

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada proses pembentukan aluminium terdapat beberapa material utama yakni alumina, karbon, kriolit, soda abu, *aluminium fluoride*. Proses pembentukan aluminium dilakukan dengan proses *Hall-Herault*. Proses ini adalah proses elektrolisis alumina dengan menggunakan anoda karbon yang dialiri arus 175-195 kA dalam suatu tungku reduksi pada temperatur 950-955 °C dengan beda potensial 4,30- 4,35 Volt. (Entner, 2007)

Proses pemasukan alumina kedalam tungku reduksi (*feeding system*) merupakan salah satu faktor penting dalam produksi aluminium, proses *feeding* pada PT Inalum menggunakan sistem '*shutter gate feeding system*' dengan memanfaatkan sistem hidrolik dan pneumatik yang diatur dalam sistem kontrol satuan waktu.

Oleh sebab itu diperlukan suatu proses *feeding system* yang efektif dengan beberapa perubahan variabel parameter waktu pemasukan *feeding* agar menghasilkan produktifitas yang optimal serta mengurangi kerugian alumina yang tidak bereaksi atau *sludge* saat proses elektrolisis.

1.2 Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa perubahan parameter waktu pemasukan alumina terhadap alumina yang tidak bereaksi atau *sludge*

1.3 Manfaat

Manfaat yang dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Dapat menentukan parameter pemasukan alumina yang efektif pada tungku reduksi di PT Inalum
2. Dapat mengurangi persentase alumina yang tidak bereaksi atau *sludge*
3. Dapat diaplikasikan dalam proses produksi aluminium di PT Inalum.

1.4 Batasan Masalah

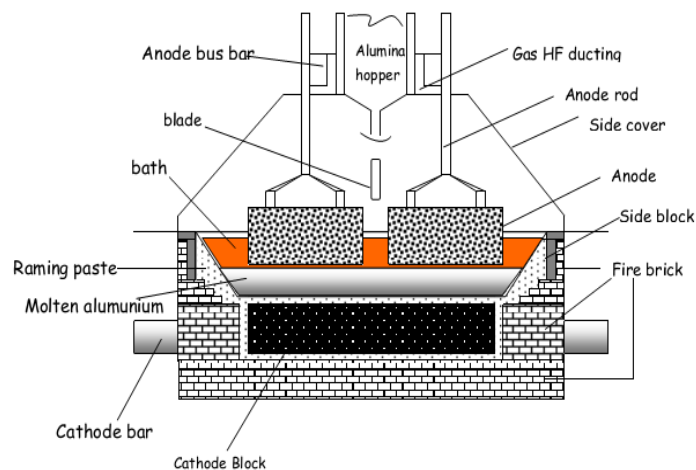
Pada penelitian ini digunakan 3 variasi satuan waktu yang berbeda yaitu 240 detik , 360 detik, 480 detik di satu pot yang sama yakni R 302.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Operasi Pot Reduksi

Proses Pabrik peleburan aluminium PT Inalum beroperasi dengan kapasitas terpasang 510 pot, terbagi dalam tiga gedung, sehingga di masing-masing gedung terdapat 170 pot. Arus listrik searah yang digunakan 170 ~ 186 kA, dengan tegangan tiap pot sekitar 4,3 volt. Pot satu dengan pot lainnya dihubungkan secara listrik seri dan diletakkan bersisian. Daya yang digunakan untuk satu pot ini kira-kira setara dengan 1600 rumah berdaya listrik 500 watt (800 kw). Diagram pot reduksi dapat dilihat pada Gambar 2.1

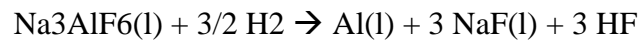


Gambar 2.1 Pot Reduksi

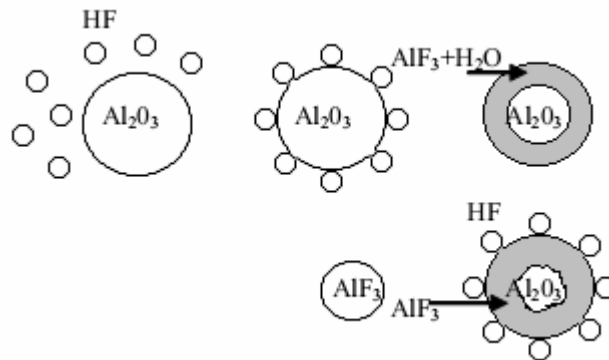
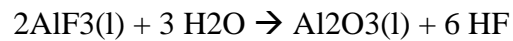
2.1.1 Proses Elektrolisis

a. Reaksi Penangkapan Gas HF

Gas HF dapat terbentuk selama proses elektrolisis. Reaksi pembentukan gas HF adalah sebagai berikut :



Potensial listrik 1,53 volt pada suhu operasi. Gas HF juga dapat terbentuk melalui reaksi :



Gambar 2.2 Reaksi Penangkapan Gas HF

Gas HF selanjutnya akan bereaksi dengan alumina (Al_2O_3), tekanan aksial, waktu pengelasan adalah variabel prinsip yang mengatur kombinasi antara panas dan tekanan dalam pengelasan gesek tersebut.

