan ini masih mengandung lebih dari 60 % Fe dan selanjutnya metal yang masih dalam keadaan cair terus diprosos lagi dalam konvertor. Proses-proses konvertor diberikan bahan tambah silikon untuk menterakkan oksida besi.

Terak hasil konvertor ini masih mengandung nikel yang cukup tinggi, sehingga terak ini biasanya di proses ulang pada peleburan (*Resmelting*).

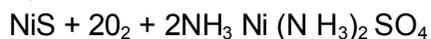
Proses selanjutnya metal di panggang untuk memisahkan belerang.



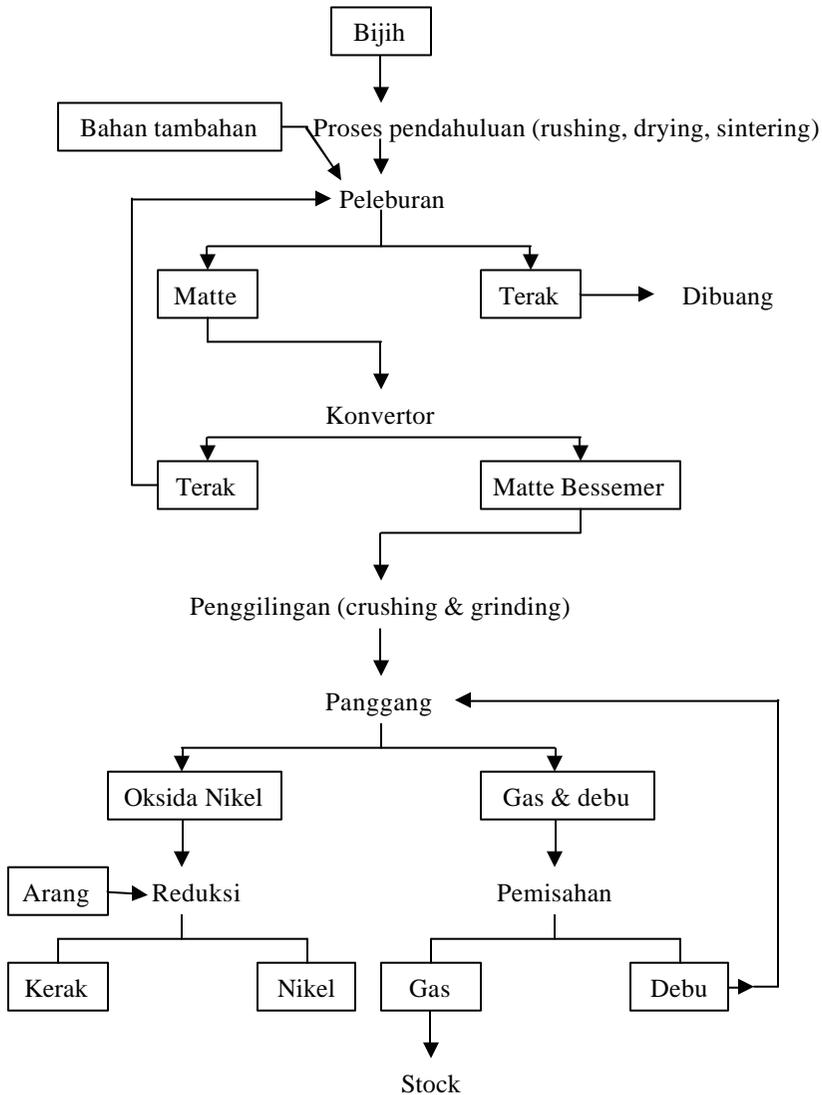
Nikel oxide yang didapat dari pemanggangan selanjutnya di reduksi dengan bahan tambah arang (charcoal), sehingga didapat logam nikel.

Pada proses ini concentrat di leaching dengan larutan ammonia didalam autoclave dengan tekanan kurang lebih 7 atm (gauge)

Tembaga, nikel dan cobalt terlarut kedalam larutan ammonia, reaksi yang terjadi



Pada gambar 2.8 ditunjukkan diagram proses pemurnian bijih nikel dengan metoda pyrometallurgy.

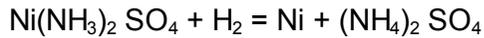


Gambar 2.8. Proses pemurnian biji nikel

Oksidasi sulfida menimbulkan energi yang cukup banyak, oleh karena itu autoclave harus didinginkan untuk menjaga agar temperatur tetap bertahan antara 77 - 80°C Belerang yang ada didalam concentrat dioksidasi menjadi $S_2O_3^{2-}$, $S_3O_6^{2-}$, SO_4^{2-} sementara itu besi dipisahkan sebagai ferri hidro oksida dan sulfat basa. Larutan tersebut dididihkan untuk memisahkan tembaga, reaksi yang terjadi



Selanjutnya larutan berisi nikel dan cobalt ini diproses dalam autoclave dengan hidrogen pada tekanan 15 atm (abs) dan temperatur 175 - 225⁰C



Sifat-Sifat Nikel

| | |
|----------------|---|
| Rapat massa | : 8,9 gr/cm ³ |
| Titik lebur | : 1455 C |
| Kekuatan tarik | : di annealing 400 – 500 N/mm ² di roll 700 - 800 N/mm ² |
| Sifat-sifat | : kuat, liat, tahan korosi, digunakan secara luas sebagai unsur paduan. |
| Penggunaan | : - digunakan untuk pelapisan logam - digunakan sebagai unsur paduan untuk meningkatkan kekuatan dan sifat-sifat mekanik baja. |

D. Magnesium

Magnesium tergolong logam ringan, dan tahan terhadap karat berkat lapisan oksida magnesium.

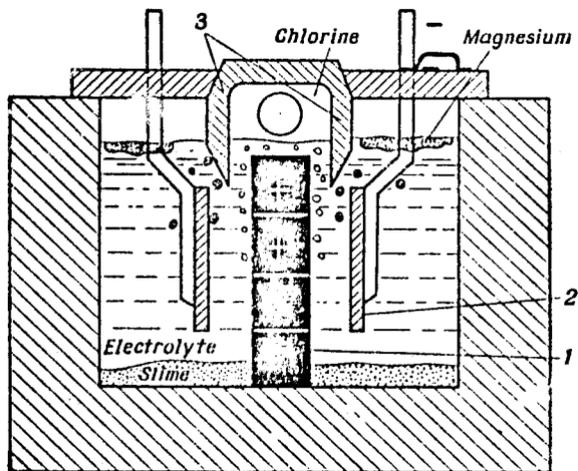
Magnesium alloy dapat di tuang pada cetakan pasir dan juga dapat dilas dan di mesin.

Biji magnesium yang banyak kita kenal adalah Magnesit/ Magnesium karbonat) MgCO₃, Dolomite CaCO₃, MgCO₃, carolite MgCl₂KCl₆ H₂O. Proses pemurnian magnesium dapat dilakukan dengan metode thermal atau Electrolitic.

1. Thermal proses adalah didasarkan pada reduksi magnesium oksida dengan karbon, silikon atau unsur lain pada temperatur dan vakum yang tinggi.

Thermal proses ini terdiri dari :

- Reduksi pendahuluan bijih.
- Reduksi penguapan dan pengembunan uap magnesium
- Peleburan kristal (condensat crystal) menjadi magnesium kasar.



Gambar 2.9. Magnesium Electrolytic cell

- a. anode
- b. cathode
- c. dinding pemisah (hood)

2. Proses Elektrolisis

Proses ini terdiri dari beberapa tingkat, yang prinsipnya adalah pengerjaan pendahuluan dari garam magnesium anhidrous murni, elektrolisa campuran dan refining.

Masing-masing proses ini dibedakan menurut bijih yang digunakan (dapat juga carnalite, magnesium, chlorida, dsb), dan cara pengerjaan pendahuluannya (magnesite chlorination, dihidration of magnesium chloride, etc).

Elektrolit larutan garam magnesium dalam teknik tidak digunakan lagi karena magnesium lebih elektro magnetik dibanding dengan ion hidrogen pada katoda dan tidak ada cara untuk memperbaiki teknik tersebut .

Sifat-sifat magnesium :

Rapat massa : 1,74 gram/cm³

Titik iebur : 657°C

Sifat-sifat : - lunak dan kekuatan tariknya rendah.
- tahan korosi.

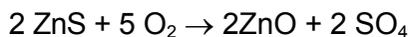
Penggunaan : Magnesium umumnya dipadu dengan unsur-unsur lain untuk memperoleh bahan-bahan struktural terutama digunakan untuk roda pesawat terbang, panel-panel pesawat. Penggunaan lain adalah untuk "Pyrotechnic", "Explosive technics" dan "Flash lights"

E. Seng

Seng tergolong logam rapuh, tetapi pada temperatur 100°-150°C mempunyai sifat-sifat mudah diroll dan ditarik menjadi kawat. Logam ini mempunyai susunan kristal hcp. Dari produksi seng 45% digunakan untuk galvanisasi (pelapisan agar tahan terhadap karat). Seng ini juga sangat cocok digunakan untuk paduan brass, bronze dsb.

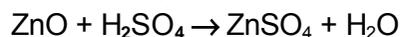
Bijih seng terdapat dalam bentuk berbagai mineral antara lain hemomorphite $Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$, Smith Souite $ZnCO_3$ dsb. Proses pemurnian seng dapat dilakukan dengan metode destilasi (Pyrometallurgy), metode Elektrolisa (Hydrometalurgy). Sebelum proses destilasi, konsentrate terlebih dahulu dipanggang, sementara untuk proses Elektrolisa konsentrat didahului dengan proses leaching.

- Pemanggangan : bertujuan untuk memisahkan seng dari belerang, prinsipnya :



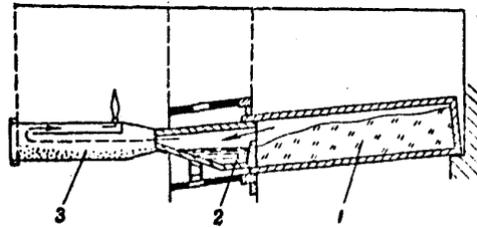
tinggi temperatur pemanggangan tergantung pada jenis bijih dan besar butirannya.

- Leaching : bertujuan untuk mengubah seng oksida menjadi larutan seng sulfat ($ZnSO_4$)



- Dalam proses destilasi ini konsentrat dan batu bara dibakar dalam dapur sehingga temperatur mencapai 1400°C. Pada dapur ini seng di reduksi menjadi uap, reaksinya adalah $ZnO + CO = Zn_{\text{uap}} + CO_2$

Uap seng ini kemudian diembunkan dalam kondensor



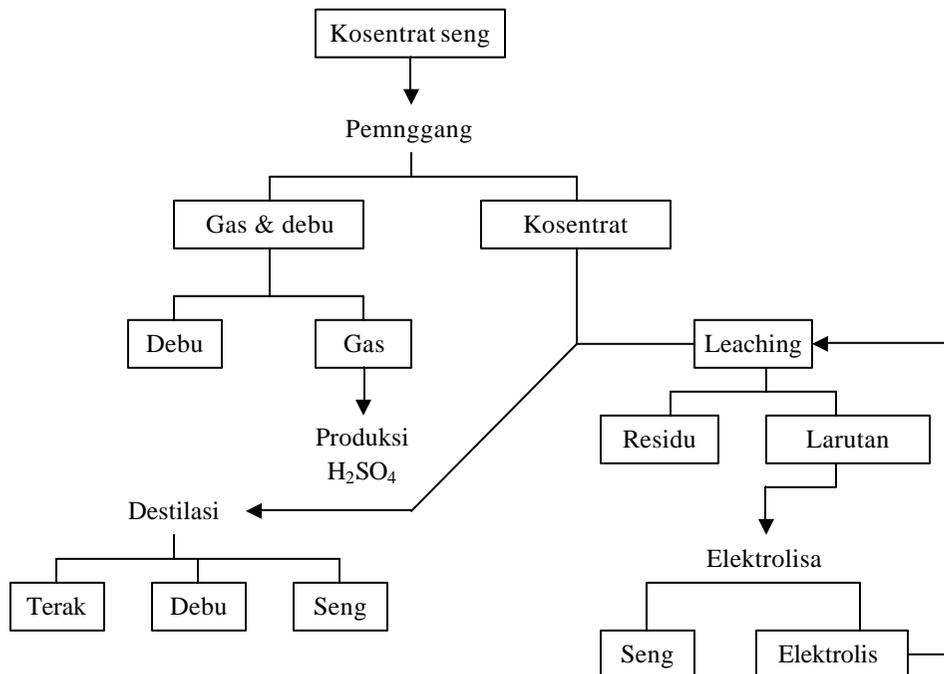
Gambar 2.10. Diagram proses destilasi mendatar

- Pada proses hydrometallurgy konsentrat yang telah di panggang di leaching dengan asam belerang.

Seng sulfat yang didapat dari leaching tersebut dipisahkan dan kemudian di elektrolisa.

Pada proses elektrolisa ini logam seng mengendap pada katode dan oksigen dilepaskan pada katode.

Larutan yang tertinggal adalah larutan asam belerang dan dapat digunakan untuk proses elektrolisa ulang. Reaksi pada elektrolisa ini dapat dituliskan sebagai berikut:



Gambar 2.11 Diagram pemurnian logam Seng

Sifat-sifat Seng

Rapat massa : - 7,1 gram/cm²

Titik lebur : - 4200 C

Kekuatan tarik : - dituang 30 N/mm²
dipress/ditekan 140 N/mm²

Sifat-sifat : - lunak, ulet dan kekuatan tariknya rendah tahan terhadap korasi

Penggunaan : - banyak digunakan untuk melapisi pelat baja untuk mendapatkan "galvanised iron"
- dasar dari paduan penguangan cetak
- sebagai unsur paduan pembuatan kuningan.

F. Timbal

Timbal berwarna abu-abu ke biru-biruan, logam ini sangat lunak/lembek dan mampu tempa. Logam timbal mempunyai struktur kristal f c c , dan mempunyai sifat konduksi panas/listrik yang baik, kekerasannya 1/10 logam tembaga. Timbal diproduksi dari bijih timbal atau hasil sampingan dari bijih logam lain.

Bijih timbal didapatkan dalam bentuk berbagai mineral antara lain Galena PbS, Cerusite PbCO₃ dan Anglisme PbSO₄. Kadang-kadang bijih timah hitam lebih banyak mengandung seng dari pada timbal, sehingga disebut bijih seng timbal. Proses pemurnian bijih timbal dapat dilakukan menjadi 3 macam :

1. Reduksi bijih timbal dengan besi sulfid (FeSO₃)

Metode ini merupakan dasar peleburan (smelting proses) disini dihasilkan timbal dan metal sulfida untuk mendapatkan timbal murni dapat dilakukan dengan metode yang lain. Metode ini jarang digunakan karena cukup mahal dan cukup rumit.

2. Reduksi antara timbal sulfida (PbS) dan timbal sulfat/oxide (PbO)
Reduksi udara atau reaksi pemanggangan menghasilkan bentuk timbal dan oksida belerang.

Sistim ini merupakan dasar peleburan (ore-hearth-smelting) yang digunakan sejak jaman dahulu.

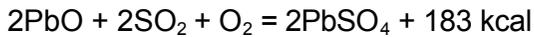
3. Reduksi oksida timbal dengan karbon atau Carbon mono oxide
Dalam proses ini meliputi pengerjaan pendahuluan oksida timbal, timbal silikat atau senyawa oksida lainnya dengan Cara pemanggangan dan sintering.

Untuk metode 1 dan 2 di atas peleburannya dilaksanakan pada dapur ore hearth dan dapur tinggi (*blast furnace*). Sebelum konsentrat dilebur pada are heart furnace, kosentrat tersebut harus dipanggang lebih dahulu pada "Blast roasting".

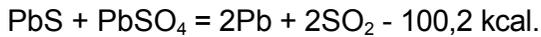
Dalam pemanggangan ini sulfida terbakar dan membentuk sulfida dioxida :



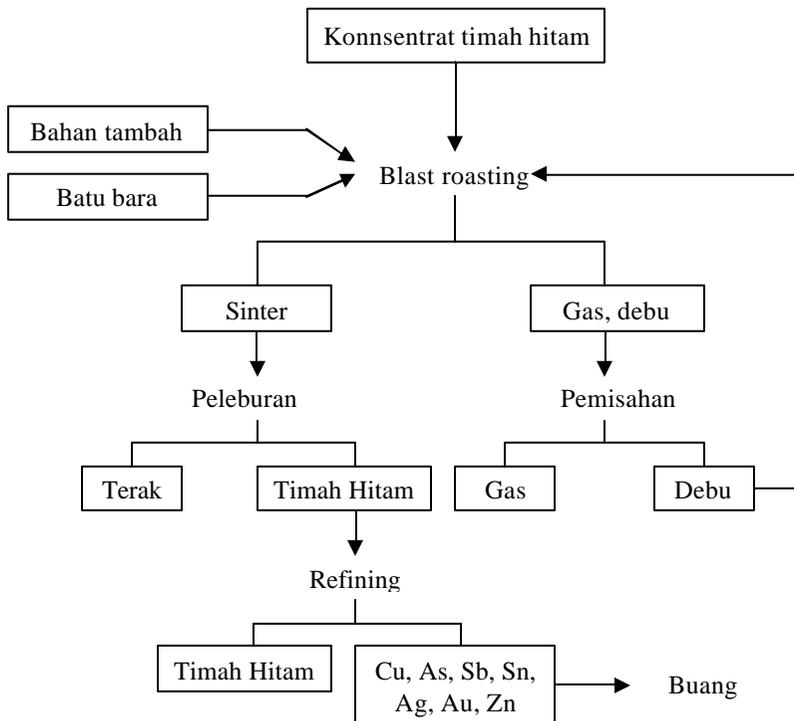
Proses pada ore-heart-smelting proses berlangsung pada temperatur 700 - 800°C dan reaksi yang terjadi :



Oksidasi yang terjadi dimulai dari permukaan partikel-partikel dan secara perlahan-lahan masuk kedalam. Interaksi yang terjadi antara oksida bagian dalam partikel dan sulfat pada bagian permukaan menghasilkan timbal



Dalam prakteknya timbal yang didapat masih mengandung unsur lain 1 : 8% (Au, Ag, Cu, Zn, As, Sb, Bi, Fe). Timah hitam ini perlu di refining yang pelaksanaannya dengan metode pyrometalurgy.



Gambar 2.12. Diagram pemurnian timah hitam

Sifat-sifat Timbal :

Rapat massa Relatif : 11,36 gr/cm³

Titik lebur : 328° C

Kekuatan tarik : 15 - 20 N/mm²

Sifat-sifat : - lunak, ulet dan kekuatan tariknya sangat rendah.
- tahan sekali terhadap korosi.

Jenis penggunaan : - pelindung kabel listrik
- kisi-kisi pelat aki
- pelapis pada industri-industri kimia.
- dasar dari paduan solder
- ditambahkan pada logam lain menjadi kanya "*free cutting*".

Leaching : pada leaching ini digunakan larutan asam Hidro chlorida (HCl). Hal ini dimaksudkan untuk memisahkan unsur-unsur Fe, Pb, As pada temperatur ± 130°C.

Pemisahan : secara magnetis, setelah di leaching bijih perlu dipisahkan dari unsur-unsur yang magnetis (*magnetive*) setengah magnetis (*Tangstate*) dan didapatkan unsur non magnetic (*cassiteric*). Setelah proses pendahuluan dilanjutkan dengan peleburan (*Reduction smelting*).

Pemurnian konsentrat ini menggunakan metode pyrometallurgy Metode hidrometallurgy tidak dapat digunakan karena *cassiteric* tidak dapat larut pada larutan asam dan alkalis. Proses ini dapat dilakukan pada dapur Reverberatory atau dapur listrik.

Hasil dari smelting didapatkan timah kasar (*pig tin*). Sebelum dipasarkan timah kasar ini harus diproses lagi pada refining untuk mencapai standard tertentu.

Sifat-sifat timah :

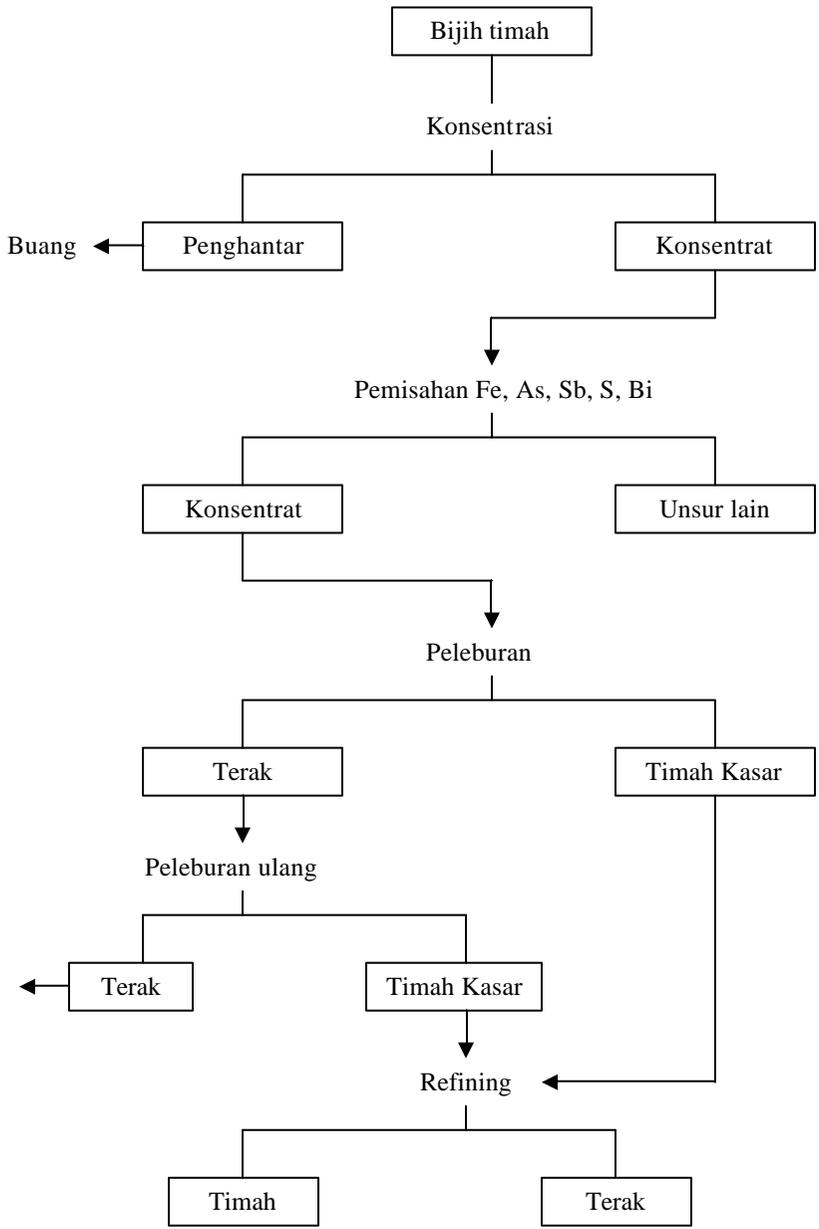
Rapat massa relatif : 7,3 gr/cm³

Titik lebur : 2320 C

Kekuatan tarik : 40 : 50 N/mm²

Sifat-sifat : tahan korosi

Penggunaan : - untuk melapisi pelat baja lunak
- digunakan untuk sifat solder
- dipadu dengan logam lainnya.



Gambar 2.14. Diagram pemurnian timah

2.5.3. Paduan Logam (Metal Alioys)

A. Baja Paduan

Baja dikatakan dipadu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan Baja karbon biasa yang terdiri dari unsur silisium dan mangan. Baja paduan semakin banyak digunakan.

Unsur yang paling banyak digunakan untuk baja paduan, yaitu: Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb dan Zr. Baja paduan dapat diklasifikasikan sesuai dengan komposisi

- struktur dan
- penggunaan

1. Komposisi :

Berdasarkan komposisi baja paduan dibagi lagi menjadi :

- Baja tiga komponen : terdiri satu unsur padu dalam penambahan Fe dan C.
- Baja empat komponen : terdiri dua unsur padu dst.

Sebagai contoh baja paduan kelas tinggi terdiri: 0,35% C, 1% Cr, 3% Ni dan 1% MO.

2. Struktur.

Baja paduan diklasifikasikan: berdasarkan :

- 1) Baja pearlit
- 2) Baja martensit
- 3) Baja austenit
- 4) Baja ferric
- 5) Karbid atau ledeburit.

Baja pearlit (sorbit dan troostit), didapat, jika unsur-unsur paduan relatif kecil maximum 5% Baja ini mampu dimesin, sifat mekaniknya meningkat oleh heat treatment (hardening & tempering) Baja martensit, unsur padunya lebih dari 5 %, sangat keras dan sukar dimesin.

Baja austenit, terdiri dari 10 - 30% unsur padu tertentu (Ni, Mn atau CO) Misalnya : Baja tahan karat (Stainless steel), nonmagnetic dan baja tahan panas (heat resistant steel).

Baja Ferrit, terdiri dari sejumlah besar unsur padu (Cr, W atau Si) tetapi karbonnya rendah. Tidak dapat dikeraskan.

Baja Karbid (ledeburit), terdiri sejumlah karbon dan unsur-unsur pembentuk karbid (Cr, W, Mn, Ti, Zr).

3. Penggunaan :

Berdasarkan penggunaan dan sifat-sifatnya, baja paduan diklasifikasikan.

- Baja konstruksi (*structural steel*)
- Baja perkakas (*tool steel*)
- Baja dengan sifat fisik khusus.

Baja Konstruksi, dibedakan lagi mejadi; tiga golongan tergantung persentase unsur pepadunya, yaitu

- Baja paduan rendah (maximum 2 %)
- Baja paduan menengah (2 - 5 %)
- Baja paduan tinggi (lebih dari 5 %)

Sesudah di *heat treatment* baja jenis ini sifat-sifat mekaniknya lebih baik dari pada baja karbon biasa.

Baja Perkakas, dipakai untuk alat-alat potong, komposisinya tergantung bahan dan tebal benda yang dipotong/disayat, kecepatan potong, suhu kerja.

- Baja perkakas paduan rendah, kekerasannya tak berubah hingga pada suhu 250 °C .
- Baja perkakas paduan tinggi, kekerasannya tak berubah hingga pada suhu 600°C.

Biasanya komposisinya terdiri dari 0,8% C, 18% W, 4% Cr, dan 1% V. Ada lagi terdiri 0,9% C, 9 W, 4% Cr dan 2-2,5% V.

Baja dengan sifat fisik khusus, dapat dibedakan sebagai berikut :

- Baja tahan karat : 0,1 - 0,45% C ; 12 - 14% Cr.
- Baja tahan panas : 12 - 14% Cr tahan hingga suhu 750-800°C
15 - 17% Cr tahan hingga suhu 850 1000°C
- Baja tahan pakai pada suhu tinggi.
23% - 27 % Cr, 18 -21% Ni, 2-3% Si,
13-15 % Cr, 13-15% Ni
2 % - 2,7% W, 0,25 - 0,4% MO, 0,4 - 0,5 % C

Baja paduan istimewa lainnya terdiri 35-44% Ni dan 0,35% C, memiliki koefisien muai yang rendah yaitu :

- Invar : memiliki koefisien muai sama dengan nol pada suhu 0 - 100 °C. Digriakan untuk alat ukur presisi.
- Platinite : memiliki koefisien muai seperti glass, sebagai pengganti platina.
- Elinvar : memiliki modulus elastisitet tak barubah pada suhu 50°C sampai 100°C. Digunakan untuk pegas arloji dan berbagai alat ukur fisika.

Paduan patong:

Paduan potong digunakan untuk alat-alat potong yang beroperasi sampai suhu 1000-1100°C. tidak dapat dimesn secara biasa.

Diproduksi dangan dua cara :

- casting cutting alloys atau stellites, terdiri dari sejumlah besar cobalt dan wolfram, memiliki kekerasan (HRc= 60-65) dan mencair pada suhu tinggi. Batang-batang tuangan paduan ini dengan ketebalan 5-10mm digunakan untuk memperkeras permukaan dengan disambung pada ujung alat-alat potong untuk meningkatkan umur (lama pemakaian).
- cemented carbides, dibuat dari campuran powder (serbuk) wolfram dan titanium carbide dan cobalt yang disatukan secara proses *powsere metallurgy*. Kekerasannya mencapai lebih dari 85 HRc, dan tetap keras hingga suhu 1000°C.

B. Paduan Nonferro

Logam-logam nonferro dan paduannya tidak diproduksi secara besar-besaran seperti logam besi, tetapi cukup vital untuk kebutuhan industri karena memiliki sifat sifat yang tidak ditemukan pada logam besi dan baja.

Sifat-sifat paduan logam nonferro adalah :

- mampu dibentuk dengan baik.
- massa jenisnya rendah.
- penghantar panas dan listrik yang baik.
- mempunyai warna yang menarik.

- tahan karat.
- kekuatan dan kekakuannya umumnya lebih rendah dari pada logam ferro
- sukar dilas.

1. Paduan aluminium (aluminium alloy)

Paduan aluminium banyak dipakai dalam industri yang dapat dibagi dalam dua golongan utama :

a) *Wrought alloy*: dibuat dengan jalan *rolling*, (paduan tempa) *forming, drawing, forging* dan *press working*.

b) *Casting alloy*: dibuat berdasarkan pengecoran (paduan tuang)

Paduan aluminium tempa mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi mendekati baja. Paduan ini dibedakan lagi berdasarkan :

- a. dapat di heat treatment
- b. tak dapat di heat treatment.

Paduan aluminium yang tak dapat di heat treatment yaitu Al - Mn (1,3% Mn) dan Al - Mg Mn (2,5% Mg dan 0,3% Mn), memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, ductil, tahan korosi dan dapat dilas. Paduan aluminium tuang merupakan paduan yang kompleks dari aluminium dengan tembaga, nikel, besi, silikon dan unsur lain.

Duraluminium (dural) adalah paduan Al - Cu - Mg, dimana Mg dapat ditambahkan (meningkatkan kekuatan, dan ketahanan korosi) dan begitu juga dengan penambahan Si & Fe.

Komposisi dural : 2,2-5,2% Cu, diatas 1,75 % Mg, di atas 1% Si, diatas 1% Fe, dan diatas 1% Mn. Paduan aluminium yang terdiri dari 8-14% Si disebut silumin. Paduan aluminium dengan (10 - 13% Si & 0,8% Cu) dan (8 -10% Si, 0,3% Mg & 0,5% Mn) mempunyai sifat-sifat dapat dituang dengan baik dan tahan korosi serta ductile.

2. Paduan Magnesium

Sifat-sifat mekanik magnesium terutama memiliki kekuatan tarik yang sangat rendah. Oleh karena itu magnesium murni tidak dibuat dalam teknik.

Paduan magnesium memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik serta banyak digunakan.

Unsur-unsur paduan dasar magnesium adalah aluminium, seng dan mangan.

Penambahan Al diatas 11%, meningkatkan kekerasan, kuat tarik dan fluidity (keenceran)

Penambahan seng meningkatkan ductility (perpanjangan relatif dan castability (mampu tuang) .

Penambahan 0,1 - 0,5 % meningkatkan ketahanan korosi. Penambahan sedikit cerium, zirconium dan beryllium dapat membuat struktur butir yang halus dan meningkatkan ductility dan tahan oksidasi pada peningkatan suhu.

Ada dua kelompok besar magnesium paduan

- a) Wrought alloy : (0,3% Al, 1,3% - 2,5% Mn) dan
(3 - 4% Al, 0,6% Zn & 0,5% Mn).
- b) casting alloy : (5 - 7% Al, 2 - 3% Zn & 0,5% Mn) dan
(8 % Al, 0,6 % Zn & 0,5 % Mn).

3. Paduan Tembaga

Ada dua kelompok besar yaitu :

- brass dan
- bronze.

Brass (kuningan)

Paduan tembaga dan seng dinamakan brass. Penambahan sedikit timah, nikel, mangan, aluminium, dan unsur-unsur lain dalam paduan tembaga seng dapat mempartinggi kekerasan dan kekuatan serta tahan korosi (special - brass).

Bronze (perunggu) .

Paduan tembaga dan timah dengan penambahan sedikit aluminium, silikon, mangan, besi dan beryllium disebut bronze. Dalam prakteknya yang paling banyak digunakan adalah perunggu dengan 25 - 30% Sn.

Wrought bronze, terdiri dari paling tinggi 6% Sn dan casting bronze lebih dari 6% Sn.

Special bronze, yaitu paduan dengan dasar tembaga dicampur Ni, Al, Mn, Si, Fe, Be dll.

Aluminium bronze, terdiri dari 4 – 11% Al, mempunyai sifat-sifat mekanik yang tinggi dan tahan korosi serta mudah dituang.

Bronze dengan penambahan besi dan nikel memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, tahan panas, digunakan untuk fitting dapur dan bagian-bagian mesin yang permukaannya bersinggungan dengan metal, yaitu perunggu dengan penambahan seng.

Phosphor bronze terdiri dari – 95% Cu, 5% Sn dan 0,2% P, dan digunakan untuk saringan kawat, koil dan pegas pelat.

Silikon bronze, memiliki sifat-sifat mekanik yang tinggi, tahan aus dan anti korosi dan mudah dituang maupun dilas.

Beryllium bronze, memiliki sifat mekanik yang tinggi tahan korosi, tahan aus dan ductil, daya hantar panas/listrik yang tinggi.

Monel, komposisinya 31% Cu, 66% Ni, 1,35% Fe, 0,9% dan 0,12% C sifat tertarik bagus dan ductil, tahan korosi dalam air lautan larutan kimia.

4. Paduan tahan aus (*anti friction alloy*).

Bahan paduan tahan aus terutama digunakan untuk permukaan bantalan (*bearing*).

Logam bantalan harus memenuhi syarat, koefisien gesek antara poros dan bantalan harus serendah mungkin mampu menahan panas akibat gesekan, tahan tekanan beban, dll.

Beberapa logam bantalan :

- babbitt
- bronze tahan aus
- besi tuang tahan aus
- non logam tahan aus.

Babbitt

Babbitt terdiri dari timah, antirron, timbal dan tembaga serta unsur lain yang memiliki sifat tahan aus. Bahan dasar babbitt yang digunakan di industri adalah timbal atau logam lain sebagai pengganti timah yang mahal.

Calcium babbitt terdiri dari : 0,8-1,1 % Ca dan 0,75 - 1% Ni sisanya, adalah Pb.

Bronze tahan aus,

Digunakan untuk bantalan biasa dengan beban spesifik yang tinggi .

Besi tuang tahan aus.

Cocok untuk bantalan biasa yang bekerja dengan tekanan spesifik tinggi, tetapi kecepatan/putaran dari poros rendah.

Konposisinya : 3,2 - 3,6% C, 2,2 - 2,4% Si, 0,6 - 0,9% Mn, dan memiliki struktur pearlit dengan sejumlah grafit normal ($H_B = 170 - 229$),

5. Paduan titanium (titanium: alloy).

Sebagai bahan teknik titanium banyak penggunaannya. Titanium adalah logam dengan warna putih keperak-perakan, titik lebur 1668°C dan masa jenisnya $4,505 \text{ kg/dm}^3$

Titanium tidak murni/campuran dalam perdagangan dapat digolongkan .

- unsur-unsur yang membentuk interstisi larutan padat (solid solution) O_2 , N, C dan H_2 dan lain lain.
- Unsur-unsur yang membentuk substitusi larutan padat (Fe dan unsur-unsur logam lain).

Oksigen dan nitrogen dengan persentase kecil dalam titanium alloy dapat mengurangi ductility secara drastis. Kandungan karbon dengan lebih dari 0,2% menurunkan ductility dan kekuatan pukul dan titanium alloy. Paduan titanium alloy.

Paduan titanium terdiri dari vanadium, molibden, chrom, mangan, aluminium timah, besi dll.

Memiliki sifat-sifat mekanik yang tinggi dengan harga jenis yang rendah, sangat tahan korosi, banyak digunakan dalam industri pesawat terbang.

2.5.4. Logam-logam Sinter (*Powder Metallurgy*)

A. Pendahuluan

Powder Metallurgy adalah proses dimana sejumlah kecil komponen dihasilkan dengan pengepresan dan sinter serbuk logam dan serbuk keramik bersama-sama.

Proses ini mempunyai keuntungan, ini disebabkan oleh:

1. Kebutuhan akan bahan serbuk berkualitas tinggi yang makin besar.
2. Mengurangi ongkos pengerjaan selanjutnya.

3. Cara praktis untuk menghasilkan komponen yang istimewa.

Keuntungan dari proses ini ialah :

1. Komponen dapat dibuat sampai tingkat ukuran yang teliti tanpa finishing.
2. Proses ini mampu memproduksi komponen-komponen dengan titik cair tinggi seperti misalnya perkakas tungsten karbid.
3. Komposisi yang dikehendaki lebih teliti dari pada pengecoran.
4. Mampu memproduksi paduan logam yang tidak dapat ber campur dalam keadaan cair, misal tembaga-timah hitam, tembaga-tungsten.
5. Non logam seperti grafit dapat dicampurkan secara merata dalam konsentrasi tembaga.
6. Komponen dapat dibuat dengan sifat-sifat tanpa bentuk yang khusus termasuk kontrol kerapatan dan tahan pakai.

Kerugiannya;

1. Tidak ekonomis untuk produksi dalam jumlah kecil
2. Proses terbatas untuk komponen-komponen yang ukurannya relatif kecil.
3. Proses biasanya tidak sesuai untuk komponen-komponen yang bekerja dilingkungan yang porosif.

Produksi serbuk

Sebelumnya serbuk-serbuk itu digiling dengan ballmill untuk menghasilkan ukuran yang homogen. Penggilingan bulatan-bulatan dapat dilakukan jika itu diperlukan. Meskipun besi dan nikel itu bahan yang ductile, tujuan penggilingan adalah untuk membuat serbuk agak berlapis yang membuatnya baik untuk diproses.

Serbuk logam lainnya dibuat dengan reduksi dari oksidanya yang terdapat dalam bijihnya. Ball milling kemudian diguna kan untuk menghasilkan serbuk dengan ukuran partikel yang dikehendaki.

Cara mencampur serbuk

Bila dua serbuk yang berbeda atau lebih dicampur untuk menghasilkan paduan, pencampuran harus homogen untuk menghasilkan campuran yang sebaik-baiknya. Pada beberapa

produk paduan diinginkan bahwa ukuran serbuk dibuat mirip untuk menghasilkan pencampuran yang terbaik.

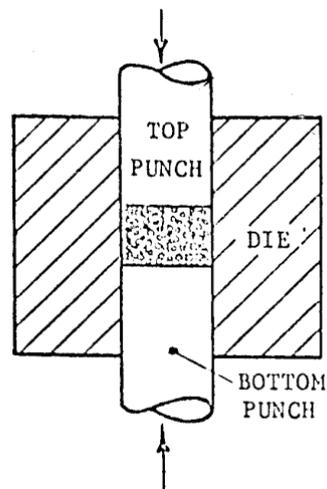
Sebagai contoh bahan lumas parafin, lilin atau grafit biasa digunakan untuk membantu pencampuran yang homogen dan akhirnya padat selama pengepresan. Karbon tetraklorida (uap beracun) digunakan dalam pencampuran serbuk karbit & kobalt secara basah dalam memproduksi perkakas-perkakas karbid.

