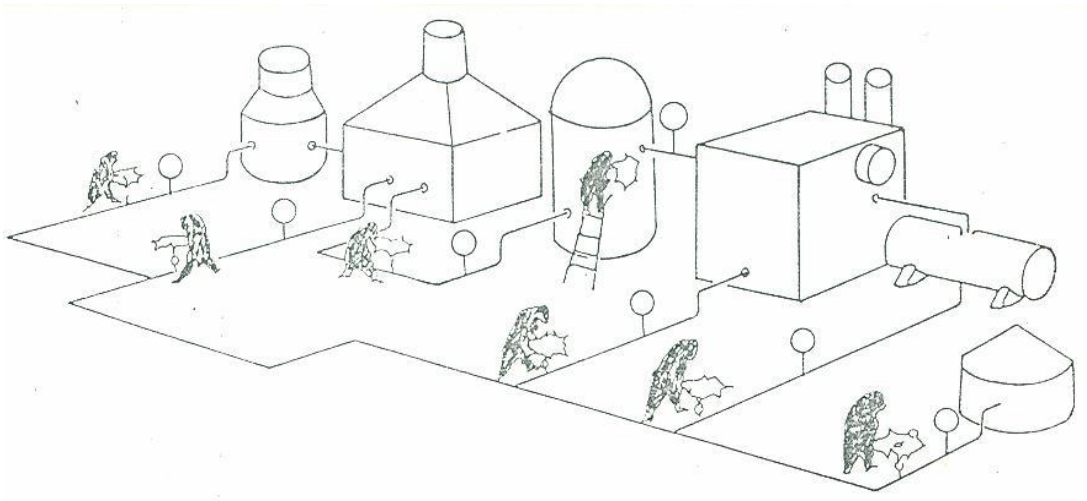
BAB III

SISTEM OPERATION DCS PLANTSCPE R400 DI FF & MPF

3.1. Perkembangan Architecture System Control Proses

3.1.1. System Control Tradisional

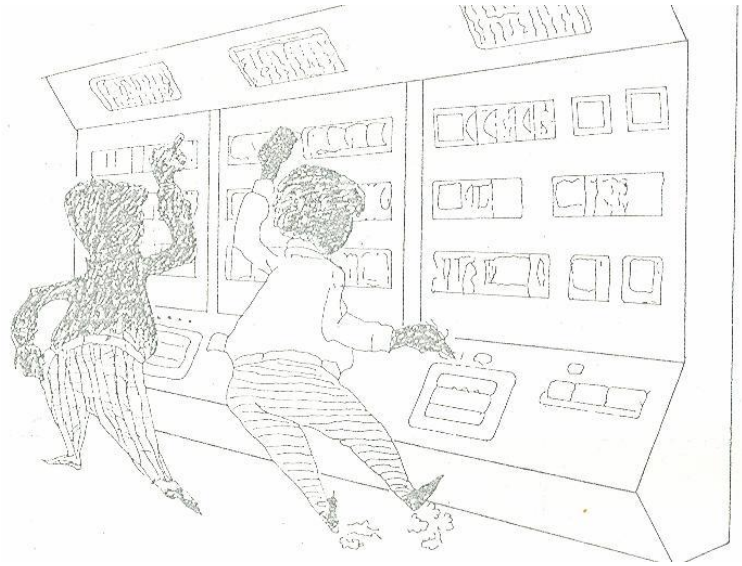
Pada awalnya sistem kontrol yang terdapat di kilang minyak adalah konsep yang sekarang dikenal dengan sebutan sistem kontrol terdistribusi (gambar 3.1)[5]. Pada konsep ini, peralatan instrumentasi dan sistem kontrol didistribusikan di seluruh plant, dimana operator dapat membaca set point dan mengatur keluaran. Namun antara satu sistem kontrol dengan sistem kontrol yang lain tidak dihubungkan, sehingga operator harus bertugas mengkoordinasikan sistem kontrol yang terdistribusi tersebut. Komunikasi yang digunakan untuk mengintegrasikan pengoperasian kilang dilakukan dengan komunikasi verbal antara satu operator dengan yang lain (interface antara manusia - manusia). Konsep ini tentunya hanya dapat dilakukan pada proses yang tidak rumit dan kecil.



Gambar. 3.1. System Control Tardisional

Setelah ditemukan instrumentasi dan system control pneumatik yang terhubung langsung pada tahun 1930, konsep architecture sistem kontrol masih sama dengan

sebelumnya, dimana elemen kontrol seperti sensor, controller dan hubungan antara operator dengan actuator tetap tersebar di seluruh plant. Situasi ini terus berubah sesuai dengan meningkatnya kapasitas dan kerumitan kilang. Suatu hal yang sulit untuk tetap mempertahankan architecture dimana setiap elemen kontrol tersebar di setiap lokasi. Akhirnya pada awal tahun 60-an setelah ditemukan sistem transmitter jenis pneumatik, membuat architecture sistem control berubah menjadi terpusat dimana monitoring dan pengendalian proses dilakukan dari ruang kendali *(control room)* lihat gambar 3.2 (interface manusia – mesin).



Gambar 3.2. System Control Pneumatic Terpusat di Control Room

Mekanisme sistem kontrol dengan architectur terpusat seperti ini dilakukan dengan cara ; pengukuran proses variabel dilakukan oleh sensor di lapangan, kemudian hasil pengukuran ditransmisikan oleh transmiiter ke controller yang berlokasi di ruang kendali. Selanjutnya sinyal kontrol yang diinginkan ditransmisikan kembali ke actuator pada unit proses. Keuntungan architecture ini adalah semua informasi yang diperlukan dapat ditampilkan di ruang kontrol sehingga mudah dilihat oleh operator dengan demikian operator dapat dengan mudah mengontrol kilang.

Pada awal tahun 70-an, architecture sistem control terpusat bergeser dari pneumatic menjadi elektronik. Perubahan ini mengurangi biaya pemasangan sistem kontrol dan waktu tunda *(lag time)* yang terjadi pada sistem kontrol pneumatik. Selain itu penggantian sistem kontrol pneumatic (3-15 psig atau 0.2-1.0 kg/cm2g) menjadi elektronik (4-20 mA atau 1-5 V)

juga mengganti *tubing* yang diperlukan untuk sistem pneumatik menjadi kabel. Keuntungan system control elektronik ini, memungkinkan pabrik lebih mudah diperbesar atau dikembangkan[6].

3.1.2. System Control Berbasis Komputer

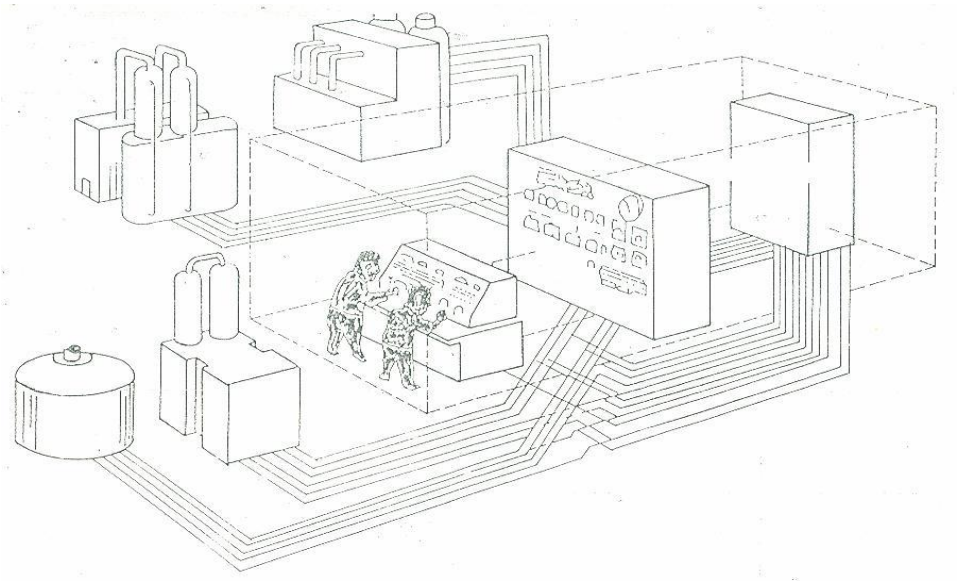
Kelanjutan evolusi sistem kontrol tradisional adalah sistem kontrol berbasis computer. Penerapan computer dalam industri pertama dipasang pada stasiun pembangkit tenaga listrik untuk monitoring plant. Penemuan ini memberikan kemampuan data acquisition yang sebelumnya tidak ada, dan membebaskan operator dari pengoperasian plant berupa pengambilan dan penyimpanan data yang selama ini berulang dilakukan oleh operator.

Dalam waktu singkat setelah itu, sistem kontrol computer dipasang di pabrik kimia dan kilang. Penerapan ini masih menggunakan sistem control analog elektronik sebagai controller utama. Komputer difungsikan sebagai supervisory dimana menggunakan data masukan yang tersedia untuk menghitung setpoint control yang menghasilkan kondisi operasi yang efisien, selanjutnya setpoint ini dikirim ke controller analog yang berfungsi sebagai pengontrol loop tertutup. Kemampuan supervisory computer dalam mengambil, memperagakan dan menyimpan data yang dibutuhkan operator dapat memperbaiki pengoperasian pabrik dan menghasilkan nilai ekonomi yang optimum.

Tahap selanjutnya evolusi sistem kontrol computer pada proses adalah penggunaan computer pada loop control utama, biasa disebut *Direct Digital Control (DDC)* lihat gambar 3.3. Dalam pendekatan ini, pengukuran proses dilakukan computer secara langsung, computer menghitung keluaran kontrolnya, kemudian mengirimkan keluaran tersebut secara langsung ke alat penggerak *(final element)*[7].

Sistem DDC tersebut pertama kali dipasang tahun 1970 pada pabrik kimia. Untuk keamanan, sistem kontrol analog elektronik masih disediakan, untuk menjamin proses tetap berjalan meskipun computer mengalami kegagalan *(failure)*. Ini disebabkan karena pada awal sistem DDC masih terdapat masalah kehandalan perangkat keras computer. Meskipun ada masalah tersebut, ternyata sistem control digital mempunyai kemampuan jauh lebih besar dari sistem kontrol analog dalam hal penalaan *(tuning)* parameter dan set point[8]. Algoritma control yang rumit dapat diterapkan untuk memperbaiki pengoperasian plant, dan tuning

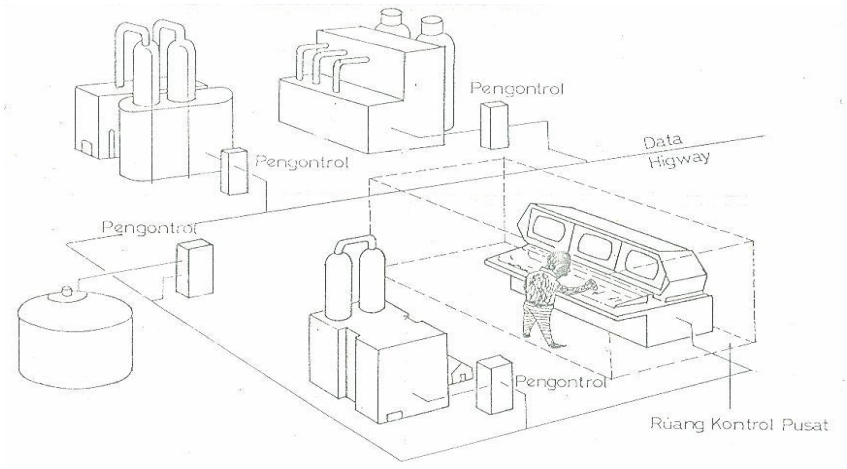
parameter loop control dapat diset secara adaptif *(self tuning)* mengikuti perubahan kondisisi operasi.