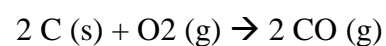
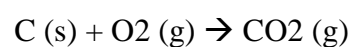
Reaksi (1) : adsorpsi HF pada permukaan alumina

Reaksi (2) : reaksi kimia antara HF dan Al_2O_3 menghasilkan *aluminium fluorida* (AlF_3) dan H_2O

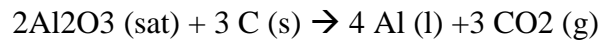
Reaksi difusi : reaksi difusi ion AlF_3 ke dalam alumina dan menghasilkan AlF_3 .

b. Reaksi Anodik

Menurut dalam proses elektrolisis reaksi yang dapat terjadi pada anoda adalah:



Jika potensial sel elektrolisis lebih besar dari 1,02 volt maka reaksi yang dapat terjadi adalah:

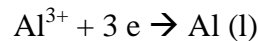


c. Reaksi Katodik

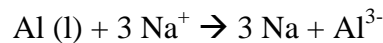
Reaksi yang dapat terjadi di sekitar katoda adalah dekomposisi ion AlF_4^- dari kriolit menjadi ion Al^{3+} dan F^- :



reaksi Al^{3+} ;

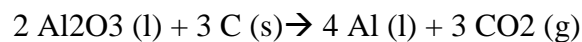


dan reaksi antara natrium dari kriolit dengan Al :



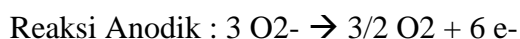
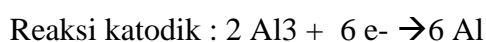
2.1.2 Reaksi Utama Proses Elektrolisis Alumina

Reaksi keseluruhan pada industri elektrolisis alumina dengan menggunakan anoda karbon adalah sebagai berikut:



Reaksi ini berlangsung pada temperatur sekitar 977 °C, beda potensial 1,18 volt.

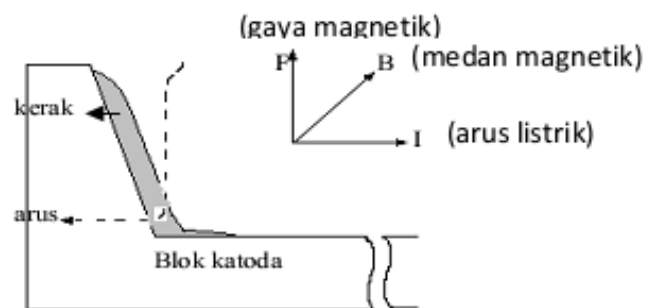
Mekanisme reaksi yang paling sering terjadi adalah reduksi Al_2O_3 secara langsung dengan reaksi :



Reaksi di atas adalah reaksi utama, reaksi ini tidak mengabaikan fakta bahwa Na mengendap pada katoda.

a. Gaya Magnetik

Adanya arus searah dan medan magnetik yang timbul oleh susunan pot akan menimbulkan gaya magnetik. Gaya magnetik tersebut akan menimbulkan pergerakan dan konversi aluminium cair di dalam pot.



Gambar 2.3 Gaya Magnetik Pada Tungku

Intensitas gaya magnetik ditentukan oleh distribusi metal pada katoda dan komponen arus horizontal pada katoda. Untuk menghilangkan komponen arus horizontal adalah dengan membuat kerak samping.

b. Efisiensi Arus (*Current Efficiency*)

Efisiensi arus adalah persentase perbandingan antara aluminium aktual yang dihasilkan dengan aluminium yang dihasilkan secara teoretis.

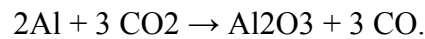
$$\text{Current Efficiency (CE)} = \frac{\text{Produk elektrolisis aktual}}{\text{Produk elektrolisis teoritis}} \times 100 \%$$

Efisiensi arus (CE) rata-rata pada industri aluminium sekitar 85 ~ 94 % .

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi arus (CE) adalah sebagai berikut :

a. Temperatur

Temperatur operasi yang tinggi mempercepat laju reaksi kabut metal dengan CO₂ :



Hal ini menurunkan viskositas *bath* dan meningkatkan turbulensi aliran *bath*, jika sel dioperasikan pada jarak interpolar yang dekat maka transfer kabut metal dari katoda ke anoda meningkat.

b. Komposisi bath

Elektrolit yang banyak mengandung *sodium fluorida* akan meningkatkan CE karena *bath* seperti ini biasanya mengandung AlF₃, LiF, MgF₂ dan CaF₂ adalah aditif yang dapat menaikkan CE. Konsentrasi AlF₃ yang kecil pada *bath* akan menurunkan CE.

c. Rapat arus (current density)

Rapat arus yang tinggi akan menaikkan CE, karena kuantitas metal (aluminium) hilang yang terlarut ke *bath* tidak meningkat secara proporsional terhadap rapat arus. Persamaan empirik untuk menghitung efisiensi arus adalah :

$$\eta = k \frac{1}{d \cdot m}$$

; dengan : η = efisiensi arus (%)
 m = jarak anoda - katoda (cm)
 d = rapat arus (A/cm²)
 k = konstanta
 $k = 0,698$: *bath* kelebihan AlF₃
 $0,550$: *bath* netral AlF₃ *bath*
 $0,388$: *bath* kelebihan NaF

Proses elektrolisis ini mengikuti hukum Faraday, yaitu 96.500 coulomb menghasilkan 9 gram aluminium, produksi aluminium mengikuti persamaan 2.1 :

$$P = 0,3354 \cdot I \cdot \eta \cdot 10^{-5} \quad (2.1)$$

dengan P = produksi aluminium (kg)

I = arus listrik (A)

H = waktu (jam)

η = efisiensi arus (%)

Energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan aluminium mengikuti persamaan 2.2

$$W = I \cdot V \cdot H \cdot 10^{-3} \quad (2.2)$$

dengan W = energi yang dibutuhkan (kWh)

V = voltase operasi pot (volt)

Sehingga energi yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 ton aluminium :