B. Prosesnya

Pengepresan

Pengepresan adalah operasi yang paling penting. Komponen dalam bentuk tertentu diperoleh dengan pemadatan serbuk dalam cetakan (die) dengan tenaga yang cukup, maksudnya:

1. Kerapatan yang diperlukan produk terpenuhi,
2. Terjadi deformasi plastis partikel serbuk dengan demikian luas kontak cukup memberikan kekuatan.
3. Menghasilkan adhesi dan penempelan secara dingin.
4. Memungkinkan partikel akhirnya terikat bersama selama penyinteran.



Gambar 2.15. Peralatan (*Punch*)

Pengepresan komponen-komponen tipis biasanya menggunakan penekan tunggal. Sedang untuk benda-benda tebal menggunakan penekan (*punch*) ganda. Untuk mengepres komponen-komponen yang bentuknya tidak teratur menggunakan multiple-punch.

Pengepresan-engepresan ini dilakukan dengan sistim mekanis atau hidrolis.

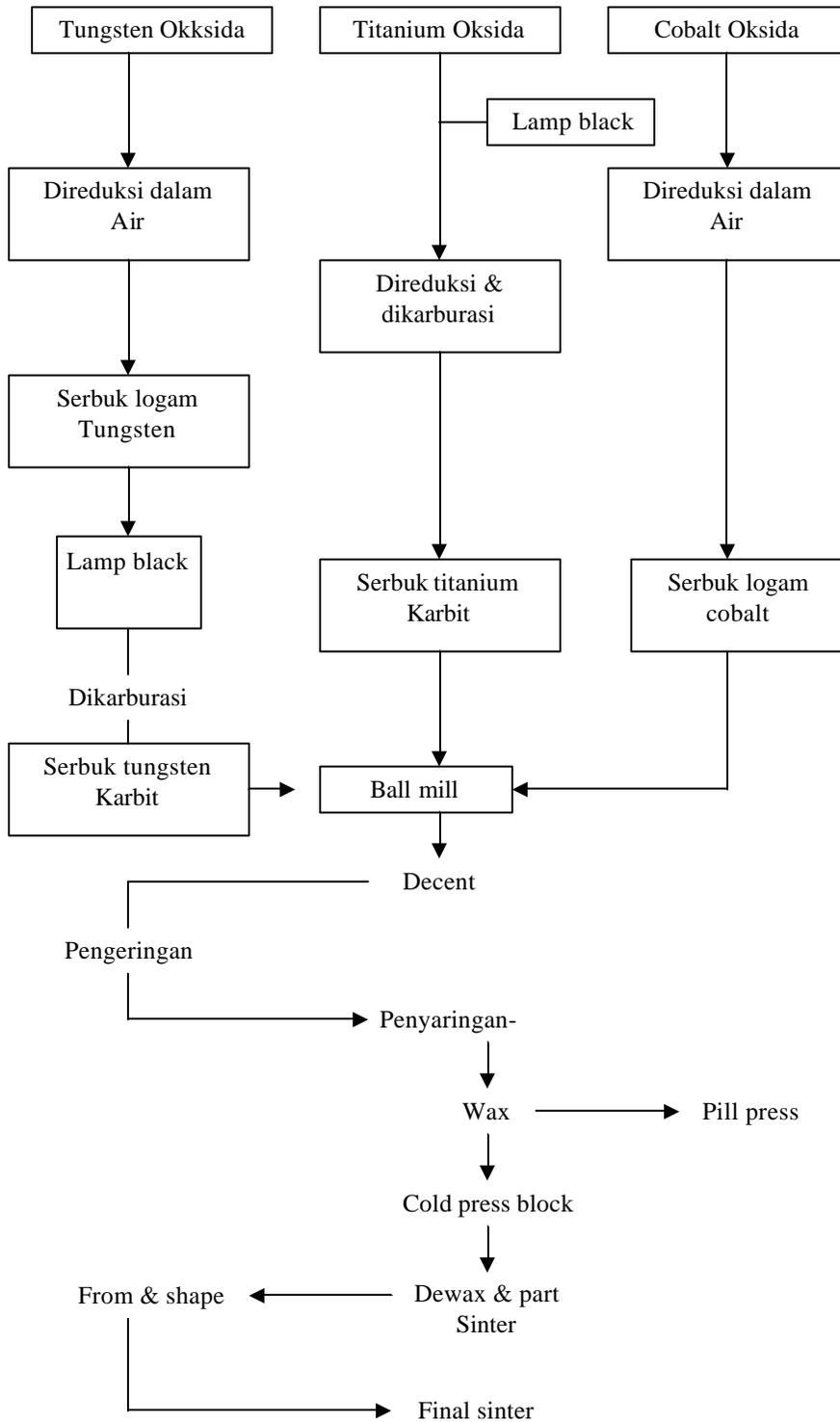
Sintering

Untuk perkakas-perkakas karbid sebelum sintering yang sesungguhnya diperlukan sinter pendahuluan (prasinter). Maksudnya sebagai dewaxing untuk memberikan kekuatan pada cetakan (die). Suhu prasinter ± 800 °C. Sintering menambah kekuatan & kekerasan bahan ini dapat dilakukan dengan mengontrol waktu & suhu sinter. Keadaan yang dapat terjadi selama sinter adalah difusi, rekristalisasi & pertumbuhan butir. Gambar 2.1 menunjukkan perubahan bentuk partikel selama sintering.



Gambar 2.16. Perubahan bentuk kristal selama sintering

Pada (a) partikel membuat kontak titik setempat. Pada (b) luas kontak bertambah dan partikel menjadi merata oleh tarikan permukaan; difusi dimulai pada boundary butir (partikel) (c) menunjukkan ikatan mendekati lengkap. Bila kerja mekanik dilakukan pada komponen yang telah terpadatkan, misalnya membentuk ukuran maka akan terjadi distorsi (kerusakan) pada boundary butir, ini memungkinkan untuk rekristalisasi. Beberapa logam dapat mengalami rekristalisasi tanpa kerja mekanik.



Gambar 2.17. Diagram aliran proses sintering.

Pengepresan panas & pengepresan dingin

Perkembangan terakhir dalam memproduksi komponen dengan *powder metallurgy* adalah

1. Pengepresan panas atau tempa, dikenal sebagai *sinterforging/hot forging*
2. Pengepresan ulang dingin, dikenal sebagai *cold repressing*.

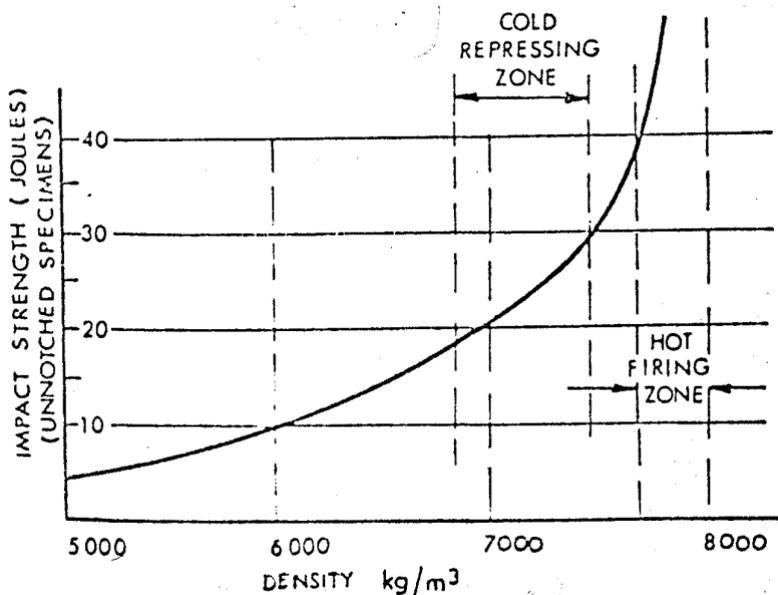
Pengepresan ulang dingin

Setelah serbuk yang telah dipres dalam cetakan yang pertama padat maka komponen yang telah dingin itu dipres lagi dalam cetakan yang kedua. Hasilnya kekuatan pukul komponen bertambah, misalnya gear box dsb.

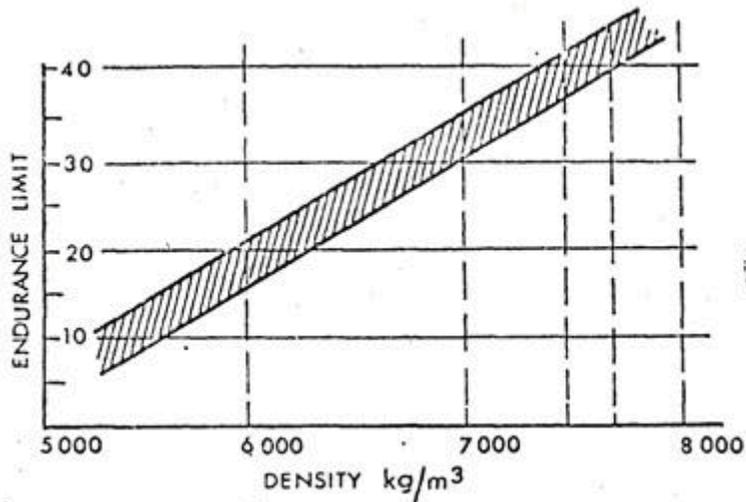
Pengepresan panas

Cara ini adalah pemindahan komponen dari hot presintered compact ke cetakan lain dimana cara ini dipres dengan cepat.

Gb. 2.18 dan 2.19 memperlihatkan bagaimana cara ini menaikkan kekuatan pukul dan tahan pakai yang lebih baik dibandingkan pengepresan ulang dingin.



Gambar 2.18. Kenaikan kekuatan



Gambar 2.19. Grafik kenaikan tahanan pakai

Sizing (*Coining*)

Sizing adalah salah satu cara finishing komponen. Ini menghilangkan distorsi bentuk yang kecil dan menjaga komponen dalam toleransi yang dikehendaki. Bantalan bronze yang poreus adalah contoh komponen yang disizing sebagai pengerjaan akhir.

Hasil

1. Perkakas pahat karbid. Ini biasanya digunakan dalam mesin logam, pengeboran karang, ekstrusi dan sebagainya
2. Cementid oksida dan cementid carbid oksida, produk ini biasa digunakan untuk pemesinan logam seperti halnya pahat karbid. Pahat dari bahan ini untuk pemesinan dengan kecepatan sangat tinggi dimana pahat karbid tidak mampu bekerja pada kondisi tersebut.
3. Komponen-komponen mobil dan komponen mesin ringan. Beberapa komponen seperti gear-box, suku cadang pompa, roda gigi, cam dan komponen-komponen kecil mesin tik, mesin telex, mesin hitung dan komputer dibuat dari logam serbuk.

Bahan komponen ini dari paduan-paduan seperti besi- tembaga, besi-tembaga-karbon, besi-nikel-karbon, besi-nikel-molibden (4%Ni₃O,5%oMo) dan besi-nikel-mangan. Kekuatan bahan yang maksimum dicapai dengan paduan besi-nikel-molibden, sedang ketahanan pakai yang terbaik paduan besi-nikel-manggan.

4. Kontak listrik, paduan yang dipakai perak-nikel, perak-grafit, perak molibden, perak-tungsten dan tembaga-tungsten-karbid.
5. Bantalan bronze. Paduan yang digunakan tembaga-timah putih-grafit. Serbuk-serbuk paduan ini menghasilkan sifat porous.
6. Komponen-komponen tahan friksi (metal ceramics) misalnya clutch-facing, brake-lining yang biasa digunakan untuk pemakaian mekanik yang keras dan panas. Pemakaian yang lain misalnya punch presses, rem traktor dan pesawat terbang, pahat mesin bubut turret dan sebagainya. Paduan-paduan yang dipakai serbuk Cu, Pb, Fe, Sn, grafit dan serbuk silika dalam bermacam-macam komposisi.
7. Magnit permanen. Magnit yang dibuat dengan powder-metallurgi lebih kuat dari pada dibuat dengan pengecoran. Bahan untuk komponen ini paduan, Al-Ni-Fe dan Al-Nt-Co-Fe. Komponen yang lain seperti sikat pembagi arus untuk armature motor dan generator DC, penguas suara, radio transformen, koil induksi sendiri berturut-turut dibuat dari paduan serbuk Ni-Fe, Ba-Fe, Zn-Fe dan Fe.

2.5.5. Pelapisan Logam

A. Korosi

Korosi diartikan sebagai peristiwa pengkaratan, apabila kita menyebutkan kata karat maka hampir semua orang akan tahu dan pernah melihat apa yang dimaksud dengan karat tersebut. Pengkaratan dikenal sebagai suatu peristiwa kerusakan permukaan pada barang-barang yang terbuat dari logam yang berlangsung dengan sendirinya akibat adanya interaksi/kontak antara barang tersebut dengan lingkungan dimana barang tersebut berada. Peristiwa ini sangat tidak dikehendaki karena dapat merusak baik fungsi maupun penampilan/nampak rupa dari barang-barang yang mengalami peristiwa ini.

Pengertian yang lebih luas korosi bukan hanya menyangkut masalah karat saja, akan tetapi diartikan sebagai peristiwa rusaknya bahan-bahan/konstruksi logam akibat pengaruh lingkungan. Sering terjadi pada kondisi lingkungan tertentu konstruksi logam mengalami kerusakan yang sangat parah meskipun karat sedikitpun tidak

terbentuk.



Gb. 2.20. Korosi pada logam

Peristiwa ini dapat terjadi pada semua konstruksi logam atau konstruksi yang menggunakan logam, baik itu berupa gedung, jembatan, tiang pancang, peralatan pabrik, sistem perpipaan, mesin-mesin, komponen berbagai macam kendaraan bermotor, kapal laut, pesawat terbang, perlengkapan rumah tangga dan lain sebagainya.

Adapun produk korosi dapat terjadi dalam berbagai bentuk mulai dari bentuk yang sederhana, terlihat oleh metal telanjang (seperti terbentuknya karat pada permukaan, sampai kepada bentuk-bentuk yang rumit yang hanya dapat dideteksi oleh peralatan yang sangat sensitif.

Meskipun proses korosi adalah proses alamiah yang berlangsung dengan sendirinya dan karena tidak bisa dicegah secara mutlak, akan tetapi tindakan pencegahan dan penanggulangannya tetap diperlukan.



Gb. 2.21. Korosi logam pada bagian yang tidak diproteksi

Pada dasarnya prinsip pencegahan dan penanggulangan korosi sangat sederhana. Kita dapat memilih salah satu atau kombinasi dari metode-metode yang ada seperti metode perlindungan katodik, inhibisi, pelapisan dengan logam dan pelapisan dengan cat. Pemilihan metode mana yang akan dipakai tentu saja bergantung pada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan.

1. Teori dasar korosi

Ditinjau dari segi termodinamika, proses korosi adalah proses yang sangat bersifat alamiah. Pada dasarnya semua logam tidak stabil. Logam murni cenderung bereaksi dengan lingkungan dimana ia berada dan membentuk senyawa oksida atau karbonat yang lebih stabil. Pada reaksi diatas terjadi perpindahan elektron dan reaksi semacam ini disebut reaksi elektrokimia.

Kecenderungan logam untuk melepaskan elektron berbeda-beda, semakin besar kecenderungan tersebut semakin reaktif logam yang bersangkutan. Sebagai contoh perbedaan reaktivitas logam terlihat pada tabel dibawah ini :

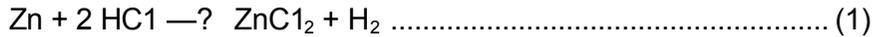
| Asam | Na | Zn | Cu | Pt |
|------------------------|----------|----------|----------|-------|
| H ₂ O | bereaksi | tidak | tidak | tidak |
| HCl encer | bereaksi | bereaksi | tidak | tidak |
| HNO ₃ pekat | bereaksi | bereaksi | bereaksi | tidak |

Na ternyata sangat reaktif, sedangkan Pt sebaliknya. Reaksi dimana Na melepaskan elektronnya adalah reaksi korosi dan karenanya Na adalah logam yang sangat mudah terkorosi. Sebaliknya Pt digolongkan sebagai logam mulia karena reaktivitasnya yang sangat rendah.

2. Mekanisme korosi

Mekanisme proses korosi logam pada dasarnya merupakan proses elektrokimia. Untuk memahami mekanisme proses korosi baiklah kita perhatikan reaksi antara logam seng (Zn) dengan asam klorida (HCl). Jika Zn dicelupkan ke dalam larutan HCl, akan terjadi reaksi pembentukan gas hidrogen dan reaksi

pelarutan Zn membentuk larutan seng khlorida ($ZnCl_2$). Reaksi diatas dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi berikut ini



Ion klorida tidak ikut serta dalam reaksi, maka reaksi (1) dapat disederhanakan sebagai berikut



Seng bereaksi dengan ion hidrogen dari larutan asam membentuk ion seng dan gas hidrogen.

Dari persamaan reaksi (2) kita dapat melihat bahwa terjadi dua jenis reaksi yang berlangsung bersamaan, yaitu reaksi oksidasi Zn dan reaksi reduksi ion hidrogen. Reaksi oksidasi dan reduksi ini dapat dinyatakan dalam persamaan reaksi berikut :



Reaksi (3) adalah reaksi oksidasi dari logam seng yang merupakan proses terkorosinya logam seng, dan terjadi didaerah yang bersifat anodik atau anoda, oleh karena itu biasa disebut reaksi anodik.

Reaksi (4) yang berlangsung serempak dengan reaksi (3) adalah reaksi reduksi yang terjadi di daerah bersifat katodik atau katoda, oleh karena itu biasa disebut sebagai reaksi katodik.

Dari uraian diatas dapat dilihat bahwa proses korosi dapat terjadi apabila sekurang-kurangnya terdapat sepasang reaksi oksidasi dan reduksi, yang berlangsung secara serempak dengan kecepatan reaksi, yang sama.

3. Reaksi anodik dan katodik

Reaksi anodik dalam setiap reaksi korosi merupakan reaksi oksidasi suatu logam menjadi ionnya yang ditandai dengan kenaikan valensi atau pelepasan elektron.

Secara umum reaksi anodik dapat dituliskan sebagai berikut :



n = jumlah elektron yang dihasilkan dan nilainya sama dengan valensi ion logam yang terkorosi.



Gb. 2.22. Korosi logam karena zat asam

Reaksi katodik dalam setiap reaksi korosi merupakan reaksi reduksi yang ditandai dengan penurunan valensi atau penyerapan elektron. Ada beberapa reaksi katodik yang berbeda yang sering dijumpai dalam korosi logam, yaitu :

- Lingkungan asam :
 - a. Tanpa oksigen

$$2 \text{H}^+ + 2 \text{e} \longrightarrow \text{H}_2 \dots\dots\dots (5)$$
 - b. Dengan oksigen

$$4 \text{H}^+ + \text{O}_2 + 4 \text{e} \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots (6)$$
- Lingkungan basa atau netral :

$$2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4 \text{e} \longrightarrow 4 \text{OH}^- \dots\dots\dots (7)$$
- Reduksi ion logam :

$$\text{Mn}^+ + n \text{e} \longrightarrow \text{M} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Mn}^+ + \text{e} \longrightarrow \text{M}^{(N-1)+} \dots\dots\dots (9)$$

Dari sekian banyak reaksi katodik yang paling umum dijumpai pada proses korosi adalah reaksi (5); (6) dan (7). Dari sini dapat disimpulkan bahwa peranan air dan oksigen sangat dominan dalam proses korosi.

4. Terbentuknya anoda dan katoda

Daerah anoda dan katoda pada prinsipnya dapat terbentuk bila pada permukaan logam atau paduan terdapat perbedaan po-

tensial atau energi bebas dari titik yang satu terhadap yang lain disekitarnya.

Perbedaan potensial ini dapat dihasilkan misalnya oleh dua jenis logam yang berhubungan secara listrik, perbedaan rasa, perbedaan suhu, perbedaan tegangan, perbedaan besar butiran, daerah pinggir dan tengah butiran dan juga pengaruh konsentrasi dari lingkungan.

Kondisi-kondisi yang dapat membentuk daerah anoda dan katoda dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.1. Terbentuknya Anoda dan Katoda

| KONDISI | ANODA | KATODA |
|------------------------------|----------|-------------------|
| Logam berbeda ^{*)} | | |
| Fe & Cu | Fe | Cu |
| Zn & Fe | Zn | Fe |
| Fasa berbeda : | | |
| α & Fe ₃ C | α | Fe ₃ C |
| S u h u | panas | dingin |
| Tegangan | tegang | kasar |
| Butiran | halus | tengah |
| | pinggir | |
| Konsentrasi oksigen | Rendah | Tinggi |
| Kotoran | Tengah | Pinggir |

*) Sesuai dengan "Galvanic Series" dalam "Electrochemical Series"

5. Jenis-jenis Korosi

Serangan korosi pada logam-logam oleh lingkungannya dapat menghasilkan berbagai bentuk kerusakan. Jenis kerusakan yang terjadi tidak hanya tergantung pada jenis logam, keadaan fisik logam dan keadaan penggunaan-penggunaannya, tetapi juga tergantung pada lingkungannya.

Ditinjau dari bentuk produk atau prosesnya, korosi dapat dibedakan dalam beberapa jenis, di antaranya :

- a. Korosi merata : Serangan korosi yang merata diseluruh permukaan logam. Korosi merata umumnya terjadi pada permukaan - permukaan logam yang memiliki komposisi kimia sejenis atau memiliki mikro struktur sejenis.

Korosi merata merupakan bentuk kerusakan yang paling umum dijumpai.

- b. Korosi lubang (pitting) : Serangan korosi yang membentuk lubang. Korosi lubang biasanya merupakan hasil dari aksi sel korosi autokatalitik setempat. Dengan demikian kondisi kondisi korosi yang dihasilkan di dalam lubang cenderung mempercepat proses korosi.

Korosi lubang sangat membahayakan karena biasanya hanya berbentuk lubang kecil bahkan kadang-kadang dari luar tertutup dan hanya merupakan permukaan yang kasar.

- c. Korosi celah (*crevice corrosion*) : Serangan korosi pada celah-celah yang umumnya terjadi karena adanya jebakan air atau elektrolit diantara celah, sambungan dan sebagainya. Korosi celah ini juga dapat autokatalitik karena hidrolisa ion - ion logam yang terjadi di dalam celah dan juga penimbunan muatan positif larutan di dalam celah.

- d. Korosi galvani (*galvanic corrosion*) : Serangan korosi yang terjadi apabila dua logam yang berbeda dihubungkan satu dengan yang lain. Logam yang kurang mulia akan bertindak sebagai anoda dan yang lebih mulia sebagai katoda. Kecenderungan terkorosi tergantung pada jenis logam yang berkontak dan luas permukaan daerah katoda dan anodanya.

- e. Korosi selektif : Serangan korosi yang bersifat selektif. Paduan yang terdiri dari unsur-unsur yang memiliki aktifitas elektrokimia jauh berbeda akan mudah terpengaruh oleh korosi selektif.

- f. Korosi antar kristal (*intergranular corrosion*) : Serangan korosi yang terjadi pada batas kristal (butir) dari suatu logam/paduan karena paduan yang kurang sempurna (ada kotoran yang masuk) atau adanya gas hidrogen atau oksigen yang masuk

pada batas kristal/butir.

- g. Korosi lelah : kegagalan logam oleh aksi gabungan beban dinamik dan lingkungan korosif.
- h. Korosi tegang : Peretakan logam karena aksi gabungan beban statik dan lingkungan korosif.
- i. Korosi erosi : Kerusakan logam karena gabungan aksi lingkungan korosif dan erosi permukaan logam oleh pergerakan lingkungan fluida yang korosif.

6. Pengendalian Korosi

Prinsip dasar pengendalian korosi sebenarnya sangat sederhana. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu faktor logam (faktor dalam) dan faktor lingkungan (faktor luar).

Jumlah paduan logam maupun variasi lingkungan sangat banyak, sehingga dapat diperkirakan bahwa persoalan korosi tampaknya sangat kompleks. Tetapi dasar-dasar pengendaliannya dapat kita bagi kedalam 4 metode seperti berikut ini :

- a) Membuat logam tahan korosi
- b) Membuat lingkungan menjadi tidak korosif
- c) Membalikkan arah arus korosi
- d) Memisahkan logam dari lingkungan.

a. Membuat logam tahan korosi

Membuat logam menjadi tahan korosi, dimaksudkan untuk memperoleh ketahanan korosi dari logam dalam lingkungan tertentu. Cara penanggulangan seperti ini akan melibatkan ahli-ahli metallurgi. Ketahanan korosi dari logam dapat diperoleh karena pada permukaan logam dapat dihindarkan adanya daerah-daerah anodik dan katodik, atau menjadikan permukaan logam tertutup oleh lapisan yang protektif, seperti baja tahan karat, baja tahan cuaca dan sebagainya. Cara ini tentu akan mengakibatkan harga logam yang sangat tinggi.

b. Membuat lingkungan menjadi tidak korosif

Membuat lingkungan menjadi tidak korosif pada umumnya dilakukan dengan menggunakan zat-zat kimia yang

ditambahkan ke dalam lingkungan elektrolit. Cara ini cocok untuk lingkungan-lingkungan yang terbatas dan terkontrol. Zat-zat yang ditambahkan dapat mempengaruhi reaksi-reaksi di anoda, katoda atau keduanya, sehingga proses korosi diperlambat. Zat yang ditambahkan disebut inhibitor.

c. Membalikkan arah korosi

Membalikkan arah arus korosi, sehingga proses korosi logam dikurangi atau bahkan ditiadakan sama sekali. Cara ini bi asa kita kenal dengan istilah "proteksi katodik", dimana proses korosi dicegah dengan jalan memperlakukan logam yang dilindungi sebagai katoda.

d. Memisahkan logam dari lingkungan

Memisahkan logam dari lingkungan adalah cara yang sangat populer dan banyak dilakukan. Cara ini meliputi pelapisan dengan lapis lindung organik atau inorganik (logam dan bukan logam). Teknik pelindungan dapat dengan pengecatan, semprot, lapis listrik, celup dan sebagainya.

Untuk proses lapis listrik (*electroplating*) logam yang umum digunakan untuk melapis antara lain kadmium, khrom, tembaga, emas, timah putih, timah hitam, nikel, perak dan seng. Sedangkan dalam bentuk paduannya antara lain : kuningan, perunggu, nikel- besi dan lain-lain.



Gb. 2.23. Perhiasan yang dilapisi emas

Dilihat dari fungsi proteksinya jenis-jensi logam pelindung tersebut dapat kita kelompokkan dalam dua golongan. Golongan yang pertama adalah bersifat "sacrificial" yaitu logam logam yang lebih anodis dari logam yang dilindungi, sehingga logam pelindung tersebut akan habis lebih dahulu dari pada logam yang dilindungi.

Golongan kedua adalah logam-logam yang betul-betul "melindungi" dalam arti bersifat mengisolasi permukaan bahan

dasar terpisah dari lingkungan, dan yang bersifat katodis. Sebagai contoh untuk perlindungan baja, logam yang termasuk dalam golongan pertama adalah : seng, aluminium, kadmium dan sebagainya; dan yang termasuk golongan kedua adalah nikel, khrom, perak, dan sebagainya.



Gb. 2.24. Pelapisan perak

B. Pelapisan Logam

Setiap tahun, korosi yang terjadi diberbagai lingkungan menyebabkan kerusakan yang memakan biaya cukup besar. Untuk menanggulangi bahaya korosi, yang berarti juga memperkecil kerugian, perlu dicari cara-cara untuk melindungi logam yang mudah terkorosi.

Salah satu cara perlindungan yang patut diketengahkan adalah memberikan suatu lapisan logam tertentu sebagai lapis pelindung. Ada bermacam-macam cara untuk memberikan logam pelapis pada logam yang akan dilindungi. Salah satu diantaranya adalah proses lapis listrik (*electroplating*).



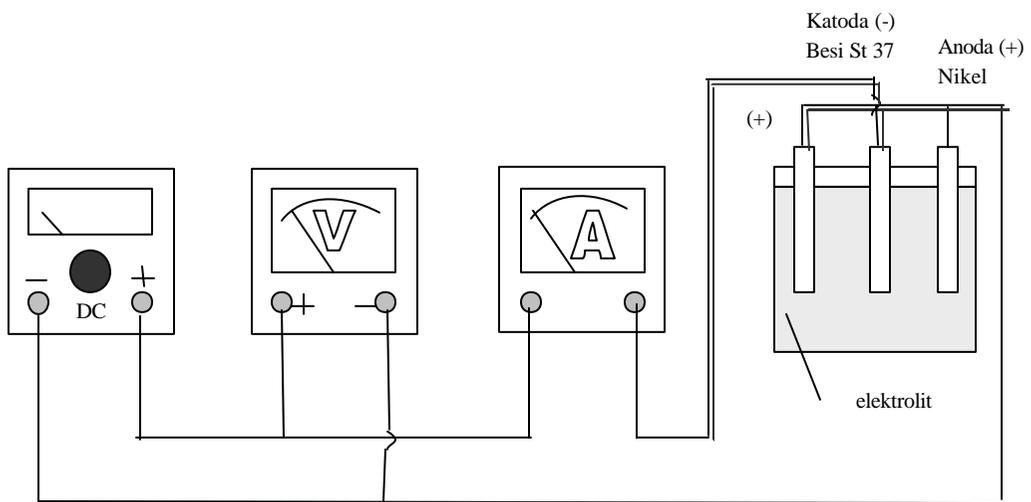
Gambar 2.25. Proses lapis emas dengan cara listrik

Lapis listrik menawarkan jasa untuk memberikan suatu perlindungan dengan menggunakan logam-logam tertentu sebagai lapis pelindung, misalnya : nikel, khrom, seng, timah dan lain-lain.

Banyak orang yang tidak terjun langsung dalam industri lapis listrik mengira bahwa lapis listrik hanya untuk membuat benda-benda tampak lebih menarik. Pada kenyataannya peranan lapis listrik jauh lebih luas lagi. Peranan utamanya adalah melindungi logam yang dilapisi dari bahaya korosi. Disamping itu peranan penting lainnya ialah dapat menambah daya tahan terhadap gesekan, memperbaiki sifat konduktivitas, memudahkan penyolderan, menambah kekerasan dan lain-lain. Sehingga memungkinkan para perancang dan ahli teknik untuk mendapatkan kombinasi sifat-sifat dari permukaan benda yang dilapisi dan logam pelapisnya.

1. Konsep Dasar

Lapis listrik adalah suatu proses pengendapan/deposisi suatu logam pelindung yang dikehendaki diatas logam lain dengan cara elektrolisa. Biasanya elektrolisa dilakukan dalam suatu bejana yang disebut sel elektrolisa yang berisi cairan elektrolit/rendaman (*bath*). Pada rendaman ini tercelup paling tidak dua elektroda. Masing-masing elektroda dihubungkan dengan arus listrik, terbagi menjadi kutub positif (+) dan negatif (-) dikenal sebagai anoda (+) dan katoda (-).



Gambar 2.26. Rangkaian alat pelapisan nikel

Selama proses lapis listrik berlangsung terjadi reaksi kimia pada daerah elektroda/elektrolit; baik reaksi reduksi maupun oksidasi. Karena pada proses lapis listrik reaksi diharapkan berjalan terus menerus menuju arah tertentu secara tetap, maka hal yang paling penting dalam proses ini adalah mengoperasikan proses ini dengan menggunakan arus searah.

Dari uraian terdahulu dapat dikatakan bahwa ada 4 bagian yang utama (penting) dari suatu sistem lapis listrik. Keempat bagian yang harus ada didalam suatu unit lapis listrik adalah :

- Larutan elektrolit (rendaman)
 - Anoda
 - Katoda (benda kerja)
 - Sirkuit luar

2. Rendaman/Larutan Elektrolit

Setiap larutan elektrolit yang dijadikan rendaman tempat proses lapis listrik berlangsung harus mengandung bahan-bahan terlarut yang sekurang-kurangnya memiliki satu dari fungsi berikut ini:

- a. Menyediakan sumber logam yang akan diendapkan
- b. Membentuk kompleks dengan ion logam yang akan diendapkan
- c. Konduktif
- d. Dapat menstabilkan larutan dari hidrolisa
- e. Bertindak sebagai buffer —? pengatur pH
- f. Memodifikasi atau mengatur bentuk fisik dari endapan
- g. Membantu pelarutan anoda.

Adapun rendaman yang digunakan dalam proses lapis listrik dapat bersifat asam maupun basa.

a. Rendaman Asam Dengan Garam Sederhana

Biasanya rendaman selalu mengandung garam dari logam yang akan diendapkan/dilapiskan. Sebaiknya dipilih garam-garam yang mudah larut namun anion dari garam tersebut tidak mudah tereduksi. Walaupun anion tidak ikut secara langsung dalam proses terjadinya pelapisan, tetapi jika

menempel pada permukaan katoda akan merupakan gangguan bagi struktur endapan.

Aktivitas dari ion logam ditentukan oleh konsentrasi dari garam logamnya, derajat disosiasi dan konsentrasi komponen lain yang ada di dalam rendaman. Jika konsentrasi logamnya tidak mencukupi untuk diendapkan, akan terbentuk endapan yang terbakar pada rapat arus yang relative rendah.



Gambar 2.27. Larutan pelapis emas

Adanya ion khlorida di dalam rendaman yang bersifat asam mempunyai dua (2) fungsi utama, pertama akan memudahkan terkorosinya anoda atau mencegah pasivasi anoda dan yang kedua akan menaikkan koefisien difusi dari ion logamnya berarti menaikkan batas rapat arus (limiting current density).

b. Rendaman yang Mengandung Garam Kompleks

Garam kompleks yang sering digunakan dalam proses lapis listrik adalah Sianida. Karena siano kompleks terdekomposisi oleh asam, maka rendaman harus bersifat alkali (basa).

Adanya natrium atau kalium hidroksida akan memperbaiki konduktivitas dan mencegah liberasi dari asam hidrosianat oleh CO_2 yang masuk ke dalam rendaman dari udara.

c. Buffer (penyangga) dan komponen lainnya

Disamping garam logamnya sebagai komponen utama, rendaman juga mengandung komponen lain, misalnya komponen yang berfungsi sebagai penyangga (mengatur pH); misal untuk rendaman nikel digunakan asam borat sebagai buffer.

Sedangkan penambahan asam sulfat pada rendaman tertentu akan menaikkan konduktivitas dan mencegah hidrolisa.

d. Bahan Imbuh (Addition Agent)

Untuk mendapatkan hasil pelapisan yang baik (mengkilap, rata) diperlukan adanya komponen-komponen lain yang ditambahkan kedalam rendaman. Diantaranya adalah "Wetting agent", "levellers" dan bahan pengkilap (brightener).

Wetting Agent :

Jika gelembung gas hidrogen menempel pada permukaan katoda, pelapisan dihalangi dan hanya terjadi disekitar gelembung tersebut, sehingga menghasilkan pelapisan yang berlubang-lubang. "Wetting agent" ditambahkan untuk mengeliminir hal tersebut.

Levellers.

Bahan imbuh ini mempunyai kemampuan untuk menyembunyikan cacat-cacat pada permukaan katoda.

Bahan Pengkilap.

Bahan ini ditambahkan ke dalam rendaman, agar endapan/lapisan yang dihasilkan mengkilap. Ada bermacam-macam bahan pengkilap, biasanya adalah bahan-bahan organik.

Bahan imbuh yang telah disebutkan biasanya ditambahkan ke dalam larutan dalam jumlah yang kecil sekali.

Kemampuan Rendaman.

Rendaman/elektrolit untuk suatu proses lapis listrik diharapkan mempunyai kemampuan untuk mendapatkan hasil yang berkualitas baik. Rendaman harus memiliki "covering power", "throwing power", dan "levelling" yang baik.

"Covering power"

Covering power adalah kemampuan suatu rendaman/elektrolit untuk mengendapkan logam keseluruhan permukaan katoda yang bagaimanapun juga bentuknya. Covering power tergantung kepada pengerjaan awal/proses persiapan peiinukaan dan kondisi dari permukaan benda kerja/katoda disamping kondisi dari proses lapis listrinya sendiri.

"Throwing power"

Ada dua macam throwing power, yang pertama adalah macro dan yang kedua adalah micro throwing power.

Macro throwing power.

Macro throwing power dapat didefinisikan sebagai kemampuan rendaman/elektrolit untuk menghasilkan endapan yang kurang lebih sama tebalnya pada benda kerja yang tidak beraturan bentuknya. Faktor yang mempengaruhi macro throwing power adalah distribusi arus, kondisi operasi, efisiensi arus dan konduktivitas.

Micro throwing power.

Didefinisikan sebagai kemampuan rendaman untuk menghasilkan endapan yang sama tebalnya pada setiap titik permukaan benda kerja. Difusi ion logam merupakan hal yang penting bagi micro throwing power.

"Levelling"

Dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan lapisan yang lebih tebal pada lekukan daripada pada permukaan yang rata.

3. Anoda

Anoda yang digunakan dalam proses lapis listrik harus dapat mengalirkan arus listrik dari luar kedalam larutan/rendaman dan juga harus berfungsi sebagai pengisi kekurangan logam didalam larutan karena mengendap pada permukaan katoda.

Anoda dapat berbentuk lempengan logam yang masif atau dapat juga berbentuk bola atau potongan-potongan kecil.

Ada dua jenis anoda, yaitu anoda yang terbuat dari logam yang akan diendapkan, dikenal dengan nama anoda terlarut dan satu lagi adalah anoda yang terbuat dari logam lain yang tidak larut dalam rendaman, dikenal dengan nama anoda inert.

Ada keuntungan dan kerugiannya masing-masing bila menggunakan jenis anoda tersebut.

Keuntungan bila kita menggunakan anoda terlarut antara lain adalah larutan/rendaman dapat dikatakan memiliki kandungan

logam yang konstan, penambahan garam logamnya tidak perlu dilakukan. Sedangkan ke rugianya menggunakan anoda terlarut adalah seringkali ada pengotor yang ikut terlarut dan kadang-kadang juga ada bahan-bahan yang tidak larut yang akan mengotori rendaman, disamping itu perlu dilakukan kontrol apakah anoda tetap aktif dan tidak membentuk film tipis yang akan menyebabkan anoda menjadi pasif.

Keuntungan menggunakan anoda inert adalah tidak perlu mengganti anoda (karena tidak akan habis) jadi sekali dipasang dapat digunakan selamanya; namun demikian ada juga kerugiannya yaitu, logam didalam rendaman lama kelamaan akan habis mengendap dibawa, sehingga analisa larutan dan penambahan bahan kimia kedalam larutan harus kerap kali dilakukan.

4. Katoda

Katoda atau benda kerja dapat memiliki bermacam bentuk dan dapat terbuat dari beraneka logam yang penting katoda harus bersifat konduktor sehingga proses lapis listrik dapat berlangsung dan logam dapat menempel pada katoda (benda kerja).

Bila benda kerja tidak bersifat konduktor, dapat dilakukan pengerjaan awal yang membuat benda kerja siap menjadi katoda dalam proses lapis listrik.

5. Sirkuit Luar

Sirkuit (rangkai)an listrik di luar sistem lapis listrik biasanya terdiri dari sumber arus dan peralatan lain yang dapat menyearahkan arus bila sumber arus memberikan arus bolak-balik.

C. Pengerjaan Lapis Listrik

1. Pemilihan Jenis Pelapis

Di dalam proses lapis listrik, logam-logam yang umumnya digunakan untuk pelapis antara lain adalah : kadmium, khrom, tembaga, emas, perak, timbal, nikel dan seng, sedangkan logam paduan yang digunakan antara lain adalah kuningan dan perunggu.