Gambar 3.3. System Control Direct Digital Control (DDC)

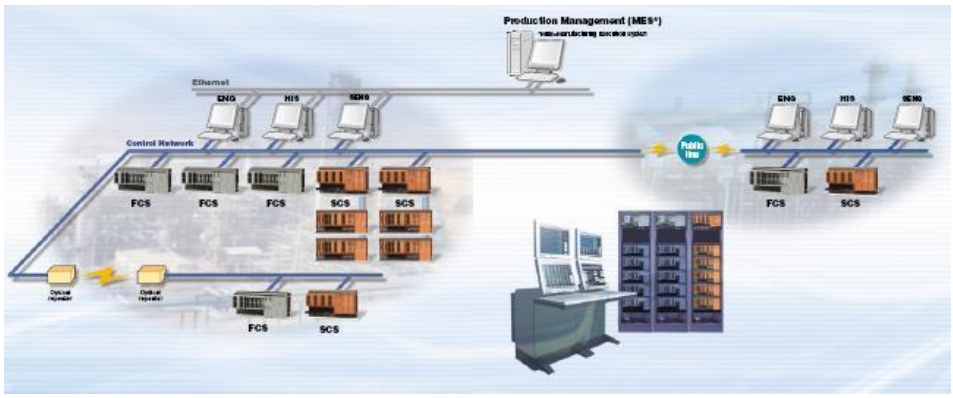
3.1.3. System Control Berbasis DCS

Architecture sistem control proses berbasis *Distributed Control System (DCS)* mulai diperkenalkan dalam era industri proses sekitar tahun 1976. Dari perkembangan DCS pertama kali hingga tahun 1995, telah terjadi penambahan fungsi dan modifikasi sehingga pengunaannya menjadi lebih *user friendly* dan perawatan yang mudah[9].



Gambar 3.4. Sistem Kontr*ol Distributed Control System (DCS)*

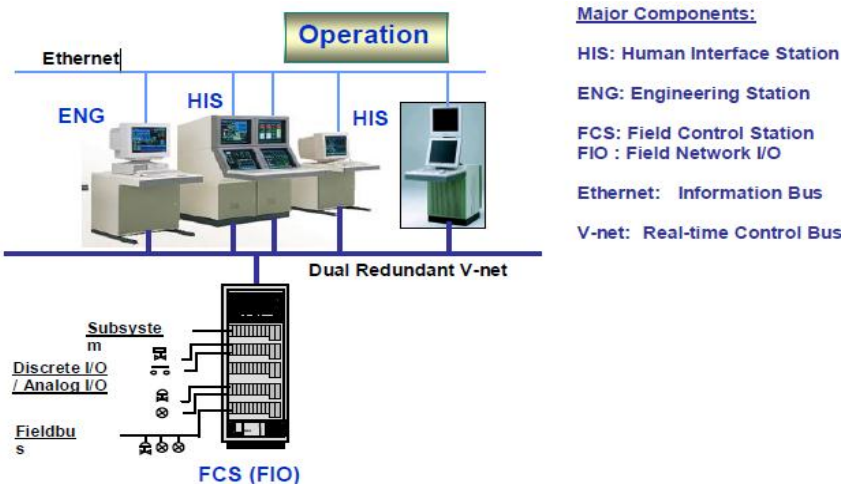
DCS adalah suatu jaringan computer control yang dikembangkan untuk tujuan monitoring dan pengontrolan proses variable pada industri proses. Sistem ini dikembangkan melalui penerapan teknologi microcomputer, software dan network. Sistem hardware dan software mampu menerima sinyal input berupa sinyal analog, digital maupun pulsa dari peralatan instrument di lapangan. Kemudian melalui fungsi feedback control sesuai algorithm control (P. PI. PID, dll) maupun sequence programyang telah ditentukan, sistem akan menghasilkan sinyal output analog maupun digital yang selanjutnya digunakan untuk mengendalikan *final control element (control valve)* maupun untuk tujuan *monitoring, reporting,* dan *alarm*[10]. Perlu diperhatikan disini bahwa fungsi kontrol tidak dilakukan secara terpusat, melainkan ditempatkan di dalam *satellite room (out station)* yang terdistribusi di lapangan *(field).* Setiap unit proses biasanya memiliki sebuah o*ut station,* di dalam *out station* tersebut terdapat peralatan *controller (*c*ontrol station & monitoring station).* Oleh karena peralatan tersebut berfungsi sebagai fasilitas untuk koneksi dengan perlatan instrumen lapangan *(instrument field devices),* maka peralatan tersebut sering juga disebut sebagai *process connection device.*



Gambar 3.5. Distributed Control System[11]

Architecture DCS dapat dilihat pada gambar 3.6. yang secara garis besar terdiri dari tiga bagian utama yaitu ; *Man-Machine Interface, Process Connection Device* dan *Data Communication Facilities. Man-Machine Interface (MMI)* atau *operator station* berfungsi sebagai pusat *monitoring dan* pengendalian proses di lapangan, dan ditempatkan secara terpusat di dalam ruang kendali (c*ontrol room*). Fungsi utama *operator station* adalah sebagai layar minitor untuk menampilkan, mengoperasikan, serta me-*record* data-data yang diperoleh dari *controller* yang ditempatkan di *out station. Process Connection Devices* atau disebut juga *Field Control Station* yang berfungsi sebagai peralatan *controller (control station & monitoring station)* terdiri dari module-modul CPU (Processor), I/O Module, Communication

Module dan Power Supply Module, dlll. *Data communication facilities* berfungsi sebagai media komunikasi data secara *real time* antara *station-station* yang terhubung pada c*ommunication-bus (data-hiway)*, terutama antara c*ontrol station, monitoring station* dengan *operator station*.



Gambar 3.6. Architecture Distributed Control System

3.2. Programmable Logic Controller (PLC)[12]

3.2.1. Definisi

Programmable Logic controller (PLC) adalah sebuah alat yang digunakan sebagai alat pengendali otomatis dan atau cerdas suatu proses di industri (khususnya). Keuntungan PLC dibandingkan dengan sistem konvensional atau logika relai, antara lain :

1. PLC dapat diprogram
2. Mudah dalam instalasi
3. Mudah dioperasikan
4. Mudah dalam perawatan
5. Mudah pelacakan gangguan dan perbaikan
6. Relatif murah dalam impletasi
7. Cepat dalam pengembangan sistem dan lain lain.

Bagian-bagian penting dari suatu PLC, adalah:

1. Unit Input (masukan)
2. Unit Prosesor dan memori
3. Unit Output (keluaran)
4. Unit Pemrogram .

Unit input berguna sebagai bagian yang memberikan masukan ke dalam prosesor. Unit ini dapat menerima masukan dari : sakelar, tombol tekan

sakelar pembatas (limit switch), sensor dan lain-lain. Unit prosesor merupakan bagian pemroses data, adapun proses yang dilakukan sangat tergantung dari program yang telah dibuat. Memori merupakan bagian penting dari suatu prosesor. Memori ini berguna sebagai tempat penyimpanan program, data dan hasil pemrosesan, yang selanjutnya dikirim ke bagian lain. Unit output berfungsi sebagai terminal output yang dihubungkkan dengan berbagai beban. Pada bagian output ini, dapat berupa kontak relai atau jenis transistor. Pemilihan jenis bagian output disesuaikan dengan kebutuhan bebannya. Unit pemrogram adalah suatu alat yang digunakan untuk membuat program dan selanjutnya di down-load ke memori PLC. Unit pemrogram umumnya dapat berupa pemrogram khusus (konsul khusus atau hand held programmer) atau menggunakan komputer pribadi (PC). Diagramkan blok PLC yang disederhanakan dapat dilihat pada gambar 3.7 dan pada gambar 3.8. ditunjukkan contoh modul PLC yang berukuran relatif kecil.

3.2.2. APLIKASI PLC

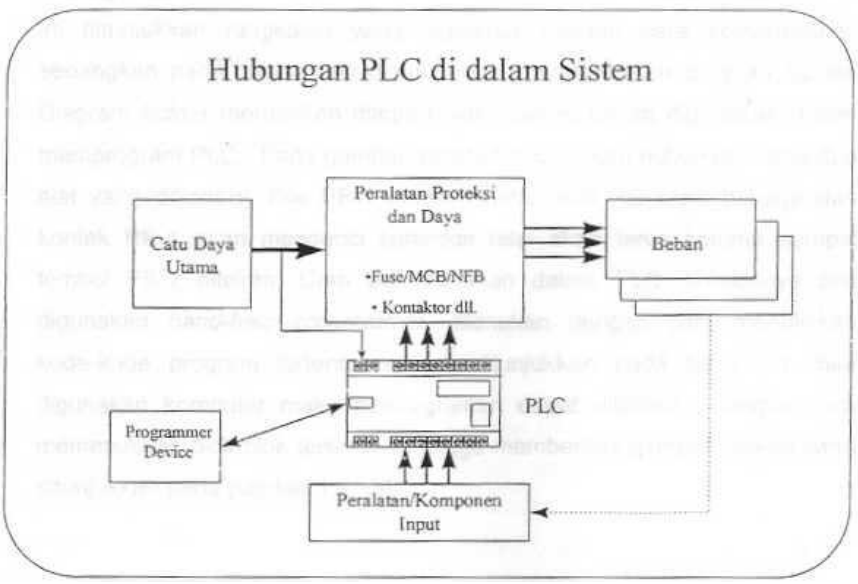
Aplikasi PLC di industri diantaranya, meliputi :

1. Pumping control system
2. Conveyor system
3. Material handling
4. Food processing
5. Machine tools
6. Lift control system
7. Car manufacturing plant
8. Building outomation
9. Integrated circuit (IC) manufacturing
10. Generator control system

11. Security control system
12. Power station plant
13. Water treatment
14. Train control system
15. Pick & place robot control
16. Paper & pulp industries
17. Plastic moulding machine
18. Amusement park system
19. Traffic light system
20. Chemical processing plant
21. dan lain lain.