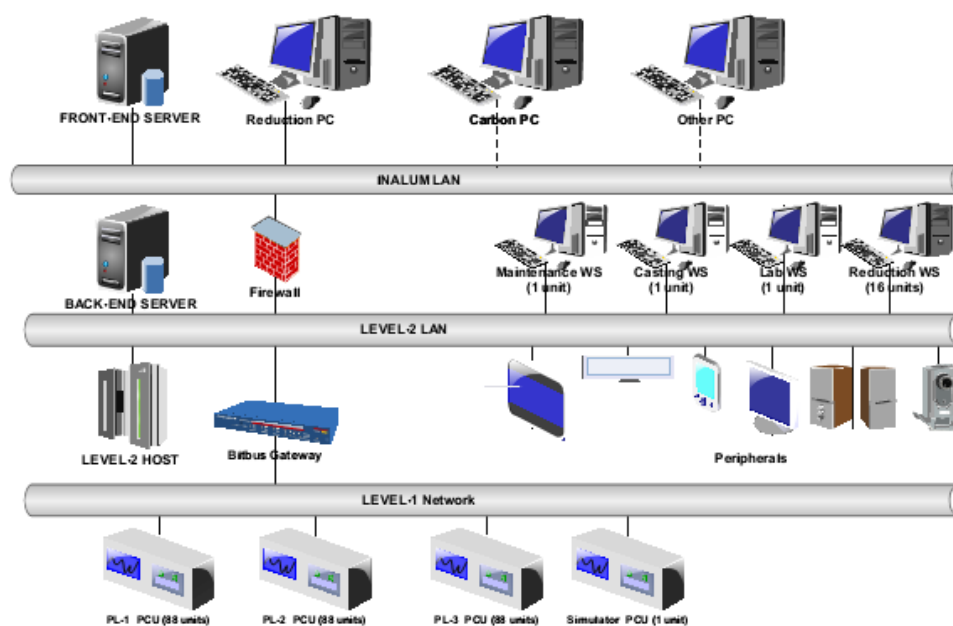
$$Q_{DC} = \frac{W}{P} = \frac{I \cdot V \cdot H \cdot 10^{-3}}{0,3354 \cdot I \cdot H \cdot \eta \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-3}} \quad (2.3)$$

2.2 Sistem Kontrol Pot Reduksi

Kondisi pot bersifat dinamis dan bisa berubah setiap saat karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya; temperatur, keasaman bath, tegangan pot, jarak anoda- katoda (*Anode Cathode Distance*), tinggi metal dan bath dalam pot maka dibuatlah sistem agar pot stabil, agar pot dapat dianalisa dan diprediksi keadaannya diperlukan sistem pencatatan. Oleh karenanya dibuatlah sistem kontrol proses yang disebut dengan '*Process Computer (Procom)*'.

Sistem kontrol proses ini terbagi menjadi 3 level:

- a. Control Network (kontroler)
- b. Supervisory Network (supervisi)
- c. Business Network



Gambar 2.4 Arsitektur Sistem Kontrol

Agar setiap level dapat berkomunikasi dan mentransmisikan data dibangunlah jaringan LAN atau Local Area Network dengan kabel RS-485, bitbus repeater, kabel UTP, kabel fiber optik dan switch.

- a. Level 1: Control Network (Kontroler)

Merupakan kontroler yang terhubung dengan sensor voltase, arus, aktuator yang berupa motor penggerak beam (anoda), posisi beam dan suplai alumina (hopper gate). Dengan kata lain, level ini merupakan sistem pengendalian pot, misalnya: mengontrol pergerakan beam, pemasukan alumina, mengatur voltase ketika MT (Metal Tapping), pada level ini terdapat PCU (Pot Control Unit) atau Bluebox. PCU atau Bluebox merupakan alat yang digunakan sebagai sistem

kontrol yang dapat mengontrol 2 pot secara bersamaan. PCU merupakan interface yang menampilkan kondisi pot sehingga memungkinkan petugas lapangan memberikan perintah untuk operasi rutin di lapangan dan proses perawatan. Terdapat 224 PCU yang mengontrol 510 pot yang diletakkan dekat bagian duct dan terhubung dengan sensor-sensor dan aktuator pot. Fungsi PCU yaitu;

1. Kendali voltase

Voltase pot yang didapat dari sensor voltase secara matematis dianalisa dan dievaluasi dengan memperhitungkan kondisi pot untuk menghasilkan tindakan terhadap pot antara lain, kendali jarak anoda-katoda atau ACD (Anode-Cathode Distance), menggerakkan beam untuk menjaga voltase tetap di dalam control band di sekitar set point voltase yang ditentukan lewat parameter. Lebar control band diset cukup lebar untuk menghindari variasi kecil konduktivitas bath yang menyebabkan perubahan posisi beam yang tidak diinginkan, deteksi dan koreksi gangguan (*noise*), *noise* pot dapat dideteksi berdasarkan ketidak stabilan voltase pot. Ketika voltase melampaui nilai yang ditentukan, PCU berusaha menjaga efisiensi arus dan menstabilkan pot dengan menaikkan set pot voltase kendali ACD berdasarkan nilai yang terkait noise. Proses ini berulang hingga nilai koreksi maksimum tercapai. Situasi noise dan koreksi maksimum noise akan memicu alarm. Pengontrolan pengambilan metal, voltase pada saat proses pengambilan metal dipantau dan dijaga agar voltase pot berada di dalam control band voltase pengambilan metal. ketika jumlah metal yang ditentukan telah berhasil diambil PCU akan memberikan sinyal untuk operator akan menghentikan proses pengambilan metal. Penentuan konsentrasi alumina mendeteksi kenaikan

pseudo-resistance karakteristik yang terjadi seiring penurunan konsentrasi alumina dan mengirimkan informasi kepada sistem kendali pemasukan alumina.

2. Kendali Pemasukan Alumina

Setelah menentukan kebutuhan alumina berdasarkan berbagai parameter, seperti *Anode Effect*, konduktifitas, penggantian anode, perubahan arus dan lain-lain, PCU akan menggerakkan motor untuk membuka gate alumina yang ada di setiap pot.

a. Anode Effect

PCU mendeteksi awal dan akhir dari AE, '*Anode Effect*' atau disebut juga dengan funken, menghitung durasi maksimum voltase AE dan energi yang digunakan pada saat AE. AE dihentikan dengan menambahkan alumina ke dalam bath sambil menarik-turunkan anoda sehingga gas-gas dibawah anoda dapat keluar. Sistem komputer akan secara otomatis mengidentifikasi AE untuk dihentikan, jika sistem gagal menghentikan AE, sistem akan memberikan peringatan ke stasiun agar AE dihentikan secara manual.