Gambar 2.28. Proses pelapisan logam perak

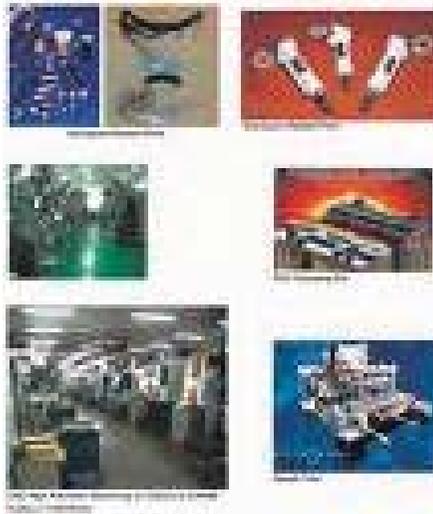


Gambar 2.29. Hasil pelapisan logam perak

Dilihat dari fungsi perlindungannya, jenis-jenis logam pelindung tersebut dapat dikelompokkan dalam 2 golongan yaitu :

a. Lapis Logam Mulia.

Logam-logam pelapis yang termasuk dalam golongan ini adalah logam yang betul-betul melindungi. Logam ini lebih bersifat katodik daripada logam yang dilindungi. Sebagian besar dari logam pelindung termasuk ke dalam golongan ini.



Gambar 2.30. Pelapisan perak dengan proses anodisasi

b. Lapis Logam Korban.

Logam-logam pelapis yang termasuk dalam golongan ini adalah logam-logam yang lebih anodik dari logam yang dilindungi, sehingga logam pelindung ini akan rusak lebih dahulu, contoh : seng.



Gambar 2.31. Pipa baja dilapis dengan seng

Untuk mendapatkan perlindungan yang baik, pemilihan jenis pelapis perlu dilakukan secara hati-hati. Hal-hal penting yang perlu di jadikan dasar pertimbangan adalah :

c. Tujuan Melapisi

Tujuan melapisi dapat dibagi menjadi 3 kelompok.

Kelompok 1.: Hanya untuk menambah daya tahan terhadap korosi.

Contoh : lapis seng pada kawat baja untuk jalur komunikasi.



Gambar 2.32. Pelapisan seng

Kelompok 2.: Untuk mendapatkan permukaan yang tahan korosi dan sifat tertentu yang tidak dimiliki oleh logam yang akan dilapisi.

Contoh : lapis nikel & khrom pada relay tilpun, dimana selain untuk melindungi logam dasarnya dari korosi juga diharapkan akan memperbaiki sifat tahan aus.(wear resistance).



Gambar 3.33. Bahan-bahan untuk pelapisan nikel

Kelompok 3.: Hanya untuk mendapatkan sifat tertentu.

Contoh : lapis khrom pada silinder dan bagian lain dari mesin pembakaran, dimaksudkan untuk

memperbaiki sifat tahan aus dan pelumasan dari permukaannya.



Gambar 2.34. Komponen mesin dilapisi khrom

d. Fungsi dari benda yang dilapisi.

Sebelum menentukan jenis pelapis yang akan digunakan, terlebih dahulu perlu diketahui fungsi dari benda yang akan dilapisi tersebut. Ada beberapa faktor yang perlu mendapat perhatian, antara lain :

- Faktor Lingkungan
Logam pelapis harus disesuaikan dengan lingkungan dimana benda yang akan dilapisi tersebut berada.
- Umur pelayanan (*service life*).
Pemilihan logam pelapis juga harus disesuaikan dengan umur pelayanan dari benda yang akan dilapisi.
- Logam dasar yang akan dilapisi.
Suasana pelapisan (kondisi elektrolit) harus sesuai dengan benda yang akan dilapisi.

Bentuk dan ukuran dari benda yang akan dilapisi. Disain bak, rak dan anoda yang digunakan untuk pelapisan harus sesuai dengan bentuk ukuran dari benda yang akan dilapisi.

2. Proses Lapis Listrik

Secara garis besar proses lapis listrik dapat dibagi menjadi 3 tahap sebagai berikut :

Tahap 1. : Proses persiapan

Tahap 2. : Proses lapis listrik

Tahap 3. : Proses pengerjaan akhir

Tahap 1. Proses Persiapan

Sebelum lapis listrik dilakukan pada suatu benda kerja, permukaan benda kerja tersebut harus berada dalam kondisi yang betul-betul bersih, bebas dari segala macam pengotor. Persyaratan ini mutlak perlu agar bisa didapatkan hasil lapis listrik yang baik.

Secara umum persiapan ini harus memenuhi 2 tujuan.

- a. Menghilangkan semua pengotor yang ada pada permukaan.
- b. Mendapatkan keadaan fisik permukaan yang baik dari permukaan.

Jenis kotoran yang biasa dijumpai pada permukaan logam dapat digolongkan sebagai berikut :

- a. kotoran organik
- b. kotoran anorganik/oksida
- c. kotoran lainnya.

Pemilihan teknik persiapan ini tergantung dari pengotornya, tetapi secara umum dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. cara mekanik
- b. pembersihan dengan pelarut (*solvent*)
- c. pembersihan dengan alkali baik celup atau elektrokimia
- d. pembersihan dengan asam.

Tahap 2. Proses Lapis Listrik

Setelah benda kerja betul-betul bersih, maka benda kerja tersebut sudah siap untuk dilapisi. Cara melapisi : benda kerja dijadikan katoda, dicelupkan ke dalam larutan elektrolit yang mengandung garam dari logam pelapisnya. Sedangkan anodanya biasanya berbentuk batangan atau lempengan dari logam, dan biasanya terbuat dari logam yang akan dilapiskan. Kemudian sistim tersebut dihubungkan dengan sumber arus.

Adapun kondisi operasi yang perlu direncanakan adalah :

- rapat arus
- waktu
- temperatur
- komposisi larutan elektrolit.

Tahap 3. Pengerjaan Akhir.

Benda kerja setelah mengalami proses lapis listrik, perlu dibilas (dicuci bersih-bersih) dan kemudian dikeringkan. Kadang-kadang perlu juga dilakukan proses lebih lanjut misalnya dipasifkan atau diberi lapis pelindung yang transparant (*lacquer*).

3. Hal-hal yang berpengaruh dalam pelapisan

- a. Sumber arus atau besarnya potensial arus yang digunakan dalam proses pelapisan.
- b. Pemakaian rendaman elektrolit (*bath constituents*)
- c. Penambahan bahan lain berupa zat anorganik atau anorganik (*adding agents*)
- d. Karakteristik katoda yang akan dilapisi terutama sifat dan bentuk permukaan.
- e. Keadaan posisi geometrik benda kerja terhadap anoda.
- f. Faktor lain yang menentukan hasil pelapisan yaitu : struktur dan ukuran butir elektrodeposit yang menentukan kekuatan adhesinya.

4. Keuntungan dan Kelemahan Proses Lapis Listrik.

Bila dibandingkan dengan proses-proses lapis listrik logam yang lain, ternyata proses lapis listrik mempunyai beberapa keuntungan dan kelemahan.

- a. Keuntungan proses lapis listrik.
 - i) Suhu operasi tidak terlalu tinggi (paling tinggi sekitar 600 – 700°C)
 - ii) Ketebalan lapisan lebih mudah dikendalikan
 - iii) Permukaan lapisan bisa halus
 - iv) Hemat dalam pemakaian logam pelapis
- b. Kelemahan proses lapis listrik.
 - i) Adanya keterbatasan dalam ukuran dan disain dari benda yang akan dilapisi.
 - ii) Hanya bisa dilakukan ditempat pelapisan tidak bisa dilakukan di "lapangan".
 - iii) Terbatas pada benda kerja yang konduktor.

Dengan adanya kemajuan dari teknologi lapis listrik, ternyata kelemahan-kelemahan yang tersebut di atas telah bisa diatasi. Kelemahan i dan ii bisa diatasi dengan adanya proses lapis listrik selektif (*selective area plating*). Dengan menggunakan alat semacam sikat, benda yang akan dilapisi tidak perlu dibawa ke tempat pelapisan, bisa dilapisi dilapangan. Ukuran dan bentuk benda yang akan dilapisi pun tidak menjadi masalah lagi karena dengan cara selektif ini, tidak diperlukan bak pelapisan. Kelemahan iii dapat diatasi dengan adanya proses "electroless".

D. Dasar Teori Elektroplating

Elektroplating dibuat dengan jalan mengalirkan arus listrik melalui larutan antara logam atau material lain yang konduktif. Dua buah plat logam merupakan anoda dan katoda dihubungkan pada kutub positif dan negatif terminal sumber arus searah (DC). Logam yang terhubung dengan kutub positif disebut anoda dan yang terhubung dengan kutub negatif disebut katoda. Ketika sumber tegangan digunakan pada elektrolit, maka kutub positif mengeluarkan ion bergerak dalam larutan menuju katoda dan disebut sebagai kation. Kutub negatif juga mengeluarkan ion, bergerak menuju anoda dan disebut sebagai anion. Larutannya disebut elektrolit.

Hubungan antara voltase dalam elektrolit dan kekuatan arus listrik yang mengalir ditunjukkan oleh hukum Ohm yaitu :

$$I = \frac{E}{R} \quad (\text{Suparni Setyowati Rahayu, 1996:62})$$

Dimana :
I = Arus listrik (Ampere)
E = Beda potensial (Volt)
R = Resistansi (Ohm)

Besarnya listrik yang mengalir yang dinyatakan dengan Coulomb adalah sama dengan arus listrik dikalikan dengan waktu. Dalam pemakaian secara umum atau dalam pemakaian elektroplating satuannya adalah ampere-jam (Ampere-hour) yang besarnya 3600 coulomb, yaitu sama dengan listrik yang mengalir ketika arus listrik sebesar 1 ampere mengalir selama 1 jam.



Gambar 2.35. Peralatan elektroplating seng

Michael Faraday pada tahun 1833 menetapkan hubungan antara kelistrikan dan ilmu kimia pada semua reaksi elektrokimia. Dua hukum Faraday ini adalah :

- Hukum I : Jumlah dari tiap elemen atau grup dari elemen-elemen yang dibebaskan pada kedua anoda dan katoda selama elektrolisa sebanding dengan jumlah listrik yang mengalir dalam larutan.
- Hukum II : Jumlah dari arus listrik bebas sama dengan jumlah ion atau jumlah substansi ion yang dibebaskan dengan memberikan sejumlah arus listrik adalah sebanding dengan berat ekivalennya.

Hukum I membuktikan terdapat hubungan antara reaksi kimia dan jumlah total listrik yang melalui elektrolit. Menurut Faraday, arus 1 Ampere mengalir selama 96.496 detik ($\pm 26,8$ jam) membebaskan 1,008 gram hidrogen dan 35,437 gram klor dari larutan asam khlorida encer. Seperti hasil yang ditunjukkan bahwa 96.496 coulomb arus listrik membebaskan satu satuan berat ekivalen ion positif dan negatif. Oleh sebab itu 96.496 coulomb atau kira-kira 96.500 coulomb yang disebut 1 Faraday sebanding dengan berat 1 elektrokimia. Untuk menentukan logam yang terdeposisi dengan arus dan waktu dapat ditentukan :

$$\text{Faraday} = \frac{\text{ampere detik}}{96.500} = \frac{\text{ampere jam} \times 3600}{96.500}$$

Langkah selanjutnya adalah mengalikan bilangan Faraday dengan bilangan gram yang diendapkan oleh 1 Faraday (gram ekuivalen), maka persamaannya menjadi:

$$G = \frac{I \cdot t}{96.500} \times \frac{Ar / Mr}{valensi}$$

Dimana : G = Berat logam terdeposisi (gram)

I = Rapat arus (Ampere)

t = Waktu (detik)

Ar/Mr = Massa atom/molekul relatif

Untuk menentukan tebal pelapisan yang terjadi perlu diketahui berat jenis dari logam yang terlapis pada katoda. Hubungan berat jenis dengan harga-harga yang lainnya adalah sebagai berikut :

$$\text{Volume (cc)} = \frac{\text{berat endapan (gram)}}{\text{berat jenis}}$$

Dengan mengukur benda kerja secara langsung, luas benda kerja yang dilapisi dapat ditentukan. Maka tebal rata-rata dari lapisan ditentukan dengan rumus :

$$\text{Tebal Pelapisan} = \frac{\text{Volume}}{\text{Luas permukaan}}$$

Efisiensi plating pada umumnya dinyatakan sebagai efisiensi arus anoda maupun katoda. Efisiensi katoda yaitu arus yang digunakan untuk pengendapan logam pada katoda dibandingkan dengan total arus masuk. Arus yang tidak dipakai untuk pengendapan digunakan untuk penguraian air membentuk gas hidrogen, hilang menjadi panas atau pengendapan logam-logam lain sebagai impuritas yang tak diinginkan. Efisiensi anoda yaitu perbandingan antara jumlah logam yang terlarut dalam elektrolit dibanding dengan jumlah teoritis yang dapat larut menurut Hukum Faraday.

Kondisi plating yang baik bila diperoleh efisiensi katoda sama dengan efisiensi anoda, sehingga konsentrasi larutan bila menggunakan anoda aktif akan selalu tetap.

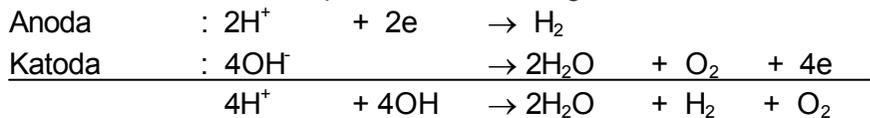


Gambar 3.36. Anoda seng

Efisiensi arus katoda sering dipakai sebagai pedoman menilai apakah semua arus yang masuk digunakan untuk mengendapkan ion logam pada katoda sehingga didapat efisiensi plating sebesar 100 % ataukah lebih kecil. Adanya kebocoran arus listrik, larutan yang tidak homogen dan elektrolisis air merupakan beberapa penyebab rendahnya efisiensi.

Elektrolisis air merupakan reaksi samping yang menghasilkan gas hidrogen pada katoda dan gas oksigen pada anoda.

Reaksi elektrolisis air dapat dituliskan sebagai berikut :



Secara praktis efisiensi plating dinyatakan sebagai perbandingan berat nyata terhadap berat teoritis endapan pada katoda.

Efisiensi katoda dituliskan sebagai :

$$? = \frac{W'}{W}$$

Dimana :

? = Efisiensi plating

W' = Berat nyata endapan pada katoda

W = Berat teoritis endapan pada katoda menurut Hukum Faraday

Apabila logam dimasukkan pada larutan yang mengandung ionnya sendiri akan menimbulkan beda potensial antara logam tersebut dengan larutan. Beda potensial ini disebabkan karena atom dari logam untuk menjadikan satu atau lebih muatan negatif dan lepas ke dalam larutan dalam bentuk ion. Pada saat yang bersamaan terjadi reaksi kebalikan dalam larutan. Dua reaksi yang berlawanan tersebut berlangsung pada kecepatan yang tidak sama, maka potensial ini akan diatur oleh permukaan logam dan elektrolit yang berhubungan dengan permukaan logam. Akhirnya kondisi setimbang tercapai dimana ionisasi dan pelepasan berlangsung tepat pada kecepatan yang sama. Kesetimbangan ini disebut dengan potensial kesetimbangan atau potensial bolak-balik pada partikel logam pada larutan yang dipergunakan.



Gambar 2.37. Anoda nikel dicelupan dalam elektrolit nikel.

Potensial elektroda standar berdasarkan skala hidrogen, dimana semua logam-logam sebelum hidrogen pada skala hidrogen mampu menggantikan hidrogen dari larutan yang mengandung ion hidrogen, dan logam-logam setelah hidrogen pada skala hidrogen biasanya tidak dapat menggantikan hidrogen secara langsung. Berikut ini adalah skala hidrogen :

Tabel 2.2. Daftar Deret Daya Gerak Listrik

| Beda potensial (Volt) | | | Beda Potensial (Volt) | | |
|-----------------------|----------------------|--------|-----------------------|---------------------|-------|
| Kalium | (K ⁺) | -2,92 | Nikel | (Ni ⁺⁺) | -0,25 |
| Sodium | (Na ⁺) | -2,71 | Timah putih | (Sn ⁺⁺) | -0,15 |
| Magnesium | (Mg ⁺⁺) | -2,34 | Timah hitam | (Pb ⁺⁺) | -0,13 |
| Aluminium | (Al ⁺⁺⁺) | -1,67 | Hidrogen | (H ⁺) | +0,00 |
| Mangan | (Mn ⁺⁺) | -1,10 | Tembaga | (Cu ⁺⁺) | +0,34 |
| Seng | (Zn ⁺⁺) | -0,769 | Tembaga | (Cu ⁺) | +0,52 |
| Chrom | (Cr ⁺⁺) | -0,56 | Perak | (Ag ⁺) | +0,80 |
| Besi | (Fe ⁺⁺) | -0,44 | Merkuri | (Hg ⁺⁺) | +0,91 |
| Cadmium | (Cd ⁺⁺) | -0,40 | Emas | (Au ⁺) | +1,68 |

Logam seng, timah hitam dan timah putih dinamakan logam dasar karena mudah larut di dalam asam dan ditunjukkan oleh tanda potensial negatif, sedangkan kebalikan dari ketiga logam diatas adalah logam mulia seperti tembaga, perak dan emas ditunjukkan oleh tanda potensial positif.

1. Proses Elektroplating Tembaga-Nikel-Khrom

Proses pelapisan tembaga-nikel-khrom terhadap logam ferro atau kuningan sebagai logam yang dilapis adalah satu cara untuk melindungi logam terhadap serangan korosi dan untuk mendapatkan sifat dekoratif. Cara pelapisan tembaga-nikel-khrom dengan metode elektroplating adalah sebagai berikut :

Pelapisan menggunakan arus searah. Cara kerjanya mirip dengan elektrolisa, dimana logam pelapis bertindak sebagai anoda, sedangkan logam dasarnya sebagai katoda. Cara terakhir ini yang disertai dengan perlakuan awal terhadap benda kerja yang baik mempunyai berbagai keuntungan dibandingkan dengan cara-cara yang lain. Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain :

- a. Lapisan relatif tipis.
- b. Ketebalan dapat dikontrol.
- c. Permukaan lapisan lebih halus.
- d. Hemat dilihat dari pemakaian logam khrom.

Pengerjaan elektroplating tembaga-nikel-khrom pada dasarnya terbagi atas tiga proses yaitu perlakuan awal, proses pelapisan dan proses pengolahan akhir hasil elektroplating.

Proses elektroplating ini terdapat tiga jenis proses pelapisan yaitu yang pertama adalah pelapisan logam dengan Tembaga, lalu dilanjutkan dengan pelapisan Nikel dan yang terakhir benda dilapis dengan Khrom.

2. Pelapisan Tembaga

Tembaga atau *Cuprum* (Cu) merupakan logam yang banyak sekali digunakan, karena mempunyai sifat hantaran arus dan panas yang baik. Tembaga digunakan untuk pelapisan dasar karena dapat menutup permukaan bahan yang dilapis dengan baik. Pelapisan dasar tembaga diperlukan untuk pelapisan lanjut dengan nikel yang kemudian yang kemudian dilakukan pelapisan akhir khrom.



Gambar 2.38. Body kamera yang dilapis tembaga

Aplikasi yang paling penting dari pelapisan tembaga adalah sebagai suatu lapisan dasar pada pelapisan baja sebelum dilapisi tembaga dari larutan asam yang biasanya diikuti pelapisan nikel dan khrom. Tembaga digunakan sebagai suatu lapisan awal untuk mendapatkan pelekatan yang bagus dan melindungi baja dari serangan keasaman larutan tembaga sulfat. Alasan pemilihan plating tembaga untuk aplikasi ini karena sifat penutupan lapisan yang bagus dan daya tembus yang tinggi.

Sifat-sifat Fisika Tembaga

- Logam berwarna kemerah-merahan dan berkilauan

- Dapat ditempa, dibengkokkan dan merupakan penghantar panas dan listrik
- Titik leleh : 1.083⁰C, titik didih : 2.301⁰C
- Berat jenis tembaga sekitar 8,92 gr/cm³

Sifat-sifat Kimia Tembaga

- Dalam udara kering sukar teroksidasi, akan tetapi jika dipanaskan akan membentuk oksida tembaga (CuO)
- Dalam udara lembab akan diubah menjadi senyawa karbonat atau karat basa, menurut reaksi :
 $2\text{Cu} + \text{O}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CuOH})_2 \text{CO}_3$
- Tidak dapat bereaksi dengan larutan HCl encer maupun H₂SO₄encer
- Dapat bereaksi dengan H₂SO₄ pekat maupun HNO₃ encer dan pekat
 $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$
 $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 \text{ pekat} \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}_2$
 $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 \text{ encer} \rightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$

Pada umumnya lapisan Tembaga adalah lapisan dasar yang harus dilapisi lagi dengan Nikel atau Khrom. Pada prinsipnya ini merupakan proses pengendapan logam secara elektrokimia, digunakan listrik arus searah (DC). Jenis elektrolit yang digunakan adalah tipe alkali dan tipe asam. Untuk tipe alkali komposisi larutan dan kondisi operasi dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Komposisi dan kondisi operasi plating tembaga sianida

| Tipe : <i>Strike</i> | |
|------------------------------|-----------------------|
| Komponen dan kondisi operasi | |
| Tembaga sianida | 15 gr/Lt |
| Potassium sianida | 23 gr/Lt |
| Sodium karbonat | 15 gr/Lt |
| pH | 12-12,6 |
| Temperatur | 30-40 °C |
| Rapat arus katoda | 1-2 A/dm ² |
| Efisiensi katoda | 30 % |

| Tipe : <i>Rochelle</i> | |
|------------------------------|-----------------------|
| Komponen dan kondisi operasi | |
| Tembaga sianida | 40 gr/Lt |
| Potasium sianida | 50 gr/Lt |
| Sodium karbonat | 30 gr/Lt |
| <i>Rochelle Salt</i> | 60 gr/Lt |
| pH | 10,2-10,5 |
| Temperatur | 40-60 °C |
| Rapat arus katoda | 2-4 A/dm ² |
| Efisiensi katoda | 50 % |
| Tipe : Efisiensi Tinggi | |
| Komponen dan kondisi operasi | |
| Tembaga sianida | 75 gr/Lt |
| Potasium sianida | 100 gr/Lt |
| Sodium karbonat | 30gr/Lt |
| pH | > 13 |
| Temperatur | 70-80 °C |
| Rapat arus katoda | 3-6 A/dm ² |
| Efisiensi katoda | 100 % |

Larutan *Strike* menghasilkan lapisan yang sangat tipis. Larutan *strike* dapat pula dipakai sebagai pembersih dengan pencelupan pada larutan sianida yang ditandai dengan keluarnya gas yang banyak pada benda kerja sehingga kotoran-kotoran yang menempel akan mengelupas. Larutan ini terutama digunakan pada komponen-komponen dari baja sebagai lapisan dasar, untuk selanjutnya dilakukan pelapisan tembaga dengan logam lain.



Gambar 2.39. Proses pelapisan tembaga

Formula kecepatan tinggi atau efisiensi tinggi digunakan untuk plating tembaga tebal, sementara proses *Rochelle* digunakan untuk menghasilkan pelapisan yang bersifat antara *strike* dan kecepatan tinggi. Garam-garam *Rochelle* tidak terdekomposisi dan hanya berkurang melalui *drag-out* yaitu terikutnya larutan pada benda kerja pada saat pengambilan dari tanki tinggi dibanding larutan *strike* sebab kerapatan arus katoda dan efisiensi penting dalam kecepatan plating. Larutan *Rochelle* dan kecepatan tinggi dapat dioperasikan pada temperatur relatif tinggi.

Komposisi larutan dan kondisi operasi untuk pelapisan tembaga asam dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Komposisi dan kondisi operasi plating tembaga asam

| Formula 1 | |
|------------------------------|-----------------------|
| Komponen dan kondisi operasi | |
| Tembaga sulfat | 200 gr/Lt |
| Asam sulfat | 50 gr/Lt, s.g. 1,84 |
| <i>Specific gravity</i> | 19°Be (pada 27°C) |
| Temperatur | 30-50 °C |
| Kerapatan katoda | 2-5 A/dm ² |
| Efisiensi katoda | 95-100 % |

| Formula 2, dengan klorida | |
|------------------------------|-----------------------|
| Komponen dan kondisi operasi | |
| Tembaga sulfat | 250 gr/Lt |
| Asam sulfat | 90 gr/Lt |
| Klorida | 50 mg/Lt |
| Kerapatan arus | 2-4 A/dm ² |
| Perbandingan anoda : | 1 : 1 |
| katoda | Udara |
| Agitasi | 24-32 °C |
| Temperatur | |

Proses "Pengolahan Awal" adalah proses persiapan permukaan dari benda kerja yang akan mengalami proses pelapisan logam. Pada umumnya proses pelapisan logam itu mempunyai dua tujuan pokok adalah sifat dekorasi, sifat ini untuk mendapatkan tampak rupa yang lebih baik dari benda asalnya, dan aplikasi teknologi, sifat ini misalnya untuk mendapatkan ketahanan

korosinya, mampu solder, kekerasan, sifat listrik dan lain sebagainya.

Keberhasilan proses pengolahan awal ini sangat menentukan kualitas hasil pelapisan logam, baik dengan cara listrik, kimia maupun dengan cara mekanis lainnya.

Proses pengolahan awal yang akan mengalami proses pelapisan logam pada umumnya meliputi proses-proses pembersihan dari segala macam pengotor (cleaning proses) dan juga termasuk proses-proses pada olah permukaan seperti polishing, buffing, dan proses persiapan permukaan yang lainnya.

Untuk mendapatkan daya lekat pelapisan logam (adhesi) dan fisik permukaan benda kerja yang baik dari suatu lapisan logam, maka perlu diperhatikan cara olah permukaan dan proses pembersihan permukaan. Ketidaksempurnaan kedua hal tersebut di atas dapat menyebabkan adanya garisan-garisan pada benda kerja dan pengelupasan hasil pelapisan logam.

Pemilihan proses serta jenis bahan yang dipakai, baik pembersihan dengan cara mekanis ataupun dengan cara kimia ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- jenis logam
- jenis pengotor
- tingkat kebersihan permukaan
- cara pembersihan dan jenis bahan

2.6. BAHAN NON METAL

2.6.1. Grafit

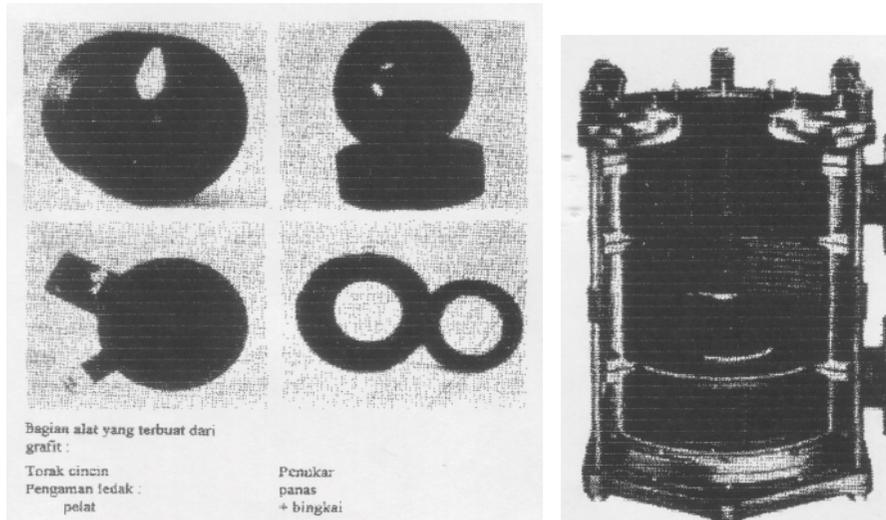
Grafit adalah suatu modifikasi dari karbon dengan sifat yang mirip logam (penghantar panas dan listrik yang baik). Di samping tidak cukup padat, grafit tidak terdapat dalam jumlah banyak di alam. Oleh karena itu, untuk keperluan peralatan teknik serta pembuatan elektroda, grafit harus dibuat secara sintetik. Pembuatan: Grafit alam atau grafit yang dibuat dari kokas diperkecil ukurannya, dicampur dengan ter atau resin sintetik, kemudian dipanaskan sehingga membentuk padatan (*sintering*) dalam

cetakan. Pada proses tersebut, bahan-bahan aditif terbakar menjadi arang. Pemanasan yang dilakukan sekali lagi sampai temperatur 3000°C akan menghasilkan lebih banyak grafit (grafit elektro). Untuk alat-alat seperti penukar panas, setelah pemanasan, grafit perlu diberi bahan aditif *impregnasi* (misalnya dempul dan serbuk grafit). Setelah proses *impregnasi*, ketahanan temperaturnya turun menjadi 165°C.

Sifat-sifat: Grafit adalah penghantar listrik dan panas yang cukup baik tetapi bersifat rapuh. Pada temperatur yang lebih tinggi, grafit teroksidasi oleh asam nitrat berasap, khlor atau oksigen. Grafit hanya dapat dilarutkan dalam besi leleh. Ditinjau dari segi ketahanan terhadap korosi, grafit merupakan bahan yang bidang penggunaannya sangat luas. Bahan tersebut tahan terhadap semua asam dan sebagian besar basa hingga di atas 100°C.

Dalam udara, grafit dapat digunakan sampai kira-kira 165°C. Apabila tidak diimpregnasi, grafit dapat digunakan sampai 500°C. Pengolahan dan penggunaan: Gumpalan-gumpalan grafit dipotong menjadi pelat atau dibuat langsung menjadi barang. Pelat-pelat tersebut ditempel pada bagian luar bejana dengan menggunakan bahan perekat, membentuk satu atau beberapa lapisan pada bejana. Celah-celahnya ditutup dempul.

Grafit digunakan sebagai elektroda, bantalan luncur, ring penyekat, dan aditif untuk bahan pelumas. Grafit juga mempertinggi kemampuan lumas teflon. Barang yang seluruhnya dibuat dari grafit adalah alat penukar panas, cawan lebur, batu filter, pompa, dan pelat pecah. Grafit juga digunakan sebagai bahan pengisi. Pada alat penyekat dan penghitung volume, sebagian peralatannya dibuat dari grafit (misalnya torak). Serat grafit dimanfaatkan untuk pelepasan muatan elektrostatis pada selubung ventilasi.



Gambar 2.40. Alat penukar panas blok dari grafit

2.6.2. Gelas dan Kuarsa

Gelas termasuk kelompok vitroida atau termogel, yang merupakan senyawa kimia dengan susunan yang kompleks. Senyawa tersebut diperoleh dengan membekukan lelehan yang lewat dingin. Gelas ialah produk yang "amorf dan bening dengan kekerasan dan elastisitas yang cukup, tetapi sangat rapuh.

Pembuatan: Gelas dibuat dari campuran pasir, soda, batu kapur, natrium sulfat, feldspar, senyawa boron dan aluminium serta bahan aditif lain, tergantung pada jenisnya. Dalam oven, campuran dileburkan misalnya pada temperatur 1600°C. Lelehan tersebut didinginkan sampai Pembuatan gelas kira-kira 1100°C. Produk-produk jadi atau setengah jadi (misalnya pelat, pipa, benda berongga, batang dan barang yang dipres) dapat dibuat langsung dari lelehan tersebut. Hal penting dalam pembuatan bahan itu adalah pendinginan bertahap dan perlahan-lahan. Mula-mula bahan didinginkan sampai temperatur transformasi (perubahan dari plastis ke elastis). Setelah perubahan tersebut, bahan didinginkan lagi hingga tuntas. Dengan cara demikian tidak akan terjadi tegangan dalam bahan yang dapat mengakibatkan retak secara tiba-tiba pada bahan ketika digunakan.

Sifat-sifat: Gelas merupakan bahan yang dapat ditembus oleh cahaya tampak dan sinar infra merah, tetapi tidak oleh sinar ultraviolet.

Gelas yang mengandung Pb tidak dapat dilewati oleh sinar Rontgen. Pemanasan akan menyebabkan pemuaian gelas yang besarnya sangat berbeda satu sama lain (tergantung koefisien pemuaian). Bila pemanasan atau pendinginan berlangsung terlalu cepat atau terkonsentrasi pada satu titik, akan terjadi tegangan. Karena gelas bersifat rapuh, tegangan tersebut dapat menimbulkan retakan. Bahan aditif khusus seperti boron oksida dapat membuat gelas kimia lebih tahan terhadap bahan kimia dan perubahan temperatur. Kuarsa memiliki sifat tennis yang lebih baik karena koefisien pemuaiannya sangat kecil.

Gelas merupakan isolator listrik yang baik dan penghantar panas yang buruk (terutama *glass wool*). Gelas kimia akan berubah sifatnya setelah digunakan bertahun-tahun atau dalam waktu yang lebih singkat lagi bila dipakai untuk temperatur yang lebih dari 150°C. Perubahan ini dimulai dengan teradinya kristalisasi pada beberapa tempat dan akhirnya pada seluruh tempat. Dengan demikian, gelas menjadi lebih rapuh dan tidak dapat digunakan.

Ketahanan kimia:

Gelas sangat mudah rusak oleh lelehan alkali, alkali karbonat, (pH 10), hidrogen, fluorida, dan agak mudah rusak oleh basa panas dengan pH 7 – 10, serta larutan panas asam anorganik yang mengandung air, misalnya HCl 30%.

Pengolahan dan penggunaan: Gelas dapat dibentuk dengan cara memanaskannya lagi (peniupan kaca). Selain itu gelas dapat digerinda dingin, dibor, dipotong, direkat, diperkuat (dengan plastik/serat gelas) dan bisa diberi tegangan (kaca pengaman) dengan pengerjaan panas.

Penggunaan: Gelas digunakan sebagai bahan bila dibutuhkan peralatan yang tembus pandang dan mempunyai ketahanan kimia yang tinggi. Contohnya pipa, kaca pengintip, organ penyekat, bejana kecil dalam operasi, botol keranjang, botol kecil, alat penukar panas, pompa, siklon, filter sinter, dan alat laboratorium. Secara khusus, gelas dapat digunakan sebagai kaca pengaman, bahan isolasi, kaca optik (misalnya untuk filter), kaca jendela, dan cermin.

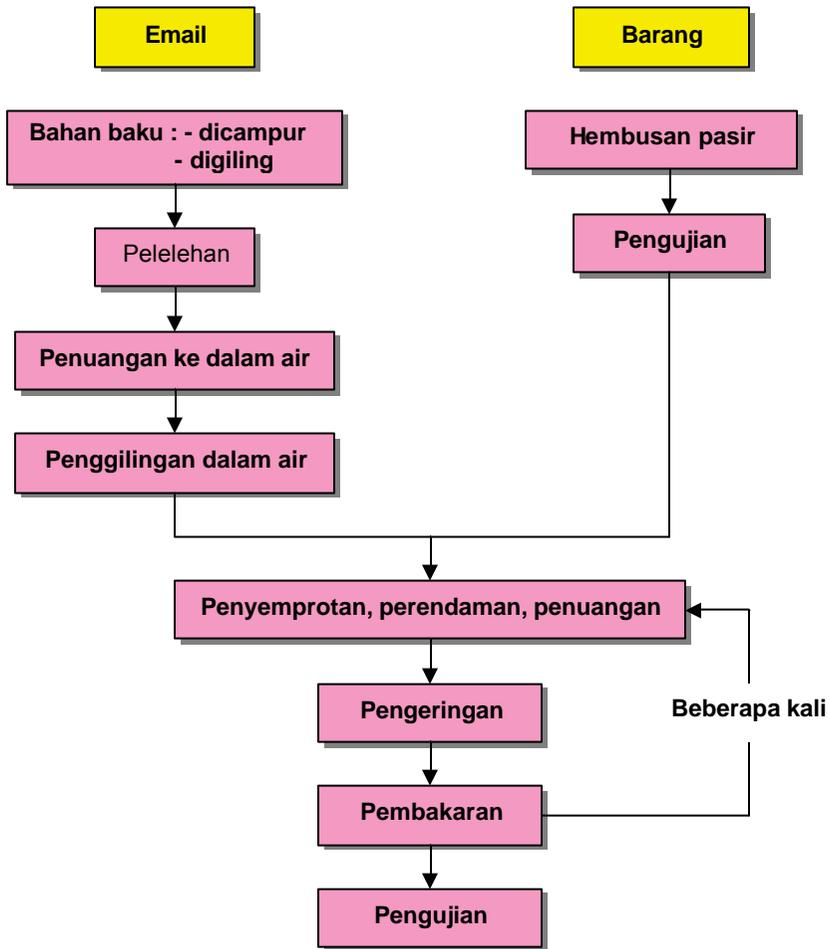
Keamanan: Botol biasa dan botol keranjang tidak boleh diberi beban tekanan. Bila tidak ada petunjuk kerja intern maka petunjuk kerja yang dikeluarkan oleh perusahaan pembuat gelas kimia harus diberlakukan.

2.6.3. Email

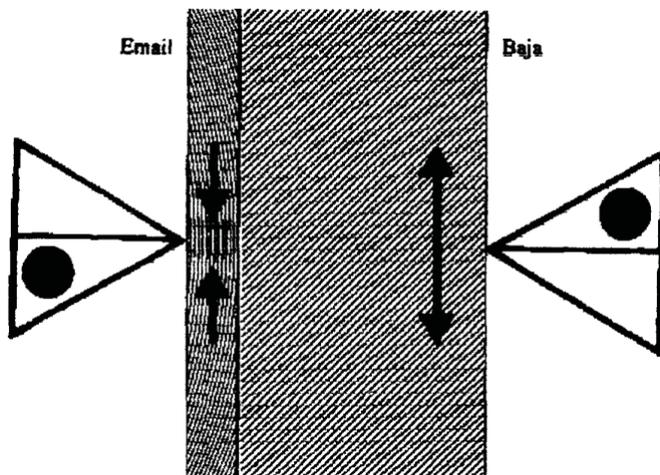
Email adalah bahan ticalak tembus pandang yang dibakarkan secara berlapis (3 - 6 lapis) pada bahan dasar. Email merupakan massa yang mirip gelas dan dapat menempel dengan kuat. Email terbentuk setelah campuran organik yang merigandung kuarsa dalam air dilapiskan ke alas permukaan logam dengan cara pelelehan dan "sinter".

Sifat-sifat: Email mempunyai sifat mirip gelas. Karena koefisien pemuaiannya lebih kecil dari pada baja, ada kemungkinan email bisa retak pada saat pemanasan. Hal ini disebabkan baja memuai lebih panjang. Demikian pula pada pendinginan yang cepat, email dapat menjadi retak karena tegangan tarik. Adanya retak-retak menyebabkan bahan proses dapat menerobos masuk, menyerang baja dan menyebar dibawah lapisan email. Apabila pada proses ini terbentuk gas seperti H_2 , gas tersebut dapat mengangkat lapisan email sehingga terkelupas. Untuk memperkecil bahaya ini, pada pembuatan peralatan email, email diberi tekanan-tegangan awal. Dengan demikian, penggunaan dengan perbedaan temperatur yang lebih besar diperbolehkan, sehingga peralatan dapat dipanaskan/didinginkan lebih cepat. Petunjuk dari perusahaan pembuat harus diberlakukan bila tidak ada petunjuk intern.

Penggunaan: Peralatan email digunakan dalam produksi bila produk yang diinginkan harus mempunyai kemurnian yang tinggi dan/atau peralatan harus mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap asam.