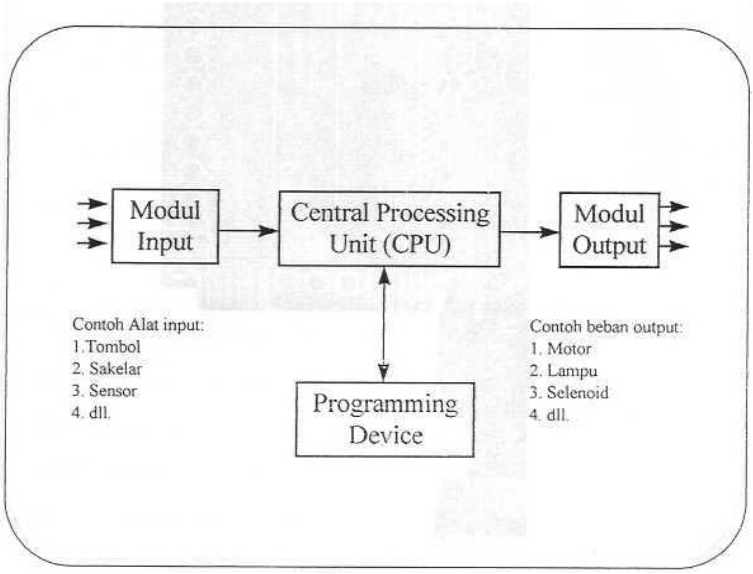
Gambar 3.7. Konfigurasi Program



Gambar 3.8. Diagram Block Hubungan PLC dalam system

3.2.3 Bagian-bagian PLC

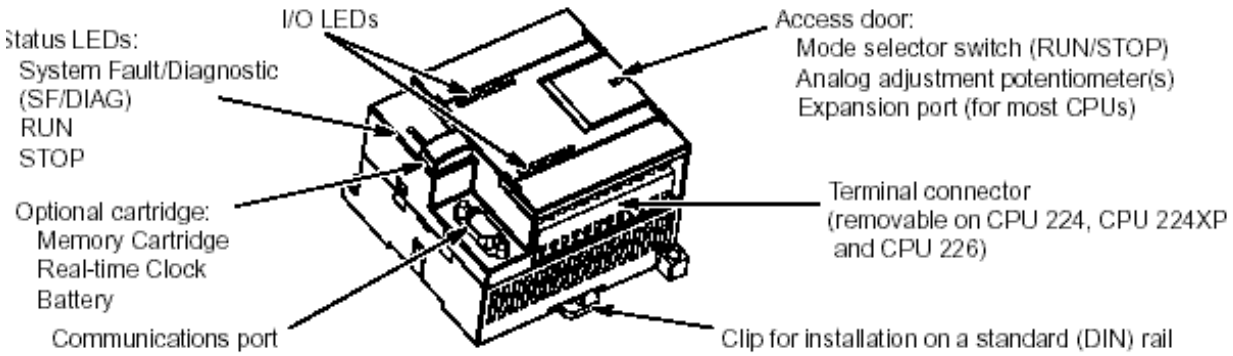
Pada umumnya PLC dibuat berbasis mikroprosessor. Sama halnya dengan PC atau mikrokontroller lainnya, PLC terdiri dari CPU, unit Input dan unit Output dan programming device. Blok diagram sederhana dari PLC ditunjukkan pada gambar di bawah



Gambar 3.9. Diagram Blok PLC yang disederhanakan

a. Central Processing Unit

Unit ini merupakan central dari proses yang dilakukan oleh PLC. Semua perintah yang dituliskan dalam program dilakukan dalam unit ini. Unit ini dilengkapi dengan Aritmatic Logic Unit (ALU) yang melakukan semua proses aritmatika, decoder instruksi termasuk register accumulator. Gambar dibawah menunjukkan beberapa jenis CPU dari suatu PLC.



Gambar 3.10. CPU PLC Siemen S7-200

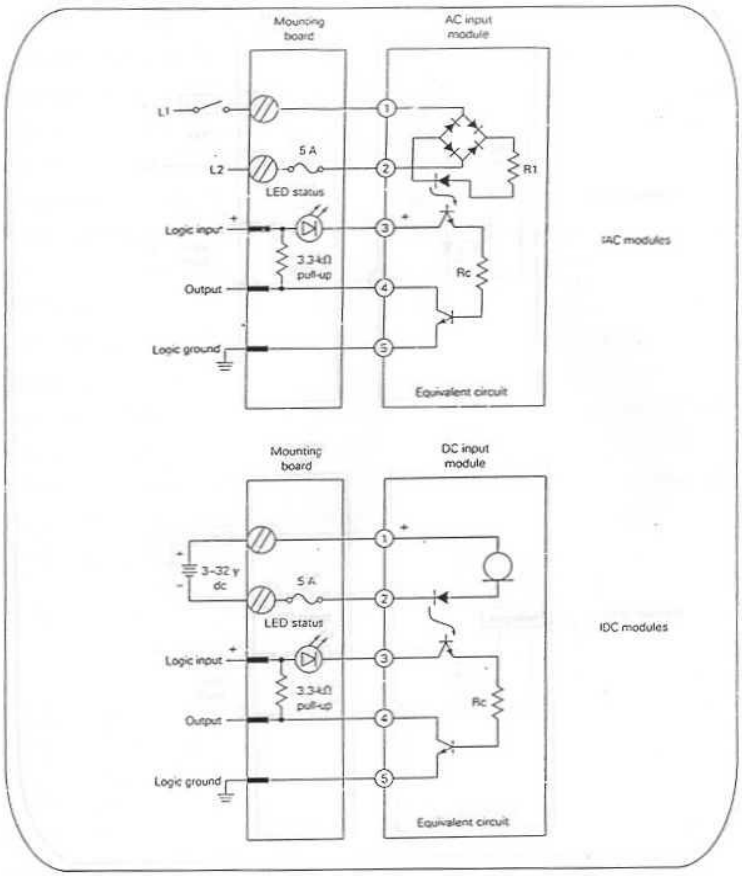
Pada modul CPU umumnya terdapat, mikroposesor, memori, rangkaian untuk komunikasi, catu daya dan rangkaian I/O (untuk PLC kecil). CPU mempunyai berbagai variasi bila ditinjau dari segi arsitekturnya, tetapi secara organisasi sistemnya bisanya sama. Pada kebanyakan modul umtumnya dilengkapi dengan baterai cadangan (back-up) yang berguna untuk catau daya EPROM atau EEPROM

b. Terminal I/O

Terminal I/O PLC dipasang pada CPU, hal ini biasanya untuk PLC berukuran kecil, sedangkan untuk yang berukuran besar diletakkan pada rak-rak yang terpisah dari CPU. Untuk I/O dipasang secara jarakjauh (remote), dilengkapi dengan perangkat komunikasi melalui suatu saluran atau interkoneksi. Terminal I/O suatu PLC terdiri dari beberapa modul Input dan beberapa modul Output.

c. Modul Input

Modul-modul input yang umum, biasanya berupa rangkaian elektronik. Jenis yang paling sederhana ditunjukkan pada gambar 2.5, berupa sakelar ON-OFF dengan tegangan AC (IAC = input AC) maupun DC (IDC = input DC). Kedua jenis input tersebut, terisolasi secara elektrik dengan tingkat isolasi sekitar 4000 VAC dan kebocoran resistansi sekitar 10 mega-ohm. Derajat isolasi yang tinggi ini diperlukan untuk meredam noise dan gangguan lain, sehingga tidak mengganggu operasi CPU.

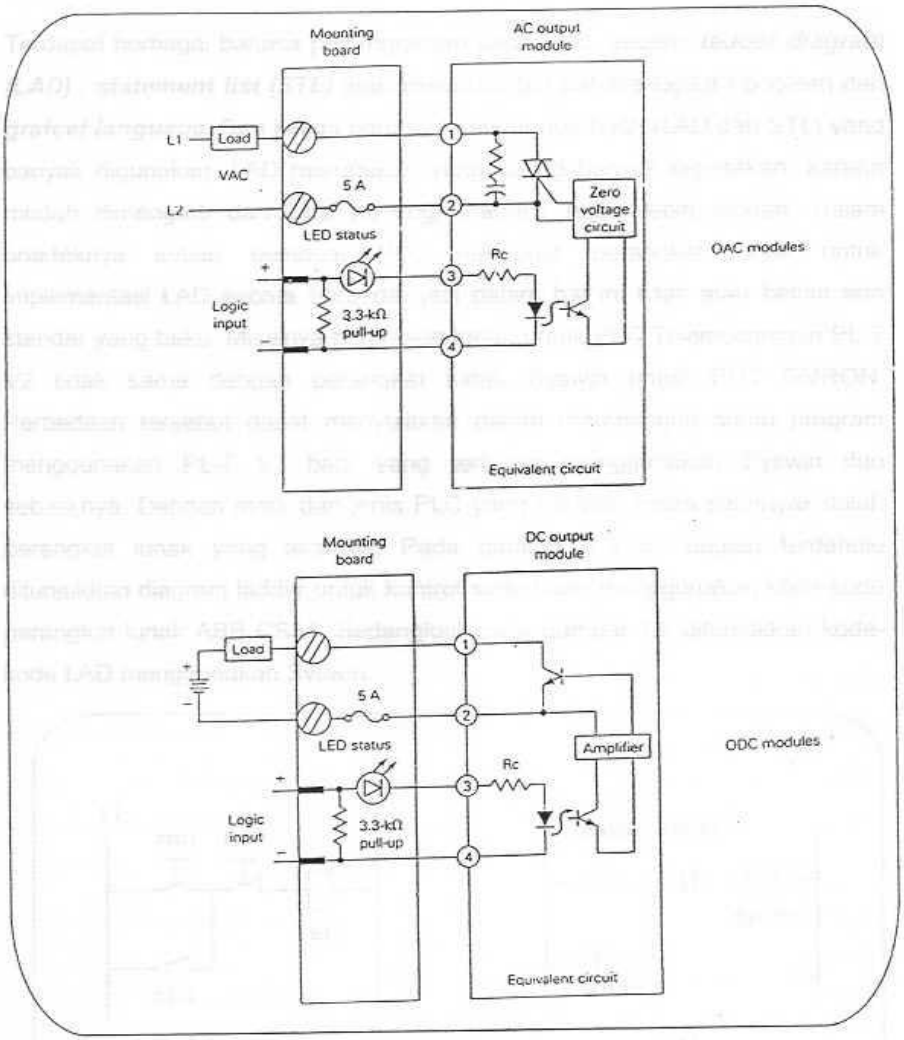


Gambar 3.11. Modul input PLC

Modul input yang khusus, seperti input analog yang berupa tegangan atau arus, biasanya diperlukan untuk dihubungkan dengan sensor atau transduser. Masukan dari input analog ini sebelum diproses di dalam CPU, terlebih dahulu dilakukan proses konversi ke bentuk sinyal digital dengan menggunakan ADC (analog to digital converter). Hasil konversi dapat berupa data 8 bit, 12 bit atau 16 bit, hal ini tentunya sangat bergantung dari ADC yang digunakan. Pemilihan jenis ADC disesuaikan dengan resolusi pengukuran yang diinginkan.

d. Modul Output

Modul-modul output dapat berupa kontak relai atau komponen seperti transistor atau triac, Modul output khusus dapat berupa sinyal analog baik dalam bentuk tegangan maupun arus. Pada modul ini terdapat sebuah DAC (digital to analog converter), yang berfungsi sebagai alat konversi sinyal digital dari CPU menjadi sinyal analog. Untuk mengolah sinyal-sinyal analog ini diperlukan instruksi-instruksi khusus yang telah disiapkan oleh CPU dan dapat diprogram dengan memanfaatkan blok-blok fungsi I/O analog.