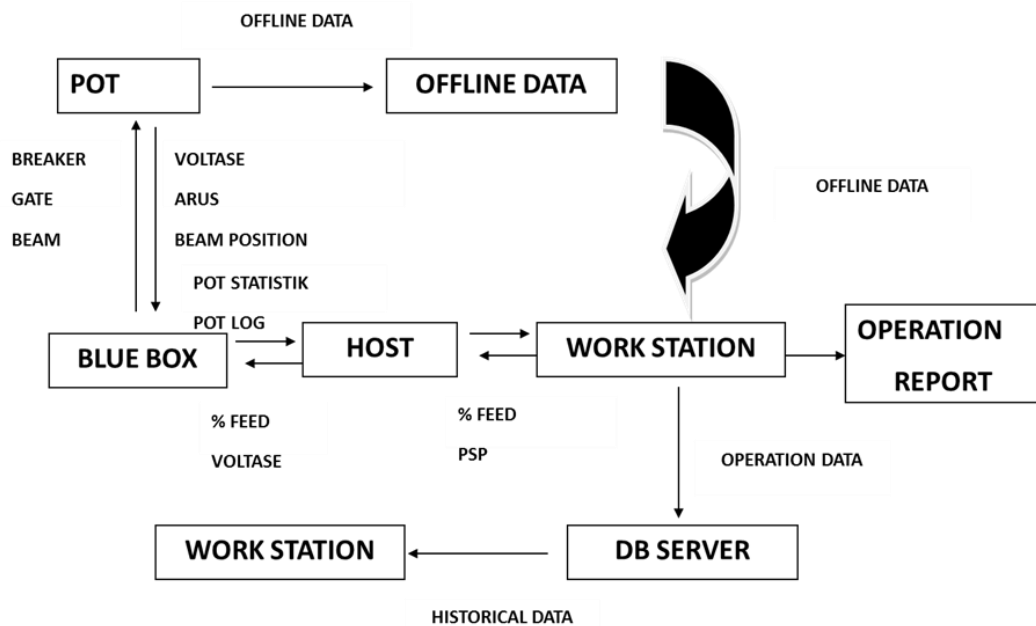
Mendeteksi kenaikan *pseudo-resistance* karakteristik yang terjadi seiring penurunan konsentrasi alumina dan mengirimkan informasi ke sistem kendali pemasukan alumina. Pemasukan alumina ke dalam bath yang dilakukan melalui hopper alumina di bagian tengah pot dengan memecahkan kerak tengah yang dilakukan teeth blade.

b. Beam raising

PCU menaikkan beam hingga ke titik yang diinginkan pada saat reset posisi beam

c. Laporan proses

PCU mengirimkan informasi proses secara berkala atau setelah kejadian tertentu ke sistem pada level 2. Dengan demikian supervisory network dapat menampilkan informasi secara grafik atau data historis.



Gambar 2.5 Sistem Kontrol

b. Level 2: Supervisory Network

Merupakan HMI (Human Machine Interface) atau tampilan penghubung antara manusia (petugas lapangan) dengan mesin. Dengan kata lain, level ini memvisualisasikan data historis proses dari alat kontrol (berupa kondisi dan kinerja pot) sehingga petugas lapangan dapat mengawasi alat kontrol dengan memberikan perintah atau melakukan tindakan dalam hal pengontrolan.

c. Level 3: Business Network

Business network dapat dikatakan sebagai data warehouse karena level-2 menyediakan data untuk diproses. Level ini berada diluar sistem kontrol

proses karena pada level ini tidak ada intervensi terhadap alat kontrol.

Pada level ini '*manusia*' menganalisis data yang tersedia pada level-2.



Gambar 2.6 *Bluebox*

2.3 *Pneumatic System*

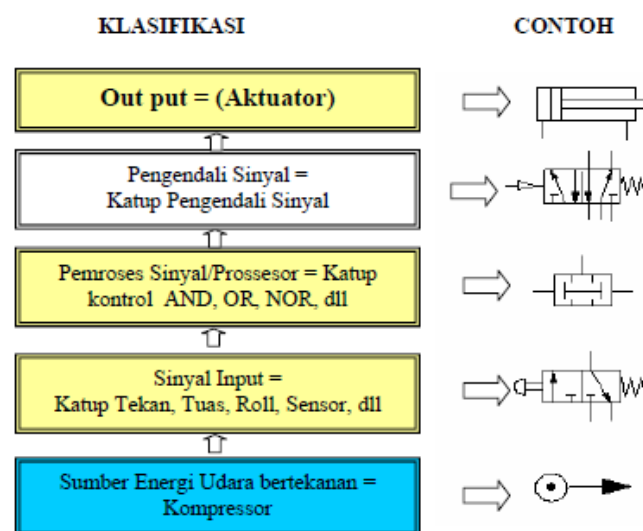
2.3.1 *Pneumatic*

Istilah pneumatik berasal dari bahasa Yunani, yaitu “*pneuma*” yang berarti napas atau udara. Istilah pneumatik selalu berhubungan dengan teknik penggunaan udara bertekanan, baik tekanan di atas 1 atmosfer maupun tekanan di bawah 1 atmosfer (*vacuum*). Sehingga *pneumatik* merupakan ilmu yang mempelajari teknik pemakaian udara bertekanan (udara kempa). Zaman dahulu kebanyakan orang sering menggunakan udara bertekanan untuk berbagai keperluan yang masih terbatas, antara lain menambah tekanan udara ban mobil/motor, melepaskan ban mobil dari velgnya, membersihkan kotoran, dan sejenisnya. Sekarang, sistem *pneumatik* memiliki aplikasi yang luas karena udara *pneumatik* bersih dan mudah didapat. Banyak industri yang menggunakan sistem pneumatik dalam proses produksi seperti industri makanan, industri obat-obatan, industri pengepakan barang maupun industri yang lain. Belajar *pneumatik* sangat

bermanfaat mengingat hampir semua industri sekarang memanfaatkan sistem pneumatik.

a. Klasifikasi Sistem Pneumatik

Sistem elemen pada pneumatik memiliki bagian-bagian yang mempunyai fungsi berbeda. Secara garis besar sistem elemen pada pneumatik dapat digambarkan pada skema berikut seperti terlihat pada Gambar 2.19 berikut ini.