Gambar 2.41. Pembuatan email



Gambar 2.42. Bahaya keretakan lapisan email karena Δt yang terlalu besar

Petunjuk penggunaan:

- ✓ Pukulan atau benturan dengan benda keras harus dihindari. Misalnya pembersihan lubang yang tersumbat harus menggunakan kayu lunak. Bila bejana berlapis email akan diinjak, orang yang menginjak harus mengenakan sepatu kain.
- ✓ Kristal yang keras tidak boleh diisikan ke dalam peralatan email, karena akan terjadi erosi yang kuat.
- ✓ Perubahan temperatur tidak boleh terlalu tiba-tiba
- ✓ Kotak penyekat (*stuffing box*) dari email harus selalu diperiksa, temperaturnya tidak boleh lebih dari 40°C di atas temperatur reaksi.
- ✓ Bila peralatan sedang dalam keadaan kosong, email harus selalu dikontrol secara visual, apakah ada retakan-retakan dan pori-pori.
- ✓ Pada tiap inspeksi harus diperiksa apakah email menghantarkan listrik atau tidak. Pori-pori pada email dapat ditutup dengan sekrup tantalum dengan penyekat dari teflon. Pada kerusakan yang lebih besar digunakan pelat tantalum dengan teflon. Bila kerusakan terlalu besar, lapisan email harus diganti dengan yang baru.

2.6.4. Keramik

Benda keramik dibuat dari bahan dasar yang berasal dari campuran berbentuk bubuk yang mengandung aluminium silikat dan bahan-bahan aditif. Setelah dibentuk dalam keadaan plastis, keramik dikeringkan dalam udara dan dibakar satu atau beberapa kali.

Jenis-jenis keramik:

Bahan tanah (earthenware) (beling-beling berpori)

Tembikar (*pottery*): batu. merah, biau bakar

Bahan batu (*stoneware*): pelat dinding, bejana

Tanah tahan api (*fire clay*): barang saniter yang tebal

Batu tahan api: *chanaotte*

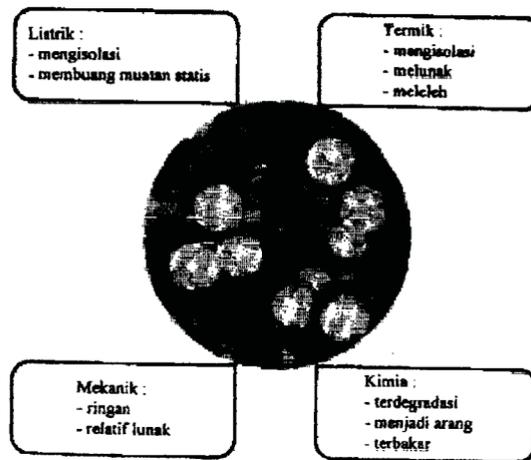
Produk khusus: filter *cartridge*, batu filter

Burying sintering (beling-beling padat)

Perkakas batu: pipa, organ penyekat, pompa, filter hisap, pelat filter, menara pencuci, benda pengisi, alat penukar panas, bejana, bejana

pencuci. *Porselen, filter cartridge*, periggiling bola, pompa pancar, benda pengisolasi.

Sifat-sifat: Ditinjau dari segi **korosi, benda keramik yang digunakan dalam industri kimia** memiliki sifat yang mirip dengan gelas. Tetapi sifat-sifat fisiknya tidak sebaik kaca, seperti kekuatan terhadap beban tekan (cukup), terhadap beban tarik (kecil), kekerasan (kurang), dan ketahanan terhadap perubahan temperatur (tidak baik).



Gambar 2.43. Bahan dasar organik : sifat-sifat utama

2.6.5. Karet

Getah pohon karet (lateks) mengandung polimer dari isoprena. Polimer tersebut mempunyai ikatan ganda. Dengan cara menambahkan belerang pada lateks dan memanaskannya, akan terbentuk suatu jaringan makromolekul. Proses ini disebut **vulkanisasi**. Bergantung pada banyaknya belerang yang dicampurkan, karet yang terbentuk akan bervariasi, dari karet yang elastis sampai karet yang keras.

Sifat-sifatnya akan lebih bervariasi lagi, bila ke dalam karet mentah dicampurkan bahan-bahan lain seperti karbon hitam, oksida seng, antioksidan, atau bahan pelunak.

Sifat-sifat karet yang divulkanisir. Di bawah temperatur 5°C , karet menjadi rapuh. Di atas 145°C , karet menjadi lengket. Dalam pelarut organik, karet mengembang atau melarut. Karet relatif tahan terhadap garam, asam dan basa, tetapi peka terhadap oksidasi.

Penggunaan:

Sampai temperatur 90°C , karet elastis dapat digunakan dan dapat diregang dengan baik. Karet elastis digunakan untuk penyambung selang, lapisan pelindung luar pada bagian yang bergerak, penyekat, atau paking.

Karet keras dapat digunakan sampai 100°C dan dalam keadaan dingin peka terhadap benturan. Karet keras digunakan untuk selimut bejana reaksi, tangki, alat sentrifugasi, pompa, dan pipa saluran.



Gambar 2.44. Karet keras pada baja

2.6.6. Kayu, Kertas, Karton

Kayu di samping mengandung selulosa sebagai bahan utama, juga mengandung bahan organik lain seperti resin. Kayu yang dipotong atau diperkecil ukurannya misalnya, dapat diberi bahan perekat dan ditekan menjadi pelat-pelat bubur kayu. Dengan penghancuran kayu secara kimia hingga menjadi serat-serat kayu yang kecil, akan diperoleh selulosa murni yang merupakan bahan baku untuk pembuatan kertas dan karton.

Penggunaan:

Kayu digunakan sebagai rak, lantai, filter pres, bahan pembungkus. Kayu tidak tahan terhadap bahan proses yang mengoksidasi, pelarut organik, dan air yang mendidih.

Kertas:

Digunakan sebagai kertas filter, pelat filter, kertas khromatografi, bahan pembungkus. Kertas tidak tahan terhadap bahan proses yang mengoksidasi.

Karton: digunakan untuk penyekat (karton yang lembab ditumpuk dan ditekan), untuk bahan pembungkus.

Bulu atau serat dari biji pohon kapas panjangnya 2 - 5 cm dan 90% berupa selulosa. Serat tersebut digunakan sebagai bahan baku kain.

Penggunaan: Kapas digunakan sebagai karung untuk alat sentrifugasi, selubung ventilasi dan pakaian kerja. Kapas juga dapat dibuat menjadi kain filter misalnya untuk filter pres, sentrifugasi, filter spiral **dan alat pemisah debu.**

2.6.7. Bahan Organik Sintetik

Bahan organik sintetik ialah senyawa kimia yang tersusun dari rantai karbon, terdiri atas 1000 atom atau lebih pada tiap makromolekulnya. Biasanya bahan sintetik terdiri atas campuran molekul sejenis dengan ukuran yang berbeda. Sebagian molekul membentuk ikatan silang (*crosslinking*) satu sama lain. Bahan sintetik dapat dibuat melalui reaksi polimerisasi, poliadisi, atau polikondensasi. Dengan kopolimerisasi (polimerisasi campur) dari bermacam-macam monomer, bahan ini dapat dibuat menjadi bahan sintetik dengan sifat yang berbeda-beda. Produk-produk yang dihasilkan biasanya merupakan bahan baku untuk pembuatan bahan dasar. Kebanyakan produk-produk tersebut masih perlu ditambah dengan bahan aditif, seperti bahan pelunak, stabilisator, pigmen, bahan pengisi dll.

Polimerisasi

Pembuatan bahan sintetik

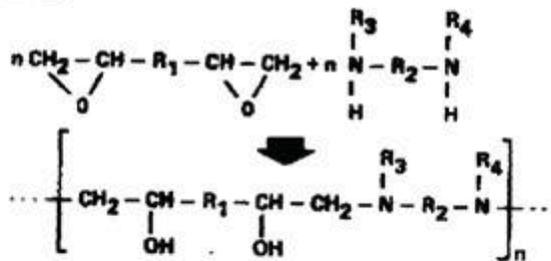
Polimerisasi



Manometer
(etilen)

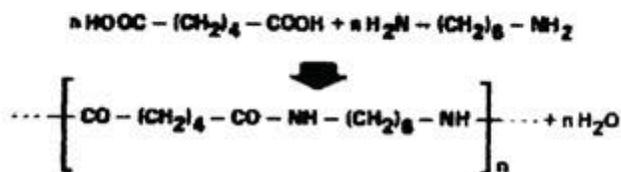
Polimer $n = 2000$ sampai 10.000
(polietilen)

Polimerisasi



Epoksi resin (contoh : araldit)

Polikondensasi



Polimida (contoh : nilon)

Bahan sintetik yang sudah jadi dijual dalam bentuk granulat atau serbuk. Bahan tersebut dapat dibuat dengan cara penggilingan, ekstrusi, injeksi, pengepresan, penarikan, meniup, atau pemintalan dalam keadaan cair (*melt spinning*) hingga didapat bahan setengah jadi atau bahan jadi. Selain itu, bahan sintetik juga dapat diolah dalam bentuk larutan, dispersi atau bahan pasta melalui cara injeksi, pemintalan, penuangan, atau pencelupan. Beberapa jenis bahan sintetik juga dapat

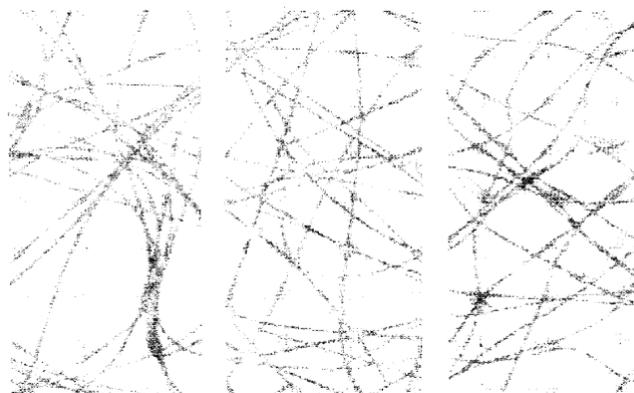
dibuat dari monomer melalui misalnya polimerisasi atau poliadisi. Reaksi tersebut dapat dilakukan langsung sehingga membentuk benda yang diinginkan. Dari banyak jenis bahan sintetik yang ada, hanya beberapa jenis yang cocok digunakan sebagai bagian alat dalam industri kimia. Untuk tujuan ini, bahan sintetik tidak hanya harus tahan terhadap bahan yang diproses, tetapi bentuknya juga harus tidak mudah berubah (karena panas), tidak boleh menjadi tua, mengembang atau menjadi rapuh (karena kehilangan bahan pelunak). Tergantung pada sifat bahan pelunak yang dicampurkan ke dalamnya pada waktu pembuatan, bahan sintetik dapat digolongkan menjadi termoplastik, duroplastik, dan elastoplastik (*elastomer*).

Termoplastik menjadi lunak bila dipanaskan dan menjadi keras kembali bila didinginkan.

Contoh: Polietilena, polipropilena, polivinil-klorida, nilon, kaca akrilik (plexiglass), teflon.

Duroplastik (plastik termoset) adalah plastik yang bila sudah mengeras tidak dapat dilunakkan kembali, sehingga bentuknya tidak dapat diubah. Comoh : Poliester, epoxid (araldit), phenoplastik.

Elastoplastik adalah plastik yang pada pemanasan menjadi lengket dan dapat dibentuk. Comoh Huila S, viton.



Gambar 2.45. Model struktur Termoplastik, Duroplastik, Elastoplastik

Kebanyakan bahan sintetik hanya dapat digunakan hingga temperatur 60°C, beberapa jenis sampai temperatur 100°C dan hanya sedikit yang tahan sampai 250°C. Beberapa jenis bahan sintetik menjadi rapuh pada temperatur di bawah 10°C.

Benda dari bahan sintetik dapat diolah dengan cara pemotongan (seperti digergaji, dibubut) dan dapat juga disambung dengan cara merekatkannya. Termoplastik dapat diolah dengan cara pemanasan dan pengelasan. Metode pengerjaan bahan sintetik tergantung pada jenis bahan tersebut.

Ketahanan terhadap bahan proses:

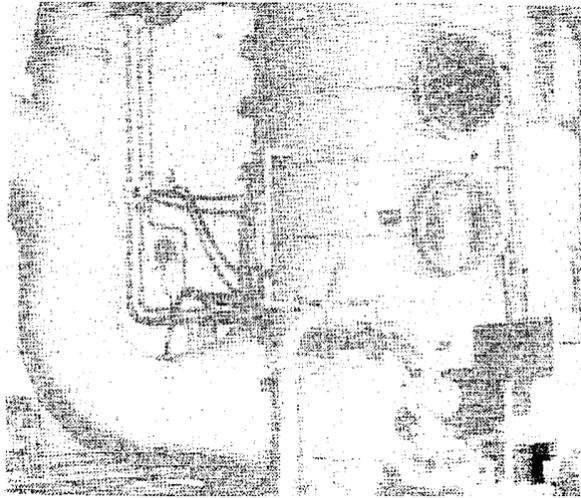
Bahan sintetik pada umumnya tahan terhadap asam anorganik yang encer. Juga tahan terhadap asam organik dengan rantai pendek larutan basa dan larutan garam. Hampir semua bahan sintetik tidak tahan terhadap halogen, asam halogenida dan hidrokarbon yang mengandung halogen. Banyak jenis bahan sintetik yang mengembang dalam alkohol, keton, ester, eter, dan hidrokarbon. Kadang-kadang bahan sintetik tersebut juga larut dalam pelarut di atas. Penggunaan benda dari bahan sintetik harus memperhatikan temperatur, yaitu tidak boleh lebih tinggi dari temperatur yang diizinkan. Asam nitrat, terutama yang berasap, asam yang keras mengoksidasi, hidrogen peroksida dan ozon jangan dikontakkan dengan bahan sintetik

1. Poli Etilena (PE), Poli Propilena (PP)

Tergantung pada cara pembuatan dan bahan aditif yang dicampurkan, bahan sintetik dapat bersifat lunak sampai keras. Tanpa pigmen, bahan ini berwarna putih susu. Poli etilena sering diberi warna hitam dengan jelaga. Poli propilena sering berwarna abu-abu mucla. Berat jenisnya sekitar 0,9 g/cm³. Poli etilena dapat tergores oleh kuku, sedangkan poli propilena tidak.

Ketahanan terhadap temperatur:

| | Tahan sampai | Dalam waktu singkat sampai |
|----------------|--------------|----------------------------|
| Poli etilena | 60°C | 80°C |
| Poli propilena | 100°C | 120°C |



Gambar 2.46. Alat penyalur udara dari polipropilen

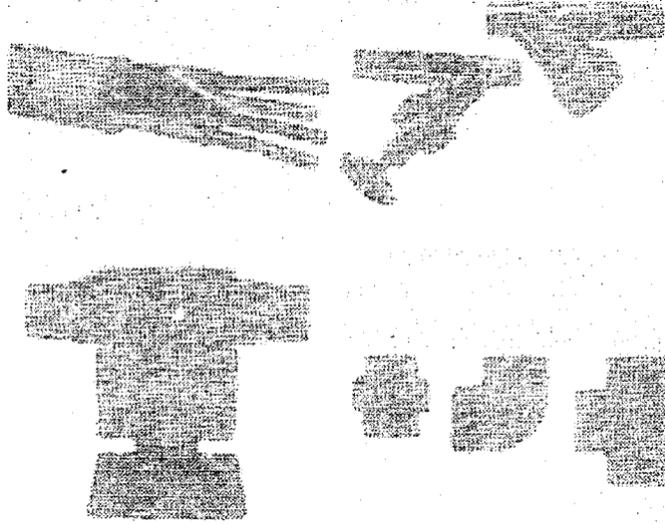
Setelah terkena api, kedua jenis bahan sintetik ini akan menyala terus. Bahan sintetik ini tahan terhadap hidrogen fluorida encer, asam klorida, hidrogen bromida, asam sulfat, asam-asam lemah dan basa anorganik yang encer. Bahan sintetik ini digunakan sebagai selang, pipa, bejana kecil, penyekat, bagian-bagian dari pompa, lembaran pembungkus, organ penyekat.

2. Poli Vinil Klorida (PVC)

Poli vinil klorida lebih keras dan lebih rapuh bila dibandingkan dengan poli etilena. Ketahanan terhadap temperatur dan terhadap hal-hal lainnya kira-kira sama dengan poli etilena (PE). Poli vinil klorida terbakar dalam api (melepaskan banyak gas HCl) dan padam sendiri bila dibawa ke luar jangkauan api. Masa jernisnya kira-kira 1,4g/cm³.

Ketahanan terhadap temperatur:

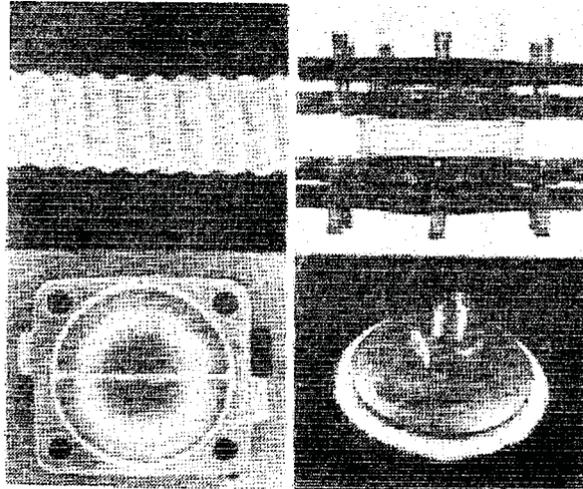
| | Tahan sampai | Dalam waktu singkat sampai |
|-----------|--------------|----------------------------|
| senyawa | 65°C | 80°C |
| PVC keras | 35°C | 70°C |



Gambar 2.47. Perlengkapan (*fitting*) din isolasi kabe1 dari PVC

3. Teflon (*Poll Tetra Flour Etilen, PTFE*)

Teflon adalah bahan sintetik yang sangat kuat, umumnya berwarna putih. Teflon tahan terhadap panas sampai kira-kira 250°C. Di atas 250°C teflon mulai melunak, di dalam api akan meleleh dan sulit menjadi arang. Berat jenisnya kira-kira 2,2 g/cm³. Teflon tidak tahan terhadap larutan alkali hidroksida. Juga kurang tahan terhadap hidrokarbon yang mengandung khlor. Teflon digunakan sebagai bahan penyekat, misalnya untuk kotak penyekat (*stuffing box*), cincin geser (sifat geseran dapat diperbaiki dengan Bagian-Bagian alat dari teflon menambahkan graft ke dalamnya). Digunakan juga untuk cincin O atau O-ring, untuk gasket konsentrik dengan diberi bahan lunak (sebab teflon tidak begitu elastis), alat-alat yang kecil, pipa, slang selubung pipa. Teflon dapat dipintal menjadi benang dan kemudian ditemm. Temman dari teflon merupakan bahan untuk filter yang sangat kuat.



Gambar 2.48. Bagian-bagian alat dari teflon

2.6.8. Semen

Semen adalah bahan-bahan yang memperlihatkan sifat-sifat karakteristik mengenai pangkitan serta pengerasannya jika dicampur dengan air, sehingga terbentuk pasta semen. Semen merupakan suatu hasil industri yang dapat menjadi sangat kompleks dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda.

Semen dapat dibagi dalam dua kelas sebagai berikut;

- Semen hidrolik
- Semen non-hidrolik.

1. Semen Hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air, semen hidrolik antara lain meliputi, tetapi tidak terbatas pada bahan-bahan sebagai berikut ;

- Kapur hidrolik
- Semen teras
- Semen terak
- Semen alam
- Semen portland
- Semen portland-teras
- Semen portland terak dapur-tinggi

- Semen alumina - Semen expansif

Dan jenis-jenis lain seperti ;

- Semen portland putih
- Semen berwarna
- Semen yang dipakai waktu pengeboran minyak
- Semen yang digunakan dengan pengaturan
- Semen kedap air
- Semen hydrophobik
- Semen anti-bakteri
- Semen Barium dan Stronsium

2. Semen non-hidrolik

Jenis-jenis semen ini tidak dapat mengikat serta mengeras didalam air, akan tetapi perlu udara untuk dapat mengeras, contoh utama dari jenis semen non-hidrolik adalah kapur.

- Tujuan dari penggunaan semen.
Tujuan dari penggunaan semen adalah mencampurkan butir-butir batu sedemikian sehingga menjadi masa yang padat.
Penggunaannya aritara lain adalah untuk pembuatan beton, adukan untuk tembok dan barang-barang lain.
- Bahan mentah serta pembuatan.
Batu kapur merupakan elemen utama untuk semua jenis semen. Jenis-jenis semen dengan berbagai-bagai mutu diperoleh dengan mengatur komposisi kapur atau dengan mengatur komposisi kapur dengan komponen-komponen lain dari semen.
Dengan membakar bahan mentah yang bersangkutan, maka bahan tersebut akan kehilangan air dan karbon dioksida, bahan baru hasil pembakaran mempunyai kemampuan untuk menyerap air lagi apabila digiling halus, sehingga setelah itu bila dicampur dengan air bahan halus tersebut dapat membentuk dirinya kembali menjadi bahan batu.
- Proses perawatan.
Waktu perawatan berlansung sejak air dibubuhkan pada semen sampai pengikatan awal dari pasta semen, permulaan serta lamanya proses perawatan bergantung pada jenis semen yang digunakan dan cara pengerjaannya. Selama waktu perawatan bahan yang bersangkutan tidak boleh dipengaruhi oleh getaran

mekanis, guncangan atau panas, sebab kekuatannya dapat berkurang sehingga tidak sesuai lagi dengan persyaratan.

- Proses pengerasan.

Proses pengerasan berlangsung sejak tercapainya pengikatan awal. Lamanya proses pengerasan serta penambahan kekuatan berlangsung untuk jangka waktu yang lama. Bahan yang bersangkutan memerlukan perlakuan yang hati-hati dan tidak boleh dipengaruhi oleh perlakuan-perlakuan kasar dari luar.

2.6.9. Kapur

Kapur telah digunakan berabad-abad lamanya sebagai bahan adukan dan plesteran untuk bangunan yang ditemukan dalam piramida-piramida di Mesir, yang dibangun lebih dari 4500 tahun yang lalu. Kapur dipergunakan sebagai bahan pengikat selama jama Romawi dan Yunani.

Orang-orang Romawi menggunakan beton untuk membangun Coliseum dan Pantheon, dengan cara mencampurkan kapur dengan abu gunung berapi yang didapat dekat Pozzuoli, Italia, yang mereka namakan Pozzolan (teras).

Fundasi dari kebanyakan jalan-jalan orang Romawi merupakan tanah dasar yang distabilisasi dengan kapur, termasuk jalan termasyhur Via Appia.

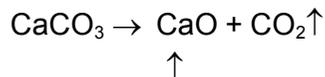
Kini kapur dipergunakan didalam bidang ;

- Pertanian
- Industri karet
- Industri Kimia
- Industri kayu
- Industri Pharmasi
- Industri gula
- Industri baja
- Industri semen

Kapur adalah batu endapan yang terbentuk melalui suatu proses kimia dan mekanis dalam alam. Lihat juga dalam bahan kuliah geologi.

A. Kapur putih

- Kapur putih disebut juga kapur dengan kadar Kalsium tinggi, kapur gemuk, kapur murni dan sebagainya.
- Kapur putih adalah kapur non-hidrolik dengan kadar Kalsium-oxida yang tinggi jika berupa kapur tohor (belum berhubungan dengan air) atau mengandung banyak Kalsium-hydroxida jika telah disiram (direndam) dengan air.
- Jenis-jenis kapur tersebut biasanya merupakan kapur gemuk.
- Kapur dihasilkan dengan membakar batu kapur atau
- Kalsium-karbonat bersama dengan bahan-bahan kotorannya seperti Magnesia, Silika, Besi, Alkali, Alumina dan Belerang.
- Proses pembakaran dilaksanakan dalam dapur (*oven*) vertikal atau dapur berputar pada suhu 800° - 1200°C. Kalsium-karbonat terurai menjadi Kalsiumoxida dan Karbondioxida dengan reaksi kimia sebagai berikut ;



Kalsiumoxida yang terjadi disebut kapur tohor, dan jika berhubungan dengan air berubah menjadi Kalsium hydroxida disertai kehilangan panas, reaksi kimianya adalah ;



Proses ini disebut proses mematikan kapur (*slaking*) dan hasilnya yaitu Kalsiumhydroxida disebut kapur mati.

Kecepatan berlangsungnya reaksi terutama bergantung pada kemurnian kapur, makin tinggi kemurnian kapur yang bersangkutan makin besar daya reaksinya terhadap air.

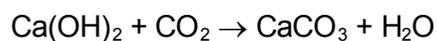
Kapur mati dapat diklasifikasikan kedalam tiga kelompok sebagai berikut ;

- Dapat dimatikan dengan cepat
- Dapat dimatikan agak lambat
- Dapat dimatikan dengan lambat.

Bergantung pada jumlah air yang digunakan selama proses mematikan kapur tohor, bisa diperoleh dempul kapur atau kapur mati. Kapur mati didapat dengan menambahkan air secukupnya pada kapur tohor, yaitu kira-kira 1/3 dari beratnya. Dempul kapur diperoleh dengan menambahkan air yang berlebihan pada kapur tohor.

Ke-dua jenis kapur yaitu kapur tohor dan dempul kapur selalu dicampur dengan pasir dengan perbandingan 1 bagian kapur dan 3 bagian pasir dengan ukuran volume, dengan cara demikian itu dapat dicegah terjadinya terlalu banyak penyusutan. Pengikatan adukan kapur adalah akibat kehilangan air dikarenakan penyerapan oleh bata umpamanya atau akibat penguapan.

Proses pengerasan berlangsung akibat reaksi Karbon - dioxida dari udara dengan kapur mati sebagai berikut ;



Seperti ditunjukkan oleh reaksi kimia diatas, maka terbentuk kembali Kalsium-karbonat berupa kristalkristal, yang mengikat masa heterogin itu menjadi suatu masa yang bergumpal.

Proses pengerasan berjalan lambat dan perkembangannya dapat berlangsung bertahun-tahun sebelum mencapai kekuatannya yang penuh.

Agar ini dapat tercapai, diperlukan aliran udara dengan bebas untuk persediaan Karbondioxida yang cukup, yang dapat menembus bagian terdalam dari adukan agar proses pengerasan dapat berlangsung menyeluruh.

Penggunaan :

Kapur putih cocok untuk menjernihkan plesteran langit-langit untuk mengapur kamar-kamar tidak penting, garasi, dibidang pertanian digunakan un tuk membasmi kutu-kutu dalam kandang.

Kapur putih sebagai bahan tambahan pada adukan tembok menambah kekenyalan serta memperbaiki sifat pengerjaannya.

Dengan dicampur dengan semen yaitu dengan perbandingan kapur putih : semen = 1 : 3 kapur putih dapat dituangkan untuk memperbaiki permukaan beton yang tidak mengandung pori-pori.

Kapur putih merupakan komponen utama dari bata yang terbuat dari pasir dan kapur.

Kekuatannya sebagai bahan pengikat adalah kecil dan hanya dapat mencapai 1/3 dari kekuatan semen portland.

B. Kapur hidrolis

Bahan mentah ;

Bahan mentahnya adalah kira-kira 65 - 75 % terdiri dari batu gamping yaitu kalsium karbonat dengan kotoran-kotoran berupa silika, alumina, magnesia dan oksida besi.

Cara pembuatan ;

Kapur hidrolis dibuat dengan membakar batu kapur yang mengandung silika dan lempung sampai menjadi klinker dan mengandung cukup kapur dan silikat untuk menghasilkan kapur hidrolis akan tetapi yang mengandung cukup kapur bebas sehingga masa klinker itu dapat menghasilkan kapur tohor setelah berhubungan dengan air.

Bilamana kadar alumina dan silika dalam batu kapur bertambah, maka panas yang terjadi berkurang dan pada suatu saat reaksi antara kapur dan air itu berhenti.

Pada suhu tinggi alumina dan silika berpadu dengan kalsium-oksida, kalsium-silikat, dan aluminat yang tidak mudah bergabung dengan air bila berada dalam bentuk gumpalan-gumpalan.

Oleh karena itu dalam proses pemberian air dibubuhkan kapur tohor sehingga gumpalan-gumpalan yang besar terpecah-pecah menjadi serbuk halus akibat pengembangan kapur tohor.

Produksi kapur di Indonesia

Bahan mentah yang biasa dipakai sebagai pozzolan yang terdapat di Indonesia adalah teras bahan seperti batu apung yang disemburkan oleh gunung berapi. Disamping teras batu apung

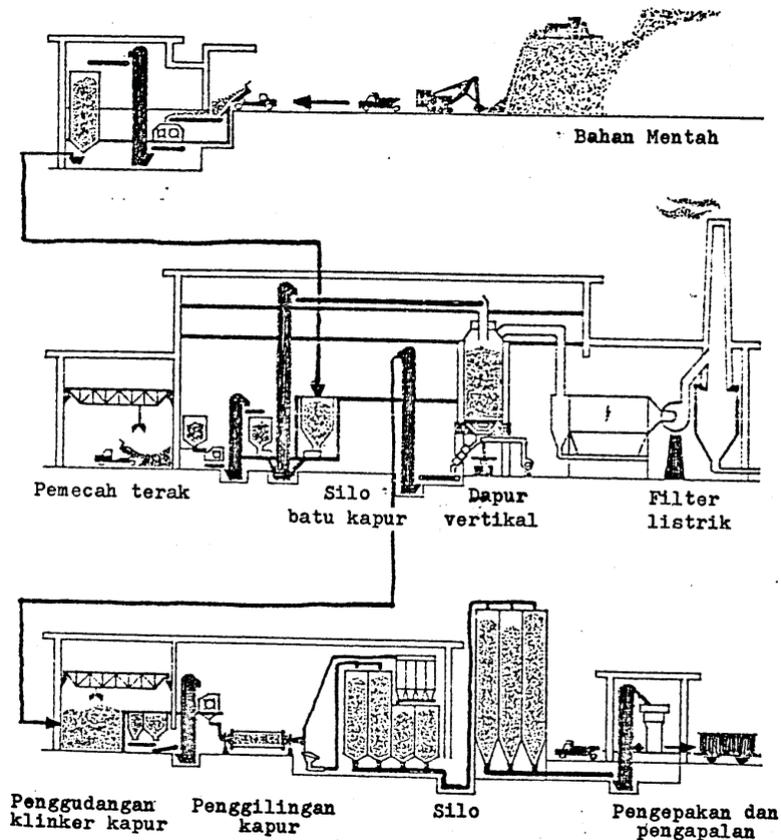
memperlihatkan juga sifat-sifat seperti pozzolan dan dapat dipergunakan sebagai kapur teras (*pozzolime*).

Hasil akhir adalah campuran dari pozzolan dan kapur tohor.

Perbandingannya berkisar antara 1 : 2 dan 1 : 3 dengan kapur selalu satu bagian dan pozzolan dua atau tiga bagian. Dapur pembakaran kapur di Indonesia berkisar antara yang paling sederhana sampai yang cukup modern dengan cerobong vertikal. Dapur ini biasanya diisi dengan batu kapur yang ukurannya terlampau besar, dengan akibat bahwa sebagian terbakar berlebihan, cukup terbakar, kurang terbakar, atau tidak terbakar sehingga hasilnya kurang memuaskan.

Disamping itu dalam memadamkan kapur tohor yang dihasilkan itu, seringkali dipergunakan terlalu banyak air, sehingga kapur mati yang diperoleh kadar airnya terlalu tinggi yang menyebabkannya segera menyerap karbondioksida dari udara dan membentuk kembali kalsium karbonat. Di Padalarang batu kapur yang dibakar itu berukuran jauh lebih kecil dari pada yang telah disebut diatas. Sebagai bahan pembakaran dipakai kayu dan serbuk arang batu yang dicampurkan dalam jumlah-jumlah tertentu diantara batu kapur. Selanjutnya pembakaran dilakukan dengan menggunakan kayu melalui dua buah lubang pembakaran dibawah. Kapur tohor yang dihasilkan adalah ringan, suatu bukti bahwa pembakaran telah dilaksanakan dengan baik dan kapur mati yang diperoleh adalah kering serta halus tanpa gumpalan-gumpalan.

Pemecah batu



Apabila hanya beberapa ratus kilogram kapur tohor akan dimatikan, maka dengan menghamparkan kapur tohor itu dan kemudian memercikannya dengan air akan didapat kapur mati yang kering serta cukup baik jika dilaksanakan dengan seksama. Namun demikian dengan membasahi kapur tohor tersebut dengan cukup air akan diperoleh hasil yang lebih memuaskan. Bilamana 10 atau 50 ton kapur tohor akan dimatikan perlu tersedia suatu peralatan industri khusus guna keperluan tersebut.

Sifat-sifat

Hasil akhir adalah batu kapur silikat dan kira-kira 1/4 nya adalah kapur tohor. Bahan berbentuk halus tersebut dapat segera bergabung dengan air.

Kapur hidrolik memperlihatkan sifat-sifat hidroliknya, namun tidak cocok untuk bangunan-bangunan didalam air oleh karena untuk mencapai kekerasannya kapur hidrolik membutuhkan udara segar.

Udara diperlukan agar proses karbonisasi antara kalsium hydroxida dan karbondioksida dari udara berlangsung dengan baik.

Proses ini menghasilkan kalsium karbonat yang akan mengeras, sehingga kapur mencapai kekuatannya yang penuh.

Sifat-sifat umum dari kapur adalah sebagai berikut ;

- Kekuatan kecil (rendah)
- Berat jenis rata-rata 1 kg/dm^3 .
- Bersifat hidrolik
- Tidak menunjukkan pelapukan
- Dapat terbawa arus.

Waktu perawatan adalah sebagai berikut ;

- Perawatan dimulai setelah 1 jam
- Perawatan diakhiri setelah 15 jam

Penggunaannya meliputi antara lain ;

- Adukan untuk tembok.
- Untuk lapisan bawah plesteran
- Untuk plesteran akhir.
- Sebagai adukan jika dicampur dengan semen.
- Sebagai bahan pembantu untuk beton indah (*expose-concrete*).

C. Semen Teras

Teras adalah suatu bahan yang mengandung Silisium atau Aluminium yang tidak mempunyai sifat penyemenan, namun dalam bentuk serbuk halus dan jika dibubuhi air dapat bereaksi dengan kalsiumhydroxida pada suhu ruangan dan membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai sifat-sifat semen.

Teras alam selanjutnya dapat dibagi dalam ;

1. Batu apung, obsidian, scoria, tuf, santorin dan teras yang dihasilkan dari batuan vulkanik.

2. Teras yang mengandung silika halus amorph yang tersebar dalam jumlah banyak dan dapat bereaksi dengan kapur jika dibubuhi air, kemudian membentuk silikat yang mempunyai sifat-sifat hidrolis.

Teras buatan meliputi abu arang-batu, terak ketel uap dan hasil tambahan dari pengolahan bijih bauxit.

Cara pembuatan teras buatan ;

Semen teras dibuat dengan menggiling langsung batuan vulkanik atau dengan membakar dan kemudian menggiling lempung, batu tulis dan tanah diatom. Semen teras meliputi semua bahan semen yang dibuat dengan menggunakan teras dan kapur tohor yang tidak membutuhkan pembakaran.

Penggunaan teras buatan ;

Semen teras jarang sekali digunakan dalam bidang konstruksi beton, semen teras dapat dipakai jika perlu menggunakan banyak bahan semen namun bangunan yang bersangkutan tidak perlu kuat.

Dalam jumlah terbatas semen teras dipergunakan pula untuk pembetonan masal yang membutuhkan panas hidrasi rendah.

Semen merah

Semen merah dapat dibuat dengan membakar lempung atau batu tulis dan kemudian menggilingnya, dapat juga dibuat dengan menggiling bata merah atau terak dapur tinggi (untuk membuat baja).

D. Semen Terak

Semen terak adalah semen hidrolis yang sebagian besar terdiri dari suatu campuran seragam serta kuat dari terak dapur tinggi dan kapur tohor, 60 % dari berat semen terak terdiri dari terak dapur tinggi, campuran itu biasanya tidak dibakar. Kita kenal dua jenis semen terak, jenis pertama dapat dipergunakan dalam kombinasi dengan semen portland untuk pembuatan beton dan dalam kombinasi dengan kapur untuk pembuatan adukan tembok.

Jenis ke-dua adalah semen terak yang mengandung bahan pembantu berupa udara, penggunaannya sama seperti jenis pertama

yaitu untuk keperluan umum. Terak dapur tinggi yang cocok untuk dipergunakan dalam semen terak, adalah silikat kapur yang dapat dilebur dan merupakan bahan tak-terpakai yang dihasilkan didalam dapur tinggi, pada waktu mencairkan besi dari bijihnya.

Cara pembuatan semen terak

Semen terak dibuat melalui beberapa pengolahan tertentu seperti penggilingan, yang menyebabkan terak itu bersifat hidrolik dan sekaligus mengurangi jumlah sulfida. yang dapat merusak. Setelah itu terak harus dikeringkan, selanjutnya harus dipersiapkan kapur tohor, menentukan perbandingan bahan-bahan yang akan dicampurkan, mencampur bahan-bahan tersebut dan akhirnya menggiling bahan-bahan yang telah tercampur itu.

Penggunaan semen terak.

Semen terak dalam beton struktural tidak menempati tempat penting, akan tetapi dapat digunakan dengan cukup menguntungkan jika dipergunakan dalam proyek-proyek yang membutuhkan adukan beton dalam jumlah besar, namun tidak mementingkan kekuatannya.

Semen terak dapat pula digunakan sebagai adukan semen yang bersifat khas, yaitu tidak memperlihatkan noda-noda oleh karena kadar alkalinnya adalah rendah.

E. Semen Alam

Semen alam adalah sebuah semen hidrolik yang dihasilkan dengan pembakaran batu kapur yang mengandung lempung, terdapat secara alamiah, pada suhu lebih rendah dari suhu pengerasan dan kemudian menggilingnya menjadi serbuk halus.

Kadar silika, alumina dan oksida besi cukup untuk menggabungkan diri dengan kalsiumoksida sehingga terjadi senyawa-senyawa kalsium silikat dan aluminat, yang dapat dianggap mempunyai sifat-sifat hidrolik seperti semen alam. Kita kenal dua jenis semen alam, jenis pertama pada umumnya dipergunakan dalam konstruksi beton bersama-sama dengan semen portland.

Jenis kedua adalah semen yang telah dibubuhi bahan pembantu yaitu udara, jenis semen kedua ini fungsinya sama seperti yang telah diutarakan diatas.

Cara pembuatannya

Semen alam dibuat dengan membakar lempung batu-kapau dengan kadar lempung 13 % - 35 %, kadar silika 10 % 20 % dan perbandingan yang sama antara alumina dan oksida-besi. Bahan lempung memberikan sifat-sifat hidrolik pada semen alam ini.

Setelah dibakar yang diikuti dengan mematakannya dengan air untuk menghilangkan kapur bebas, maka klinker yang diperoleh digiling menjadi serbuk halus. Semen alam yang dihasilkan ini mempunyai komposisi sebagai berikut ;

- SiO₂ 22% - 29%
- CaO 31% - 57%
- MgO 1½% - 2,2%
- Fe₂O₃ 1½% - 3,2%
- Al₂O₃ 5,2% - 8,8%

Penggunaan semen alam

Semen alam tidak boleh digunakan di tempat-tempat yang tidak terlindung terhadap pengaruh cuaca langsung, akan tetapi dapat dipergunakan dalam adukan atau beton yang tidak pernah akan mengalami tegangan tinggi, atau dalam keadaan yang membutuhkan banyak bahan namun sama sekali tidak memperhitungkan kekuatan bahan tersebut.

F. Semen Portland

Semen portland adalah suatu bahan konstruksi yang paling banyak dipakai serta merupakan jenis semen hidrolik yang terpenting.