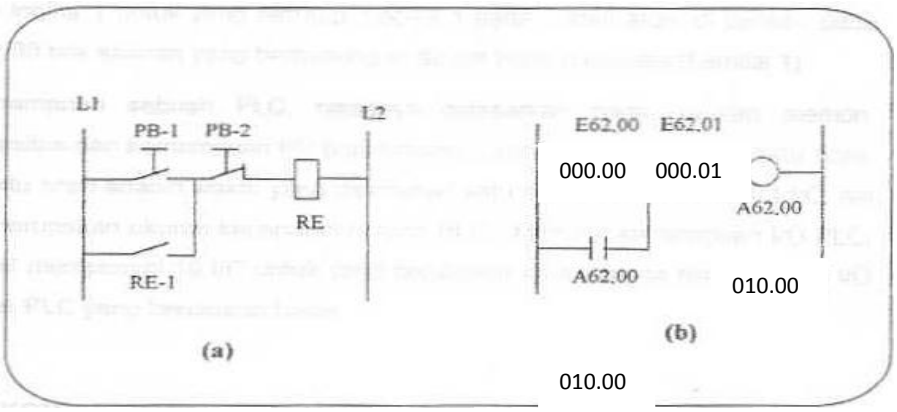


Gambar 3.12. Modul output PLC

e. Perangkat Lunak

Terdapat berbagai bahasa pemograman pada PLC seperti : **ladder diagram (LAD), statement list (STL) /instruction list (IL)** atau biasa disebut instruksi logika/ boolean dan **grafect language**. Dari tiga bahasa tersebut dua buah (LAD dan STL) yang banyak digunakan. Ladder merupakan yang paling banyak digunakan, karena mudah dimengerti dan cara pemogramannya relatif lebih mudah. Dalam prakteknya setiap pembuat PLC membuat perangkat lunak untuk implementasi ladder secara berbeda, jadi dalam hal ini tidak atau belum ada standar yang baku. Misalnya perangkat lunak untuk PLC Telemecanique PL-7 V2 tidak sama dengan perangkat lunak Syswin untuk PLC OMRON. Perbedaaan tersebut dapat menyulitkan dalam membangun suatu program menggunakan PL-7 V2 bagi yang terbiasa menggunakan progran Syswin dan sebaliknya. Dengan banyak merek dan jenis PLC, maka sebanyak itulah perangkat lunak yang tersedia. Pada gambar 2.4 (b) bagian terdahulu

ditunjukan diagram ladder untuk kontrol sederhana menggunakan kode–kode perangkat lunak ABB CS31. Sedangkan pada gambar 3.13 ditunjukkan kode-kode ladder menggunakan Syswin.



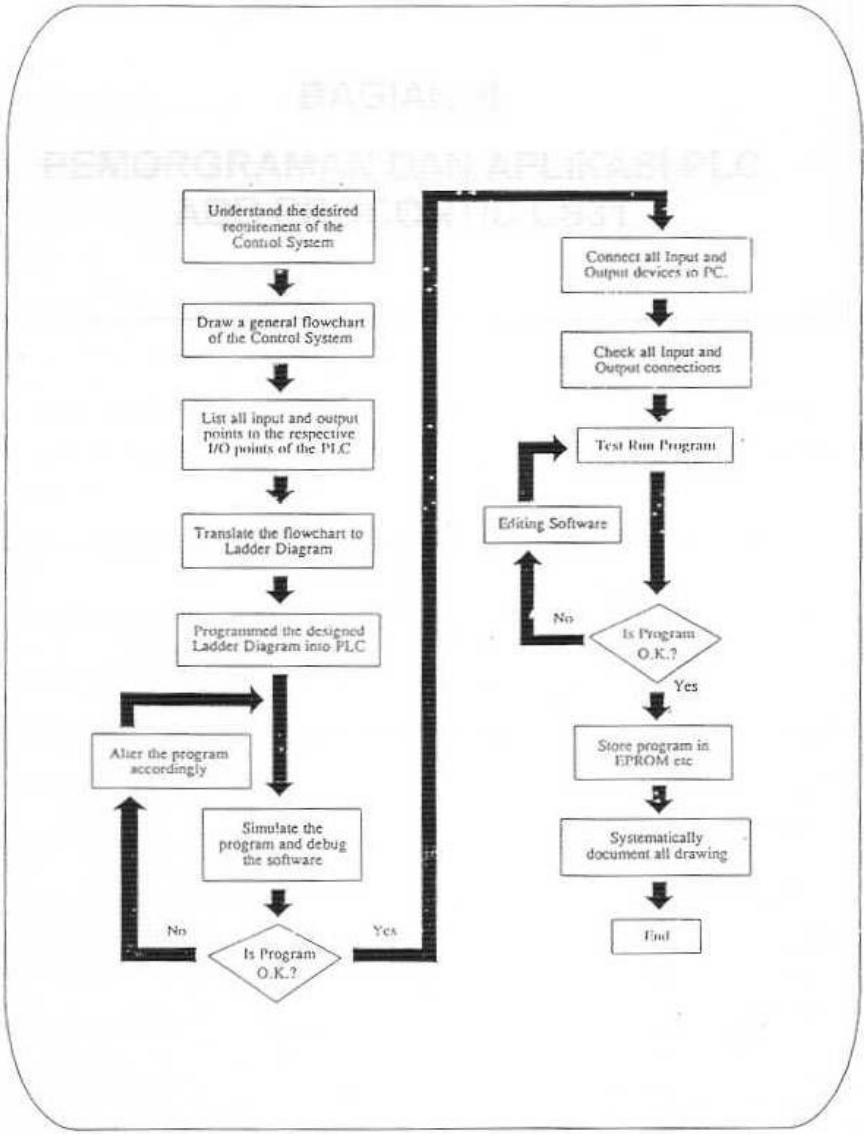
Gambar 3.13. Diagram ladder untuk PLC Omron

3.2.4. Pengembangan Sistem

Dalam pengembangan suatu sistem berbasis PLC, diperlukan langkah-langkah sistematik, agar diperoleh suatu hasil yang optimal. Tahapan pengembangan tersebut antara lain:

1. Menentukan urutan kerja (deskripsi kerja) suatu mesin atau sistem
2. Penentuan input dan output
3. Membuat dan menulis program
4. Down-load program ke dalam PLC
5. Uji coba dan modifikasi program hingga benar
6. Pengawatan atau instalasi perangkat keras
7. Uji coba menjalankan sistem hingga bekerja dengan benar.

Flow-chart (diagram alir) tahapan pengembangan sistem berbasis PLC tersebut dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14. Diagram alir tahapan pengembangan sistem berbasis PLC

3.2.5. Pengendalian Dasar Menggunakan PLC

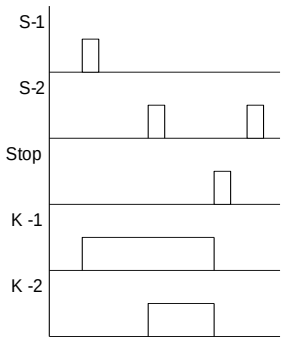
Terdapat dua system pengendalian dasar, yaitu :

1. Pengendalian Sekuensial
2. Pengendalian Interlock

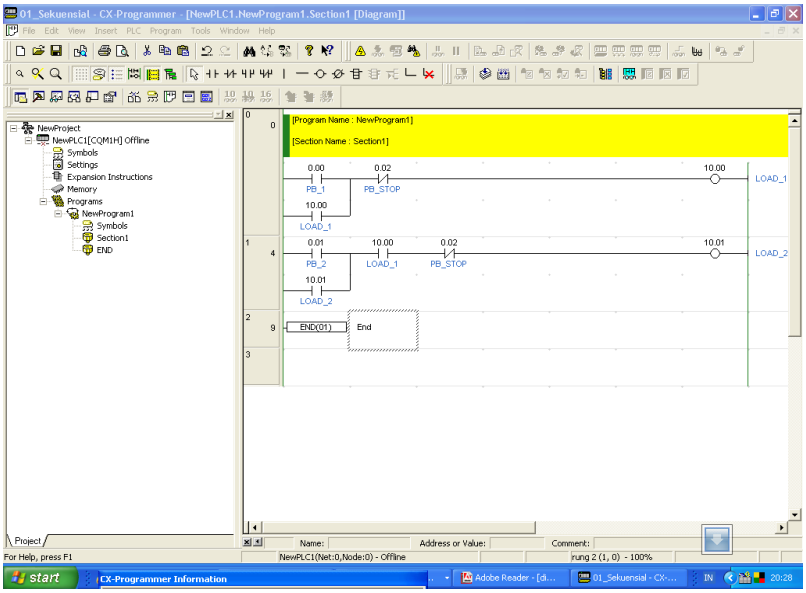
3.2.6. Rangkaian Kendali Sequensial

Rangkaian Kendali Sequensial adalah rangkaian kendali yang mengatur agar beban dapat bekerja secara berurutan. Diskripsi dari sistem ini ditunjukkan melalui Timing diagram di bawah ini.

Timing Diagram :



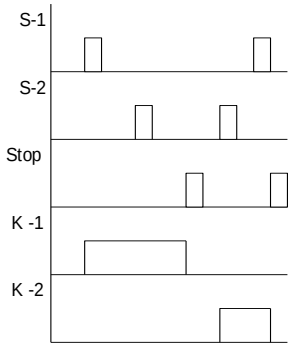
Ladder Diagram :



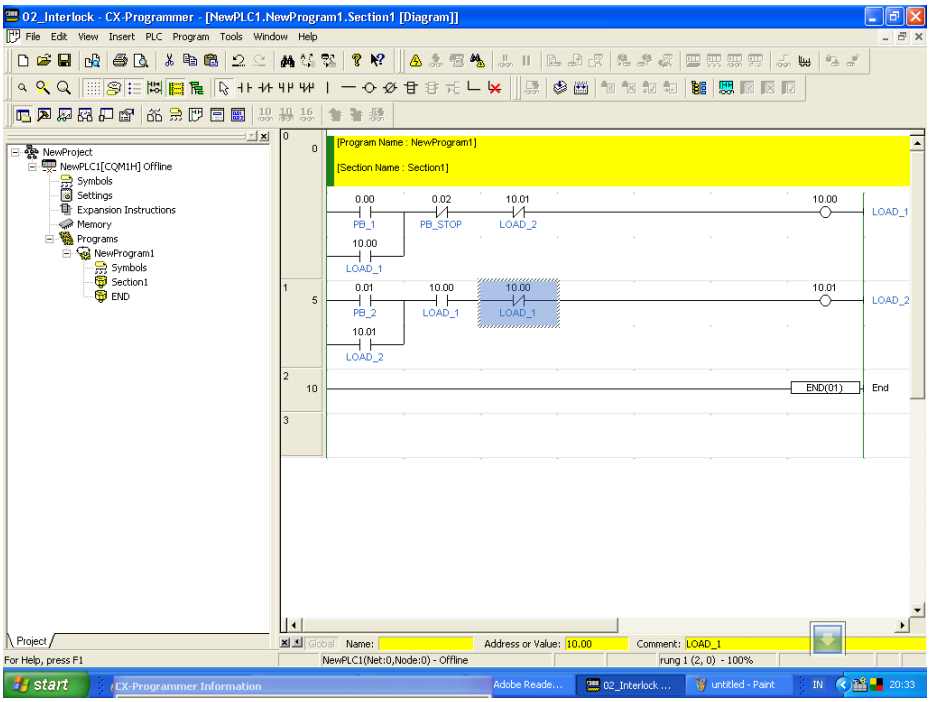
3.2.7. Rangkaian Kendali Interlock

Rangkaian Kendali Interlock adalah rangkaian kendali yang mengatur agar beban dapat bekerja secara bergantian sedemikian rupa sehingga selama beban satu bekerja beban yang kedua tidak akan dapat bekerja demikian pula sebaliknya. Diskripsi dari sistem ini ditunjukkan melalui Timing diagram di bawah ini.

Timing diagram :



Ladder Diagram :



3.3. Instrumentasi Dalam Proses Program

3.3.1. Mengapa Diperlukan Pengukuran dan Pengontrolan

Pengukuran yang teliti dan sistem kontrol yang tepat dalam industri proses, dapat menghasilkan harga variable fisika dan kimia dari sistem yang sesuai dengan harga perancangannya. Hal ini akan dapat menghemat biaya operasi serta perbaikan hasil produksi. Sebagai contoh, harga temperature yang tepat dalam pemprosesan minyak mentah *(crude oil)*

akan menghasilkan produk terbaiknya. Jika harga temperature ini digunakan untuk mengontrol aliran atau jumlah bahan bakar yang digunakan didalam proses pemanasan, maka tidak akan terjadi *"overheating"* pada proses tersebut sehingga jumlah bahan bakar dapat dihemat. Tujuan dari penerapan sistem instrumentasi dan kontrol di dalam industri proses adalah berkaitan dengan segi ekonomis.