Gambar 2.7 Klasifikasi Elemen Sistem *Pneumatik* (FESTO Fluidsim SIM)

b. Unit Pengolahan Udara Bertekanan (*Air Service Unit*)

Udara bertekanan (kempa) yang akan masuk dalam sistem *pneumatik* harus harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan, antara lain:

1. Tidak mengandung banyak debu yang dapat merusak keausan komponen-komponen dalam sistem *pneumatik*
2. Mengandung kadar air rendah, kadar air yang tinggi dapat menimbulkan korosi dan kemacetan pada peralatan pneumatik

3. Mengandung pelumas, pelumas sangat diperlukan untuk mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak seperti pada katup-katup dan aktuator.

Secara lengkap suplai udara bertekanan memiliki urutan sebagai berikut seperti terlihat pada Gambar 2.8, yaitu:

a. Filter udara

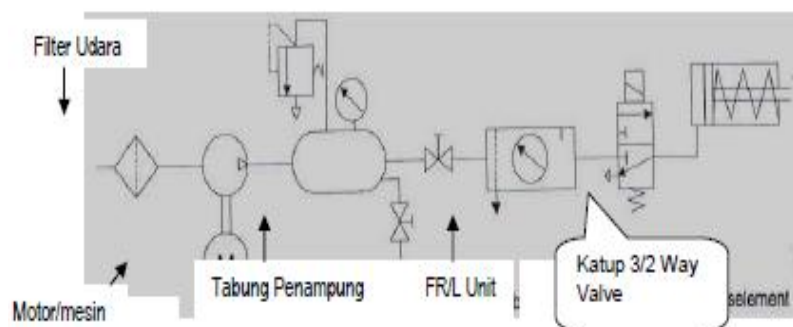
Sebelum udara atmosfer dihisap kompresor, terlebih dahulu disaring agar tidak ada partikel debu yang merusak kompresor.

b. Kompresor digerakkan oleh motor listrik atau mesin bensin/diesel tergantung kebutuhan.

c. Tabung penampung udara bertekanan akan menyimpan udara dari kompresor.

d. Selanjutnya melalui katup satu arah udara dimasukan ke FR/L unit, yang terdiri dari Filter, Regulator dan *Lubrication*/pelumasan agar lebih memenuhi syarat.

e. Setelah memenuhi syarat kemudian baru ke sistim rangkaian *pneumatik*.



Gambar 2.8 Distribusi Sistem Pengolahan Udara Bertekanan (Wirawan, 2008)

c. Konduktor Dan Konektor

1. Konduktor (Penyaluran)

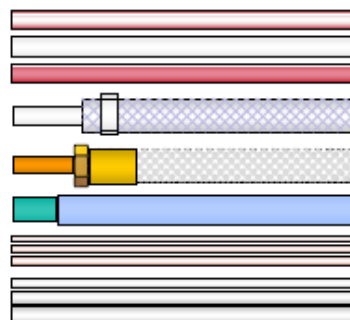
Penginstalan sirkuit pneumatik hingga menjadi satu sistem yang dapat dioperasikan diperlukan konduktor, sehingga dapat dikatakan bahwa fungsi konduktor adalah untuk menyalurkan udara kempa yang akan membawa atau mentransfer tenaga ke aktuator.

Macam-macam konduktor seperti terlihat pada Gambar 2.9 :

1 Pipa yang terbuat dari tembaga, kuningan, baja, galvanis atau *stainless steel*. Pipa ini juga disebut konduktor kaku (*rigid*) dan cocok untuk instalasi yang permanen.

2 Tabung (*tube*) yang terbuat dari tembaga, kuningan atau aluminium. Ini termasuk konduktor yang semi fleksible dan untuk instalasi yang sesekali dibongkar-pasang.

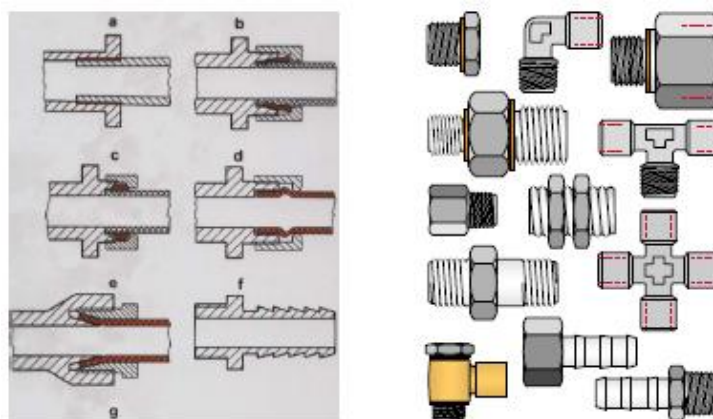
3 Selang fleksible yang biasanya terbuat dari piastik dan biasa digunakan untuk instalasi yang frekuensi bongkar-pasangnya lebih tinggi.



Gambar 2.9 Jenis-jenis Konduktor
(Wirawan, 2008)

2. Konektor

Konektor berfungsi untuk menyambungkan atau menjepit konduktor (selang atau pipa) agar tersambung erat pada bodi komponen *pneumatik*. Bentuk ataupun macamnya disesuaikan dengan konduktor yang digunakan seperti terlihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Macam-Macam Konektor
(Wirawan, 2008)

d. Jenis-Jenis Katup Pneumatik

Adapun beberapa jenis katup yang berkaitan dengan penggunaan pada mesin las gesek tegak rotari adalah :