Penggunaannya antara lain meliputi beton, adukan, plesteran, bahan penambal, adukan encer (*grout*) dan sebagainya.

Semen portland dipergunakan dalam semua jenis beton struktural seperti tembok, lantai, jembatan, terowongan dan sebagainya, yang diperkuat dengan tulangan atau tanpa tulangan. Selanjutnya semen portland itu digunakan dalam segala macam adukan seperti fundasi, telapak, dam, tembok penahan, perkerasan jalan dan sebagainya. Apabila semen portland dicampur dengan pasir atau kapur, dihasilkan adukan yang dipakai untuk pasangan bata atau batu, atau sebagai

bahan plesteran untuk permukaan tembok sebelah luar maupun sebelah dalam.

Bilamana semen portland dicampurkan dengan agregat kasar (batu pecah atau kerikil) dan agregat halus (pasir) kemudian dibubuhi air, maka terdapatlah beton. Semen portland didefinisikan sesuai dengan ASTM C150, sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang pada umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama dengan bahan utamanya. Perbandingan-perbandingan bahan utama dari semen portland adalah sebagai berikut ;

- Kapur (CaO) 60% – 65%
- Silika (SiO₂) 20% – 25%
- Oksida besi dan alumina
Fe₂O₃ dan Al₂O₃ 7% – 12%

Dengan mundurnya kerajaan Romawi, beton tidak dipakai lagi. Langkah pertama terhadap pengenalan kembali adalah pada kira-kira tahun 1790, pada waktu itu seorang Inggris bernama J. Smeaton menemukan bahwa jika kapur yang mengandung lempung dibakar, bahan itu akan mengeras didalam air. Semen ini menyerupai jenis semen yang telah dibuat oleh bangsa Romawi. Penyelidikan lebih lanjut oleh J. Parker dalam dasawarsa yang sama menjurus pada pembuatan semen alam hidrolik secara komersial, yang secara luas digunakan pada permulaan abad ke-19 di Inggris dan kemudian di Perancis.

Jembatan pertama yang dibuat dengan beton tak bertulang dilaksanakan di Souillac di Perancis pada tahun 1816. Pembuatan semen hidrolik yang lebih maju, yang dapat lebih dipercaya, dilakukan oleh Joseph Aspdin, seorang tukang batu dari Inggris pada tahun 1824. Hasilnya disebut semen portland oleh karena rupanya sama seperti batu bangunan yang ditemukan dipulau Portland, dekat pantai Dorset. Sampai akhir abad ke 19 semen portland telah banyak di export ke lain-lain negara di Dunia.

Pabrik semen portland yang dibuka pertama kali di luar Inggris, adalah di Perancis dalam tahun 1855, dan di USA dalam tahun 1871. Di Indonesia kita telah punya pabrik-pabrik semen - portland modern

dengan mutu internasional di tempat-tempat ;

1. SUMATERA, di Padang, yakni Pabrik Semen Indarung I, Indarung II, Indarung III dan Pabrik Semen Baturaja.
2. JAWA, Pabrik Semen Gresik, Semen Cibinong, Indo Cement, Pabrik Semen Nusantara.
3. SULAWESI, Pabrik Semen Tonasa.

Bahan mentah

Bahan semen portland dapat dibagi dalam tiga kelompok sebagai berikut ;

Daftar ; Bahan mentah semen portland

| Mengandung kapur ($\text{CaCO}_3 > 75 \%$) | Mengandung kapur dan lempung ($\text{CaCO}_3 = 40\% - 75\%$) | Mengandung lempung ($\text{CaCO}_3 < 40\%$) |
|---|--|---|
| Batu kapur Kapur Kerang | Batu kapur kelempungan Kapur kelempungan Batu marl kelempungan | Batu tulis (slate) Batu tulis (shale) Lempung |

Daftar diatas menunjukkan bahan-bahan yang dikandung oleh tiap-tiap kelompok. Dengan memperhatikan daftar diatas dan pengetahuan geologi, jelaslah bahwa semen portland itu terdiri terutama dari kapur, silika dan alumina. Kapur tidak terdapat dalam alam akan tetapi terdapat dalam bentuk yang cocok dalam kalsium karbonat. Silika dan alumina terdapat dalam keadaan bebas dalam alam, dalam bentuk lempung, batu tulis.

Batu kapur atau kalsiumkarbonat, mengandung kotoran kotoran berupa magnesia, silika, alkali, besi dan belerang. Magnesia dalam bentuk karbonat dari magnesia sering kali dijumpai dalam batu kapur, dan apabila terdapat dalam jumlah 5% atau lebih, maka batu kapur demikian itu tidak dapat dipakai. Silika tidak dapat bergabung dengan kapur didalam oven, jadi sejumlah kecil silika bebas dalam batu kapur menyebabkan batu kapur yang bersangkutan tidak dapat diterima.

Akan tetapi jika silika digabungkan dengan kapur dalam oven, maka dalam hal ini kapur itu dapat diterima. Besi dalam batu kapur dapat dijumpai dalam bentuk oksida yakni Fe_2O_3 atau dalam bentuk sulfida yaitu

FeS₂.

Bilamana besi terdapat dalam bentuk oksida, besi itu berfungsi sebagai aliran dalam penggabungan kapur dan silika didalam oven. Besi sebagai sulfida menghasilkan suatu reaksi yang dapat merusak produksi semen portland. Apabila dalam batu kapur kadar sulfida-besi melebihi 4%, maka batu kapur yang bersangkutan harus ditolak.

Alkali dalam batu kapur harus dijumpai dalam bentuk soda (natrium karbonat) atau potas (kalium karbonat). Jenis-jenis alkali tersebut tidak membahayakan dan tertinggal di dalam oven.

Alumina mempunyai peranan yang penting dalam batu kapur, salah satu peranannya ialah dengan cara bergabung dengan silika sedemikian sehingga batu kapur akan bergabung dengan kapur akan bergabung dengan kapur didalam oven dan dengan demikian menjadikan batu kapur suatu bahan yang dapat diterima.

Belerang, bahan kotoran akhir yang terdapat dalam batu kapur, dijumpai dalam dua buah bentuk yaitu kalsiumsulfat dan pyrit besi. Jikalau kadar (kandungan) kedua bahan tersebut mencapai 3% atau lebih, maka batu kapur yang bersangkutan harus ditolak.

Kapur adalah berbagai macam batu kapur, terbentuk dari organisma-organisma laut atau yang mengambang berbentuk butir-butir yang sangat halus, tembus air dan dapat dihancurkan dengan remasan tangan. Warnanya adalah putih atau sangat muda dan hampir seluruhnya terdiri dari kalsit.

Batuan yang dijumpai terdiri dari kerang kalsit dan dari mikroorganisma yang sebagian diikat menjadi satu oleh kalsit tanpa bentuk. Marl adalah deposit kalsium karbonat yang belum mengeras dan mengandung lempung, warnanya biasanya abu-abu atau abu-abu kebiru-biruan, agak lunak sehingga dapat diremas-remas, menyerupai kapur, biasa dijumpai bersama-sama dengan kapur ditempat-tempat tertentu.

Marl terbentuk didalam danau-danau air tawar, sebagian akibat tumbuh-tumbuhan air, kadar lempungnya berbeda-beda yaitu berkisar antara yang mengandung sedikit saja lempung (batu kapur kelempungan) sampai yang mengandung banyak lempung (lempung yang mengandung marl).

Batu tulis jenis slate terdiri dari lempung yang telah mengeras dalam bentuk berlapis-lapis yang dapat dibelah-belah menjadi lapisan tipis.

Batu tulis jenis ini tidak banyak digunakan dalam produksi semen portland. Batu tulis jenis shale terdiri dari lempung yang telah mengeras akibat mengalami tekanan, terbentuk dalam endapan-endapan dari lempung.

Dalam pembuatan semen portland batu tulis jenis shale dianggap lebih baik dari pada lempung lunak, oleh karena kemungkinan terjadinya segregasi dari shale dan batu kapur adalah sangat kecil.

Lempung terbentuk dari keping-keping pelapukan batu karang. Bergantung pada cara pengangkutannya, lem dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu, residual, endapan dan glasial. Lempung yang terbentuk akibat pelapukan batu karang disebut lempung residual. Lempung yang terbentuk akibat gerakan arus disebut lempung endapan. Lempung glasial terbentuk sebagai endapan akibat gerakan gletscher.

Kadar silika dalam setiap jenis lempung tidak boleh kurang dari 55% - 65%, dan jumlah gabungan dari alumina dan oksidabesi tidak boleh kurang dari $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ jumlah silika. Pasir besi, sebagai bahan mentah berupa oksidabesi, diambil 1% - 4% dari jumlah semen.

Pembuatan semen portland.

Pembuatan semen portland dilaksanakan melalui beberapa tahapan sebagai berikut ;

1. Penambangan
2. Pemecahan.
3. Penggilingan
4. Pencampuran (penggabungan)
5. Pembakaran.
6. Penggilingan
7. Penambahan bahan penghambat ikatan
8. Pengepakan

Semen portland dipersiapkan dengan menggiling bahan mentahnya kemudian mencampurkan bahan-bahan tersebut dalam perbandingan-perbandingan tertentu, selanjutnya membakar campuran itu pada suhu tinggi sampai menjadi klinker dan menggiling klinker itu sampai menjadi serbuk halus.

Klinker terbentuk dengan cara penebaran (pemencaran) antara butir-butir yang telah dicampurkan, oleh karena itu cara pencampuran bahan-bahan baku yang diperlukan harus dilaksanakan dengan seksama agar dihasilkan semen yang seragam.

Pencampuran dapat dilakukan dalam keadaan kering atau dalam keadaan basah, bergantung pada kekerasan batu yang sedang diolah.

1. Proses basah

Proses basah pada umumnya dilaksanakan jika yang diolah itu adalah bahan-bahan lunak seperti kapur dan lempung. Dalam hal ini dibubuhkan air pada bahan-bahan yang telah dihancurkan dan dicampurkan dalam perbandingan-perbandingan tertentu itu, sehingga diperoleh semacam bubur dari bahan-bahan mentah tersebut yang selanjutnya dimasukan kedalam sebuah oven berbentuk silinder.

Oven terbuat dari baja dan dilapisi bahan yang sukar menjadi cair, dipasang sedikit miring kebawah dan berputar secara kontinu melalui porosnya. Pembakaran didalam oven biasanya dilaksanakan dengan menggunakan serbuk arang batu, selain itu dapat digunakan pula gas atau minyak. Oven silinder ini mempunyai diameter 3,50 m, panjang 150 m dan kapasitas 700 ton semen setiap hari. Bubur yang dihasilkan dimasukkan melalui bagian atas dan klinker yang dihasilkan dikeluarkan melalui bagian bawah dari oven, tempat pemasukan bahan bakar.

Dengan suhu yang sedikit demi sedikit dinaikkan, bubur mengalami perubahan demi perubahan selama perjalanannya didalam oven. Pada suhu 100°C air menguap, pada suhu kira-kira 850°C keluar karbondioksida dan pada suhu kira-kira 1400°C berlangsung permulaan perpaduan didaerah pembakaran, dimana terbentuk kalsium silikat dan kalsium aluminat dalam klinker yang dihasilkan. Selanjutnya klinker didinginkan dan kemudian digiling sambil dibubuhi 1% - 5% batu tahu (*gips*) sampai mencapai kehalusan butiran yang disyaratkan. Berbagai jenis semen portland dapat dibuat dengan cara merubah perbandingan-perbandingan bahan-bahan bakunya, suhu pembakaran, serta kehalusan penggilingan klinkernya.

Batu tahu dibubuhkan untuk mengontrol waktu pengikatan semen, sebab jika tidak, semen akan terlalu cepat mengikat untuk penggunaan biasa (umum). Untuk membuat semen khusus dapat pula ditambahkan bahan pembantu utama, Kalsium chlorida dapat ditambahkan untuk memperoleh semen yang cepat mengeras.

2. Proses Kering dan Semi-Kering.

Proses kering atau semi kering digunakan jika harus diolah batuan yang keras atau lebih keras dari pada batuan yang diolah pada proses basah. Dalam hal ini biasanya bahan mentahnya berupa batu kapur dan batu tulis jenis shale.

Bahan-bahan mentah dihancurkan sampai menjadi serbuk dan dengan campuran sedikit air dimasukan kedalam sebuah pan (wadah) yang berbuncak (berbenggol-benggol), berputar dan letaknya miring. Hasilnya berupa tepung kasar, dimasukkan kedalam oven dan proses selanjutnya adalah sama dengan proses basah yang telah diuraikan diatas. Namun dalam proses semi kering ini digunakan oven silinder yang lebih pendek.

Dalam proses ini penggilingan klinker menghasilkan serbuk semen portland yang masih panas dan dibiarkan dahulu menjadi dingin sebelum meninggalkan pabrik semen.

Sifat-sifat dari Ikatan Utama semen Portland.

Apabila dilakukan analisa kimia terhadap suatu jenis semen portland, maka akan diperoleh susunan senyawa-senyawa sebagai berikut ;

- Kalsiumoxida
- Silika
- Alumina
- Oksida besi
- Magnesiumoxida
- Sulfur-trioxida
- dan lain-lain.

Analisa kimia lebih lanjut menunjukkan bahwa oksida oksida tersebut diatas dalam semen portland dijumpai dalam bentuk ikatan-ikatan kalsium silikat dan aluminat sebagai berikut ;

- Trikalsium silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) yang dipendekan menjadi C_3S
- Dikalsium silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) yang dipendekan menjadi C_2S
- Trikalsium aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) yang dipendekan menjadi C_3A
- Tetrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) yang dipendekan menjadi C_4AF

Ikatan-ikatan tersebut dalam klinker didapat sebagai kristal-kristal yang saling mengunci.

Karakteristik-karakteristik dari ikatan-ikatan utama dalam Semen Portland.

| Nilai | Trikalsium Silikat $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S) | Dikalsium Silikat $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S) | Trikalsium Aluminat $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) | Tetrakalsium Aluminoferrit $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) |
|---------------------------------|--|---|--|--|
| Nilai Penyemenan | Baik | Baik | Buruk | Buruk |
| Keecepatan Reaksi | Sedang | Lambat | Cepat | Lamban |
| Banyaknya panas yang dibebaskan | Sedang | Sedikit | Banyak | Sedikit |

Keterangan lebih lanjut tentang ikatan-ikatan utama dalam Semen portland ;

1. Trikalsium silikat (C_3S)

Ikatan yang paling dikehendaki dalam semen portland adalah trikalsium silikat, oleh karena trikalsium silikat cepat mengeras dan menjadi penyebab bagi semen portland untuk mencapai kekuatan awal yang tinggi.

Apabila dibubuhkan air pada trikalsium silikat, maka terjadilah reaksi yang cepat.

2. Dikalsium silikat (C_2S)

Dikalsium silikat mengeras perlahan-lahan (lambat) akan tetapi pengaruhnya terhadap penambahan kekuatan pada umur lebih dari satu minggu besar.

Jika dikalsium silikat berhubungan dengan air, maka dikalsium silikat mengikat air dengan lambat dan terbentuklah kalsium silikat hidrat.

3. Trikalsium aluminat (C_3A)

Trikalsium aluminat membebaskan panas yang sangat banyak selama hari-hari pertama dalam men capai pengerasan.

Trikalsium aluminat memegang peranan pula dalam perkembangan kekuatan awal, meskipun tidak banyak.

Trikalsium aluminat mengikat air dan membentuk trikalsium aluminat hidrat, bilamana dibubuhkan batu tahu (gips), maka terbentuklah bahan penghambat, sehingga perkembangan panas berkurang dan pengikatan berlansung lebih lambat.

Keadaan ini terjadi oleh karena apabila terdapat batu tahu terbentuklah kalsium sulfoaluminat dan bukan trikalsium aluminat hidrat.

4. Tetrakalsium Aluminoferrit (C_4AF)

Dengan terbentuknya tetrakalsium aluminoferrit, maka suhu yang menyebabkan terjadinya klinker menurun, sehingga dengan demikian membantu dalam pembuatan semen portland.

Tetrakalsium aluminoferrit cepat mengikat air namun sedikit sekali memberikan sumbangan pada perkembangan kekuatan.

Susunan ikatan untuk jenis-jenis semen portland yang biasa diproduksi.

| Jenis-jenis ikatan semen portland | Susunan ikatan dalam % | | | |
|-----------------------------------|------------------------|--------|--------|---------|
| | C_3S | C_2S | C_3A | C_4AF |
| I. Biasa | 50 | 24 | 11 | 8 |
| II. Moderat | 42 | 33 | 5 | 13 |
| III. Kekuatan awal tinggi | 60 | 13 | 9 | 8 |
| IV. Panas hydrasi rendah | 26 | 50 | 5 | 12 |
| V. Tahan terhadap sulfat | 40 | 40 | 4 | 9 |

Jenis (type) Semen Portland.

Sehubungan dengan susunan ikatan kimianya, sifat - sifat dan tujuan penggunaannya, semen portland dibagi dalam beberapa jenis.

Standar Industri Indonesia SII 0013-1977 menetapkan lima jenis (type) semen portland yaitu ;

Jenis (type) I ;

Jenis I adalah semen untuk pemakaian umum tanpa persyaratan khusus.

Jenis (type) II ;

Jenis II adalah semen yang mempunyai sifat ketahanan sedang terhadap garam-garam sulfat didalam air. Untuk semen jenis ini disyaratkan kadar C₃A tidak lebih dari 8 %

Jenis (type) III ;

Jenis III adalah semen yang cepat mengeras atau semen yang mempunyai kekuatan tinggi pada umur muda. Kadar C₃S dan C₃A pada jenis semen ini adalah tinggi, sedangkan butirannya halus (semen digiling halus sekali).

Jenis (type) IV ;

Jenis IV adalah semen dengan panas hydrasi rendah. Semen jenis ini pengerasan serta perkembangannya lambat.

Kadar C₃S dibatasi sampai maximum 35 % dan kadar C₃A maximum 5 %,

Semen jenis (type) I ripergunakan untuk pekerjaan bangunan dan beton secara umum, yang untuk pemakaiannya atau lingkungannya tidak diperlukan persyaratan khusus.

Semen jenis (type) II dipergunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang berhubungan terus menerus dengan air kotor dan air tanah.

Umpamanya untuk pondasi bangunan yang tertanam di dalam tanah yang mengandung air agresif yaitu air yang mengandung larutan garam-garam sulfat, untuk pembuatan saluran air buangan dan untuk bangunan yang berhubungan dengan air rawa.

Semen jenis (type) III dipergunakan untuk pekerjaan beton didaerah yang bersuhu rendah (mempunyai musim dingin), terutama didaerah yang beriklim dingin. Ini disebabkan oleh karena semen akan lambat mengeras bilamana suhu udara dingin, apalagi bila suhu turun sampai dibawah titik beku air.

Semen jenis (type) IV digunakan untuk pembuatan beton atau bangunan yang berukuran besar dengan tebal lebih dari 2,00 m, umpamanya untuk pembuatan bendung (dam), pondasi jembatan yang besar atau landasan mesin berukuran besar.

Semen jenis (type) V dipergunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, untuk bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang selalu berhubungan dengan air tanah yang mengandung garam-garam sulfat dalam prosentase yang tinggi.

Disamping jenis-jenis semen tersebut diatas terdapat pula jenis-jenis lain, yang sifat maupun pens gunaannya berbeda-beda, jenis-jenis itu antara lain ;

1. Semen putih.

Semen putih adalah semen portland yang kadar oxidabesinya rendah ayitu kurang dari 0,5 %.

Pada waktu pembuatannya harus dicurahkan cukup perhatian terhadap hal-hal berikut ;

Sebagai bahan bakar harus digunakan minyak bumi. Untuk menggiling terak lapisan dalam mesin penggiling dan bola penggiling tidak boleh terbuat dari baja.

Bahan baku yang dipakai harus kapur murni, lempung putih yang tidak mengandung oxida besi dan pasir silika.

Mesin penggiling dan bahan baku harus bebas dari pengotoran oleh besi, sehingga semen yang dihasilkan bebas pula dari pengotoran tersebut.

Semen putih antara lain dipergunakan untuk pembuatan ubin, lantai dan bagian-bagian lain dari bangunan yang harus memperlihatkan permukaan indah atau dekoratif.

Semen putih harganya lebih mahal dari pada semen biasa, di Indonesia semen putih baru dibuat oleh pabrik semen PT. INDO CEMENT di Citeureup-Bogor.

2. Semen portland teras (Pozzolan).

Semen portland teras adalah campuran dari semen port land dan bahan-bahan yang bersifat seperti teras (pozzolan).

Teras ini dapat berupa teras alam (yang baik), terak dapur tinggi, abu arang-batu (fly ash, abu terbang) dan hasil pembakaran lempung.

Pembuatan semen teras dilaksanakan dengan menggiling langsung bahan-bahan untuk semen portland yang telah dibakar dengan teras sambil dibubuhi batu-tahu, kadar teras yang digunakan berkisar

antara 10% - 30%.

Jenis semen ini antara lain dipergunakan untuk pembuatan semen yang tahan terhadap serangan sulfat, jenis semen ini memperbaiki ketahanan semen terhadap suhu tinggi, merendahkan panas hydrasi serta memperlambat pengerasan semen.

Jenis semen ini dapat dipergunakan untuk pembuatan bangunan yang berhubungan dengan air laut, untuk pembuatan bendungan dan untuk pondasi yang berukuran besar.

3. Semen alumina

Semen alumina dibuat dari batu kapur dan bauxit yang satu demi satu digiling sampai halus, dicampurkan menurut perbandingan-perbandingan tertentu kemudian dibakar dalam tungku sampai mencapai suhu 1600°C dan terbentuk klinker.

Klinker digiling sampai halus, maka dihasilkanlah semen alumina berwarna abu-abu.

Jenis semen ini tahan terhadap asam, tahan terhadap garam-garam sulfat serta merupakan semen tahan api (suhu tinggi), akan tetapi jika semen ini dipergunakan terus menerus pada suhu normal yang lebih tinggi dari 29°C, kekuatan serta daya ikatnya berangsur-angsur akan berkurang.

Oleh sebab itu jenis semen ini hanya dapat dipakai di negara yang beriklim dingin. Semen alumina cepat mengeras dan dalam waktu 24 jam telah mencapai kekuatan yang penuh.

Seperti telah diutarakan tadi semen alumina dipergunakan bilamana perlu dicapai kekuatan awal yang tinggi dan seterusnya dipertahankan suhu yang rendah.

4. Semen portland dapur-tinggi.

Semen portland dapur-tinggi dibuat dengan cara menggiling klinker dari bahan-bahan untuk semen portland bersama-sama dengan terak yang dihasilkan oleh dapur tinggi sampai halus.

Jumlah terak dapur tinggi yang digiling tidak melebihi 65 % dari seluruh jumlah campurannya. Sifat-sifat semen dapur tinggi menyerupai sifat-sifat semen portland, perkembangan kekuatan serta daya ikatnya lambat, namun semen ini tahan terhadap serangan

sulfat, sehingga dapat dipergunakan untuk pembuatan bangunan dilaut.

Semen portland dapur tinggi belum dibuat di Indonesia. Disamping itu dari terak dapur tinggi dapat di buat pula semen "Super-Sulfat" yaitu semen yang dibuat dengan menggiling sampai halus terak dapur tinggi 80 % - 85 % dan kalsium sulfat anhidrat (gips) yang telah dibakar 10 % - 15 %.

Semen sulfat sangat tahan terhadap serangan garam sulfat dan asam lemah.

5. Sifat-sifat semen portland.

Pada pragraf-pragraf terdahulu telah dibahas mengenai senyawa-senyawa atau oksida-oksida dan kemudian ikatan-ikatan dari senyawa-senyawa tersebut yang terdapat dalam semen portland. Sifat-sifat semen portland sangat dipengaruhi oleh susunan ikatan dari oksida-oksida serta dari bahan-bahan kotoran-kotoran lainnya.

Untuk menilai sifat-sifat dan mutu semen perlu dilakukan pengujian di Laboratorium.

Pengujian dilaksanakan berdasarkan suatu standar yaitu standar cara pengujian dan standar persyaratan mutu.

Standar yang paling umum dianut di Dunia ialah standar ASTM - C150, Standar Inggris BS - 12, Standar Jerman DIN dan Standar "Internasional Standar Organization" ISO .

Kini Indonesia telah memiliki Standar Industri Indonesia (SII-0013-77) yang menganut standar ASTM. Dari semua standar yang terdapat di Dunia hampir semuanya menguji mutu semen terhadap susunan kimia dan sifat-sifat fisiknya.

- Susunan Kimia.

Untuk mengetahui susunan kimia dari semen portland dilakukan analisa kimia, dengan cara ini diperoleh persentase dari setiap oksida dan kemudian dihitung susunan ikatannya.

Pada umumnya analisa kimia menunjukkan persentase dari senyawa-senyawa dan hal-hal berikut ;

Bagian yang tidak larut (dalam asam chlorida).

- Silisiumdioxida (SiO₂)
- Aluminiumoxida (Al₂O₃)
- Kalsiumoxida (CaO)
- Ferioxida (Fe₂O₃)
- Magnesiumoxida (MgO)
- Sulfurtrioxoda (SO₃)
- Alkali sebagai Natriumoxida (Na₂O)
- sebagai Kaliumoxida (K₂O)
- Hilang pijar.
- Kalsiumoxida bebas (CaO-bebas)

Oxida-oxida lainnya seperti fosporoxida, Titan dan Mangan tidak dianalisa, kecuali apabila secara khusus diperlukan.

- Sifat-sifat Fisik.

Kehalusan butir.

Kehalusan butiran semen mempengaruhi kecepatan hydrasi. Makin halus butiran-butiran semen, makin cepat berjalannya proses hydrasi dan makin cepat pula perkembangan kekuatan selama 7 hari pertama.

Untuk mengukur kahalusan butiran semen digunakan "Turbidimeter dari Wagner " atau " Air Permeability meter dari Blaine ".

RANGKUMAN :

1. Bahan-bahan yang digunakan manusia mengikuti siklus bahan mulai dari ekstraksi, pembuatan sampai pelapukan.
2. Suatu aspek yang sangat penting dalam konsep siklus bahan adalah kaitan yang erat antara bahan, energi dan lingkungan.
3. Mengganti dan / atau mengurangi pemakaian bahan baku dan penunjang yang bersifat berbahaya dan beracun (B3) terhadap lingkungan dan manusia.
4. Membersihkan dan membuang dengan benar kemasan bekas, terutama kemasan bahan berbahaya dan beracun sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
5. Tujuan penyimpanan bahan baku dan bahan penunjang yang tersisa adalah :
 - Memperoleh penghematan biaya
 - Mengurangi bahaya
 - Meningkatkan keselamatan
6. Sumber Logam (source of metal) adalah bijih-bijih logam yang diperoleh dari penambangan biasanya masih bercampur dengan bahan-bahan ikutan lainnya.
7. Ada dua macam besi kasar yang dihasilkan oleh dapur tinggi yaitu besi kasar putih dan besi kasar kelabu.
8. Tembaga ini mempunyai sifat sifat yang sangat baik yakni; sebagai penghantar listrik dan panas yang baik, mampu tempa, duktil dan mudah dibentuk menjadi plat-plat atau kawat.
9. Logam aluminium mempunyai struktur kristal FCC. Logam ini tahan terhadap korosi pada media yang berubah-ubah dan juga mempunyai duktilitas yang tinggi.
10. Seng tergolong logam rapuh, tetapi pada temperatur 100°-150°C mempunyai sifat-sifat mudah diroll dan ditarik menjadi kawat. Logam ini mempunyai susunan kristal hcp.
11. Timbel berwarna abu-abu ke biru-biruan, logam ini sangat lunak/lembek dan mampu tempa. Logam timbel mempunyai struktur kristal f c c , dan mempunyai sifat konduksi panas/listrik yang baik , kekerasannya 1/10 logam tembaga.

12. Biji magnesium yang banyak kita kenal adalah Magnesit/ Magnesium karbonat) $MgCO_3$, Dolomite $CaCO_3$, $MgCO_3$, carolite $MgCl_2KCl_6 H_2O$.
13. Proses pelapisan tembaga-nikel-khrom terhadap logam ferro atau kuningan sebagai logam yang dilapis adalah satu cara untuk melindungi logam terhadap serangan korosi dan untuk mendapatkan sifat dekoratif.
14. Semen terak adalah semen hidrolik yang sebagian besar terdiri dari suatu campuran seragam serta kuat dari terak dapur tinggi dan kapur tohor, 60 % dari berat semen terak terdiri dari terak dapur tinggi, campuran itu biasanya tidak dibakar.

CONTOH SOAL :

1. Jelaskan prinsip dasar pelapisan logam secara listrik?

Jawab :

Prinsip dasar pelapisan logam secara listrik :

- Benda yang dilapisi diletakkan di Katoda
 - Logam pelapis diletakkan di Anoda
 - Larutan elektrolit sesuai dengan garam anoda
 - Arus listrik yang digunakan arus listrik searah
2. Suatu benda yang terbuat dari besi akan dilapis dengan logam tembaga. Waktu pelapisan 10 menit. Arus yang digunakan 2 A/dm². Luasan benda yang akan dilapis 2 dm². Tentukan massa tembaga yang terlapis? MA = 63,5.

Jawab :

$$\begin{aligned} G &= \frac{e I t}{96500} \\ &= \frac{63,5 / 2 \cdot 2,2 \cdot 10 \times 60}{96500} \\ &= 0,79 \text{ gram} \end{aligned}$$

3. Jelaskan macam-macam metoda untuk pengendalian korosi?

Jawab :

1. Membuat logam tahan korosi
2. Membuat lingkungan menjadi tidak korosif
3. Membalikkan arah arus
4. Memisahkan logam dari lingkungan

LATIHAN SOAL :

1. Jelaskan yang disebut bahan baku dan bahan pembantu? Berikan contohnya!
2. Suatu perkakas akan dilapis dengan logam khrom. $MA_{Cr} = 52$. Waktu pelapisan 15 menit dengan arus $25 A/dm^2$. Luasan yang dilapis $1,2 dm^2$. Tentukan massa khrom yang terlapis pada permukaan logam besi?
3. Jelaskan karakteristik besi tuang, dan berikan contoh penggunaannya?
4. Jelaskan yang dimaksud dengan paduan logam? Berikan contoh-contohnya!
5. Sebutkan sifat-sifat umum dari kapur dan semen?

BAB III

INSTRUMENTASI DAN PENGUKURAN

Setiap alat yang digunakan dan dioperasikan dalam sebuah pabrik dilengkapi dengan instrumen untuk mengukur parameter-parameter tertentu sesuai kondisi operasi yang harus selalu dipantau setiap saat. Instrumen yang dimaksud terdiri dari dua macam yaitu instrumen lokal dan instrumen panel. Skala ukur yang terbaca dalam instrumen lokal merupakan kontrol terhadap skala ukur instrumen panel. Instrumentasi merupakan salah satu ilmu teknik yang makin terasa keperluannya dalam kehidupan sehari-hari untuk mendapatkan nilai pengukuran yang lebih akurat.

Untuk mendasari pengetahuan yang diperlukan dalam kegiatan mengukur maka di bawah ini dibahas terlebih dahulu tentang satuan dan standardnya serta konsep angka penting dan galat.

3.1. DEFINISI

Instrumentasi (Instrumentation)

- a. Penggunaan piranti ukur (instrumen) untuk menentukan harga besaran yang berubah-ubah, yang seringkali pula untuk keperluan pengaturan besaran yang perlu berada di batas-batas harga tertentu
- b. Semua piranti (kimia, listrik, hidrolik, magnet, mekanik, optik, pneumatik) yang digunakan untuk : menguji, mengamati, mengukur, memantau; mengubah, membangkitkan, mencatat, menera, memelihara, atau mengemudikan sifat-sifat badani (fisik) gerakan atau karakteristik lain.

Instrumen (*Instrument*)

Instrumen atau piranti ukur merupakan piranti untuk mengukur sesuatu besaran selama dipengamatan. Piranti itu dapat berupa

instrumen tuding (*indicating instrument*) dan dapat berupa instrumen rekan (*recording instrument*)

Istilah "INSTRUMEN" digunakan dua maksud yaitu :

- a. Instrumen murni yang terdiri dari mekanisme dan bagian-bagian yang di bangun didalam wadah (rumah) atau piranti yang berkaitan dengan itu
- b. Instrumen murni berikut sembarang alat-alat imbuhan (*auxiliary*) seperti misalnya: tahanan kondensator atau transformator instrumen.

Sebagai pengganti kata "Instrumen" (piranti) seringkali dipakai pula kata "alat ukur" (meter). Kata piranti digunakan pula sebagai pengindonesiaan "*device*".

3.2. STANDARD DAN SATUAN

Ketika kita mengukur suatu besaran, kita selalu membandingkan-nya terhadap suatu standard. Jika kita mengatakan panjang sebuah meja 1,5 meter, itu artinya panjang meja tersebut 1,5 kali panjang suatu batang meteran yang panjangnya didefinisikan sebagai 1 meter. Standard seperti itu didefinisikan sebagai satuan (unit) besaran. Meter adalah satuan jarak, sekon satuan waktu dan sebagainya.

Untuk membuat pengukuran yang akurat, kita membutuhkan satuan pengukuran yang tidak berubah dan dapat diduplikasi oleh pengamat (pengukur) di berbagai tempat. Sistem satuan yang digunakan oleh para ilmuwan dan insinyur di seluruh dunia disebut "sistem metrik" yang sejak tahun 1960 disebut sebagai **Sistem Internasional** (*International System*) atau **SI** (singkatan diambil dari bahasa Perancis, *Systeme International*).

3.2.1. Waktu

Dari tahun 1889 sampai 1967, satuan waktu didefinisikan sebagai satu fraksi tertentu dari rata-rata lamanya siang hari (yaitu saat matahari bersinar), waktu rata-rata antara kedatangan berturut-

turut matahari pada titik tertingginya di langit. Standard yang sekarang digunakan dibuat tahun 1967, jauh lebih teliti. Standard itu berdasarkan pada jam atomik, yang menggunakan beda energi antara dua tingkat energi terendah dari atom cesium. Ketika ditembaki dengan gelombang mikro pada frekuensi yang tepat, atom cesium mengalami transisi dari salah satu tingkat energi ke tingkat energi satunya. Satu **sekon** didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk melakukan 9.192.631.770 siklus dari radiasi ini.

3.2.2. Panjang

Pada tahun 1960 standard atomik untuk meter juga ditetapkan dengan menggunakan panjang gelombang cahaya jingga-merah yang diemisikan oleh atom-atom kripton (^{86}Kr) di dalam suatu tabung lucutan cahaya. Pada November 1983 standard panjang berubah lagi secara lebih radikal. Laju rambat cahaya dalam ruang hampa didefinisikan dengan tepat sebagai 299.792.458 m/s. Meter didefinisikan ulang agar konsisten dengan bilangan ini dan dengan definisi sekon di atas. Maka, definisi baru **meter** adalah jarak yang ditempuh oleh cahaya di ruang hampa dalam $1/299.792.458$ sekon.

3.2.3. Massa

Standard massa, **kilogram**, didefinisikan sebagai massa suatu tabung yang terbuat dari paduan (*alloy*) platinum-iridium. Tabung tersebut disimpan di International Bureau of Weights and Measures di Sèvres, dekat Paris. Suatu standard atomik dari massa akan membuatnya lebih mendasar lagi, namun sampai sekarang belum dapat mengukur massa dalam skala atomik dengan akurasi seperti dalam skala makroskopik.

3.2.4. Sistem British

Selain Sistem International yang diakui sebagai sistem satuan juga ada sistem satuan lain yaitu Sistem British. Sistem ini hanya digunakan di Amerika dan beberapa negara lainnya dan kebanyakan

satuannya mulai digantikan oleh satuan SI. Satuan British sekarang secara legal didefinisikan dalam satuan SI, sebagai berikut:

Panjang : 1 inci = 2,54 cm (tepat)

Gaya : 1 pound (*pound force*) = 4,448221615260 newton (tepat)

Berbeda dengan Sistem International dimana gaya adalah besaran turunan (satuan : kg m / s^2), dalam sistem British gaya adalah besaran pokok (satuan : *pound force* atau lb_f). Konsekuensinya, dalam sistem British ini kita menggunakan sebuah faktor konversi, g_c , sebuah konstanta yang mempunyai harga bukan satu, untuk membuat satuan menjadi sesuai. Harga g_c adalah $32,174 \text{ (ft)(lb}_m\text{)/(lb}_f\text{)(s}^2\text{)}$. Feet (ft) adalah satuan panjang, lb_m adalah satuan massa dan lb_f adalah satuan gaya.

Sebagai contoh, sebuah benda dengan massa 1 lb_m , percepatan gravitasi (g) = $32,174 \text{ ft/s}^2$ maka berat (gaya) benda tersebut:

$$F = \frac{m g}{g_c} = (1 \text{ lb}_m) \left(\frac{32,174 \text{ (ft)(s}^2\text{)}}{32,174 \text{ (lb}_m\text{)(ft)/(lb}_f\text{)(s}^2\text{)}} \right) = 1 \text{ lb}_f$$

3.2.5. Konsistensi dan Konversi

Kita menggunakan persamaan untuk menyatakan hubungan antara besaran-besaran yang direpresentasikan dengan simbol-simbol aljabar. Setiap simbol aljabar selalu menyatakan sebuah bilangan dan sebuah satuan. Sebagai contoh, d bisa menyatakan suatu jarak sejauh 10 m, t suatu selang waktu sepanjang 5 s dan v laju sebesar 2 m/s.

Suatu persamaan harus selalu **konsisten dalam dimensi** (*dimensionally consistent*). Kita tidak dapat menambahkan 5 kg dengan 10 meter; dua besaran bisa dijumlahkan atau disamakan hanya jika besaran-besaran tersebut mempunyai satuan yang sama.

Satuan dikali dan dibagi sama seperti simbol-simbol aljabar biasa. Hal ini akan memudahkan dalam mengkonversikan besaran dari suatu satuan ke satuan lainnya. Kita dapat menyatakan besaran yang sama dalam dua satuan yang berbeda dan membentuk suatu kesamaan. Sebagai contoh, jika kita katakan bahwa 1 menit = 60 sekon, tidak berarti bahwa bilangan 1 sama dengan bilangan 60; yang kita maksudkan adalah bahwa 1 menit merepresentasikan selang waktu yang sama dengan 60 sekon. Dengan alasan yang sama, perbandingan (1 menit) / (60 sekon) sama dengan 1, demikian juga kebalikannya (60 sekon / 1 menit). Kita dapat mengalikan suatu besaran dengan salah satu dari faktor ini tanpa mengubah arti besaran tersebut. Contoh, untuk mendapatkan bilangan dengan satuan sekon dari 5 menit, kita tuliskan:

$$5 \text{ menit} = 5 \text{ menit} \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ menit}} \right) = 300 \text{ s}$$

3.3. ANGKA PENTING DAN GALAT

Angka penting adalah semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran, yang terdiri dari angka eksak dan satu angka terakhir yang ditaksir (atau diragukan). Misalnya kita mengukur panjang suatu benda dengan mistar berskala mm dan melaporkan hasilnya dalam 4 angka penting, didapat 114,5 mm. Jika panjang benda tersebut kita ukur dengan jangka sorong maka hasilnya dilaporkan dalam 5 angka penting, misalnya 114,40 mm, dan jika diukur dengan mikrometer sekrup maka hasilnya dilaporkan dalam 6 angka penting, misalnya 113,390 mm. Ini menunjukkan bahwa banyak angka penting yang dilaporkan sebagai hasil pengukuran mencerminkan ketelitian suatu pengukuran. Makin banyak angka penting yang dapat dilaporkan, makin teliti pengukuran tersebut. Tentu saja pengukuran panjang dengan mikrometer sekrup lebih teliti dari jangka sorong dan mistar.