Oleh karena itu instrumentasi dan system kontrol yang diterapkan diharapkan dapat menghasilkan :

1. Kualitas produk yang lebih baik dalam waktu pemrosesan yang lebih singkat.

2. Biaya produksi yang lebih murah, oleh karena :

   a. Penghematan bahan mentah dan bahan bakar.
   b. Peningkatan efisiensi waktu mesin dan pekerja.
   c. Pengurangan produksi yang rusak (off spec.).

3. Peningkatan keselamatan personil dan peralatan.

4. Pengurangan polusi lingkungan dari bahan limbah hasil proses.

Berdasarkan ini, maka beberapa hal yang termasuk dalam sistem instrumentasi dan kontrol meliputi :

1. Karakteristik proses.

2. Sistem pengukuran.

3. Pemrosesan data otomatis.

4. Sistem pengontrolan dengan elemen kontrol akhir *(final control element).*

Keempat butir sistem instrumentasi dan kontrol tersebut di atas sudah dilakukan sejak awal oleh setiap orang yang ingin memperoleh harga tertentu dari suatu besaran fisika. Gambar 3.15 menunjukkan bagaimana seseorang ingin memperoleh temperature air yang sesuai dengan keinginanya, dimana semua sistem dioperasikan oleh manusia secara manual.

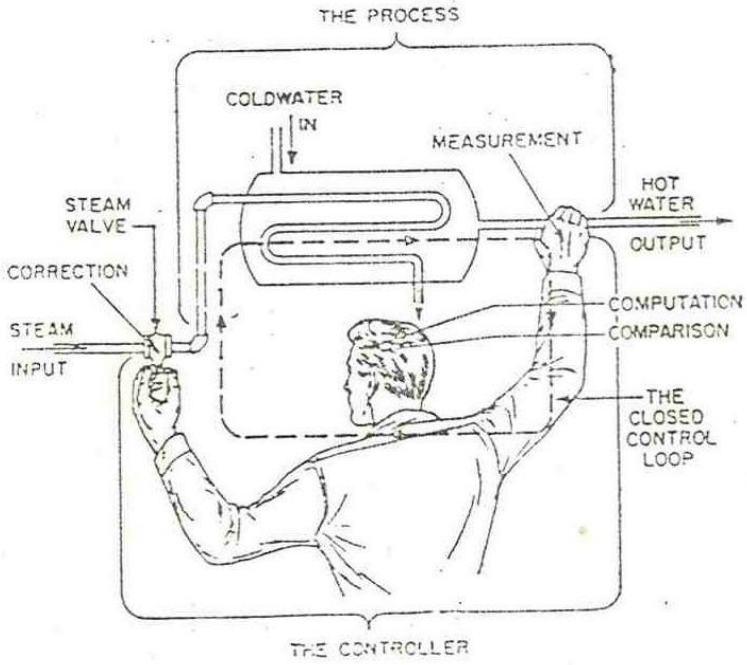
1. Sebagai proses adalah pemanasan air dengan sumber kalor dari steam.

2. Sebagai alat ukur adalah tangan kanan pemakai.

3. Sebagai prosesor adalah otak pemakai, yang akan mengevaluasi apakah temperature air sudah sesuai dengan keperluannya.

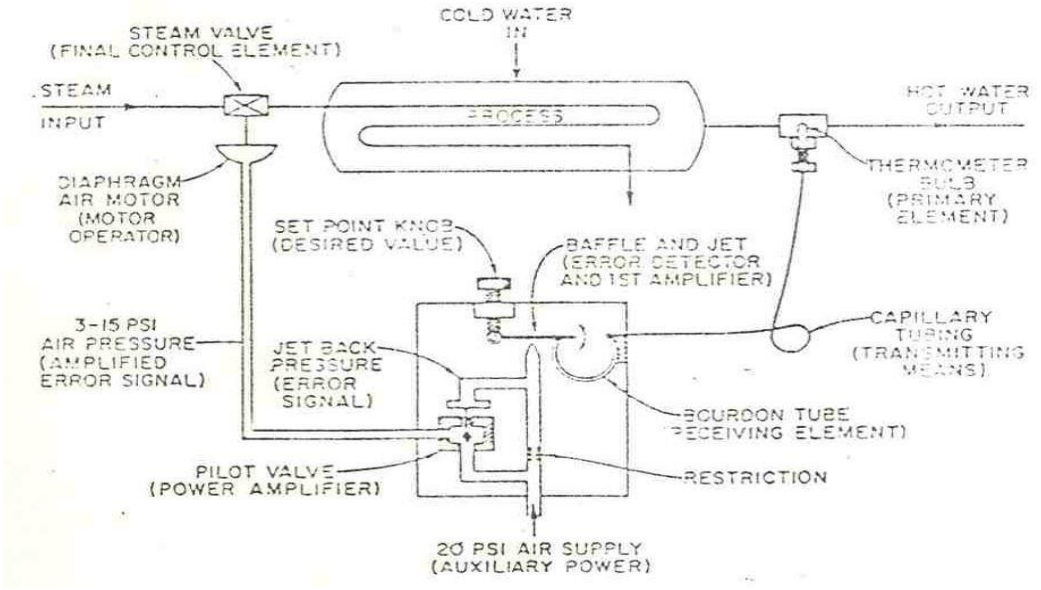
4. Sebagai sistem control dan final control elemen adalah tangan kiri pemakai dan kran steam.

Jadi langkah sederhana ini telah mencakup semua langkah dalam system instrumentasi dan kontrol pada industri proses yang dilakukan secara manual.



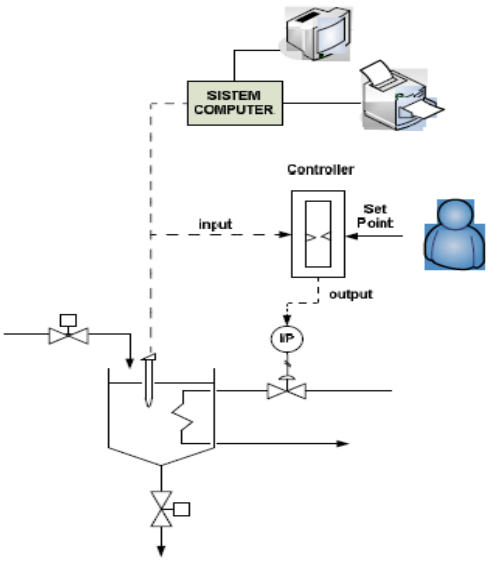
Gambar 3.15. Pengaturan temperature air secara manual[13]

Dalam pengembangan selanjutnya, sistem pada gambar 3.15 dikembangkan sehingga tidak semua langkah dalam proses dilakukan oleh manusia, lihat gambar 3.16. Dalam sistem ini, temperature yang dikehendaki (set point temperature) dapat ditentukan sebagai suatu acuan, sedangkan alat ukur temperature dilakukan oleh sensor pressure thermometer, sistem kontrol dan final control elemennya dilakukan oleh sistem pneumatik dan katup pengontrol (control valve).



Gambar 3.16. Pengaturan temperature air secara pneumatic

Dalam perkembangan yang terakhir ini (gambar 3.17.), langkah pengukuran, pemprosesan data dan pengontrolan berbagai besaran fisika atau kimia tidak dilakukan secara terpisah, tetapi dilakukan secara simultan. Hal ini memerlukan suatu processor yang dapat mengkoordinasi hasil pengukuran dan tindak lanjut berdasarkan pilihan algoritma yang dapat digunakan dalam mengkoordinasi langkah sistem instrumentasi. Juga berdasarkan kemampuannya dalam melakukan pemantauan dan pengolahan data, selanjutnya mengeluarkan hasil pengolahan untuk memicu final control element pada proses.



Gambar 3.17. Sistem Instrumentasi berbasis computer

3.3.2 Measuring devices (flow, level, pressure & temperature)[14]

Alat ukur *(measuring device)* adalah alat yang berada di lapangan *(field)* untuk mengukur variable proses seperti *flow*, *pressure*, *level* dan *temperature*. Pada industry proses output data dari alat ukur akan ditransmisikan ke ruangan control *(control room)* untuk diproses lebih lanjut dalam kaitannya dengan sistem kontrol. Pemilihan jenis alat ukur yang sesuai dan terbaik untuk mengukur suatu variable proses, sering kali sukar dilaksanakan, bahkan seorang engineer yang berpengalaman dan sudah mempunyai metoda pemilihan akan mengalami demikian. Pemilihan dapat lebih sederhana bilamana semua kondisi operasi *(service condition)* yang dipersyaratkan diketahui. Beberapa pengukuran memerlukan lebih informasi dibanding dengan yang lain. Sebagai contoh, beberapa kondisi operasi dan *stream characteristic* harus diketahui untuk aplikasi pengukuran aliran *(flow)* disbanding untuk peralatan pengukuran tekanan *(pressure).* Oleh karena itu sangat penting untuk mendaftar semua informasi yang berhubungan dengan pemilihan alat ukur yang dimaksud.

3.3.2.1 Pengukuran Aliran Fluida (Flow Measurements)

Pengukuran aliran fluida adalah sangat penting di dalam suatu industri proses seperti kilang minyak *(refinery),* pembangkit listrik *(power plant) dan* industri kimia *(petrochemical).* Pada industri proses seperti ini, memerlukan penentuan kuantitas dari suatu fluida *(liquid, gas* atau *steam)* yang mengalir melalui suatu titik pengukuran, baik didalam saluran yang tertutup *(pipe)* maupun saluran terbuka *(open channel).* Kuantitas yang ditentukan antara lain ; laju aliran volume *(volume flow rate),* laju aliran massa *(mass flow rate),* kecepatan aliran *(flow velocity).* Instrumen untuk melakukan pengukuran kuantitas aliran fluida ini disebut *flowmeter*[15].