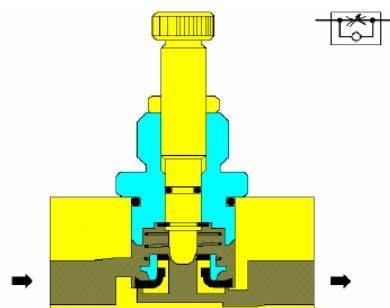
1. Katup 5/2

Katup 5/2 mempunyai 5 lubang dan 2 posisi kontak. Katup ini dipakai sebagai elemen kontrol akhir untuk menggerakkan silinder. Katup geser memanjang adalah contoh katup 5/2. Sebagai elemen kontrol, katup ini memiliki sebuah piston kontrol yang dengan gerakan horisontalnya menghubungkan atau memisahkan saluran yang sesuai. Tenaga pengoperasiannya adalah kecil sebab tidak ada tekanan udara atau tekanan pegas yang harus diatasi (prinsip dudukan

bola atau dudukan piring). Pada katup geser memanjang semua cara pengaktifan manual, mekanis, elektris atau pneumatis adalah mungkin. Juga untuk pengembalian katup ke posisi awal, dapat digunakan cara-cara pengaktifan ini. Jalan pengaktifan jauh lebih panjang dari pada katup duduk. Dalam memasang katup geser, perapatan menjadi masalah . Perapatan yang sudah dikenal dalam hidrolis : “Logam pada logam“ memerlukan pengepasan piston geser secara tepat ke dalam rumahnya. Pada katup pneumatik, jarak antara dudukan dan rumahnya tidak boleh lebih dari 0,002 - 0,004 mm, kalau tidak kerugian kebocoran akan menjadi lebih besar. Untuk menghemat biaya pemasangan yang mahal, dudukan sering memakai seal jenis O. Untuk menjaga kerusakan seal, lubang sambungan bisa ditempatkan di sekitar keliling rumah dudukan.

2. Katup Kontrol Aliran Satu Arah

Dengan konstruksi katup seperti ini, aliran udara lewat pengecilan (penyempitan) hanya satu arah saja. Blok katup cek akan memblokir aliran udara, sehingga aliran udara hanya lewat pengecilan. Pada arah yang berlawanan udara bebas mengalir lewat katup cek. Katup ini digunakan untuk mengatur kecepatan silinder seperti terlihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Katup Kontrol Aliran Satu Arah
(Anonim, 2013)

3. Silinder Pneumatik

Aktuator adalah bagian keluaran untuk mengubah energi suplai menjadi energi kerja yang dimanfaatkan. Sinyal keluaran dikontrol oleh sistem kontrol dan aktuator bertanggung jawab pada sinyal kontrol melalui elemen kontrol terakhir.

Aktuator pneumatik dapat digolongkan menjadi 2 kelompok :

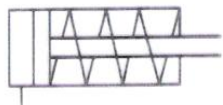
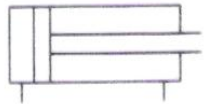
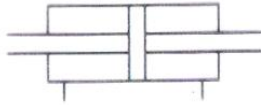
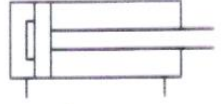
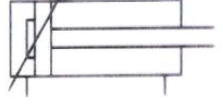
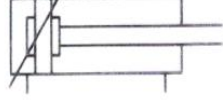
a. Gerakan lurus (gerakan linear) :

Silinder kerja tunggal dan silinder kerja ganda.

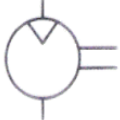


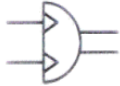
b. Gerakan putar

Motor udara dan aktuator yang berputar (ayun)

Tabel 2.1 Simbol-simbol aktuator linear

Linear actuators	
Single acting cylinder	
Double acting cylinder	
Double acting cylinder with double ended piston rod	
Double acting cylinder with non-adjustable cushioning in one direction	
Double acting cylinder with single adjustable cushioning	
Double acting cylinder with adjustable cushioning in both directions	

Tabel 2.2 Simbol-simbol aktuator gerakan putar
(*FESTO Fluidsim SIM*)

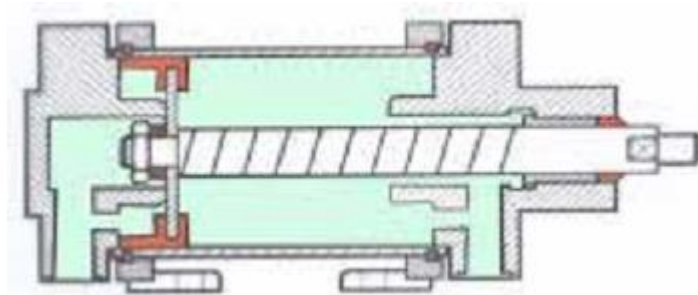
Rotary motion	
Air motor, rotation in one direction fixed capacity	
Air motor, rotation in one direction variable capacity	
Air motor, rotation in both directions variable capacity	
Rotary actuator, limited travel rotation in both directions	

1. Silinder Kerja Tunggal

Silinder kerja tunggal mempunyai seal piston tunggal yang dipasang pada sisi suplai udara bertekanan. Pembuangan udara pada sisi batang piston silinder dikeluarkan ke atmosfer melalui saluran pembuangan. Jika lubang pembuangan tidak diproteksi dengan sebuah penyaring akan memungkinkan masuknya partikel halus dari debu ke dalam silinder yang bisa merusak seal. Apabila lubang pembuangan ini tertutup akan membatasi atau menghentikan udara yang akan dibuang pada saat silinder gerakan keluar dan gerakan akan menjadi tersentak-sentak atau terhenti. Seal terbuat dari bahan yang fleksibel yang ditanamkan di dalam piston dari logam atau plastik. Selama bergerak permukaan seal bergeser dengan permukaan silinder, hal ini seperti terlihat pada Gambar 2.12

a. Prinsip Kerja

Dengan memberikan udara bertekanan pada satu sisi permukaan piston, sisi yang lain terbuka ke atmosfer. Silinder hanya bisa memberikan gaya kerja ke satu arah . Gerakan piston kembali masuk diberikan oleh gaya pegas yang ada didalam silinder direncanakan hanya untuk mengembalikan silinder pada posisi awal dengan alasan agar kecepatan kembali tinggi pada kondisi tanpa beban.