Pada hasil pengukuran mistar tadi dinyatakan dalam bilangan penting yang mengandung 4 angka penting : 114,5 mm. Tiga angka pertama, yaitu: 1, 1, dan 4 adalah angka eksak karena dapat dibaca pada skala, sedang satu angka terakhir, yaitu 5 adalah angka taksiran karena angka ini tidak bisa dibaca pada skala, tetapi hanya ditaksir.

Aturan-aturan angka penting:

1. Semua angka bukan nol adalah angka penting.
2. Angka nol yang terletak di antara dua angka bukan nol termasuk angka penting.
3. Semua angka nol yang terletak pada deretan akhir dari angka-angka yang ditulis di belakang koma desimal termasuk angka penting.
4. Angka-angka nol yang digunakan hanya untuk tempat titik desimal adalah bukan angka penting.
5. Bilangan-bilangan puluhan, ratusan, ribuan, dan seterusnya yang memiliki angka-angka nol pada deretan akhir harus dituliskan dalam notasi ilmiah agar jelas apakah angka-angka nol tersebut adalah angka penting atau bukan

Bilangan penting diperoleh dari kegiatan mengukur, sedangkan bilangan eksak diperoleh dari kegiatan membilang. Hasil perkalian atau pembagian antara bilangan penting dengan bilangan eksak hanya boleh memiliki angka penting sebanyak bilangan pentingnya. Angka lebih kecil dari sama dengan 4 ditiadakan dalam pembulatan, sehingga angka sebelumnya tidak berubah. Angka lebih besar sama dengan 5 dibulatkan ke atas, sehingga angka sebelumnya bertambah dengan satu.

Banyak angka penting dalam hasil perkalian atau pembagian bilangan-bilangan penting sama dengan banyak angka penting dari bilangan penting yang memiliki angka penting paling sedikit. Hasil penjumlahan atau pengurangan bilangan-bilangan penting hanya boleh mengandung satu angka taksiran. Hasil memangkatkan atau

menarik akar suatu bilangan penting hanya boleh memiliki angka penting sebanyak angka penting dari bilangan penting yang dipangkatkan atau ditarik akarnya.

Perbedaan hasil pengukuran panjang suatu benda dengan mistar, jangka sorong dan mikrometer sekrup adalah pada **ketidakpastian** (*uncertainty*) pengukuran tersebut. Pengukuran dengan mikrometer sekrup memiliki ketidakpastian yang lebih kecil; ini menghasilkan suatu pengukuran yang lebih akurat. Ketidakpastian juga disebut **galat** (*error*), karena hal tersebut juga mengindikasikan selisih maksimum yang mungkin terjadi antara nilai terukur dan nilai sebenarnya. Ketidakpastian atau galat dari sebuah nilai terukur bergantung pada teknik pengukuran yang dilakukan.

Dalam mengindikasikan akurasi nilai terukur yaitu, seberapa dekat nilai terukur itu terhadap nilai sebenarnya dengan menuliskan bilangan diikuti simbol \pm dan bilangan kedua yang menyatakan ketidakpastian pengukuran. Misalnya diameter sebuah silinder dituliskan $54,56 \pm 0,02$ mm, ini berarti nilai sebenarnya tidak mungkin kurang dari 54,54 mm atau lebih dari 54,58 mm.

Selain dengan cara di atas, akurasi juga dapat dinyatakan dengan **galat fraksional** atau **galat persen**. Untuk diameter silinder seperti contoh di atas fraksi kesalahannya adalah $(0,02 \text{ mm}) / (54,56 \text{ mm})$ atau sekitar 0,0004; persen kesalahannya sekitar 0,04%.

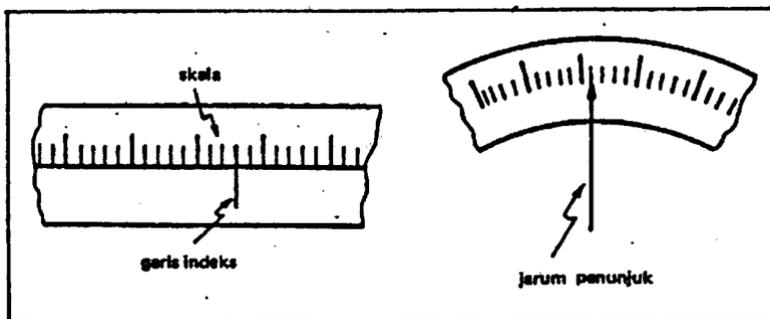
3.4. PEMBACAAN SKALA UKUR INSTRUMEN

Penunjuk atau pencatat adalah bagian dari alat ukur melalui mana harga dari hasil suatu pengukuran ditunjukkan atau dicatat. Hampir semua alat ukur, kecuali beberapa alat ukur standar dan alat ukur batas, mempunyai bagian penunjuk yang dapat kita kategorikan menjadi 2 macam, yaitu :

1. Penunjuk berskala, dan
2. Penunjuk berangka (digital)

3.4.1. Penunjuk Berskala

Skala adalah susunan garis yang beraturan dengan jarak antara dua garis yang berdekatan dibuat tetap dan mempunyai arti tertentu. Jarak antara dua garis dari skala alat ukur geometris dapat berarti bagian dari meter atau bagian dari derajat. Secara visual pembacaan dilakukan dengan pertolongan garis indeks atau jarum penunjuk yang bergerak relatif terhadap skala. Posisi dari garis indeks atau jarum penunjuk pada skala menyatakan suatu harga (hasil sudut pengukuran), lihat Gambar 3.1.

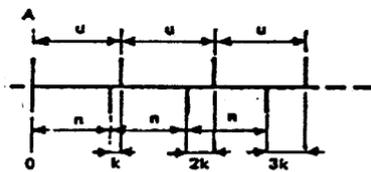


Gambar 3.1. Skala dengan garis indeks dan jarum penunjuk

3.4.2. Skala Nonius (Vernier Scale)

Tidak selalu garis indeks tepat segaris dengan garis skala, akan tetapi sering garis indeks ini terletak di antara dua garis skala sehingga timbul kesulitan di dalam menentukan harganya. Oleh karena itu untuk menaikkan kecermatan pembacaan maka garis indeks sering diganti dengan suatu susunan garis yang disebut dengan skala nonius yang mana sesuai dengan cara pembuatannya dikenal dua macam skala nonius, skala nonius satu dimensi dan skala nonius dua dimensi.

Prinsip dari skala nonius satu dimensi mungkin dapat kita jelaskan sebagaimana Gambar 3.1. Skala alat ukur dalam hal ini kita sebut sebagai skala utama sedang skala yang terletak di bawahnya disebut skala nonius. Misalkan jarak antara dua garis skala utama adalah u .

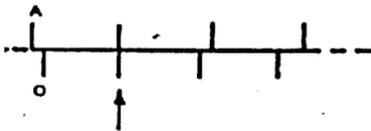


Garis nol nonius segaris dengan garis A skala utama.

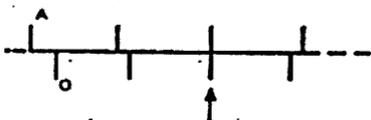
u = jarak satu bagian skala utama

n = jarak satu bagian skala nonius

$k = u - n$



Garis nol nonius tergeser sejauh k dari garis A; garis pertama nonius segaris dengan salah satu garis skala utama.



Garis nol nonius tergeser sejauh $2K$ dari garis A; garis kedua nonius segaris dengan salah satu garis skala utama.

Sedang n adalah jarak antara dua garis skala nonius, maka setiap satu bagian skala utama akan lebih panjang sebesar k dibandingkan dengan satu bagian skala nonius. Apabila posisi garis nol nonius adalah tepat segaris dengan suatu garis skala utama misalkan A, maka hasil pengukuran adalah tepat berharga A. Selanjutnya apabila garis nol nonius tergeser ke kanan sebesar k maka garis pertama nonius akan tepat segaris dengan salah satu garis skala utama. Seandainya garis nol nonius lebih tergeser ke kanan lagi sejauh $2k$ dari posisi garis A maka garis kedua noniuslah yang tepat segaris dengan salah satu garis skala utama. Proses pergeseran ini dapat kita lakukan terus sampai akhirnya garis nol nonius kembali menjadi segaris dengan garis skala utama (sesudah A). Dengan demikian penentuan posisi garis nol nonius relatif terhadap A adalah melihat garis nonius yang beberapa yang menjadi segaris dengan salah satu garis skala utama.

Jarak k adalah menggambarkan kecermatan dari skala nonius, semakin kecil k maka kecermatannya semakin tinggi, artinya posisi garis nol nonius relatif terhadap suatu garis skala utama (sesudahnya) menjadi semakin jelas. Akan tetapi semakin kecil k berarti skala nonius memerlukan jumlah garis yang lebih banyak, karena jumlah garis nonius (kecuali garis nol) atau jumlah bagian dari skala nonius

adalah sama dengan $1/k$ buah. Dengan demikian k tidak boleh terlalu kecil, karena:

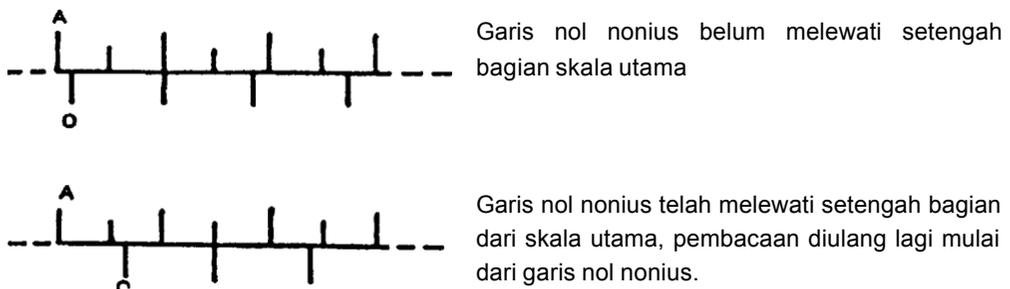
- Untuk mempermudah penentuan garis nonius yang menjadi segaris dengan skala utama
- Untuk membatasi panjang keseluruhan skala nonius, (harus jauh lebih pendek dari panjang keseluruhan skala utama).

Tabel 3.1 berikut adalah beberapa contoh kecermatan skala nonius yang digunakan pada beberapa alat ukur, misalnya mistar insut dan busur bilah.

Tabel 3.1. Skala nonius satu dimensi

| Kecermatan | Besarnya pada skala utama | Skala nonius | | |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|------------------------------|
| | | Besarnya pada skala nonius | Jumlah bagian | Panjang/besarnya keseluruhan |
| $\frac{1}{10}$ (0,10) mm | 1 mm | 0,9 mm | 10 | 9 mm |
| $\frac{1}{20}$ (0,05) mm | 1 mm | 0,95 mm | 20 | 19 mm |
| | 2 mm | 1,95 mm | 30 | 39 mm |
| $\frac{1}{50}$ (0,02) mm | 1 mm | 0,98 mm | 50 | 49 mm |
| | 1 mm | 0,98 mm | 25 | 24,5 mm |
| $\frac{1^0}{12}$ (5') mm | 1^0 | $\frac{11^0}{12}$ | 12 | 11^0 |
| | 2^0 | $\frac{23^0}{12}$ | 12 | 23^0 |
| $\frac{1^0}{60}$ (0,10) mm | 1^0 | $\frac{59^0}{60}$ | 30 | $29,5^0$ |

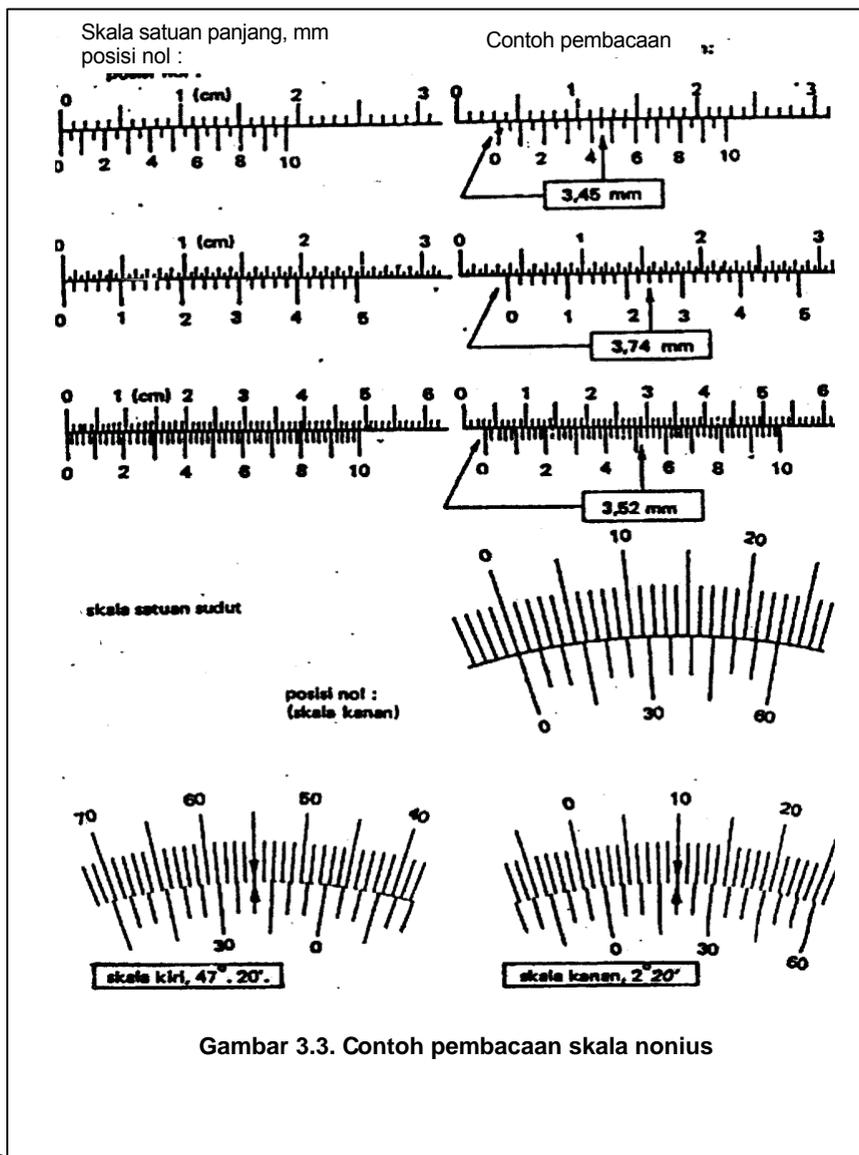
Supaya skala nonius tidak begitu panjang (tidak memakan tempat), kadang-kadang hanya setengah panjang keseluruhan skala nonius saja yang dipakai dengan catatan bahwa setiap bagian dari skala utama dalam hal ini harus dibagi menjadi dua sehingga pembacaan dapat diulangi lagi mulai dari garis nol nonius setengah bagian dari skala utama dilewati, lihat Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Pembagian skala utama menjadi dua bagian, apabila skala nonius hanya setengah panjang keseluruhannya

Beberapa contoh cara pembacaan dengan memakai skala nonius ditunjukkan pada Gambar 3.3: Untuk garis nol nonius yang

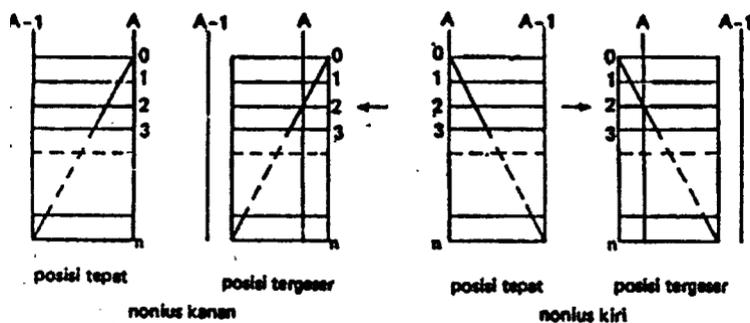
tidak segaris dengan garis utama maka penunjukan berharga sama dengan harga dari skala utama sesudah garis nol nonius ditambah dengan harga garis skala nonius adalah menyatakan sepersepuluh harga skala utama. Angka pada skala nonius adalah menyatakan sepersepuluh harga skala utama, atau dalam menit kalau skala utama dalam derajat. Untuk skala nonius dengan setengah panjang keseluruhannya, jika garis nol nonius telah melewati setengah bagian skala utama, maka kita harus menambahkan angka lima pada setiap angka dari skala nonius (atau menambah tiga puluh menit untuk skala utama dalam derajat).



Gambar 3.3. Contoh pembacaan skala nonius

3.4.3. Skala nonius dua dimensi

Suatu segi empat dengan satu diagonal di mana, sisi datar adalah u dan sisi tegak dibagi dalam n bagian yang sama, dapat berfungsi sebagai skala nonius dua dimensi. Untuk penunjukan tepat maka kedua sisi tegak akan berimpit dengan garis skala utama (karena u dibuat dengan jarak satu bagian skala utama), lihat Gambar 3.4. Untuk skala nonius kanan, apabila sisi tegak sebelah kanan tergeser ke sebelah kanan maka posisinya relatif terhadap garis A dapat diketahui dengan melihat perpotongan antara garis A dengan diagonal serta membaca angka pada garis nonius mendatar yang tepat pada titik perpotongan tersebut. Demikian pula halnya dengan skala nonius kiri di mana urutan pembacaan skala utama adalah mulai dari kanan ke kiri (terbalik).

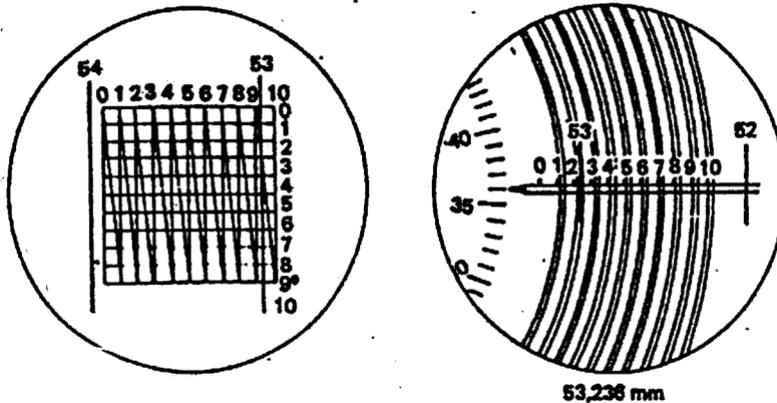


Gambar 3.4. Prinsip skala nonius dua dimensi

Kecermatan pembacaan adalah tergantung dari jumlah garis mendatar nonius. Untuk $n = 10$ maka kecermatannya adalah $(1/10) \times u$, jika $n = 100$ maka kecermatannya adalah $(1/100) \times u$. Beberapa alat ukur yang peka diperlengkapi dengan pengubah optis yang berfungsi sebagai pembesar bayangan dari skala utama. Melalui okuler kita dapat melihat jarak antara dua garis skala utama menjadi lebih jauh terpisah, dengan demikian beberapa skala nonius (biasanya 10 buah) dapat disusun sekaligus untuk pembacaan jarak pada sepersepuluh bagian dari skala. Gambar 3.4. adalah merupakan dua contoh pembacaan dengan skala nonius dua dimensi dengan n sama dengan 10 dan 100.

Untuk $n = 100$ maka dibuat skala nonius yang melingkar dengan maksud untuk memperjelas pembacaan serta tidak terlalu panjang ke bawah. Skala nonius jenis ini dibuat dengan teknik fotografi pada keping

kaca yang tipis serta kecil yang kemudian dipasang tepat pada fokus dari okuler.



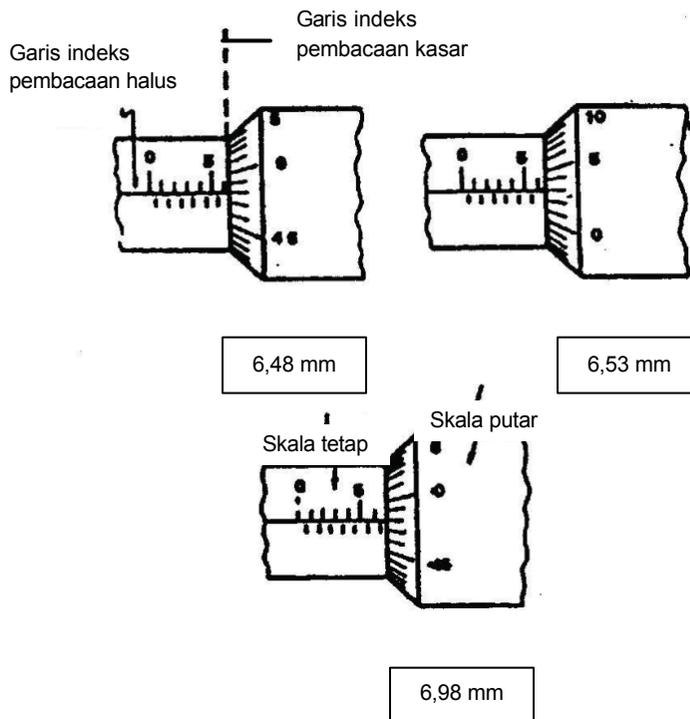
Gambar 3.5. Skala nonius (kiri) dua dimensi

3.4.4. Skala Mikrometer

Skala pada semua jenis mikrometer dibuat pada kedua bagian dari mikrometer, pertama pada silinder tetap (kita sebut skala tetap) dan kedua pada silinder putar (kita namakan skala putar). Tepi dari silinder putar berfungsi sebagai garis indeks untuk pembacaan skala tetap (pembacaan kasar), sedang garis yang melintang sepanjang skala tetap berfungsi sebagai garis indeks untuk pembacaan skala putar (pembacaan halus). Biasanya untuk satu kali putaran, tepi dari silinder putar akan menggeser (pembacaan halus). Biasanya untuk satu kali putaran, tepi dari silinder putar akan menggeser sejauh setengah skala tetap (0,5 mm), oleh karena itu angka pada skala putar bermula dan berakhir pada angka 0 yang juga berarti angka 50 apabila pembagian skala putar adalah 50 buah. Dengan demikian satu bagian dari skala putar adalah sesuai dengan jarak 0,01 mm. Apabila tepi silinder putar telah melewati setengah bagian dari skala utama, maka angka pada silinder putar harus diartikan sebagai kelebihannya angka 50. Gambar 3.6 adalah merupakan contoh pembacaan skala mikrometer dengan kecermatan 0,01 mm.

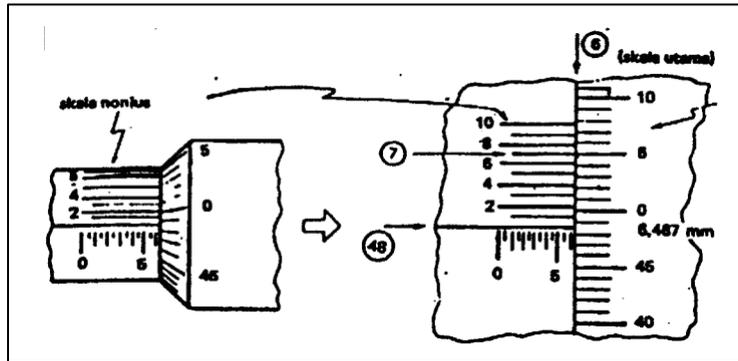
Beberapa mikrometer mempunyai silinder putar dengan diameter yang relatif besar, dengan demikian pembagian skala putar dapat diperhalus. Kecermatan sampai 0,002 mm dapat dicapai dengan membuat pembagian skala putar harus diartikan sebagai kelebihannya angka 50.

Gambar 3.6 adalah merupakan contoh pembacaan skala mikrometer dengan kecermatan 0,01 mm.



Gambar 3.6. Pembacaan skala mikrometer dengan kecermatan 0,01 mm

Beberapa mikrometer mempunyai silinder putar dengan diameter yang relatif besar, dengan demikian pembagian skala putar dapat diperhalus. Kecermatan sampai 0.002 mm dapat dicapai dengan membuat pembagian skala putar menjadi 250 buah. Untuk mikrometer dengan diameter silinder putar yang agak kecil pun dapat dinaikkan kecermatan pembacaannya, yaitu dengan cara membuat skala nonius (satu dimensi) yang digunakan pada waktu membaca skala putar. Skala nonius ini dibuat pada silinder tetap pada arah agak lurus skala tetap dengan garis melintangnya skala tetap dianggap sebagai garis nol nonius. Kecermatan pembacaan dalam hal ini tergantung dari cara pembuatan skala nonius (lihat pada pembicaraan mengenai skala nonius satu dimensi, dalam hal ini skala putar dianggap sebagai skala utama). Contoh pembacaan skala mikrometer dengan skala nonius adalah seperti Gambar 3.7.

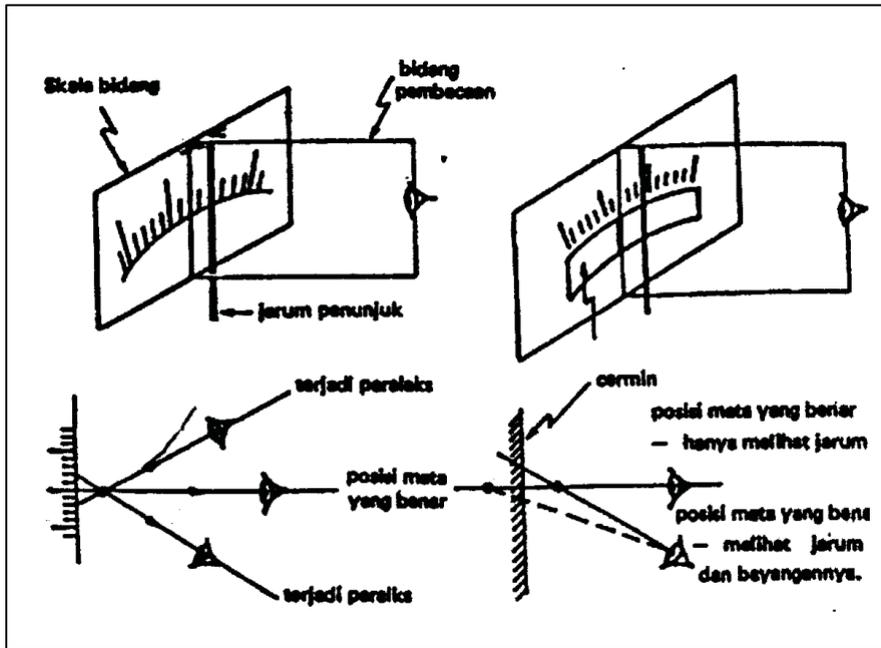


Gambar 3.7. Pembacaan skala mikrometer dengan skala nonius

3.4.5. Skala dengan jarum penunjuk

Alat ukur pembanding (*comparator*) umumnya mempunyai jarum penunjuk yang bergerak relatif terhadap skala yang diam, di mana gerakan dari jarum penunjuk adalah berdasarkan prinsip mekanis ataupun prinsip elektris. Prinsip mekanis dipakai pada alat ukur dengan pengubah mekanis, sedang prinsip elektris digunakan pada alat ukur dengan pengubah elektris. Penunjuk dari jenis elektris ini sesungguhnya merupakan suatu alat ukur lain, yaitu dapat merupakan voltmeter (yang mengukur besarnya tegangan listrik) atau berupa amperemeter (yang mengukur besarnya arus listrik) akan tetapi skalanya telah disesuaikan (dikalibrasi) menjadi penunjukan satuan panjang.

Suatu kesalahan pembacaan yang dikenal dengan nama paralaks mungkin dapat terjadi pada waktu membaca posisi jarum penunjuk pada skala, yaitu apabila mata kita tidak pada satu bidang yang melalui jarum penunjuk dan tegak lurus bidang skala (bidang pembacaan), lihat Gambar 3.8. Paralaks ini dapat dicegah apabila mata kita (sebelah kanan atau sebelah kiri) tepat pada bidang pembacaan. Beberapa alat ukur mempunyai cermin pada bidang skalanya, dengan demikian apabila mata kita tepat pada bidang pembacaan maka bayangan dari jarum penunjuk masih tetap kelihatan, pembacaan boleh dilakukan setelah jarum penunjuk menutupi bayangannya. Meskipun tidak memakai cermin, dengan membuat letak jarum penunjuk sangat dekat dengan bidang skala maka akibat dari paralaks dapat dikurangi.



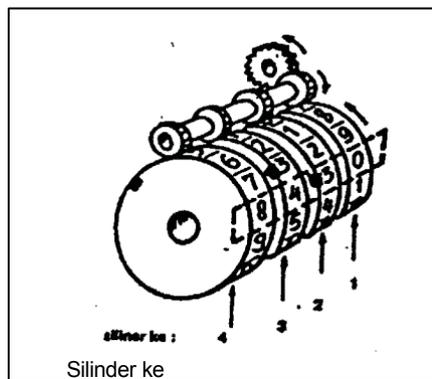
Gambar 3.8. Paralaks cara menghindarinya

3.4.6. Penunjuk Berangka (Digital)

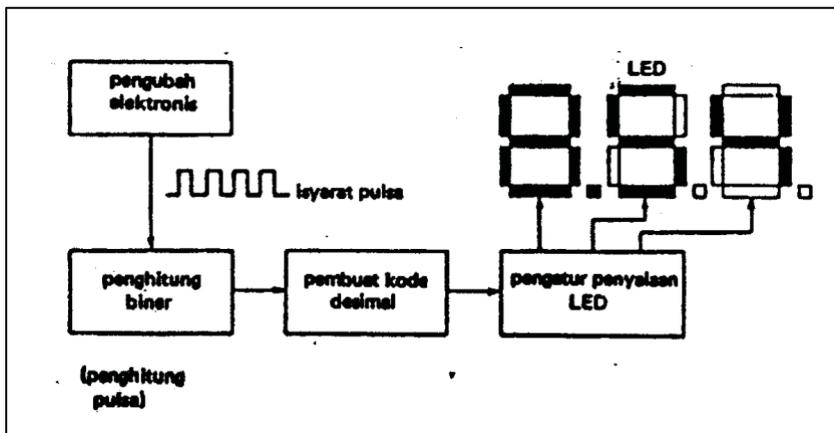
Pada alat ukur dengan penunjuk berangka kita dapat langsung mengetahui hasil pengukuran melalui deretan angka yang ada padanya. Penunjuk berangka ini dapat kita golongkan menjadi 2 macam, yaitu jenis mekanis dan jenis elektronis.

Penunjuk digital mekanis terdiri dari susunan beberapa silinder masing-masing diberi angka pada permukaannya mulai dari 0 sampai dengan 9, lihat Gambar 3.9. Mulai dari yang paling kanan silinder-silinder tersebut kita sebut sebagai silinder pertama, kedua dan seterusnya. Melalui sistem roda gigi, pengubah mekanis secara kontinu memutar silinder pertama. Untuk satu kali putaran, silinder pertama akan memutar silinder ke dua sebanyak $1/10$ putaran. Apabila silinder kedua ini telah genap berputar satu kali maka silinder ketiga akan terputar sebanyak $1/10$ putaran. Proses pemutaran silinder dengan cara bertingkat ini dapat berlangsung terus sampai silinder berakhir. Dengan demikian angka pada suatu silinder menyatakan kelipatan 10 dari angka silinder disamping kanannya.

Penunjuk digital elektronis menggunakan komponen elektronis yang disebut dengan LED (*Light Emitting Diode*). Suatu kode angka dapat dibuat dari 7 buah LED yang disusun seperti angka 8, lihat Gambar 3.10. Apabila pada suatu saai ke 7 buah LED ini menyala (biasanya dengan sinar merah) maka kita melihat sebagai kode angka 8. Jika hanya beberapa LED yang menyala pada tempat-tempat tertentu maka akan terlihat sebagai kode angka lain. Suatu sirkuit elektronis memerintahkan LED ini untuk menunjukkan suatu kode angka, demi dan pula halnya untuk kode angka-angka yang lain yang disusun menjadi satu barisan angka.



Gambar 3.9. Penunjuk digital dengan sistem mekanis



Gambar 3.10. Penunjuk digital elektronis

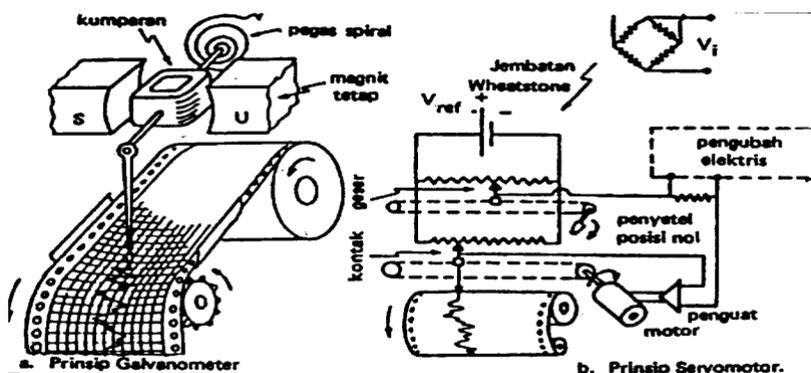
Isyarat dari pengubah elektronis yang berupa pulsa dihitung secara aljabar biner dengan menggunakan suatu sirkuit elektronis tertentu. Setelah

diubah oleh pembuat kode decimal isyarat diteruskan ke bagian pengatur penyalan LED.

3.5. PENCATATAN SKALA UKUR

Untuk beberapa hal tertentu penunjukkan suatu harga pada suatu saat dianggap tidak memberikan suatu informasi yang lengkap mengenai proses pengukuran yang sedang dilakukan. Oleh karena itu diperlukan alat pencatat yang dapat membuat suatu grafik pengukuran pada kertas berskala. Beberapa proses pengukuran yang memerlukan alat pencatat antara lain adalah pengukuran konfigurasi permukaan pengukuran kebulatan. Pada saat ini alat pencatat yang berdasarkan prinsip kerja listrik lebih banyak kita jumpai daripada alat pencatat dengan sistem mekanis. Dua prinsip kerja yang umum digunakan oleh alat pencatat listrik adalah prinsip galvanometer atau prinsip servo-motor.

Suatu kumparan, spoel, yang bebas berputar pada suatu medan magnet tetap adalah merupakan komponen utama dari galvanometer (lihat Gambar 3.11). Apabila ada arus listrik (berasal dari pengubah listrik) yang melalui kumparan ini maka posisi dari kumparan akan berputar sampai suatu kedudukan tertentu tergantung dari kuat lemahnya arus listrik. Akibatnya pena pada ujung batang yang bersatu dengan kumparan akan menggoreskan suatu garis pada kertas grafik (kertas berskala) yang secara kontinu bergerak selama proses pengukuran berlangsung. Pegas spiral yang terpasang pada kumparan berfungsi untuk menyetel/mengembalikan ke posisi nol serta untuk menaikkan reaksi dari alat pencatat.



Gambar 3.11. Alat pencatat dengan prinsip galvanometer dan prinsip servo motor

3.6. KELAINAN SKALA UKUR

3.6.1. Ketelitian

Ketelitian juga dikenal sebagai reproduksibilitas. Ketelitian pembacaan merupakan kecocokan antara pembacaan-pembacaan itu sendiri. Jika nilai yang sama dari peubah yang terukur, diukur beberapa kali dan memberikan hasil yang kurang-lebih sama, maka alat ukur tersebut dikatakan mempunyai ketelitian atau reproduksibilitas tinggi, dan juga berarti alat ukur tidak mempunyai penyimpangan. Penyimpangan nilai alat ukur yang telah dikalibrasi disebabkan oleh berbagai faktor seperti, kontaminasi logam pada termokopel. Hal ini terjadi secara berangsur-angsur dalam satu periode waktu, dan nampaknya tidak diperhatikan. Penyimpangan ini hanya dapat diketahui melalui pemeriksaan secara berkala kalibrasi alat ukur.

3.6.2. Ketepatan

Ketepatan didefinisikan sebagai tingkat perbedaan yang sekecil-kecilnya antara nilai pengamatan dengan nilai sebenarnya. Untuk memperoleh ketepatan yang diharapkan kalibrasi alat ukur, perlu dilakukan secara berkala dengan menggunakan standar konstan yang telah diketahui.

Meskipun semua pemakai alat ukur bertujuan agar selalu memperoleh tingkat ketepatan setinggi mungkin, namun kesalahan relatif tetap harus diingat. Ukuran relatif suatu kesalahan biasanya dinyatakan dalam lingkup nilai sesungguhnya dari kuantitas yang diukur, sebagai persentase. Sebagai contoh, bila termokopel digunakan untuk mengukur suhu api, misalnya pada 1.000°C dengan ketepatan $\pm 5^{\circ}\text{C}$, maka persentase kesalahannya adalah :

$$\pm \frac{5}{1.000} \times 100 \% = \pm 0,5\%$$

Namun bila kesalahan $\pm 5^{\circ}\text{C}$ terjadi pada pengukuran suhu air mendidih pada 100°C , maka persentase kesalahannya adalah :

$$\pm \frac{5}{1.000} \times 100 \% = \pm 0,5\%$$

Jauh lebih serius kesalahannya.

3.6.3. Kepekaan

Kepekaan alat ukur secara umum mengacu kepada dua hal. Pada beberapa kasus kepekaan menyatakan perubahan terkecil nilai peubah yang diukur di mana alat ukur memberikan tanggapan sementara aliran pemikiran lain menganggap kepekaan an sebagai ukuran perubahan yang dihasilkan oleh alat ukur untuk suatu perubahan peubah yang diukur. Daerah mati (*dead zone*) adalah rentang nilai terbesar dari peubah yang diukur di mana alat ukur tidak memberikan tanggapan. Daerah mati biasanya terjadi karena gesekan pada alat pencatat. Juga ditemukan jenis mekanisme tertentu yang hanya dapat menunjukkan sedikit perubahan dan perubahan diskrit dari nilai peubah yang diukur.

3.6.4. Jangkauan (*Rangeability*)

Jangkauan (*rangeability*) dari instrumen biasanya diartikan perbandingan pembacaan meter maksimum ke pembacaan meter minimum, di mana kesalahan kurang dari harga yang dinyatakan. Dalam hal pengukuran yang mempunyai jarum atau pena, ketidakmampuan pemakai untuk menafsirkan perpindahan kecil dari jarum atau pena secara tepat, membatasi jangkauan.

3.6.5. Kalibrasi

Kalibrasi mengacu kepada satu keadaan di mana semua masukan (yang dikehendaki, yang mengganggu, yang mengubah) kecuali satu masukan dipertahankan pada nilai tetap. Masukan yang dipelajari tersebut kemudian diubah-ubah sepanjang rentang nilai konstanta yang sama, yang menyebabkan nilai keluaran berubah sepanjang rentang nilai konstanta tertentu. Prosedur yang sama diulangi secara bervariasi sesuai dengan setiap masukan yang diteliti berdasarkan minat, sehingga mengembangkan satu kumpulan hubungan masukan-keluaran statis.

Tidak mungkin melakukan kalibrasi suatu alat ukur dengan ketepatan lebih besar dari standar yang diikuti adalah suatu standar kalibrasi yang paling sedikit mempunyai ketepatan 10 kali alat ukur yang dikalibrasi. Jadi

adalah amat penting bahwa orang yang melakukan kalibrasi alat ukur harus yakin bahwa standar kalibrasi mempunyai ketepatan yang memadai sebagai pembanding.