Pengembangan flowmeter ini melalui tahapan yang luas mencakup pengembangan flow sensor, interaksi sensor dan fluida melalui penggunaan teknik komputasi *(computation techniques),* transducers dan hubungannya dengan unit pemprosesan sinyal *(signal processing units),* serta penilaian dari keseluruhan sistem di bawah kondisi ideal, kondisi gangguan *(disturbed),* kasar *(harsh),* kondisi berpotensi meledak *(explosive conditions)* serta pada lokasi laboratorium dan lapangan *(field).*

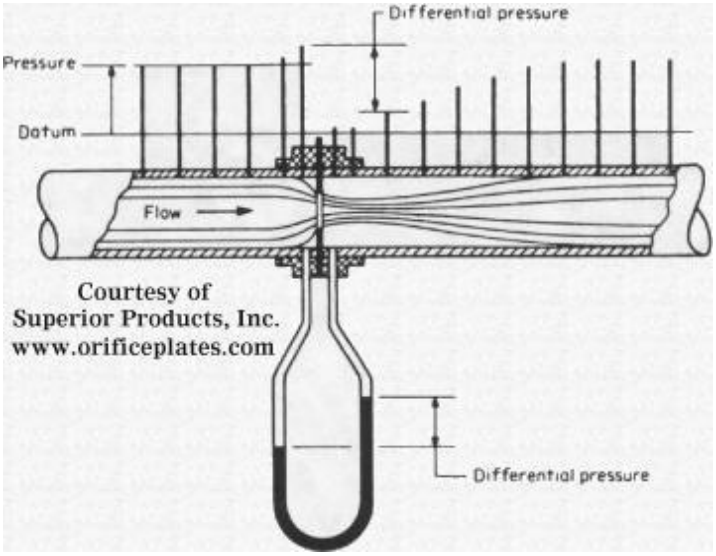
Beberapa jenis flowmeter yang sering digunakan di dalam industri proses dapat dikelompokkan sebagai berikut :

NO	Flowmeter	
1	Differential Pressure	Orifice Venturi Tube Flow Nozzle Pitot Tube Pitot Tube (Averaging) Anubar Elbow Taps Wedge V-Cone Dall Tube
2	Variable Area	Rotameter Movable Vane Weir, Flume
3	Positive Displacement	Nutating Disc Oscillating Piston Oval Gear Roots
4	Turbine	
5	Thermal	
6	Target	
7	Ultrasonic	Doppler Transit Time
8	Magnetic	
9	Coriolis	
10	Vortex	

Tabel 3.1 Flowmeter

A. Differential Pressure Flowmeters (Head Flow Meter)

Prinsip operasi *Differential Pressure Flowmeters*[16] *(DP Flowmeters)* di dasarkan pada persamaan ***Bernoulli*** yang menguraikan hubungan antara tekanan dan kecepatan pada suatu aliran fluida. Alat ini memandu aliran ke dalam suatu penghalang aliran (yang mempunyai lubang dengan diameter yang berbeda dengan diameter pipa), sehingga menyebabkan perubahan kecepatan aliran *(flow velocity)* dan tekanan *(pressure)* antara sisi upstream dan downstream dari penghalang. Dengan mengukur perubahan tekanan tersebut, maka kecepatan aliran dapat dihitung.



Gambar 3.18. Differential Pressure Flowmeters (DP Flowmeters)

B. Variable Area Flowmeter (Rotameters)

Prinsip operasi dari *rotameter (variable area meters)* didasarkan pada pelampung *(float)* yang berfungsi sebagai penghalang aliran, pelampung tersebut akan melayang dalam suatu tabung yang mempunyai luas penampang tidak konstan. Luas penampang tabung berubah tergantung ketinggiannya (semakin tinggi semakin besar). Posisi pelampung akan menyatakan harga aliran fluida yang mengenainya. Pada posisi tersebut pada pelampung akan terjadi keseimbangan gaya, yaitu keseimbangan antara berat pelampung dengan gaya tarik aliran yang mengenainya dan gaya apung pelampung.



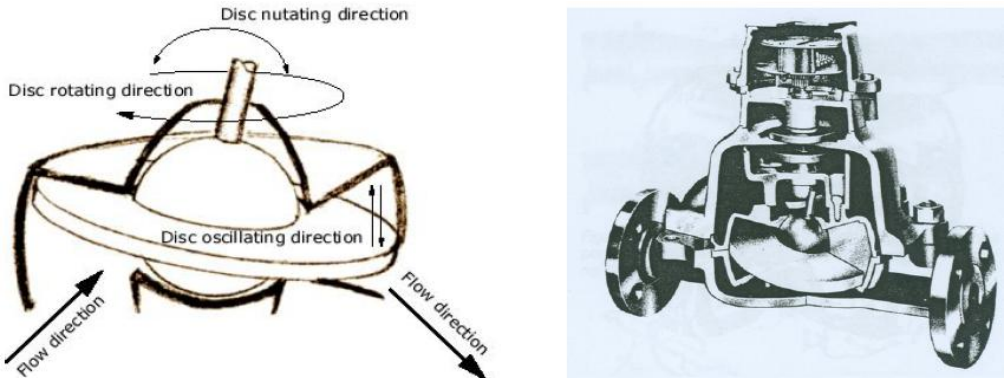
Gambar 3.19. Rotameters atau variable area meters

C. Positive Displacement Flowmeters

Postive Displacement Flowmeters (PD meters), bekerja berdasrkan pengukuran volume dari fluida yang sedang mengalir dengan menghitung secara berulang aliran fluida yang dipisahkan kedalam suatu volume yang diketahui *(chamber),* selanjutnya dikeluarkan sebagai volume tetap yang diketahui.

Bentuk dasar dari *PD meter* adalah suatu chamber yang berfungsi memisahkan atau menghalangi aliran fluida. Di dalam chamber tersebut terdapat sebuah alat mekanik yaitu *rotating/reciprocating unit* yang ditempatkan untuk menciptakan paket volume tetap dari fluida yang sedang mengalir.

Oleh karena itu, volume dari fluida yang melewati chamber dapat diketahui dengan menghitung jumlah *discreate parcels* yang lewat atau setara dengan jumlah putaran dari *rotating / reciprocating.* Dengan demikian *volume flow rate* dapat dihitung dari laju perputaran alat rotating / reciprocating.



Gambar 3.20. Nutating Disc

D. Magnetic Meters

Magnetic flowmeter (mag flowmeter) adalah suatu *volumetric flow meter* yang tidak mempunyai bagian yang bergerak *(moving part)* dan ideal untuk aplikasi air limbah *(wastewater)* atau cairan kotor yang konduktif listrik. Secara umum magnetic flowmeter tidak berfungsi pada fluida hidrokarbon dan air suling *(distilled water),* namun ideal untuk mengukur aliran fluida seperti slurry dan material korosif. Flowmeter jenis ini sangat ideal untuk aplikasi dimana disyaratkan pressure drop rendah dan maintenance yang rendah. Prinsip kerja flowmeter jenis ini didasarkan pada hukum induksi elektromagnetik *(Faraday's Low),* yaitu bila suatu fluida konduktif elektrik melewati pipa tranducer, maka fluida akan bekerja sebagai konduktor yang bergerak memotong medan magnet yang dibangkitkan oleh kumparan magnetic dari transducer, sehingga timbul tengangan listrik induksi.



Gambar 3.21. Magnetic flowmeters

E. Turbine Meters

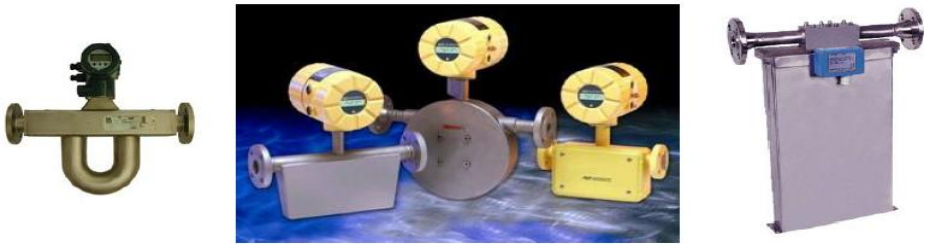
Teori dasar pada turbine meters adalah relatif sederhana, yaitu aliran fluida melalui meter berbenturan dengan turbine blade yang bebas berputar pada suatu poros sepanjang garis pusat dari turbin housing. Kecepatan sudut (angular velocity) dari turbine rotor adalah berbanding lurus dengan laju aliran (fluid velocity) yang melalui turbine. Keluaran dari meter diukur oleh electrical pickup yang dipasang pada meter body. Frekwensi keluaran dari electric pickup adalah sebanding dengan laju aliran (flow rate).



Gambar 3.22. Turbine flowmeters

F. Coriolis Flowmeters

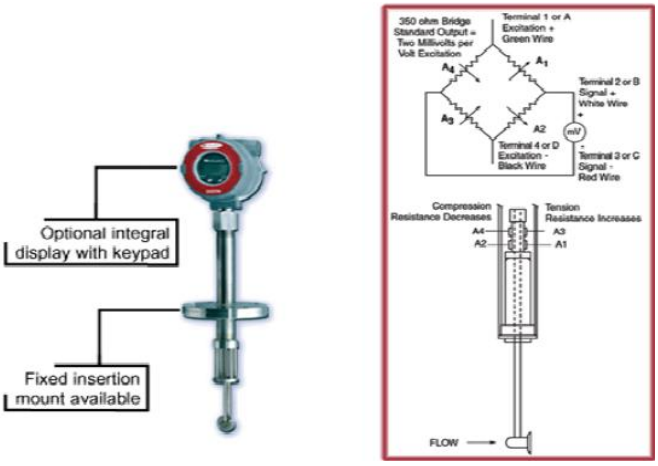
Coriolis flowmeter (diambil dari nama ahli matematika France, Gustave- Gaspard Coriolis, 1835) adalah teknologi flowmeter yang relatif baru dibandingkan dengan teknologi flowmeter yang lain, dan digunakan untuk mengukur aliran massa (mass flow) secara langsung dengan accuracy dan rangeability yang tinggi. Teknologi ini dikembangkan dan diaplikasikan pada industri pada awal tahun 1980. Prinsip Coriolis menyatakan bahwa jika sebuah partikel di dalam suatu gerak berputar mendekati atau menjauhi pusat perputaran, maka partikel menghasilkan gaya internal yang bekerja pada partikel itu. Coriolis mass flowmeter menciptakan suatu gerak berputar dengan menggetarkan suatu tabung yang membawa fluida, dan gaya internal yang dihasilkan adalah sebanding dengan mass flowrate. Coriolis meter tersedia dalam beberapa disain yang berbeda, konfigurasi yang populer terdiri dari satu atau dua U-shaped, horseshoe-shaped atau tennisracket- shaped (umumnya adalah U-shaped) yaitu pipa (tube) untuk aliran dengan inlet pada satu sisi dan outlet pada sisi yang lain dan dihubungkan dengan kotak untuk koneksi ke unit elektronik.



Gambar 3.23. Coriolis Flowmeter

G. Target Flowmeters

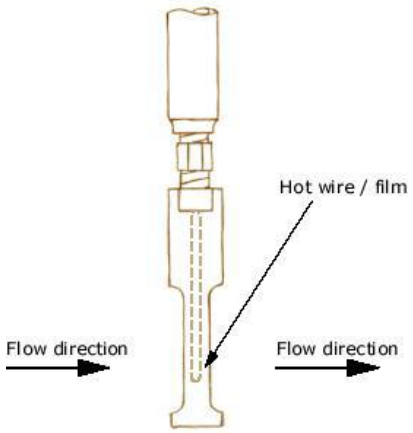
Target flowmeters yang juga dikenal sebagai *drag force flowmeters*, menyisipkan suatu target *(drag element* yang umumnya adalah *flat disc* atau *sphere* dengan suatu tangkai) ke dalam bidang aliran *(flow).* Flowmeter kemudian mengukur gaya tarik *(drag force)* pada target yang disisipkan kemudian menkonversinya kedalam kecepatan aliran *(flow velocity).*



Gambar 3.24. Prinsip Operasi Target Flowmeters

H. Thermal Flowmeters

Thermal mass flowmeter didasarkan pada pengukuran panas yang diserap dari sensor akibat dialiri fluida. Jumlah panas yang diserap menentukan laju aliran massa *(mass flow rate).* Flowmeter ini mempunyai dua buah sensor, salah satu dari sensor adalah sensor flow terbuat dari *heated wire* atau *film (self heated)*. Bentuk umum sensor ini adalah platinum/tungsten RTD (Resistance Temperature Detector). Sensor kedua adalah RTD yang digunakan untuk mengukur temperature aliran gas (temperature reference). Keduanya dikenal sebagai sensing element dan dipasang didalam sebuah probe sebagai flowmeter (insertion style) atau flowmeter (in-line style).