Gambar 2.12 Konstruksi Silinder Kerja Tunggal
(Wirawan, 2008)

Pada silinder kerja tunggal dengan pegas, langkah silinder dibatasi oleh panjangnya pegas . Oleh karena itu silinder kerja tunggal dibuat maksimum langkahnya sampai sekitar 80 mm.

b. Kegunaan

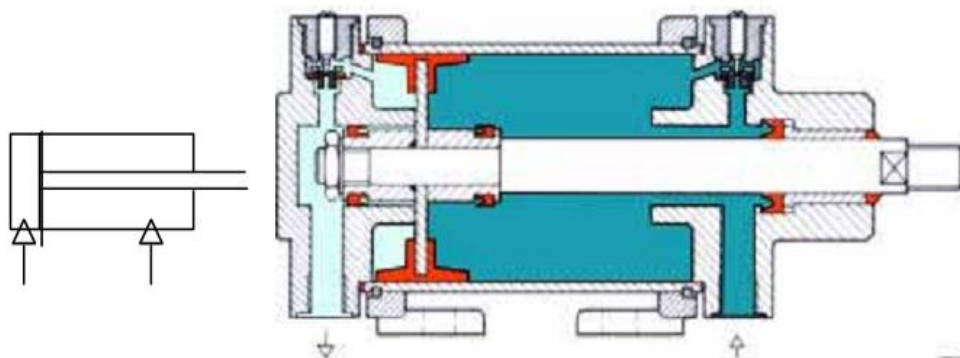
Menurut konstruksinya silinder kerja tunggal dapat melaksanakan berbagai fungsi gerakan seperti menjepit benda kerja, pemotongan, pengeluaran, pengepresan, pemberian dan pengangkatan.

c. Macam-macam Silinder Kerja Tunggal

Ada bermacam-macam perencanaan silinder kerja tunggal termasuk silinder membran (*diafragma*) dan silinder membran dengan rol.

2. Silinder Kerja Ganda

Konstruksi silinder kerja ganda adalah sama dengan silinder kerja tunggal, tetapi tidak mempunyai pegas pengembali. Silinder kerja ganda mempunyai dua saluran (saluran masukan dan saluran pembuangan). Silinder terdiri dari tabung silinder dan penutupnya, piston dengan seal, batang piston, bantalan, ring pengikis dan bagian penyambungan seperti terlihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Konstruksi Silinder Kerja Ganda
(Wirawan,2008)

Biasanya, tabung *silinder* terbuat dari tabung baja tanpa sambungan. Untuk memperpanjang usia komponen seal permukaan dalam tabung silinder dikerjakan dengan mesin yang presisi. Untuk aplikasi khusus tabung silinder bisa dibuat dari aluminium, kuningan dan baja pada permukaan yang bergeser dilapisi chrom keras. Rancangan khusus dipasang pada suatu area dimana tidak boleh terkena korosi.

Penutup akhir tabung adalah bagian paling penting yang terbuat dari bahan cetak seperti aluminium besi tuang. Kedua penutup bisa diikatkan pada tabung silinder dengan batang pengikat yang mempunyai baut dan mur, batang piston terbuat dari baja yang bertemperatur tinggi, untuk menghindari korosi dan

menjaga kelangsungan kerjanya, batang piston harus dilapisi chrom, *ring seal* dipasang pada ujung tabung untuk mencegah kebocoran udara, bantalan penyangga gerakan batang piston terbuat dari PVC, atau perunggu. Di depan bantalan ada sebuah ring pengikis yang berfungsi mencegah debu dan butiran kecil yang akan masuk ke permukaan dalam silinder.

a. Prinsip Kerja

Dengan memberikan udara bertekanan pada satu sisi permukaan piston (arah maju) , sedangkan sisi yang lain (arah mundur) terbuka ke atmosfer, maka gaya diberikan pada sisi permukaan piston tersebut sehingga batang piston akan terdorong keluar sampai mencapai posisi maksimum dan berhenti, gerakan silinder kembali masuk, diberikan oleh gaya pada sisi permukaan batang piston (arah mundur) dan sisi permukaan piston (arah maju) udaranya terbuka ke atmosfer, keuntungan silinder kerja ganda dapat dibebani pada kedua arah gerakan batang pistonnya., ini memungkinkan pemasangannya lebih fleksibel. gaya yang diberikan pada batang piston gerakan keluar lebih besar daripada gerakan masuk, karena efektif permukaan piston dikurangi pada sisi batang piston oleh luas permukaan batang piston silinder aktif adalah dibawah kontrol suplai udara pada kedua arah gerakannya, pada prinsipnya panjang langkah silinder dibatasi, walaupun faktor lengkungan dan bengkokan yang diterima batang piston harus diperbolehkan., seperti silinder kerja tunggal, pada silinder kerja ganda piston dipasang dengan seal jenis cincin O atau membran.

b. Pemasangan Silinder

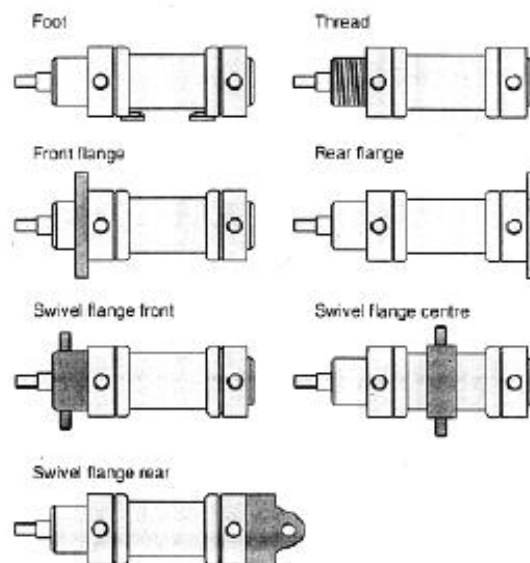
Jenis pemasangan silinder ditentukan oleh cara gerak silinder yang ditempatkan pada sebuah mesin atau peralatan, silinder bisa dirancang dengan jenis pemasangan permanen jika tidak harus diatur setiap saat. Alternatif lain, silinder bisa menggunakan jenis pemasangan yang diatur, yang bisa diubah dengan menggunakan perlengkapan yang cocok pada prinsip konstruksi modul. Alasan ini adalah penyederhanaan yang penting sekali dalam penyimpanan, lebih khusus lagi dimana silinder pneumatik dengan jumlah besar digunakan seperti halnya silinder dasar dan bagian pemasangan dipilih secara bebas membutuhkan untuk disimpan.