Pada penggunaan yang berkesinambungan, mungkin terjadi bahwa setelah beberapa waktu alat ukur mengalami kesalahan penyetelan menyebabkan kesalahan nilai nol. Jadi bagi semua jenis alat ukur kalibrasi angka nol dan jangka waktunya perlu dilakukan. Penting pula bagi pemakai untuk mengetahui bagaimana kalibrasi dilakukan.

3.6.6. Kesalahan Pengukuran

Dalam melakukan pengukuran fisik, tujuan utamanya adalah memperoleh suatu nilai yang terdiri dari satuan yang dipilih dan besarnya, yang akan menyatakan besar kuantitas fisik yang diukur. Sebagai contoh, dalam pengukuran tekanan, satuan yang dipilih adalah bar dan besarnya adalah 100. jadi, 100 bar. Tingkat kegagalan dalam menspesifikasi besaran ini dilakukan secara pasti, dan ini berarti pula variasi kuantitas nilai yang dinyatakan dari nilai sebenarnya, merupakan kesalahan pengukuran.

Kesalahan ini muncul dalam sistem pengukuran itu sendiri dan dari standar yang digunakan untuk kalibrasi sistem tersebut. Sebagai tambahan untuk kesalahan yang dihasilkan dari kalibrasi sistem pengukuran yang salah, ada sejumlah sumber kesalahan yang perlu diperiksa. Sumber kesalahan ini meliputi (1) kebisingan (noise), (2) waktu tanggap (response time), (3) keterbatasan rancangan (design limitation), (4) penambahan atau kehilangan energi karena interaksi, (5) transmisi, (6) keausan atau kerusakan sistem pengukuran, (7) pengaruh ruangan terhadap sistem, (8) kesalahan penafsiran oleh pengamat. Untuk bahasan terinci mengenai karakteristik ini pembaca disarankan untuk menyelusuri rujukan.

Dalam memperkirakan besar ketidakpastian atau kesalahan dalam menetapkan nilai kuantitas sebagai hasil pengukuran, harus dibedakan antara dua golongan kesalahan : sistematis dan acak. Kesalahan sistematis adalah kesalahan yang secara konsisten terulang apabila dilakukan pengulangan percobaan. Kesalahan kalibrasi sistem pengukuran atau suatu perubahan dalam sistem yang menyebabkan penunjuk menyimpang secara konsisten dari nilai kalibrasi merupakan kesalahan jenis ini.

3.7. KLASIFIKASI ALAT UKUR

Dalam fisika dan teknik, pengukuran adalah aktivitas membandingkan kuantitas fisik dari objek dan kejadian dunia nyata. Pengukuran dilakukan dengan alat ukur atau alat pengukur. Alat pengukur adalah alat yang digunakan untuk mengukur benda atau kejadian tersebut. Meskipun sudah dibuat seakurat mungkin, seluruh alat pengukur terkena kesalahan atau *error* peralatan yang bervariasi. Ada banyak alat ukur yang digunakan, namun yang banyak digunakan dalam industri dapat diklasifikasikan:

- a. Alat pengukur suhu
- b. Alat pengukur tekanan
- c. Alat pengukur aliran
- d. Alat pengukur sifat kimiawi: pH atau keasaman, COD, BOD

3.7.1. Alat Pengukur Sifat Fisik

A. Alat Pengukur suhu (Termometer)

Secara kualitatif, kita dapat mengetahui bahwa suhu adalah sensasi dingin atau hangatnya sebuah benda yang dirasakan ketika menyentuhnya. Secara kuantitatif, kita dapat mengetahuinya dengan menggunakan termometer. Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur), ataupun perubahan suhu. Istilah termometer berasal dari bahasa Latin *thermo* yang berarti panas dan *meter* yang berarti untuk mengukur (*to measure*). Termometer diklasifikasikan sebagai termometer kontak dan termometer non kontak atau termometer inframerah dan diterangkan dibawah ini.

1. Termometer bulb (air raksa atau alkohol) dengan ciri kasnya sebagai berikut:

- Menggunakan gelembung besar (bulb) pada ujung bawah tempat menampung cairan, dan tabung sempit (lubang kapiler) untuk menekankan perubahan volume atau tempat pemuaiian cairan.

- Berdasar pada prinsip suatu cairan, volumenya berubah sesuai temperatur. Cairan yang diisikan terkadang alkohol yang berwarna tetapi juga bisa cairan metalik yang disebut merkuri, keduanya memuai bila dipanaskan dan menyusut bila didinginkan
- Ada nomor disepanjang *tube* gelas yang menjadi tanda besaran temperatur
- Termometer bulb tidak memerlukan alat bantu, relatif murah, tidak mudah terkontaminasi bahan kimia sehingga cocok untuk laboratorium kimia, konduktivitas panas rendah. Akan tetapi termometer bulb mudah pecah
- Dalam penggunaannya, bulb harus dilindungi terhadap benturan dan menghindari pengukuran yang melebihi skala termometer.

Sumber kesalahan termometer bulb:

- *time constant effect*, waktu yang diperlukan konduksi panas dari luar ke tengah batang kapiler
- *thermal capacity effect*, apabila massa yang diukur relatif kecil, akan banyak panas yang diserap oleh termometer dan mengurangi suhu sebenarnya
- cairan (alkohol, merkuri) yang terputus
- kesalahan pembacaan
- kesalahan pencelupan



Gambar 3.12. Termometer Bulb

2. Termometer spring

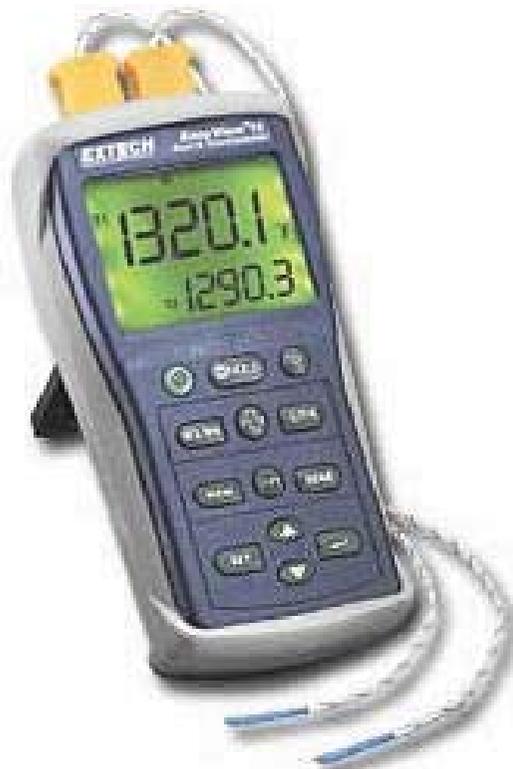
Menggunakan sebuah coil (pelat pipih) yang terbuat dari logam yang sensitif terhadap panas, pada ujung spring terdapat pointer. Bila udara panas, coil (logam) mengembang sehingga pointer bergerak naik, sedangkan bila udara dingin logam mengkerut dan pointer bergerak turun. Secara umum termometer ini paling rendah keakuratannya di banding termometer bulb dan digital.

Penggunaan termometer spring harus selalu melindungi pipa kapiler dan ujung sensor (*probe*) terhadap benturan/gesekan. Selain itu, pemakaiannya tidak boleh melebihi suhu skala dan harus diletakkan di tempat yang tidak terpengaruh getaran.

3. Termometer elektronik

Ada dua jenis yang digunakan di industri, yakni *thermocouple* dan *resistance thermometer*. Biasanya, industri menggunakan nominal resistan 100 ohm pada 0 °C sehingga disebut sebagai sensor Pt-100. Pt adalah simbol untuk

platinum, sensitivitas standar sensor 100 ohm adalah nominal 0.385 ohm/°C, RTDs dengan sensitivitas 0.375 dan 0.392 ohm/°C juga tersedia.



Gambar 3.13. Termometer Termokopel

4. Termometer Non-kontak atau termometer inframerah.

Termometer non-kontak atau termometer inframerah dapat mengukur suhu tanpa kontak fisik antara termometer dan obyek di mana suhu diukur. Termometer ditujukan pada permukaan obyek dan secara langsung memberikan pembacaan suhu. Alat ini sangat berguna untuk pengukuran di tungku atau suhu permukaan dan lain sebagainya.

Termometer infra merah dapat digunakan untuk mengukur suhu dimana sensor konvensional tidak dapat

digunakan atau tidak dapat menunjukkan pembacaan yang akurat, seperti sebagai berikut:

- Bila dibutuhkan pengukuran pada respon yang cepat, seperti pengukuran pada benda yang bergerak (contoh: rol, mesin bergerak atau *belt conveyor*)
- Karena adanya bahan pencemaran atau kondisi berbahaya (misalnya: tegangan tinggi)
- Jarak yang terlalu jauh atau tinggi
- Suhu yang terlalu tinggi untuk termokopel atau kontak sensor lainnya
- Obyek dalam keadaan vakum atau pada kondisi atmosfer terkontrol lainnya
- Obyek dikelilingi oleh medan listrik (seperti induksi panas)

Prinsip dasar termometer infra merah adalah bahwa semua obyek memancarkan energi infra merah. Semakin panas suatu benda, maka molekulnya semakin aktif dan semakin banyak energi infra merah yang dipancarkan. Termometer infra merah terdiri dari sebuah lensa yang focus mengumpulkan energi infra merah dari obyek ke alat pendeteks/detektor. Detektor akan mengkonversi energi menjadi sebuah sinyal listrik, yang menguatkan dan melemahkan dan ditampilkan dalam unit suhu setelah dikoreksi terhadap variasi suhu ambien.



Gambar 3.14. Termometer Inframerah atau Non-kontak

5. Termometer Kontak atau Termokopel

Termokopel (termometer kontak) terdiri dari dua logam yang tidak sama, digabung menjadi satu pada ujungnya. Bila gabungan dua logam dipanaskan atau didinginkan, tegangan akan dihasilkan yang dapat dikorelasikan kembali kepada suhu. *Probe* dimasukkan kedalam aliran cairan atau gas untuk mengukur suhunya, misalnya: gas buang, udara atau air panas. *Probe* jenis daun digunakan untuk mengukur suhu permukaan. Pada hampir semua kasus, termokopel secara langsung memberikan pembacaan pada unit yang dihendaki (derajat Celsius atau Fahrenheit pada panel digital)

Pada audit energi, suhu merupakan salah satu parameter yang penting untuk diukur dalam rangka menentukan kehilangan atau membuat keseimbangan energi panas. Pengukuran suhu diambil pada audit unit pendingin udara, boiler, tungku, sistim steam, pemanfaatan kembali panas, penukar panas dan lain sebagainya.

Selama audit, suhu dapat diukur dari:

- Udara ambien
- Air pendingin/ *chilled water* di *plant* pendingin.
- Udara masuk kedalam unit *handling* udara pada *plant* pendingin udara.
- Air pendingin masuk dan keluar pada menara pendingin.
- Permukaan jalur pemipaan steam, boiler, kiln.
- Air masuk boiler.
- Gas buang.
- Kondensat yang kembali.
- Pemanasan awal pasokan udara untuk pembakaran.
- Suhu dari bahan bakar minyak.

Pencegahan dan keselamatan pengukuran berikut diterapkan ketika menggunakan termometer :

- Probe harus dilumuri cairan dan pengukuran harus diambil setelah satu-dua menit, yaitu setelah pembacaan stabil.
- Sebelum menggunakan termokopel, jarak antara suhu dimana termokopel didesain harus diperiksa.
- Probe dari termokopel jangan pernah menyentuh api menyala.
- Sebelum menggunakan termometer non kontak, pancaran harus diatur sesuai dengan suhu permukaan yang diukur.
- Periksa manual operasi dari instruksi peralatan pemantauan lebih rinci untuk keselamatan dan pencegahan sebelum menggunakan peralatan.

6. Uji Operasional

Semua alat pengukuran harus dikontrol pada saat pertama beroperasi dan sesudah digunakan paling sedikit satu kali pertahun dengan menggunakan termometer terkalibrasi. Pengujian harus dilakukan paling sedikit dengan satu nilai pada rentang temperatur dimana alat dioperasikan. Untuk pengukuran pada temperatur kamar misal alat tersebut dicek pada $15 - 25^{\circ}\text{C}$. Suhu yang ditunjukkan oleh masing-masing termometer dicek oleh termometer terkalibrasi, dimana termometer-termometer tersebut dimasukkan kedalam lemari pendingin atau penangas air (*water bath*), sampai temperatur yang ditunjukkan oleh masing-masing termometer stabil paling sedikit dalam satu menit. Untuk pengukuran suhu udara dengan menggunakan termometer, hal berikut dianjurkan untuk memperlambat penunjukan suhu, tempelkan gabus atau kapas/wool pada ujung termometer dan biarkan termometer kira-kira 1 (satu) jam untuk mencapai temperatur diinginkan. Contoh pengujian menggunakan pengukuran 2 (dua) nilai :

Catatan pada pengukuran alat (sebagai koreksi)

- 0,3 pada 22°C

- 0,2 pada 12°C

Pada tanyangan menunjukkan : $19,7^{\circ}\text{C}$

Temperatur yang sebenarnya adalah :

(tanyangan + koreksi) = ($19,7 - 0,3$) = $19,4^{\circ}\text{C}$

7. Rentang kerja yang diijinkan

Deviasi yang diijinkan pada termometer minimum/maksimum dari termometer kalibrasi, tidak boleh lebih dari $2,0^{\circ}\text{C}$, deviasi dari termometer biasa (normal) tidak

boleh lebih dari 1°C , jika tidak ada nilai-nilai lainnya yang disimpan pada buku peralatan.

8. Pembersihan dan Perawatan

Sensor temperatur harus dibersihkan dengan solvent (pelarut) dan dibersihkan dengan air bebas mineral / aquadest, setelah digunakan.

9. Kelainan skala ukur atau pengukuran dalam kasus penyimpangan (deviasi)

Dalam kasus terjadinya penyimpangan lebih tinggi atau lebih rendah $\pm 5^{\circ}\text{C}$, yang ditunjukkan oleh termometer pada alat, harus ditentukan faktor koreksi (suhu yang diinginkan / suhu terukur) dan dicantumkan secara jelas pada alat. Pada kasus lainnya dari deviasi suhu yang diijinkan, harus didokumentasikan pada buku alat.

10. Laporan atau Dokumentasi

Test-test operational harus dicatat sebagai lampiran dalam buku peralatan. Sebagai suatu alternatif, buku terpisah dapat dipakai untuk mencatat atas semua peralatan pengukur suhu yang terdapat di wilayah kerja tertentu. Dalam kasus ini, peralatan yang dimaksud harus diberikan label yang jelas. Selama test operational, peralatan kalibrasi dan suhu terukur dan nilai aktualnya (jika ada deviasinya) harus didokumentasikan berbarengan dengan tanggal dan tanda tangan.

11. Pencegahan dan keselamatan pengukuran

Pencegahan dan keselamatan pengukuran berikut diterapkan ketika menggunakan termometer:

- *Probe* harus dilumuri cairan dan pengukuran harus diambil setelah satu – dua menit, yaitu setelah pembacaan stabil.

- Sebelum menggunakan termokopel, jarak antara suhu dimana termokopel didesain harus diperiksa.
- *Probe* dari termokopel jangan pernah menyentuh api menyala.
- Sebelum menggunakan termometer non kontak, pancaran harus diatur sesuai dengan suhu permukaan yang diukur.
- Periksa manual operasi dari instruksi peralatan pemantauan lebih rinci untuk keselamatan dan pencegahan sebelum menggunakan peralatan.

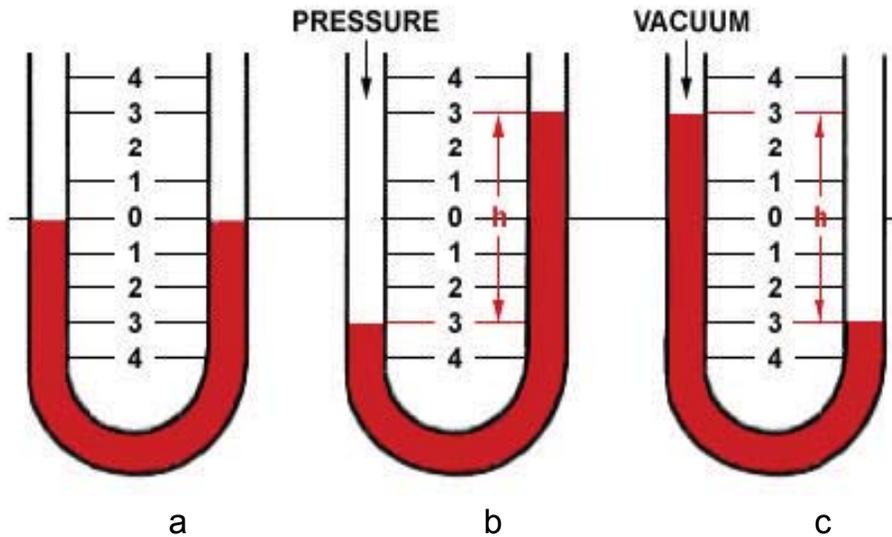
B. Alat Pengukur Tekanan

1. Manometer

Manometer adalah alat ukur tekanan dan manometer tertua adalah manometer kolom cairan. Alat ukur ini sangat sederhana, pengamatan dapat dilakukan langsung dan cukup teliti pada beberapa daerah pengukuran. Manometer kolom cairan biasanya digunakan untuk pengukuran tekanan yang tidak terlalu tinggi (mendekati tekanan atmosfer)

a. Fungsi manometer

Manometer adalah alat yang digunakan secara luas pada audit energi untuk mengukur perbedaan tekanan di dua titik yang berlawanan. Jenis manometer tertua adalah manometer kolom cairan. Versi manometer sederhana kolom cairan adalah bentuk pipa U (lihat Gambar 4-4) yang diisi cairan setengahnya (biasanya berisi minyak, air atau air raksa) dimana pengukuran dilakukan pada satu sisi pipa, sementara tekanan (yang mungkin terjadi karena atmosfer) diterapkan pada tabung yang lainnya. Perbedaan ketinggian cairan memperlihatkan tekanan yang diterapkan.



Gambar 3.15. Ilustrasi skema manometer kolom cairan

b. Prinsip kerja manometer adalah sebagai berikut:

Gambar a. Merupakan gambaran sederhana manometer tabung U yang diisi cairan setengahnya, dengan kedua ujung tabung terbuka berisi cairan sama tinggi.

Gambar b. Bila tekanan positif diterapkan pada salah satu sisi kaki tabung, cairan ditekan kebawah pada kaki tabung tersebut dan naik pada sisi tabung yang lainnya. Perbedaan pada ketinggian, "h", merupakan penjumlahan hasil pembacaan diatas dan dibawah angka nol yang menunjukkan adanya tekanan.

Gambar c. Bila keadaan vakum diterapkan pada satu sisi kaki tabung, cairan akan meningkat pada sisi tersebut dan cairan akan turun pada sisi lainnya. Perbedaan ketinggian "h" merupakan hasil penjumlahan pembacaan diatas dan dibawah nol yang menunjukkan jumlah tekanan vakum.

c. Tipe manometer

Terdapat tiga tipe utama manometer:

- 1) Manometer satu sisi kolom yang mempunyai tempat cairan besar dari tabung U dan mempunyai skala di sisi kolom sempit. Kolom ini dapat menjelaskan perpindahan cairan lebih jelas. Kolom cairan manometer dapat digunakan untuk mengukur perbedaan yang kecil diantara tekanan tinggi.
- 2) Jenis membran fleksibel: jenis ini menggunakan defleksi (tolakan) membran fleksibel yang menutup volum dengan tekanan tertentu. Besarnya defleksi dari membran sesuai dengan tekanan spesifik. Ada tabel keterangan untuk menentukan tekanan perbedaan defleksi.
- 3) Jenis Pipa koil: Sepertiga bagian dari manometer ini menggunakan pipa koil yang akan mengembang dengan kenaikan tekanan. Hal ini disebabkan perputaran dari sisi lengan yang disambung ke pipa.

d. Dimana manometer digunakan

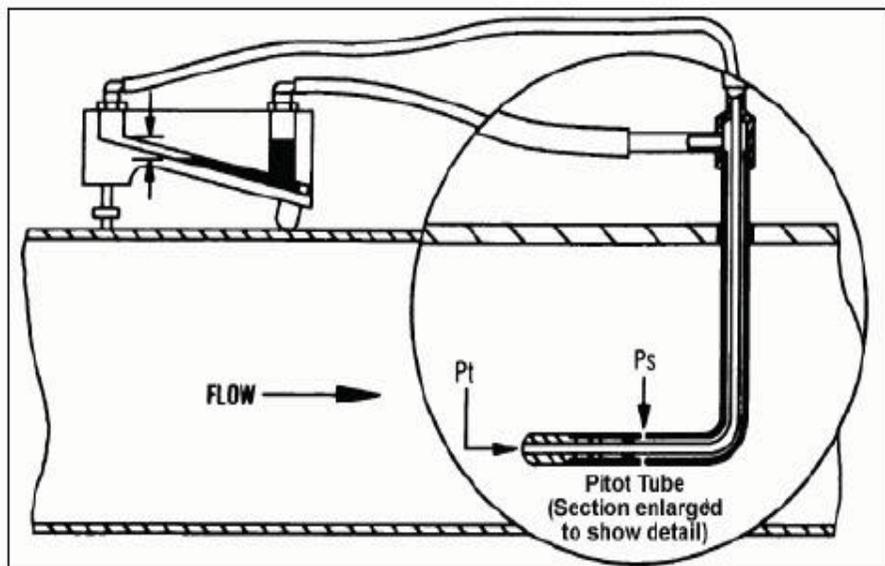
Selama pelaksanaan audit energi, manometer digunakan untuk menentukan perbedaan tekanan diantara dua titik di saluran pembuangan gas atau udara. Perbedaan tekanan kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan aliran di saluran dengan menggunakan persamaan Bernoulli (Perbedaan tekanan = $\frac{1}{2}\rho v^2$). Rincian lebih lanjut penggunaan manometer diberikan pada bagian tentang bagaimana mengoperasikan manometer. Manometer harus sesuai untuk aliran cairan.

Kecepatan aliran cairan diberikan oleh perbedaan tekanan = $f \frac{LV^2}{2gD}$ dimana f adalah factor gesekan dari bahan pipa, L adalah jarak antara dua titik berlawanan

dimana perbedaan tekanan diambil, D adalah diameter pipa dan g adalah konstanta gravitasi.

e. Pengoperasian manometer

Tidak mudah untuk menjelaskan pengoperasian manometer dengan satu cara, sebab terdapat banyak macam manometer yang membutuhkan cara penanganan yang berbeda. Tetapi, beberapa tahapan operasinya sama. Selama audit energi, kecepatan aliran udara di saluran dapat diukur dengan menggunakan tabung pitot dan aliran dihitung dengan menggunakan manometer. Sebuah lubang pengambil contoh dibuat di saluran (tabung pembawa gas buang) dan tabung pitot dimasukkan kedalam saluran. Kedua ujung tabung pitot terbuka disambungkan ke dua manometer yang terbuka. Perbedaan tingkat pada manometer menghasilkan total kecepatan tekanan. Sebagai contoh, dalam kasus manometer digital pembacaan ditampilkan dalam mm dari kolom air.



Gambar 3.16. Pengukuran Menggunakan Tabung Pitot dan Manometer

f. Pencegahan dan keselamatan pengukuran

- 1) Manometer tidak dapat digunakan pada tekanan yang sangat tinggi. Pada kasus tekanan tinggi, digunakan *inclined tube manometer*.
- 2) Periksa panduan manual operasi dari peralatan pemantauan untuk instruksi yang lebih rinci untuk keselamatan dan pencegahan sebelum menggunakan peralatan.

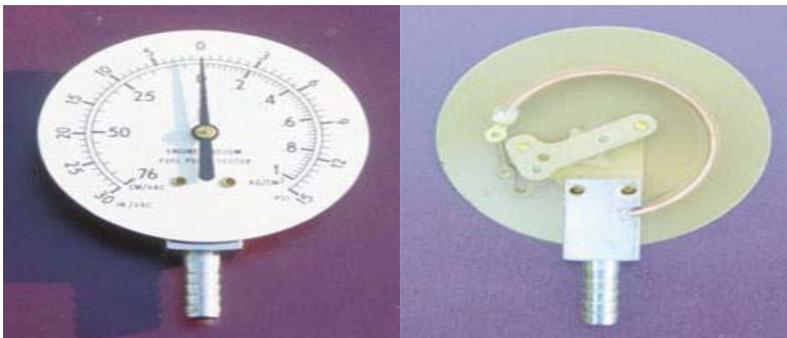
g. Pengukur Tekanan Gauge

Pada alat ukur ini sebagai medium pengukur tekanan tidak menggunakan zat cair. Bagian utama dari alat ini adalah bahan elastis yang terbuat dari logam, plastik maupun kulit yang tipis.

Tekanan akan mengakibatkan perubahan bentuk elastis yang besarnya sebanding dengan tekanan yang diukur. Karena perubahan bentuk elastis sangat kecil, maka perlu diperbesar sehingga dapat dilihat dengan jelas pada skala jarum.

2. Tabung Bourdon (*Bourdon Tube*)

Tabung Bourdon merupakan alat ukur yang banyak digunakan karena mempunyai daerah pengukuran cukup besar (0 sampai 700 atmosfer) dan harganya cukup murah.



Gambar 3.17. Tabung Bourdon

Tabung Bourdon terbuat dari paduan logam yang dipasang melengkung membentuk huruf C. Tabung yang berpenampang tipis tersebut oleh pengaruh tekanan akan mengembang dan bergerak ke arah luar. Untuk tekanan sampai 600 psi bahan tabung terbuat dari perunggu (bronze), tekanan sampai dengan 10.000 psi terbuat dari paduan berilyum-tembaga sedangkan untuk pengukuran tekanan 10.000 psi atau lebih digunakan baja tak berkarat (*stainless-steel*) maupun paduannya.

C. Pengukuran Aliran

1. Fungsi pengukur aliran

Pengukur aliran adalah alat yang digunakan untuk mengukur linier, non linier, laju alir volum atau masa dari cairan atau gas. Bagian ini secara spesifik menerangkan tentang pengukur aliran air. Pemilihan metode atau jenis pengukur aliran air tergantung pada kondisi tempat dan kebutuhan pengukuran yang akurat. Sebagian dari pengukur aliran air, ada beberapa metoda yang dapat mengukur aliran air selama audit. Dua metoda umum untuk mendapatkan perkiraan akurat yang beralasan dari aliran air adalah:

- a. **Metoda waktu pengisian:** Air diisikan pada bejana atau tangki dengan volum yang telah diketahui (m^3). Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi volume sampai penuh dicatat menggunakan *stop watch* (detik). Volum dibagi dengan waktu menjadi aliran rata-rata dalam $m^3/detik$.
- b. **Metoda melayang:** Metoda ini umumnya digunakan untuk mengukur aliran pada saluran terbuka. Jarak spesifik (misalnya 25 meter atau 50 meter) ditandai pada saluran. Bola pingpong diletakkan di air dan dicatat waktu yang diperlukan untuk bola melayang menuju jarak yang diberi

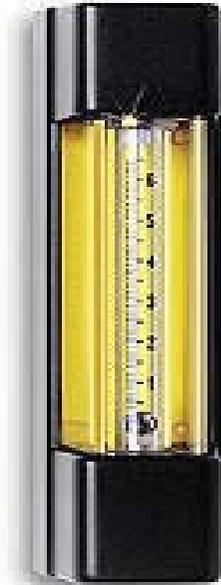
tanda. Pembacaan diulang beberapa kali untuk menghasilkan waktu yang akurat. Kecepatan air dihitung oleh jarak yang ditempuh oleh bola dibagi rata-rata waktu yang diperlukan. Tergantung kepada kondisi aliran dan karakteristik tempat, perhitungan kecepatan lebih lanjut dibagi dengan faktor 0,8 sampai dengan 0,9 untuk menghasilkan kecepatan puncak pada saluran terbuka; kecepatan di permukaan dikurangi karena adanya tenaga pendorong angin dan lain lain.

2. Jenis-jenis Pengukuran Aliran

Beberapa jenis pengukur aliran yang paling umum adalah sebagai berikut:

a. ***Rotameter* atau pengukur aliran dengan variasi area untuk gas dan cairan**

Rotameter terdiri dari tabung runcing dan bagian alat yang mengambang. Alat ini sangat luas digunakan pada area yang bervariasi karena biayanya murah, sederhana, perbedaan tekanan rendah, rentang pengukurannya lebar dan hasil keluarannya linier.



Gambar 3.18. *Rotameter* (Omega Engineering Ltd)

b. Pengukur aliran variabel – pengukur aliran piston dan *spring* untuk gas dan cairan

Jenis pengukur aliran piston menggunakan orifis tabung yang dibentuk oleh piston dan sebuah kerucut runcing. Piston ditempatkan dibagian dasar kerucut (tidak pada posisi aliran) oleh kalibrasi *spring*. Skalanya berdasarkan pada berat jenis 0,84 untuk pengukur minyak dan 1,0 untuk pengukur air. Desainnya sederhana dan mudah yang dapat dilengkapi alat untuk mentransmisikan sinyal listrik yang membuatnya menjadi ekonomis untuk *rotameter* untuk mengukur laju alir dan kontrol.



Gambar 3.19. Pengukur Aliran *Spring* dan Piston

c. Pengukur aliran ultrasonik (Non-Intrusif atau *Doppler*) untuk cairan

Pengukur aliran ultrasonik Doppler biasanya digunakan pada penggunaan cairan kotor seperti limbah cair dan cairan kotor lainnya dan lumpur yang biasanya menyebabkan kerusakan pada sensor konvensional. Prinsip dasar operasi memakai pergantian frekuensi (Efek Doppler) dari sinyal ultrasonik ketika direfleksikan oleh partikel yang mengambang atau gelembung gas (tidak sinambung) dalam pergerakan.

d. Pengukur aliran turbin

Pengukur aliran turbin merupakan pengukur yang sangat teliti (0,5% pembacaan) dan dapat digunakan untuk cairan bersih dan cairan kental hingga mencapai 100 *centistokes*. Sebuah pipa lurus berdiameter 10 diperlukan pada saluran masuk. Keluaran yang paling umum adalah frekuensi gelombang sinus atau gelombang kuadrat, namun pengkondisi sinyal dapat disimpan di puncak meteran untuk keluaran analog dan pengklasifikasian anti ledakan. Meterannya terdiri dari sebuah rotor *multi-bladed* yang dipasang pada sudut yang tepat terhadap aliran dan tersuspensi dalam aliran fluida pada bearing yang berjalan bebas.

Sensor roda pengayuh

Sensor roda pengayuh merupakan pengukur aliran terkenal yang efektif biayanya untuk air atau fluida seperti air. Beberapa alat ditawarkan dengan tambahan alat aliran atau gaya sisipan. Meteran tersebut, seperti meteran turbin, memerlukan pipa lurus dengan diameter minimum 10 pada

saluran masuk dan 5 pada saluran keluar. Bahan kimia yang cocok harus diperiksa bila tidak menggunakan air. Keluaran pulsa gelombangnya jenis gelombang sinus dan gelombang kuadratnya namun pengirim transmiternya tersedia untuk *integral* atau *panel mounting*. Rotor roda pengayuh tegak lurus terhadap aliran dan hanya berhubungan dengan penampang lintang aliran yang terbatas.

Pengukur aliran jenis *positive displacement*

Meteran ini digunakan untuk pengukur air jika tidak tersedia pipa lurus dan jika meteran turbin dan sensor pengayuh roda akan mengakibatkan terlalu banyak turbulensi. Pengukur aliran jenis *positive displacement* juga digunakan untuk mengukur aliran cairan kental.

Vortex meters

Keuntungan utama *vortex meters* adalah kepekaannya yang rendah terhadap berbagai kondisi proses dan rendahnya pemakaian relatif terhadap pengukur orifis atau turbin. Juga, biaya awal dan perawatannya rendah. Karena alasan tersebut, alat ini banyak digunakan.

e. Pengukur aliran magnetik untuk cairan konduktif

Pengukur aliran ini tersedia dalam satu jalur atau dengan disisipkan. Pengukur aliran magnetik tidak memerlukan bagian yang bergerak dan ideal untuk pengukuran aliran air limbah atau cairan kotor yang konduktif. Hasil pengukurannya dalam bentuk integral atau analog, dapat digunakan untuk pemantauan jarak jauh atau pencatatan data harian.

1) Dimana pengukur aliran air digunakan

Pada audit energi, pengukuran aliran air merupakan hal yang penting. Umumnya pengukuran dilakukan untuk menentukan jumlah aliran cairan/air didalam sebuah pipa. Jika tidak terdapat alat pengukur aliran yang terpasang di jalur pemipaan, maka aliran dapat dihitung dengan menggunakan pengukur aliran ultrasonik. Kasus khusus dimana pengukuran aliran air sangat penting adalah pada penentuan efisiensi pompa, efisiensi menara pendingin, *chiller plant* dan AC, penukar panas, dan kodensor.

2) Bagaimana mengoperasikan pengukur aliran air

Terdapat banyak jenis pengukur aliran ultrasonik yang tersedia di pasaran. Fungsi masing-masing model berbeda satu dengan yang lainnya. Namun demikian prinsip dasar seluruhnya adalah sama. Dua buah *probes* /sensor pengukur aliran ultrasonik ditempatkan pada permukaan pipa pada jarak yang terpisah sepanjang garis lurus. Diameter pipa menentukan jarak antara *probes*. Bila meterannya dinyalakan, alat ini akan menghasilkan gelombang suara yang akan ditransmisikan melalui salah satu *probes*/sensor dan diterima oleh yang lainnya. Meteran ditera/dikalibrasi untuk menampilkan kecepatan atau volum aliran cairan dibagian dalam pipa, berdasarkan waktu yang diperlukan oleh gelombang suara untuk menempuh perjalanan dari satu sensor ke yang lainnya.

D. Pengujian Peralatan Volumetrik

1. Kebutuhan

Pada umumnya hanya beberapa peralatan volumetrik yang digunakan, yang mempunyai ketegasan sudah disertifikasi atau yang dilengkapi dengan jaminan spesifikasi dari pabrik (seperti BRAND atau yang setingkat / sebanding). Deviasi hanya diijinkan jika peralatan volumetrik yang tersedia dipasaran tidak disertifikasi/dijamin. Hanya beberapa peralatan volumetrik yang dapat digunakan dimana terbuat dari bahan yang tidak menyebabkan kontaminasi pada sampel. Pada analisa zat organik, hanya peralatan volumetrik yang terbuat dari bahan yang mempunyai ketahanan (resistan) terhadap pelarut (solven), yang dapat digunakan.

2. Petunjuk Operasional

Setelah dicuci bersih dan dibilas dengan aquadest, peralatan volumetrik dikeringkan tetapi jangan dikeringkan pada temperatur diatas 100°C . pada umumnya peralatan volumetrik tidak harus dikosongkan.

- Pipet Gondok (vol Pipette)

Hanya pipet gondok yang terbuat dari gelas dan telah dikalibrasi (volumenya) yang digunakan sebelum menggunakan pipet, kita harus yakin bahwa ujung pipet tidak rusak/retak/patah. Untuk mengisi atau menarik cairan kedalam pipet, gunakan alat bantu yaitu "pipette filler" "jangan sekali-kali menghisap cairan kedalam pipet dengan mulut, demi keamanan". Pada saat cairan dikeluarkan, posisi pipet harus berdiri tegak, untuk membiarkan cairan mengalir bebas. Ada durasi (lamanya) untuk mengalirkan cairan keluar pipet yang tercantum pada pipet, hal ini harus dilakukan setelah cairan keluar dari pipet. Cairan yang sangat kental jangan diukur dengan pipet. Pada kasus ini volume harus ditentukan dengan ditimbang (gravimetri) dan

dihitung dengan menggunakan densitas cairan yang akan diukur.

- Gelas Ukur

Gelas ukur dikalibrasi berdasarkan cairan yang diisikan kedalam gelas ukur. Oleh karena itu gelas ukur cocok untuk pengukuran secara kuantitatif, terutama gelas ukur dibawah 100 mL. Hanya gelas ukur yang terbuat dari gelas yang digunakan didalam laboratorium analisa organik. Pengukuran volume gelas ukur dapat dilakukan dengan cara penimbangan dan dihitung dengan menggunakan densitas cairan yang diisikan kedalamnya.

- Labu Ukur

Hanya labu ukur yang terbuat dari gelas atau plastik / PVC yang mempunyai ketegasan sudah disertifikasi.

- Alat Pembagi (dispenser)

Dispenser digunakan apabila ada persetujuan dari kepala fasilitas pengujian / kepala laboratorium dibawah pengawasan yang ketat dari petunjuk operasional, bilamana penambahan dibatasi/kuantitas yang tepat dari solvent. Biasanya alat ini tidak digunakan untuk pengukuran kuantitatif.

3. Uji Peralatan Volumetrik

- Jenis/tipe peralatan volumetrik yang akan diuji

Peralatan volumetrik yang digunakan untuk mengukur volume yang tepat, tetapi tidak memiliki sertifikat pengukuhan / penegasan atau spesifikasi yang diizinkan yang disediakan oleh pabrik (seperti BRAND) atau yang setingkat), harus diuji untuk penegasan.

- Frekuensi

Alat-alat tersebut diatas harus diuji untuk penegasan, dilakukan oleh petugas laboratorium sebelum alat tersebut digunakan untuk pertama kalinya.

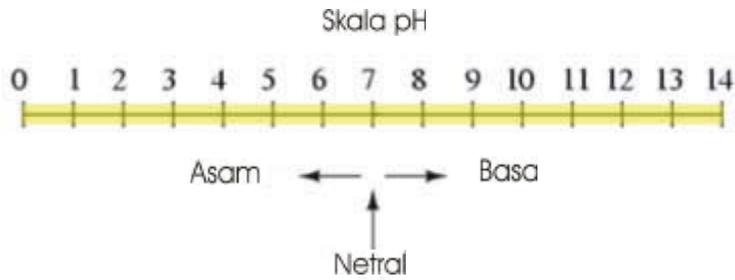
- Cara Kerja

Dalam melakukan uji penegasan gunakan air bebas mineral / aquadest dengan temperatur $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, yang diisikan kedalam alat yang akan diuji dan telah ditimbang sampai volume sesuai dengan yang ditunjukkan atau mencapai tanda “tentukan berat alat yang sudah terisi dengan neraca analitik dan hitung berat air / aquadest yang diisikan cari densitas air yang sesuai dengan temperatur (1 g/ml untuk 20°C). Cara kerja ini dapat dimodifikasi dengan menggunakan pelarut organik, (seperti etanol, sikloheksan) sebagai pengganti air / aquadest, untuk kalibrasi dengan mempertimbangkan densitas masing-masing pelarut. Pada setiap pengujian, lakukan minimum 5 kali pengujian secara individu, untuk menentukan nilai rata-rata atau penyimpangan baku (standard deviation).