Gambar 3.25. Prinsip Operasi Thermal Mass Flowmeter

Ketika aliran gas melewati hot wire (flow sensor) maka molekul gas menyerap atau membawa panas dari permukaan sensor tersebut, sehingga sensor menjadi dingin akibat kehilangan energi. Selanjutnya sensor mengaktifkan rangkaian elektronik untuk mengisi

energi yang hilang dengan cara memanaskan flow sensor hingga perbedaan temperature yang tetap diatas reference sensor.

Daya listrik yang diperlukan untuk mempertahankan perbedaan temperature yang tetap adalah berbanding lurus dengan mass flowrate dan selanjutnya dikeluarkan sebagai output signal yang linear dari flowmeter.



Gambar 3.26. Thermal Mass Flowmeter

I. Ultrasonic Flowmeters

Pengukuran laju aliran *(flow rate)* dengan metoda ini melibatkan elemen pengirim *(transmitter)* dan penerima *(receiver)* untuk frekuensi akustik. Pada elemen pengirim, transducer berfungsi mengubah tegangan listrik frekuensi tinggi menjadi getaran kristal (akustik). Sedangakan pada elemen penerima, transducer mengubah getaran kristal (akustik) menjadi sinyal listrik.

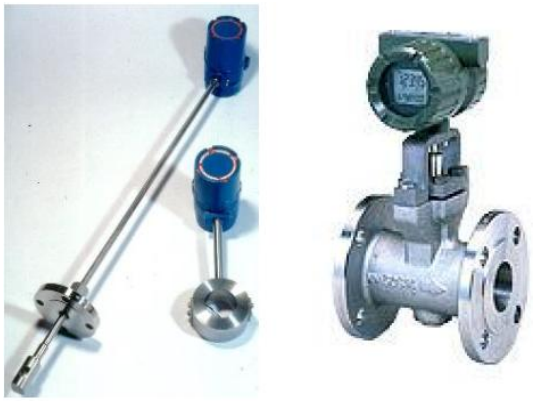


Gambar 3.27. Doppler Ultrasonic Flowmeters

J. Vortex Flowmeters

Flowmeter ini dikenal juga sebagai *vortex shedding flowmeters* atau *oscillatory flowmeters*, prinsip kerjanya didasarkan pada pengukuran getaran *(vibration)* pada

downstream pusaran (vortex) yang disebabkan oleh penghalang yang ditempatkan pada aliran fluida. Frekwensi getaran dari vortex dapat dihubungkan dengan laju aliran fluida



Gambar 3.28. Vortex Flowmeters

3.3.2.2 Pengukuran Level Fluida (Level Measurements)

Pemilihan metoda pengukuran level yang sesuai aplikasi, biasanya lebih sulit dibanding dengan keempat proses variabel utama kecuali flow. Seperti pada pengukuran flow, kondisi dari media yang diukur kadang-kadang mempunyai banyak efek yang kurang baik pada alat ukur, sehingga data kondisi operasi harus diketahui lebih banyak didalam pemilihan alat ukur level. Kondisi operasi yang harus diketahui adalah :

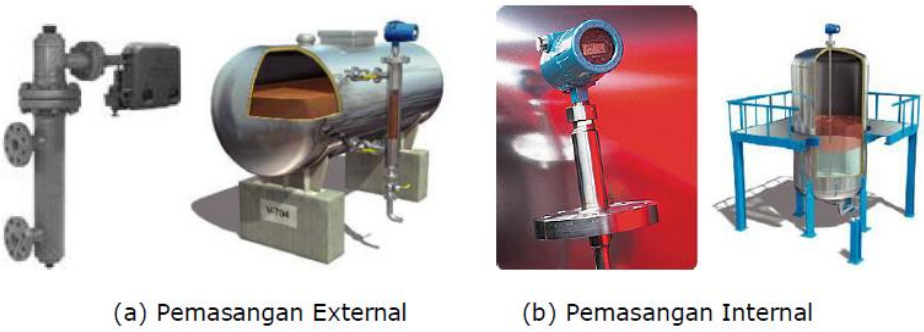
1. Level range
2. Fluida characteristic
    - Temperature
    - Pressure
    - Specific gravity
    - Apakah fluida bersih atau kotor, mengandung vapors atau solids, dll.
3. Efek korosif.
4. Apakah fluida mempunyai kecenderungan efek “coat” atau menempel pada dinding vessel atau measuring device.
5. Apakah fluida tersebut turbulent disekitar area pengukuran. Secara normal tidak ada kesulitan berarti didalam mengukur level fluida bersih dan nonviscous, namun untuk material “slurry” atau material dengan viscous yang berat dan solid, bagaimanapun banyak menimbulkan masalah.

Beberapa jenis methode pengukuran level atau tinggi permukaan untuk fluida yang sering digunakan di industri proses, dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Displacement
2. Differential pressure
3. Capacitance
4. Ultrasonic
5. Radar
6. Radiation

A. Displacement Type

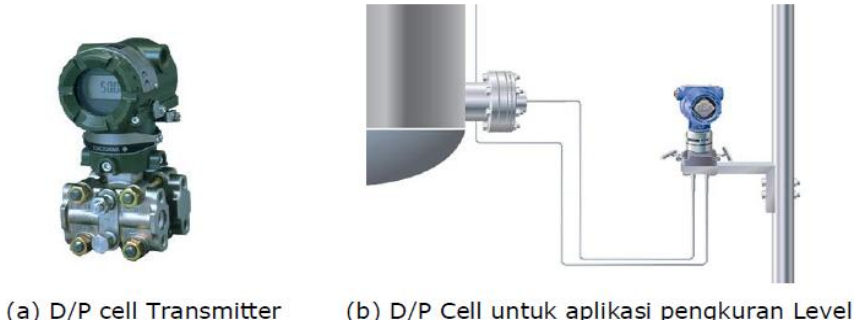
Prinsip kerja alat ini yaitu jika sebuah pelampung diapungkan pada permukaan fluida, maka pelampung akan naik dan turun mengikuti gerakan dari permukaan fluida yang bersangkutan. Selanjutnya dengan suatu mekanisme, pergerakan pelampung ini dapat ditranslasikan kedalam alat ukur displacer level berdasarkan prinsip Archimedes.



Gambar 3.29. Level Device - Displacement type

B. Differential Pressure Type

Pengukuran level jenis *differential pressure (DP)* didasarkan pada prinsip *"hydrostatic head"*. Prinsip ini mengatakan bahwa pada setiap titik di dalam fluida yang diam *(static),* gaya yang bekerja padanya adalah sama untuk semua arah dan tidak tergantung pada volume fluida maupun bentuk ruang atau tempat dimana fluida berada, tetapi hanya bergantung pada tinggi kolom fluida di atas titik yang bersangkutan. Oleh karena itu hydrostatic head sering dinyatakan dalam satuan tekanan.



Gambar 3.30. DP cell Nonsealed System

C. Capacitance Type

Sebuah kapasitor terbentuk ketika elektroda sensor level dipasang didalam sebuah vessel. Tangkai metal dari elektroda bertindak sebagai satu plate dari kapasitor dan dinding tangki bertindak sebagai plate yang lain (untuk non metallic vessel dibutuhkan reference elektroda sebagai plate yang lain dari kapasitor). Ketika level fluida naik, udara atau gas yang semula melingkupi electrode akan digantikan oleh material (fluida) yang mempunyai konstanta dielektik *(dielectric constant)* yang berbeda, sehingga suatu perubahan didalam nilai kapasitor terjadi sebab dielektrikum antara plat telah berubah. *RF (Radio Frequerncy)* capacitance instrument mendeteksi perubahan tersebut dan mengkonversinya kedalam suatu sinyal keluaran secara proporsional.



Gambar 3.31. Continuous measurement

D. Ultrasonic Types

Ultrasonic transmitter bekerja dengan prinsip pemancaran gelombang suara dari *peizo electric transducer* kedalam vessel yang berisi material proses. Alat ini mengukur lama waktu yang dibutuhkan gelombang suara yang dipantulkan kembali ke transducer. Pengukuran yang baik tergantung pada pantulan gelombang suara dari material proses secara garis lurus yang kembali ke transducer. Ultrasonic level detectors pada gambar di bawah digunakan terutama untuk point measurement. Alat ini sudah digunakan sejak tahun 1960,

hampir sama seperti capacitance probe, alat ini juga sering digunakan untuk mengukur level pada service dimana sering timbul permasalahan bilaman menggunakan metoda pengukuran tradisional.



Gambar 3.32. Ultrasonic Level Measurement Devices

E. Radar Type

Teknologi radar untuk aplikasi pengukuran level yang ada dipasaran adalah *Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW)* atau *Pulse Wave Time of Flight.* Sistem Pulsed Wave bekerja dengan memancarkan suatu gelombang mikro (microwave) ke arah material proses, gelombang ini dipantulkan oleh permukaan dari material proses dan dideteksi oleh sensor yang sama yang bertindak sebagai penerima (receiver). Level ditentukan dari waktu tempuh dari sinyal gelombang mikro dari transmitter ke receiver. Sistem FMCW bekerja dengan memancarkan suatu signal frekuensi secara terus menerus dan jarak ditentukan dari perbedaan frekwensi antara sinyal transmitter dan receiver pada setiap titik pada waktunya. Secara umum prinsip kerja dari radar level adalah sebagai berikut ; Level dari cairan diukur dengan radar pulsa yang pendek yang dipancarkan dari antenna di bagian puncak tanki ke arah cairan. Setelah radar pulsa dipantulkan oleh permukaan cairan, maka antena menerima pulsa tersebut. Jarak dari meter gauge ke permukaan cairan (d) adalah sebanding dengan waktu tempuh pulsa gelombang micro (t). Frekuensi yang digunakan radar adalah 5.8 GHZ (6.3 GHZ di AS).



Gambar 3.33. Radar Level Measurement

F. Radiation Type

Seperti beberapa metoda pengkukuran level lainnya, jenis radioactive (nucleonic) digunakan juga sebagai continuous measurement dan point measurement. Pada continuous measurement, radiation level menyediakan persentase dari penurunan transmisi sesuai level, dan untuk point measurement, radiation level menyediakan suatu fungsi switch on/off. Radio isotop yang digunakan pada pengukuran level akan memancarkan energi pada suatu tingkat rate yang konstan secara acak. Radiasi gamma adalah sumber yang secara umum digunakan untuk nucleonic level gauging. Panjang gelombang pendek dan energi yang tinggi dari radiasi gamma menembus dinding vessel dan media proses. Sebuah detektor di sisi yang lain dari vessel mengukur kekuatan bidang radiasi dan menyimpulkan level di dalam vessel.

Secara umum, radioactive level adalah metoda pengukuran level yang mahal dan perlu dipertimbangkan secara serius bilamana akan diimplementasikan. Bukan hanya hardware yang mahal, tetapi calibration dan testing juga membutuhkan waktu yang lama serta biaya opearasi yang tinggi. Oleh karena alat ini sering digunakan sebagai metoda terakhir yang dipilih bila semua metode gagal digunakan pada suatu aplikasi, maka biaya keseluruhan tetap dipertimbangkan secara ekonomis dalam pemilihannya.