Pemasangan silinder dan kopling batang piston harus digabungkan dengan hati-hati pada penerapan yang relevan, karena silinder harus dibebani hanya pada arah aksial. Secepat gaya dipindahkan ke sebuah mesin, secepat itu pula tekanan terjadi pada silinder. Jika sumbu salah gabung dan tidak segaris dipasang, tekanan bantalan pada tabung silinder dan batang piston dapat diterima. Sebagai akibatnya adalah :

1. Tekanan samping yang besar pada bantalan silinder memberikan indikasi bahwa pemakaian silinder meningkat.
2. Tekanan samping pada batang piston akan mengikis bantalan
3. Tidak seimbang pada seal piston dan batang piston.

Tekanan samping ini sering mendahului faktor pengurangan perawatan silinder yang sudah direncanakan sebelumnya. Pemasangan bantalan silinder yang dapat diatur dalam tiga dimensi membuat kemungkinan untuk menghindari tekanan bantalan yang berlebihan pada silinder. Momen bengkok yang akan

terjadi selanjutnya dibatasi oleh penggesekan yang bergeser pada bantalan. Ini bertujuan bahwa silinder diutamakan bekerja hanya pada tekanan yang sudah direncanakan, sehingga bisa mencapai secara maksimum perawatan yang sudah direncanakan seperti terlihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Cara Pemasangan Silinder
(Wirawan,2008)

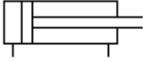

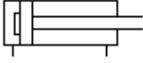
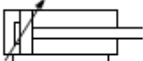
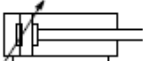
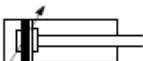
c. Kegunaan

Silinder pneumatik telah dikembangkan pada arah berikut :

1. Kebutuhan penyensoran tanpa sentuhan (menggunakan magnet pada piston untuk mengaktifkan katup batas /limit switch dengan magnet)
2. Penghentian beban berat pada unit penjepitan dan penahan luar tiba-tiba.
3. Silinder rodless digunakan dimana tempat terbatas.
4. Alternatif pembuatan material seperti plastik

5. Mantel pelindung terhadap pengaruh lingkungan yang merusak, misalnya sifat tahan asam
 6. Penambah kemampuan pembawa beban.
 7. Aplikasi robot dengan Gambaran khusus seperti batang piston tanpa putaran, batang piston berlubang untuk mulut pengisap.
- d. Macam-macam Silinder Kerja Ganda

Tabel 2.3 Macam-macam Silinder Kerja Ganda
(FESTO Fluidsim)

SIMBOL	NAMA KOMPONEN
	Silinder kerja ganda
	Silinder kerja ganda dengan batang piston sisi ganda.
	Silinder kerja ganda dengan bantalan udara tetap dalam satu arah.
	Silinder kerja ganda dengan bantalan udara tunggal, dapat diatur pada satu sisi.
	Silinder kerja ganda dengan bantalan udara ganda, dapat diatur pada kedua sisi.
	Silinder kerja ganda dengan bantalan udara ganda, dapat diatur pada kedua sisi dan piston bermagnet.

1 Karakteristik Silinder Kerja Ganda

Karakteristik penampilan silinder dapat ditentukan secara teori atau dengan data-data dari pabriknya. Kedua metode ini dapat dilaksanakan, tetapi biasanya untuk pelaksanaan dan penggunaan tertentu.

a. Gaya Piston

Gaya piston yang dihasilkan oleh silinder bergantung pada tekanan udara, diameter silinder dan tahanan gesekan dari komponen perapat. Gaya piston secara teoritis dihitung menurut Persamaan 2.4 berikut :

$$F = P \cdot A \quad (2.4)$$

Untuk Silinder kerja tunggal pada Persamaan 2.5 :

$$F = \left\{ \frac{\pi d^2}{4} \cdot P \right\} - f \quad (2.5)$$

Untuk Silinder Kerja Ganda adalah sebagai berikut :

Langkah Maju pada Persamaan 2.6 :

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \cdot P \quad (2.6)$$

Langkah Mundur pada Persamaan 2.7 :

$$F = \frac{(D^2 - d^2)\pi}{4} \cdot P \quad (2.7)$$

Keterangan :

F = Gaya piston (N)

f = Gaya pegas (N)

D = Diameter piston (m)

d = Diameter batang piston (m)

A = Luas penampang piston yang dipakai (m²)

p = Tekanan kerja (Pa)

Pada silinder kerja tunggal, gaya piston silinder kembali lebih kecil daripada gaya piston silinder maju karena pada saat kembali digerakkan oleh pegas . Sedangkan pada silinder kerja ganda, gaya piston silinder kembali lebih kecil daripada silinder maju karena adanya diameter batang piston akan

mengurangi luas penampang piston. Sekitar 3 - 10 % adalah tahanan gesek, silinder pneumatik dapat dibebani lebih besar dari kapasitasnya. Beban yang tinggi menyebabkan silinder diam.

Tabel 2.4 Gaya piston silinder dari berbagai ukuran pada tekanan 1 – 10 bar.

Diame ter Piston (mm)	Tekanan Kerja (bar)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Gaya Piston (kgf)									
6	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
25	4	9	13	17	21	24	30	34	38	42
35	8	17	26	35	43	52	61	70	78	86
40	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
50	17	35	53	71	88	106	124	142	159	176
70	34	69	104	139	173	208	243	278	312	346
100	70	141	212	283	353	424	495	566	636	706
140	138	277	416	555	693	832	971	1110	1248	1386
200	283	566	850	1133	1416	1700	1983	2266	2550	2832
250	433	866	1300	1733	2166	2600	3033	3466	3800	4332