3.7.2. Alat Pengukur Sifat Kimiawi

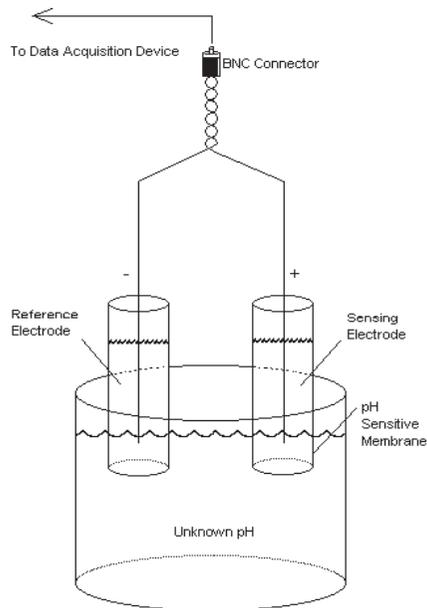
A. Pengukuran pH

Salah satu pengukuran yang sangat penting dalam berbagai cairan proses (industri, farmasi, manufaktur, produksi makanan dan sebagainya) adalah pH, yaitu pengukuran ion hidrogen dalam suatu larutan. Larutan dengan harga pH rendah dinamakan "asam" sedangkan yang harga pH-nya tinggi dinamakan "basa". Skala pH terentang dari 0 (asam kuat) sampai 14 (basa kuat) dengan 7 adalah harga tengah mewakili air murni (netral)

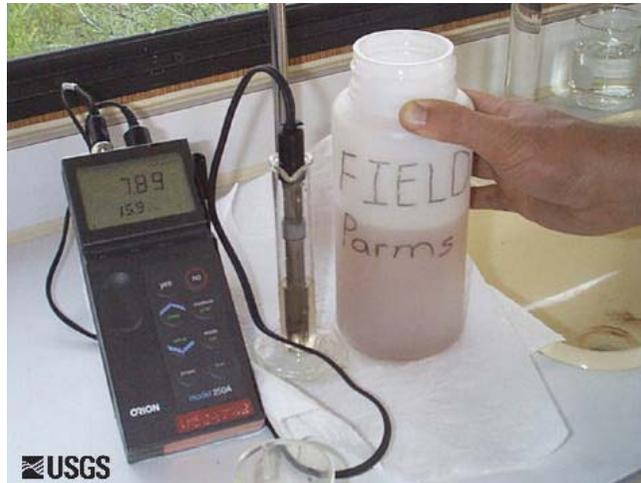


Gambar 3.20. Skala pH

pH larutan dapat diukur dengan beberapa cara. Secara kualitatif pH dapat diperkirakan dengan kertas Lakmus (*Litmus*) atau suatu indikator (kertas indikator pH). Secara kuantitatif pengukuran pH dapat digunakan elektroda potensiometrik. Elektroda ini memonitor perubahan voltase yang disebabkan oleh perubahan aktifitas ion hidrogen (H^+) dalam larutan. Elektroda potensiometrik sederhana untuk tipe ini seperti gambar 4-10.



Gambar 3.21. Elektroda Potensiometrik



Gambar 3.22. Pengukuran pH dengan pH Meter

Elektroda pH yang paling modern terdiri dari kombinasi tunggal elektroda referensi (*reference electrode*) dan elektroda sensor (*sensing electrode*) yang lebih mudah dan lebih murah daripada elektroda terpisah seperti gambar 4-10. Elektroda kombinasi ini mempunyai fungsi yang sama dengan elektroda pasangan.

B. Pengukuran BOD dan COD

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) atau KOB (kebutuhan oksigen biokimiawi) adalah suatu pernyataan untuk menyatakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk degradasi biologis dari senyawa organik dalam suatu sampel. Pengukuran BOD dengan sendirinya digunakan sebagai dasar untuk mendeteksi kemampuan senyawa organik dapat didegradasi (diurai) secara biologis dalam air. Perbedaan antara BOD dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah bahwa COD menunjukkan senyawa organik yang tidak dapat didegradasi secara biologis.

Secara analitis BOD (*biochemical oxygen demand*) adalah jumlah mg oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan zat organik secara biokimiawi dalam 1 liter air selama pengeringan 5 x 24 jam pada suhu 20° C. **Sedangkan COD** (*chemical oxygen*

demand) atau KOK (kebutuhan oksigen kimiawi) adalah jumlah (mg) oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasikan zat organik dalam 1 liter air dengan menggunakan oksidator kalium dikromat selama 2 jam pada suhu 150 °C.

Pengukuran BOD dan COD merupakan pengukuran yang penting untuk memantau kualitas buangan limbah cair dari industri dan rumah tangga.



Gambar 3.23. Reaktor COD

3.8. KLASIFIKASI INSTRUMENTASI

Instrumentasi adalah alat-alat dan piranti (*device*) yang dipakai untuk pengukuran dan pengendalian dalam suatu sistem yang lebih besar dan lebih kompleks. Secara umum instrumentasi mempunyai 3 fungsi utama:

- sebagai alat pengukuran
- sebagai alat analisa
- sebagai alat kendali

Instrumentasi sebagai alat pengukuran meliputi instrumentasi survey/statistik, instrumentasi pengukuran suhu dan lain-lain. Instrumentasi sebagai alat analisa banyak dijumpai di bidang kimia dan kedokteran. Sedangkan instrumentasi sebagai alat kendali banyak ditemukan dalam bidang elektronika, industri dan pabrik-pabrik. Sistem pengukuran, analisa dan kendali dalam instrumentasi ini bisa dilakukan secara manual (hasilnya dibaca dan ditulis tangan), tetapi

bisa juga dilakukan secara otomatis dengan menggunakan komputer (sirkuit elektronik). Untuk jenis yang kedua ini, instrumentasi tidak bisa dipisahkan dengan bidang elektronika dan instrumentasi itu sendiri.

Instrumentasi sebagai alat pengukur sering kali merupakan bagian awal dari bagian-bagian selanjutnya (bagian kendalinya), dan bisa berupa pengukur dari semua jenis besaran fisis, kimia, mekanis, maupun besaran listrik. Beberapa contoh di antaranya adalah pengukur: massa, waktu, panjang, luas, sudut, suhu, kelembaban, tekanan, aliran, pH (keasaman), level, radiasi, suara, cahaya, kecepatan, torque, sifat listrik (arus listrik, tegangan listrik, tahanan listrik), viskositas, densiti, dll.

3.9. ALAT KENDALI KETINGGIAN

Terdapat dua macam dasar dalam pengukuran tinggi permukaan yaitu : *pertama*, pengukuran head. Dalam hal ini tinggi permukaan dapat diketahui langsung. *Kedua*, pengukuran tekanan. Melalui pengukuran tekanan, tinggi permukaan dapat ditentukan dengan hubungan sebagai berikut:

$$h = \frac{p}{\rho} = \frac{p}{\rho_w SG}$$

Dimana:

h : tekanan

p : densiti cairan

ρ_w : densiti air (pada 60 °F)

SG : specific gravity (berat jenis)

3.9.1. Pengukuran Langsung Tinggi Permukaan

A. Tabung Gelas

B.

Pengukuran tinggi permukaan yang sederhana dan secara langsung ialah dengan gelas penduga yang berbentuk tabung gelas. Cara ini sangat baik untuk pengukuran cairan jernih serta tidak dipersyaratkan pengukuran dari jarak jauh.

Alat ini mempunyai batas ukur 1 meter dan kekurangannya adalah jika gelas penduga pecah maka cairan akan tumpah. Untuk mengatasi kekurangan tersebut kemudian digunakan konstruksi *ekstrom gauge*.

C. Ekstrom Gauge

Pada tabung yang dihubungkan ke tangki, di dalamnya berisi pelampung yang bersifat magnetik (dimagnetisasikan). Oleh pengaruh permukaan cairan pelampung akan naik turun. Di bagian luar terdapat tabung gelas yang berisi bola besi berongga yang akan selalu menyesuaikan dengan kedudukan pelampung magnetik. Jadi, seandainya tabung gelas pecah maka cairannya tidak tumpah. Batas ukur alat ekstrom berkisar antara 0,3 m sampai 6,6 m. Kebaikan lainnya adalah tahan terhadap tekanan tinggi (± 35 atm)

3.9.2. Pengukuran dengan Pelampung

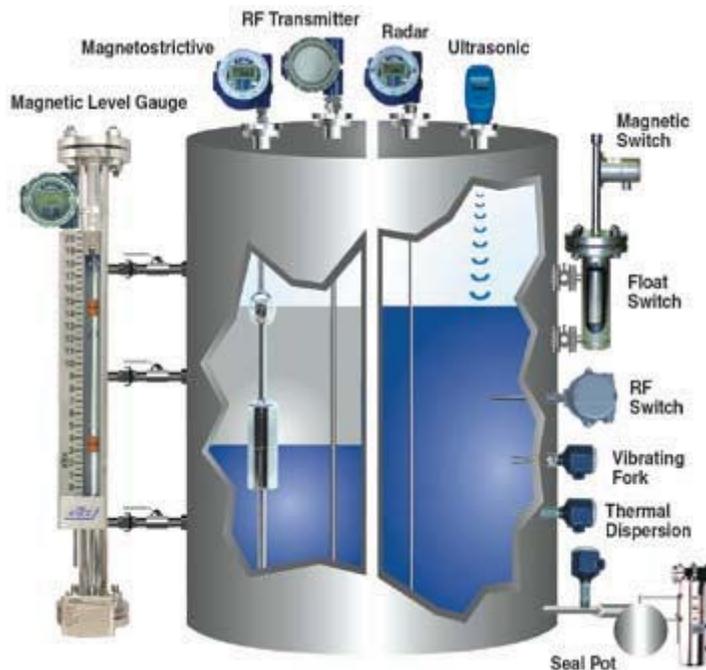
Alat ini hanya digunakan untuk pengukuran pada tangki terbuka. Selaiun konstruksinya sederhana juga harganya relatif murah. Pelampung dibuat dari bola tembaga berlapis nikel, plastik atau karet. Bola pelampung akan mengikuti tinggi permukaan cairan.

Agar kedudukan pelampung stabil dan tidak cepat kotor maka posisinya tenggelam separuh.

3.9.3. Pengukuran Tidak Langsung Tinggi Permukaan

Dengan mengetahui sifat fisik cairan maka dapat diketahui tinggi permukaan cairan tersebut.

Pengukuran secara tidak langsung terdiri dari: pengukuran dengan metoda listrik, dengan memakai isotop, dengan ultrasonik, dengan metoda hidrostatis dan pengukuran dengan gelembung udara.



Gambar 3.24. Pengukuran ketinggian (*Level Measurement*) menentukan posisi ketinggian cairan relatif terhadap permukaan atas atau dasar dari sebuah tangki penyimpanan cairan proses

RANGKUMAN :

1. Instrumentasi merupakan salah satu teknik yang makin terasa keperluannya dalam kehidupan sehari-hari untuk mendapatkan nilai pengukuran yang lebih akurat.
2. Instrumen atau alat ukur merupakan piranti untuk mengukur sesuatu besaran selama pengamatan.
3. Sekon atau detik adalah jangka waktu 9192631770 periode radiasi atom cesium 133 yang mengalami transisi diantara dua tingkat yang sangat kecil pada keadaan dasar.
4. Satuan massa adalah kilogram yang didefinisikan oleh massa The International Prototype kilogram terbuat dari platinum Iridium dan disimpan oleh Biro International untuk Berat dan ukuran di dekat Paris.
5. Meter adalah jarak yang ditempatkan oleh cahaya di ruang hampa dalam $1/299792458$ sekon.
6. Angka penting adalah semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran, yang terdiri dari angka eksak dan satu angka terakhir yang ditaksir (atau diragukan).
7. Ada banyak alat ukur yang digunakan, namun yang banyak digunakan dalam industri dapat diklasifikasikan:
 - a. Alat pengukur suhu
 - b. Alat pengukur tekanan
 - c. Alat pengukur aliran
 - d. Pengujian Peralatan Volumetrik
 - e. Alat pengukur sifat kimiawi: pH atau keasaman, COD, BOD
8. Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur), ataupun perubahan suhu.
9. Termometer diklasifikasikan sebagai termometer kontak dan termometer non kontak atau termometer inframerah dan diterangkan dibawah ini.
10. Jenis – jenis Alat Pengukur Tekanan
 - a. Manometer
 - b. Tabung Bourdon (*Bourdon Tube*)

11. Manometer adalah alat yang digunakan secara luas pada audit energi untuk mengukur perbedaan tekanan di dua titik yang berlawanan. Jenis manometer tertua adalah manometer kolom cairan.
12. Pengukur aliran adalah alat yang digunakan untuk mengukur linier, non linier, laju alir volum atau masa dari cairan atau gas.
13. Jenis pengukur aliran yang paling umum adalah sebagai berikut:
 - a. *Rotameter* atau pengukur aliran dengan variasi area untuk gas dan cairan.
 - b. Pengukur aliran variabel – pengukur aliran piston dan *spring* untuk gas dan cairan.
 - c. Pengukur aliran ultrasonik (Non-Intrusif atau *Doppler*) untuk cairan pengukur aliran turbin
 - d. Pengukur aliran magnetik untuk cairan konduktif
14. Jenis-jenis Peralatan Volumetrik :
 - Pipet Gondok (vol Pipette)
 - Gelas Ukur
 - Labu Ukur
15. Alat Pengukur Sifat Kimiawi
 - Pengukuran pH
 - Pengukuran BOD dan COD
16. Skala adalah susunan garis yang beraturan dengan jarak antara dua garis yang berdekatan dibuat tetap dan mempunyai arti tertentu.
17. Pembacaan angka pada skala nonius adalah pembacaan yang menyatakan sepersepuluh hanya skala utama, atau dalam menit kalau kalau utama dalam derajat.
18. Pencatatan skala ukur instrumen diperlukan alat pencatat yang dapat membuat suatu grafik pengukuran pada kertas berskala.
19. Sumber kesalahan pengukuran meliputi kebisingan (noise), waktu tanggap (respon time), keterbatasan rancangan (design limitation), pertambahan atau kehilangan energi karena interaksi, transmisi, keausan atau kerusakan sistem pengukuran, pengaruh regangan terhadap sistem, kesalahan penafsiran oleh pengamat.

CONTOH SOAL :

1. Termokopel digunakan untuk mengukur suhu api, misalnya 1200°C dengan ketepatan $\pm 6^\circ\text{C}$, maka persentase kesalahannya adalah :

$$\pm \frac{6}{1200} \times 100\% = \pm 0,5\%$$

Namun bila kesalahan $\pm 6^\circ\text{C}$ terjadi pada pengukuran suhu air mendidih pada 100°C , maka persentase kesalahannya adalah :

$$\pm \frac{6}{100} \times 100\% = \pm 6\%$$

Kesalahannya lebih besar

2. Kaliper Vernir (Vernier Caliper)

Pada gambar 3.25 digunakan kaliper vernir, yang dapat digunakan untuk mengukur bagian dalam dan luas suatu benda. Vernir terdiri dari bilah utama atau bilah yang dibagi dalam milimeter dan suatu bilah pembantu yang dibagi 100. Seratus garis pada bilah pembantu sama dengan 49 milimeter pada bilah utama sehingga setiap garis = $\frac{100}{49}$ mm. Bila suatu garis bilah pembantu berimpit dengan suatu tanda pada skala utama, maka harga ukurnya adalah jumlah skala dihitung dari angka 0 x 0,02 mm.

Pada pengukuran, mula-mula kita baca skala pada bilah utama. Harga vernir diperoleh dengan memperhatikan garis yang berimpit dengan garis pada skala utama. Andaikan merupakan garis keempat, maka ditambahkan 4 x 0,02 pada pembacaan skala utama.

Pada Gambar 3.25. tampak cara pengukuran dalam dan luar.

Ukuran dalam :

Skala utama = 70 + 8 = 78,00 mm

Vernir = 4 garis x 0,02 = 0,08 mm

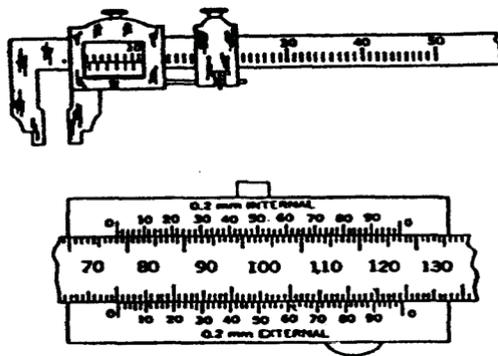
Ukuran dalam = 78,08 mm

Ukuran luar :

Skala utama = 70 + 0 = 70,00 mm

Vernir = 4 garis x 0,02 = 0,08 mm

Ukuran luar = 70,08 mm



Gambar 3.25. Kaliper vernir

Cara pengukurannya tidak secepat mikrometer akan tetapi mempunyai keuntungan bahwa dapat digunakan untuk jarak yang lebih besar dengan ketelitian yang sama. Selain itu dapat pula digunakan pada protractor untuk pengukuran sudut.

3. Mikrometer, lihat Gambar 3.26. digunakan untuk mengukur dengan cepat dan dengan ketelitian 0,002 mm. Pada mikrometer terdapat sekrup dengan ulir yang teliti. Sekrup ini dihubungkan ke *spindel* dan diputar pada pemutar atau kenop di ujungnya. Ulir sekrup dibuat dengan teliti dan mempunyai pit sebesar 0,05 mm. Sekrup bergerak sebanyak 0,05 mm setiap putaran. Pada *barrel* terdapat garis-garis yang diberi tanda skala milimeter, dan garis di atasnya menunjukkan setengah milimeter. Skala lingkaran berjumlah 50 (pembagian yang sama) diberi nilai 0, 5, 10 dan

seterusnya sampai 50. Oleh karena itu setiap skala adalah $1/50$ dan $\frac{1}{2}$ mm, $1/100$ atau 0,01 mm.

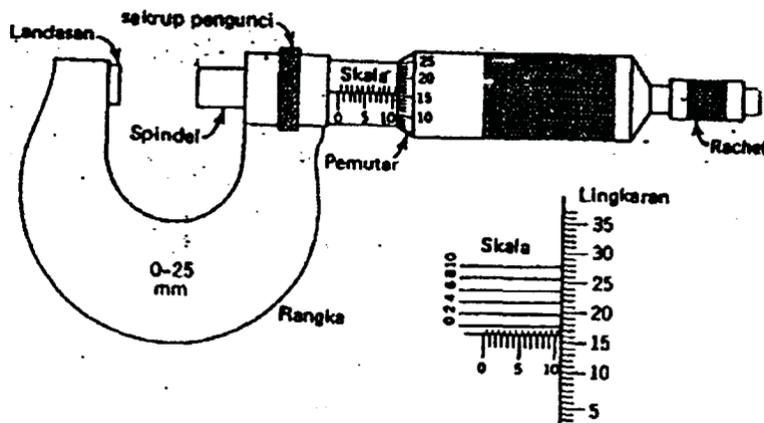
Sebagai contoh, perhatikanlah Gambar 5.3.

Pertama-tama perhatikanlah bilangan bulat pada skala utama *barrel*, lalu perhatikanlah apakah terbaca skala setengah milimeter di atas (ada kalanya di bawah) skala utama dan akhirnya bacalah skala perseratusan pada lingkaran.

Nilai pada Gambar 5.3. harus dibaca sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Skala utama} &= 10 \times 1,00 \text{ mm} = 10,00 \text{ mm} \\ \text{Skala minor} &= 1 \times 0,50 \text{ mm} = 0,50 \text{ mm} \\ \text{Skala pemutar} &= 16 \times 0,01 \text{ mm} = 0,16 \text{ mm} \\ \text{Nilai} &= 10,66 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena daya ukur mikrometer umumnya adalah 25 mm, dibuat beberapa ukuran mikrometer untuk berbagai jumlah. Prinsip mikrometer juga diterapkan untuk pengukur diameter dalam, ukuran kedalaman dan untuk mengukur ulir.



Gambar 3.26. Mikrometer dengan kemampuan ukur dari 0 sampai 25 mm

Untuk memperhalus pembacaan mikrometer hingga 0,002 mm, *barrel* dilengkapi dengan vernir. Vernir, lihat Gambar 3.26, kanan bawah. Setiap garis vernir mewakili dua perseribuan milimeter (0,002 mm) dan setiap garis diberi tanda 0, 2, 4, 5, 8 dan 0. Untuk membaca

mikrometer vernir perlu diperhatikan skala utama, skala minor dan skala pemutar. Kemudian perhatikan garis vernir mana yang berimpit dengan garis skala pemutar.

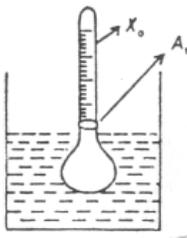
Gambar 3.27. harus dibaca sebagai berikut :

| | | |
|---------------|--------------|-----------|
| Skala utama | = 10x1,00 mm | =10,00 mm |
| Skala minor | = 1x0,50mm | = 0,50 mm |
| Skala pemutar | = 16x0,01mm | = 0,16mm |
| Skala vernir | = 3x0,0002mm | = 0,006mm |
| Nilai | | =10,666mm |

Bila garis vernir berimpit dengan nilai 8, tidak perlu ditambahkan perseribuan milimeter.

Untuk pengukuran di bengkel sampai ketelitian 0,001 mm, digunakan mikrometer bangku. Mesin ini disetel dengan menggunakan blok ukur presisi dan nilai dibaca langsung pada kepala diam. Tekanan pada benda yang akan diukur diusahakan sama dan dapat dicapai ketelitian hingga 0,0005 mm. Mesin pengukur presisi menggunakan kombinasi antara prinsip pengukuran elektronika dan mekanik dan dapat mencapai ketelitian hingga 0,000001 m.

4. Termometer air-raksa mempunyai tabung kapiler berdiameter 0,3 mm. Kalau bola termometer dibuat dari bahan dengan pemuaian-nol, berapa volumenya kalau diperlukan kepekaan 4 mm/°C? Kalau bolanya bulat (*sferis*) dan terendam dalam udara pada 20°C, diperkirakan konstanta waktu (Gambar 3.27).



GAMBAR 3.27

Koefisien perpindahan panas = 0,8 kal/det. cm². °C

Koefisien pemuaian panas = 0,18 x 10⁻³

Panas jenis = 0,4 kal/kg°C

Diketahui : h = 0,8 Kal/det. cm² °C

X = 0,18 x 10⁻³

C = 0,4 Kal/kg°C

Kepekaan = 4 mm/°C

= 0,4 cm/°C

Diameter tabung kapiler = 0,3 mm = 0,03 cm

Karena $A_t \times X_o = V_b \cdot a \cdot T_b$

di mana,, A_t = luas penampang tabung

X_o = pemuaian dari fluida termometer

V_b = Volume bola termometer

a = koefisien pemuaian panas

T_b = beda temperatur sehubungan dengan X_o .

atau
$$V_b = \frac{A_t \cdot X_b}{a \cdot T_b}$$

$$= \frac{\left(\frac{\pi d^2}{4} \times X_o \right)}{(a \times T_b)}$$

$$= \frac{\left(\frac{\pi}{4} \times 0,03^2 \times 0,4 \right)}{(0,18 \times 10^{-3} \times 1)}$$

$$= 6,28 \text{ cm}^3$$

Konstanta waktu, $t = \frac{\rho \cdot C \cdot V_b}{h \cdot A_b}$

$$= \frac{\rho C}{h} \left[\frac{\left(\frac{\pi}{6} d^3 \right)}{\left(\frac{\pi d^2}{4} \right)} \right]$$

$$= \frac{\rho C}{h} \left(\frac{2}{3} d \right)$$

di mana, ρ = rapat fluida = 0,136 kg/cm³

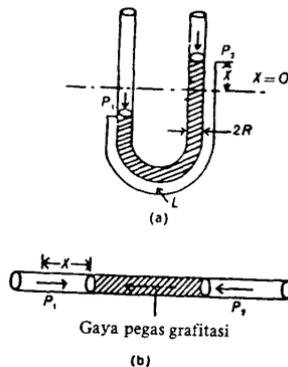
dan $V_b = \frac{1}{6} \rho d^3$ (volume rata-rata)

$$\begin{aligned} d &= 3 \sqrt{\frac{6 V_b}{\pi}} \\ &= 3 \sqrt{\frac{6 \times 6,28}{\pi}} \\ &= 2,27 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan harga-harga d dan ρ

$$\begin{aligned} &= \frac{0,136 \times 0,4}{0,8} \times \frac{4}{6} \times 2,27 \\ &= 0,103 \text{ s} \end{aligned}$$

5. Perkiraan perubahan tangga (step) terbesar yang akan memberikan sifat linear dalam manometer air dengan $L = 70$ cm dan $R = 2$ cm. Beberapa ρ dan ρ_n untuk manometer ini? Kalau suatu step berubah lima kali nilai yang didapatkan di atas digunakan, diperkirakan ρ dan ρ_n untuk keadaan ini.



Gambar 3.28.

Dinamika manometer. Perhatikan seluruh badan cairan sebagai benda bebas dan ambil massa efektif, yang didasarkan pada energi kinetik dari aliran laminer yang mantap, kita gunakan hukum Newton dan tuliskan gerakan dalam arah 'X' (Gambar).

$$\rho R^2 (P_1 - P_2) - 2\rho R^2 \ddot{x} - 2\rho R L \frac{4\mu X}{R} = \frac{4}{3} \frac{\pi R^2 L \gamma}{g} X$$

yang merupakan bentuk dari

$$\frac{X}{P} (D) = \frac{K}{\frac{D^2}{\omega_n^2} + 2\xi \frac{D}{\omega_n} + 1}$$

di mana, $K = \frac{1}{2\gamma}$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{3g}{2L}}$$

dan $\xi = 2,45 \mu \left(\frac{\sqrt{gL}}{R^2 \gamma} \right)$

Catatan bahwa instrumen kurang peredam yang mempunyai gerakan order kedua dan rumus Reynold untuk aliran pipa mantap atau aliran kritis untuk transisi dari aliran laminer ke turbulen sama dengan 2100.

Karena itu, fungsi *step* maksimum X_m diberikan oleh

$$2100 = \frac{2\gamma R \omega_n X_m}{g\mu}$$

Diketahui: $L = 70 \text{ cm}$

$R = 2 \text{ cm}$

Misalkan: $\mu = 0,007 \text{ Pa s}$

$\rho = 0,018 \times 10^8 \text{ kg/m}^3$

$$\xi = 2,45 \times 0,007 \frac{\sqrt{9,81 \times 0,70}}{0,02^3 \times 0,018 \times 10^6}$$

$= 0,0623$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{3g}{2L}} = \sqrt{\frac{3 \times 9,81}{2 \times 0,7}} = 4,64 \text{ cps}$$

$$\begin{aligned}
 \text{jadi, } X_m &= \frac{2100 g \mu}{2 \gamma R_{\omega n}} \\
 &= \frac{2100 \times 9,81 \times 0,007}{2 \times 0,018 \times 10^6 \times 0,02 \times 4,64} \\
 &= 0,0434 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{atau } X_m = 4,34 \text{ cm}$$

Sekarang kalau $X_m = 5 \times 4,34 = 21,70 \text{ cm} = Y$
(kurang dan sama dengan kondisi $NR=2100$)

$$\text{Angka Reynold } NR = \frac{21,70}{4,34} \times 2100 = 10,500$$

Yang berada kurang dari arus turbulen dalam pipa halus ($3000 < NR < 10.500$).

Hasil ini mensubstitusi gaya akibat tekanan geser ke dalam Hukum Newton yang menghasilkan persamaan tak-linear.

Sekarang, kalau sistem dengan redaman tak-linear melakukan osilasi dengan amplitudo tetap selama satu siklus, gaya peredaman akan mengeluarkan sejumlah energi tertentu.

Perbandingan redaman ζ_e dapat dihitung dengan

$$\zeta_e = \frac{0,184 \sqrt{L} \left(\frac{\mu}{\gamma g} \right)^{1,25} (\omega \gamma)^{0,75}}{R^{1,25}}$$

$$\text{di mana, } \zeta_n = \sqrt{\frac{2g}{L}} = \sqrt{\frac{2 \times 9,81}{0,7}} = 5,3 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi } \zeta_e &= \frac{0,184 \sqrt{0,70} (0,007 / 0,018 \times 10^6 \times 9,81)^{0,25} \times 5,3 \times 0,217)^{0,75}}{0,02^{1,25}} \\
 &= 0,0128
 \end{aligned}$$

- (Catatan : 1. ζ telah diambil sama dengan ζ_n)
2. Nilai ζ_n telah dihitung untuk aliran turbulen dengan mengabaikan sama sekali faktor redaman).

LATIHAN SOAL :

1. Apa beda pengertian Instrumentasi dan Instrumen? Jelaskan, berikan contoh !
2. Jelaskan mengapa alat ukur timbangan analitik yang sudah dipakai beberapa lama perlu dikalibrasi?
3. Bagaimana menyiapkan pembacaan skala ukur instrumen?
4. Jelaskan tentang ketelitian ketepatan, kepekaan suatu alat ukur? Berikan contohnya!
5. Jelaskan sumber-sumber kesalahan pengukuran?
6. Penunjuk dibedakan penunjuk berskala dan penunjuk berangka (digital). Apa kelebihan dan kekurangan alat pencatat tersebut? Bila ada kelainan skala ukur bagaimana cara melaporkannya?
7. Apa beda termometer kontrol dan non-kontrol? Jelaskan penggunaannya untuk masing-masing termometer?
8. Suatu tabung U sederhana (panjang total kolom air = 30 cm) digunakan disekitar penyempitan (orifice) untuk mengukur aliran udara keluar dari kompresor bolak-balik satu aksi. Pada saat mesin mempercepat putarannya, pengukur berlaku normal sampai air dalam manometer tiba-tiba mulai
9. Termometer air raksa mempunyai tabung kapiler 0,4 mm. Bila termometer dibuat dari bahan dengan pemuai nol. Berapa volumenya kalau diperlukan kepekaan $5 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$?
Koefisien perpindahan panas = $0,10 \text{ kal/det.cm}^2.^{\circ}\text{C}$.
Koefisien pemuai panas = $0,16 \times 10^{-3}$
Panas jenis = $0,5 \text{ kal/kg}^{\circ}\text{C}$.
10. Perkiraan perubahan tangga (step) terbesar yang akan memberikan sifat linear dalam manometer air dengan $L = 90 \text{ cm}$ dan $R = 3 \text{ cm}$. Berapa perbandingan redaman (ξ) dan frekuensi natural (ω_n) untuk manometer ini? Jika suatu step berubah empat kali.

DAFTAR PUSTAKA

A.K.SHAHA. 1997, Combustion Engineering and Fuel Technology OXFORD & IBH PUBLISHING CO.

Abdul Kadir, Prof., Ir., 1993. "Pengantar Tenaga Listrik", Edisi Revisi, PT Pustaka LP3ES, Jakarta.

Bernasconi B., Gerster H., Hauser H., Stäuble H., Schneiter E., "Chemische Technologie 2" (alih bahasa) M.Eng., M. Handojo Lienda Dr. Ir., 1995. "Kimia Teknologi 2", PT. Pradnya Paramita, Bandung.

Bernasconi B., Gerster H., Hauser H., Stäuble H., Schneiter E., 1995. "Chemische Technologie 1" (alih bahasa) M.Eng., M. Handojo Lienda Dr. Ir., "Kimia Teknologi 1", PT. Pradnya Paramita, Bandung.

Brace, 1998. "Technology of Anodizing", Robert Draper Ltd., Teddington.

Champbell, 1998. Prinsip of Manufacturing Materials & Processes, New Delhi.

Corbitt, R. E., 1989. *Standard Handbook of Environmental Engineering*, McGraw-Hill Book Co., New York.

Dennis, 2002. "Nickel and Chromium-Plating", Newnes-Butterworths.

Don A. Watson, 2000. CONSTRUCTION MATERIALS AND PROCESSES. Mc Graw-Hill Book Company, Sidney.

Erlinda N, Ir., 2004. "Korosi Umum", Seminar Masalah Penanggulangan Korosi dengan Bahan Pengubah Karat, LMN-LIPI.

Gabe, 1998. "Principle of Metal. Surface Treatment and Protection", 2nd edition, Pergamon Press, London.

George T Austin, E. Jasjfi (alih bahasa), 1995. "Industri Proses Kimia", Jilid 1, Edisi 5, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Handojo, L., 1995, "Teknologi Kimia", Jilid 2, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Katz, (Ed.) 1997. Methods Of Air Sampling and Analysis. Interdisciplinary Books and Periodical, APHA, Washington.

Kenneth N.Derucher, Conrad P. Heins 1996. MATERIALS. FOR CIVIL AND HIGHWAY ENGINEERIG. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey

- Kertiasa Nyoman, 2006. "Laboratorium Sekolah & Pengelolaannya", Pustaka Scientific, Bandung.
- Kusmulyana, 1993. Pemantauan Kualitas Udara. Pelatihan Pengelolaan dan Teknologi Limbah, ITB, Bandung.
- Lainer, 2000, "Modern Electroplating", Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Lawrence H Van Vlack, 2000. Elements of Materials Science & Engineering. Addison-Wesley Publishing Company. Fourth edition.
- Lowenheim, F.A., 2000. "Modern Electroplating", John Wiley & Sons.
- M.G., Fontana, N.D. Greene, 2002. "Corrosion Engineering", Mc. Graw Hill Book Co.
- McCabe L. Warren, Smith C. Julian, Harriot Peter, "Unit Operation Of Chemical Engineering *fourth Edition*" (alih bahasa) M. Sc. Jasjfi E., Ir., 1999 "Operasi Teknik Kimia", Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- McCabe L. Warren, Smith C. Julian, Harriot Peter, 1999. "Unit Operation Of Chemical Engineering *fourth Edition*" (alih bahasa) M. Sc. Jasjfi E., Ir., "Operasi Teknik Kimia", Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Misnah Pantono BE, Suhardi, Bsc., 1979. "Pesawat Tenaga Kalor/Ketel Uap 1", Edisi Pertama, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan – Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
- N. Jackson. 1992, CIVIL ENGINEERING MATERIALS. The Mac Millan Press Ltd. New Jersey.
- Noil and Miller, 1997. Air Monitoring Survey Design. Ann Arbor Science, Michigan.
- Oetoyo Siswono, Drs, 1982. "Proses Kimia Industri" Akademi Perindustrian Yogyakarta.
- Perkins, H.C., 1994. Air Pollution. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo.
- S. Juhanda, Ir., 1993. "Pengantar Lapis Listrik", Proceeding Diklat TPLS Bidang Elektroplating, LMN-LIPI.
- Sarengat, N., 2000. Dampak Kualitas Udara. Kursus AMDAL A, Bintari-UGM-UNDIP, Semarang.

LAMPIRAN A2

Silman, H., BSc., 1998. "Protective and Decorative Coating for Metals", Finishing Publications Ltd., London.

Slamet Setiyo, Ir., Margono B.Sc., 1982. "Mesin dan Instrumentasi 2", Departemen Pendidikan dan Kebudayaan – Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta.

Soedomo M. 1998. Pehigelolaan Limbah Gas dan Partikulat Lingkungan Perkotaan (Sumber Bergerak). Pelatihan Pengelolaan dan Teknologi Limbah, ITB, Bandung.

Stern, A.C., 1996, *Air Pollution*, Third edition, Volume III *Measuring, monitoring, and surveillance of air pollution*. Academic Press, New York.

Tata Surdia Ir. Msc Met E; Kenji Chijiwa Prof. Dr. 2000, Teknik Pengecoran Logam. Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.

Ulrich D. Gael, 1984. "A Guide To Chemical Engineering Process Design And Economics" John Wiley & Sons, USA.

Ulrich, Gael D., 1984, "A guide to chemical Engineering Process Design and Economics" John Wiley and Sons.

W.H.Taylor, 1999. CONCRETE TECHNOLOGY AND PRACTICE. Mc Graw-Hill Book Company, Sidney.

Wahyudin, K., 1990. "Kursus Elektroplating dan Penerapannya", Lembaga Metallurgi Nasional-LIPI - BENGPUSTAT III.

Bahan Bakar Dan Pembakaran,
www.chemeng.vi.ac.id/wulan/materi/lecture%20notes/umum

[Http://www.chem.itb.ac.id/safety/Tim Keselamatan Kerja](http://www.chem.itb.ac.id/safety/Tim%20Keselamatan%20Kerja) Departemen Kimia Institut Teknologi Bandung, 2002

<http://www.iaeste.ch/Trainees/Events/2007/IndustrialSightLeibstadt/>

<http://www.gc3.com/techdb/manual/cooltext.htm>

<http://www.indiamart.com/maitreyaenterprises/engineered-products.html>

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Didcot power station cooling tower zootalures.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Didcot_power_station_cooling_tower_zootalures.jpg)

<http://www.lenntech.com/fran%C3%A7ais/chaudi%C3%A8re/eau-alimentation-chaudiere.htm>

<http://www.queensindustrial.com/service.htm>

http://www.geothermie.de/egec-geothernet/prof/heat_exchangers.htm

<http://www.sensorsmag.com/sensors/Level+and+Leak+Detection/A-Dozen-Ways-to-Measure-Fluid-Level-and-How-They-W/ArticleStandard/Article/detail/360729>

Integrated Biodiesel Plant & Palm Oil Mill, Agus Kismanto, BPPT,
[http://bfuel.biz/files/ako_integrated Biodiesel Plant Palm Oil Read Only pdf](http://bfuel.biz/files/ako_integrated_Biodiesel_Plant_Palm_Oil_Read_Only.pdf)
Teknologi Proses Produksi Biodiesel, Martini Rahayu,
www.geocities.com/markal_bppt/pubilsh/biofbbm/biraha.pdf
US Department of Energy (US DOE), Energy Efficiency and Renewable Energy. *Improving*.

Compressed Air System Performance. DEO/GO-102003-1822. 2003.
[www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed air](http://www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed_air)

Wiki, Instrumentasi, 3 Januari 2008, Wikipedia Ensiklopedia Bebas, Availabel [online]:<<http://id.wikipedia.org/wiki/Instrumentasi>>[19 Januari 2008]

www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter%20-%20Compressors%20and%20Compressed%20Air%20Sy

[www_process-controls_cod-Metex-Aqualytic-images reaktore_klein_jpg_files\cod_reactor.htm](http://www_process-controls_cod-Metex-Aqualytic-images_reaktore_klein_jpg_files\cod_reactor.htm)

United Nations Environment Programme, "Peralatan Pemantauan", 2006, Available[online]< *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – www.energyefficiencyasia.org*>

DAFTAR ISTILAH

| | | |
|--------------------|---|--|
| Batch | : | Tumpak, Lumpok |
| Bubble Point | : | Titik gelembung |
| Boiling point | : | Titik Didih |
| Ball Mill | : | Penggiling Bola |
| BAPEDALS | : | Badan Pengendali Dampak Lingkungan |
| Continuous | : | Sinambung |
| Change of phase | : | Perubah fase |
| Crushing | : | Penghancuran |
| Dew Point | : | Titik Embun |
| Double pipe HE | : | Alat penukar panas tipe pipa ganda |
| DoT | : | Departemen of Transportastion |
| B 3 | : | Bahan Berbahaya dan Beracun |
| Equipment | : | Peralatan |
| EP | : | Effisiensi Pembakaran |
| EPA | : | Environmental Policy Act |
| Furnace | : | Tungku |
| Grinding | : | Penggerusan |
| Generator | : | Penimbul Limbah |
| Handling | : | Penanganan |
| Heat Exchanger | : | Penukar Kalor, Penukar Panas Penukar Bahang |
| LD50 | : | Lethal Dose Fifty |
| Piping system | : | Sistem pemipaan |
| Reboiler | : | Pendidih ulang |
| Rotary Drum Filter | : | Filter drum berputar |
| RCRA | : | Resource Conservation and Recovery Act |
| Separation | : | Pemisahan |
| Shell – Tube HE | : | Alat penukar panas tipe tabung selongsong |
| Size reduction | : | Pengecilan ukuran |
| Steady state | : | Keadaan tunak |
| Treatment | : | Perlakuan |
| TCLP | : | Toxicity Characteristic Leaching Procedur |
| Unit Operation | : | Satuan Operasi |
| Unit Process | : | Satuan Proses |
| USDOT | : | US Department of Transportation Act |

ISBN 978-602-8320-41-2
ISBN 978-602-8320-42-9

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 21,010.00