3.3.2.3. Pengukuran Pressure (Pressure Measurements)

Tekanan terjadi karena adanya gaya yang bekerja terhadap suatu bidang luasan. Karena itu tekanan dinyatakan sebagai *Gaya* yang bekerja pada suatu *Satuan Luas.* Pada bagian ini akan ditinjau beberapa prinsip pengukuran tekanan yang biasa digunakan di industri proses. Alat ukur tekanan disebut sebagai *Manometer*[17]. Berbagai macam nama dan tipe manometer yang terdapat di industri proses, bergantung pada prinsip kerja, jenis fluida yang diukur serta kebutuhan penggunaannya. Pada umumnya tekanan fluida yang diukur di industri proses adalah cairan dan gas. Sesuai dengan definisi dari tekanan di atas, terdapat 4 terminologi penting yang biasa digunakan tentang ukuran atau pengukuran tekanan, yaitu :

a. Absolute Pressure (tekanan absolut)

Gaya yang bekerja pada satuan luas, tekanan ini dinyatakan dan diukur terhadap tekanan NOL.

b. Gauge Pressure (tekanan relatif)

Tekanan yang dinyatakan dan diukur relatif terhadap tekanan atmosfer. Jadi tekanan relatif adalah selisih antara tekanan absolut dengan tekanan atmosfer (1 atmosfer = 760 mmHg = 14.7 psig)

c. Vacum Pressure (tekanan hampa)

Tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer

d. Differential Pressure (tekanan differential)

Tekanan yang diukur terhadap tekanan yang lain.

Pengelompokan dan Pemilihan Alat Ukur

Beberapa jenis pengukuran tekanan yang sering digunakan di dalam industri proses dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a. Manometer kolom cairan (U tube)

b. Bourdon Tube

c. Diaphragm Pressure Gage

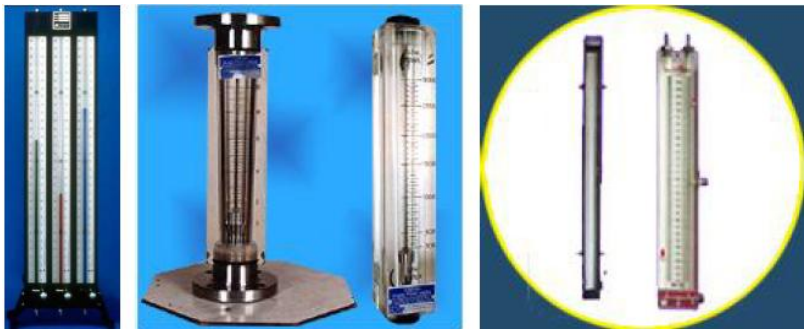
d. Belows

e. McLeod Gages

Pemilihan alat ukur pressure *(pressure device)* tidaklah sesulit memilih alat ukur flow dan level. Didalam pengukuran flow dan level, karakteristik dari fluida proses sangat menentukan dalam pemilihan metoda operasi alat ukur tertentu. Dalam pengukuran pressure, penekanan lebih sedikit pada karakteristik fluida, dan lebih banyak pada pertimbangan akurasi, range pengukuran dan pemilihan material.

A. U tube

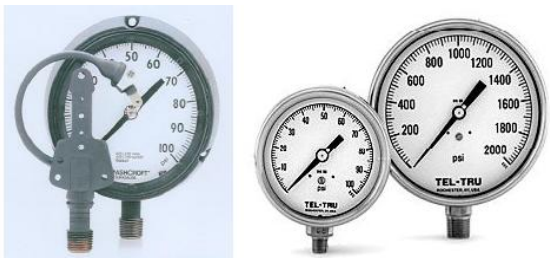
Tabung U *(U Tube)* adalah contoh sederhana instrument pengukuran tekanan yang menggunakan kolom zat cair. Alat ukur tekana ini terdiri dari air atau air raksa didalam U-Shaped, dan umumnya digunakan untuk mengukur tekanan gas.



Gambar 3.34. Manometer U tube

B. Bourdon Tube

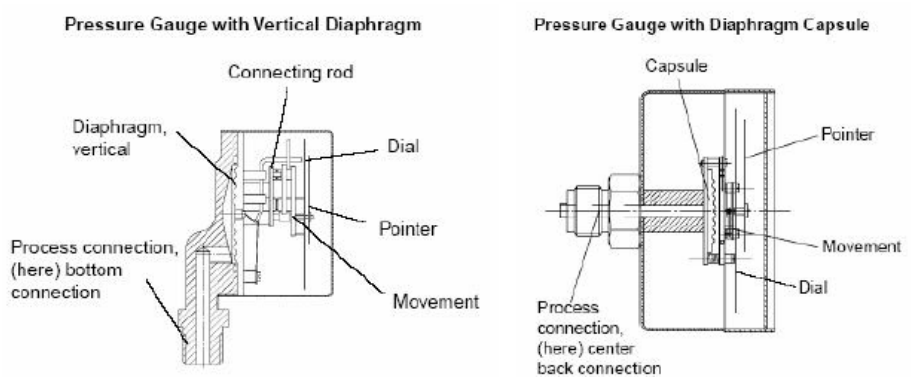
Bourdon Tube adalah alat ukur tekanan nonliquid. Alat ukur ini secara luas digunakan didalam industri proses untuk mengukur tekanan statis pada beberapa aplikasi. Bentuk dari bourdon tube terdiri dari element (C-type, helical dan spiral) dan dihubungkan secara mekanikal dengan jarum indicator. Prinsip operasinya yaitu tekanan dipandu ke dalam tabung, perbedaan tekanan di dalam dan di luar tabung bourdon akan menyebabkan perubahan bentuk penampangnya. Perubahan bentuk penampang akan diikuti perubahan bentuk arah panjang tabung, dimana perubahan panjang tabung akan dikonversikan menjadi gerakan jarum penunjuk pada skala. Analisa teoritis tentang perubahan bentuk tabung bourdon sebagai fungsi perbedaan tekanan di luar dan di dalam tabung bourdon jarang dilakukan. Perubahan bentuk tabung bourdon diperoleh dari data eksperimental.



Gambar 3.35. Bourdon Tube (C-Type, Spiral dan Helical)

C. Diaphragm Pressure Gage

Diaphragm Pressure Gage menggunakan prinsip perubahan bentuk yang elastis *(elastic deformation)* dari suatu diaphragm (membrane) untuk mengukur perbedaan suatu tekanan yang tidak diketahui dengan suatu tekanan acuan.



Gambar 3.36. Bentuk Desai Diaphragm Pressure Gage

D. Bellows Elements

Pengukuran tekanan dengan bellows sangat popular digunakan di dalam industri proses, oleh karena mudah ditangani. Element bellows merupakan elemen elastis yang fleksibel pada arah aksial. Biasanya dibuat dari bahan kuningan, fosfor-perunggu, berrilium-tembaga, monel, stainless steel, inconel dan bahan metal lainnya. Dengan element ini dapat diperoleh hubungan yang linear antara tekanan dan simpangan (perubahan volume).



Gambar 3.37. Pressure Differential indicator (Bellows Element)

E. McLeod Gages

McLeod gage adalah alat ukur tekanan rendah (vakum) dimana tekanan di bawah 10-4 torr (10-4 mmHg, 1.33×10-2 Pa, 1.93×10-6 psi) yang bekerja berdasarkan tinggi kolom cairan. Alat ukur ini sering digunakan sebagai kalibrator alat ukur tekanan vakum lainnya. Skema McLeod gage dapat dilihat pada gambar 3.68. Alat ini mempunyai dua kaki, dimana pada kaki yang satu terdapat suatu volume yang ukurannya jauh lebih besar dari pada volume pipa. Ujung pipa pada kaki tersebut di atas tertutup. Alat ini mempunyai torak (piston), yang digunakan untuk mengatur tinggi cairan dalam pipa. Sebelum pengukuran dilakukan torak ditarik sehingga tinggi cairan berada di bawah lubang yang menghubungkan kedua pipa

(gambar 3.68.a). Kemudian tekanan vakum yang akan diukur dihubungkan pada pipa lainnya, sehingga tekanan vakum yang diukur mengisi semua pipa.

3.3.2.4. Pengukuran Temperature (Temperature Measurements)

Teperatur adalah ukuran panas atau dingin suatu benda. Kulit manusia mampu merasakan apakah suatu benda panas atau dingin, namun rasa panas atau dingin tersebut relatif terhadap temperature kulit itu sendiri (tidak dapat teramati secara kuantitatif). Temperature adalah besaran relative, tergantung pada acuan yang digunakan. Berbagai besaran temperatur menggunakan suatu acuan sebagai harga dasarnya.

Alat Ukur Temperatur

A. Bimetal Thermometer

Termometer ini terdiri dari dua logam dengan koefisien muai atau ekspansi berbeda yang dilekatkan menjadi satu. Logam yang mempunyai koefisien ekspansi lebih besar akan mempunyai pertambahan dimensi yang lebih besar dari logam lainnya akibat kenaikan temperature. Sehingga menyebabkan batang bimetal berdefleksi pada arah tertentu, penurunan temperatu menyebabkab defleksi pada arah yang berlawanan. Simpangan batang digunakan untuk menyatakan ukuran temperatu di sekitar batang bimetal. Untuk mendapatkan sensitivitas yang lebih besar, maka dipilih bahan A yang mempunyai koefisien ekspansi besar dan bahan B mempunyai koefisien ekspansi kecil. Contoh : bahan bimetal terbuat dari paduan bahan invar (campuran besi-nikel) yang mempunyai koefisien ekspansi kecil dengan bahan kuningan yang mempunyai koefisien ekspansi besar.



Gambar 3.38. Bimetal Thermometer

B. Thermocouple

Pada tahun 1821 ahli fisika Germany, Estonian Thomas Johann Seebeck menemukan bahwa suatu konduktor apapun (misalnya metal) akan menghasilkan suatu tegangan (voltage) ketika diberikan gradien thermal. Peristiwa ini dikenal sebagai efek Seebeck atau efek termoelektrik. Thermocouple adalah suatu sensor temperatur termoelektris yang terdiri dari dua kawat logam yang berlainan (misalnya chromel dan constantan) dengan penggabungannnya pada *probe tip (measurement junction)* dan *reference junction* (temperature yang diketahui). Perbedaan temperatur antara *probe tip* dan *reference junction* dideteksi dengan mengukur perubahan tegangan voltage *(electromotive force, EMF)* pada reference junction. Pembacaan absolute temperature kemudian bisa diperoleh dengan kombinasi informasi dari temperatur acuan yang diketahui dengan perbedaan temperature antara probe tip dengan reference.



Gambar 3.39. Thermocouple

C. Resistance Temperature Detector (RTD)

Tahanan (resistance) dari suatu material metal akan berubah terhadap perubahan temperaturnya. Hal ini merupakan suatu dasar metoda deteksi temperature. Bahan yang digunakan untuk sensor ini dibagi menjadi dua macam yaitu bahan konduktor (logam) dan bahan semikonduktor. Bahan konduktor ditemukan terlebih dahulu dan disebut "Resistance-Termometer" sekarang disebut *"Resistance Temperature Detector (RTD)"*. Jenis semikonduktor muncul lebih akhir dan diberi nama *"thermistor"*.



Gambar 3.40. Resistance Temperature Detector (RTD)

D. Thermistor

Serupa dengan Resistance Temperature Detector (RTD), *thermistor (Bulk Semiconductor Sensor)* menggunakan resistance untuk mendeteksi temperatur. Bagaimanapun, tidak sama dengan RTD metal probe dimana resistance meningkat dengan temperatur, thermistor menggunakan material ceramic semiconductor dimana responya terbalik dengan temperatur.



Gambar 3.41. Thermistor