

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Sistem Perpipaan

Sistem Perpipaan adalah metode yang paling umum dan murah dalam memindahkan fluida dari satu titik pemrosesan ke titik yang lain secara horizontal maupun vertikal antar peralatan (*equipment*) atau dari satu tempat ke tempat lain sehingga suatu proses produksi dapat berlangsung (Firdaus dkk, 2014). Dalam dunia industri khususnya bidang *oil & gas plant* dikenal beberapa istilah terkait dengan sistem perpipaan seperti *piping* dan *pipeline*. *Piping* adalah sistem perpipaan yang memiliki ukuran panjang yang relatif pendek dan ditujukan untuk proses pada suatu *plant*. *Piping* ini terbatas hanya pada suatu *plant*. Sedangkan *pipeline* merupakan sistem perpipaan yang relatif panjang dan berfungsi untuk kebutuhan transmisi dan distribusi antar *site*.

Dalam merancang suatu *plant*, tidak terlepas dari sistem perpipaan dan dalam hal ini perancangan perpipaan harus benar-benar aman dan memiliki fleksibilitas yang cukup (Marunung dkk, 2013). Sistem perpipaan terdiri dari banyak komponen yang saling berinteraksi, yang dihubungkan dengan beberapa peralatan (*equipment*), untuk mencapai pemrosesan fluida yang baik dalam suatu *plant*. Sistem perpipaan merupakan bagian dari semua fasilitas fisik tempat transportasi aliran fluida termasuk pipa, sambungan, *valve*, *flange*, *regulator*, *pressure vessel*, *relief valve*, *unit compressor* dan alat-alat lain yang terpasang pada pipa (Anindyta dkk, 2018).

Aplikasi sistem perpipaan dapat ditemukan hampir pada semua jenis industri, mulai dari sistem perpipaan tunggal yang sederhana sampai sistem perpipaan bercabang yang sangat kompleks. Contoh sistem perpipaan adalah pengaliran minyak antar kota/daerah (misalnya pendistribusian minyak pertamina dari Cilacap ke Yogyakarta), pipa pembawa dan pipa pesat dari waduk ke turbin pembangkit listrik tenaga air, jaringan air minum di perkotaan, dan sebagainya.

2.1.1. Jenis-jenis pipa

Dalam pembuatan pipa harus sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, mulai dari pemilihan bahan dan penggunaannya. Secara umum pembuatan pipa dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu :

1. Jenis pipa tanpa sambungan yaitu pipa yang dalam pembuatannya tidak dilakukan sambungan pengelasan.
2. Jenis pipa dengan sambungan yaitu pipa yang dalam pembuatannya dilakukan sambungan pengelasan.

2.1.2. Bahan-bahan pipa

Bahan-bahan pipa yang dimaksud adalah struktur atau material bahan yang digunakan dalam pembuatan pipa baru dapat dibagi secara umum sebagai berikut :

1. *Carbon steel.*
2. *Carbon moly.*
3. *Galvanees.*
4. *Ferro nikel.*
5. *Stainless steel.*
6. *PVC (paralon).*
7. *Chrome moly.*

Sedangkan bahan-bahan pipa yang secara khusus dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. *Vibre glass.*
2. *Aluminium.*
3. *Wrought iron* (besi tanpa tempa).
4. *Copper* (tembaga).
5. *Red brass* (kuningan merah).
6. *Nickel copper = monel* (timah tembaga).
7. *Nickel chrom iron = Inconel* (besi timah krom).

2.2. Komponen Sistem Perpipaan

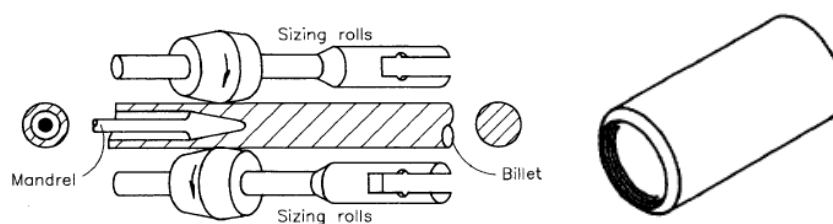
Komponen perpipaan harus dibuat berdasarkan spesifikasi, standar yang terdaftar dalam simbol dan kode yang telah dibuat atau dipilih sebelumnya. Komponen pipa yang dimaksud yaitu : pipa-pipa (*pipes*), flens-flens (*flanges*), sambungan (*fittings*), katup-katup (*valves*), baut-baut (*boltings*), dan *gasket*.

2.2.1. Pipa-pipa (*pipes*)

Pipa-pipa adalah benda yang berbentuk lubang silinder yang terbuat dari logam atau bahan-bahan lain dan memiliki ukuran diameter yang berbeda-beda. Pipa digunakan sebagai sarana untuk mengalirkan fluida berbentuk cair maupun gas. Pipa yang biasanya digunakan pada industri proses maupun industri listrik yaitu pipa baja (*steel pipe*) dan pipa besi (*iron pipe*).

2.2.1.1. Pipa tanpa sambungan (*seamless pipe*)

Pipa tanpa sambungan (*seamless pipe*) dibuat dengan cara menusuk batang besi *cylinder* yang sudah dipanaskan menggunakan mandrel untuk menghasilkan lubang pada diameter dalam pipa. Pipa ini tidak memiliki sambungan dan digunakan untuk ukuran pipa panjang. Gambar 2.1 berikut ini menunjukkan *Seamless pipe*.

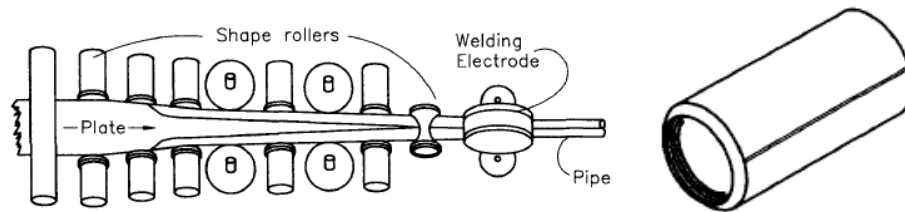


Gambar 2.1 *Seamless pipe*
(Parisher dkk, 2002)

2.2.1.2. Pipa dilas (*butt-welded pipe*)

Pipa dilas (*butt-welded pipe*) dibuat dengan cara memasukkan pelat baja yang telah dipanaskan menuju *shape roller*, dimana pelat baja akan dirol menjadi batangan pipa yang berlubang. Penekanan yang kuat pada kedua sisi plat akan

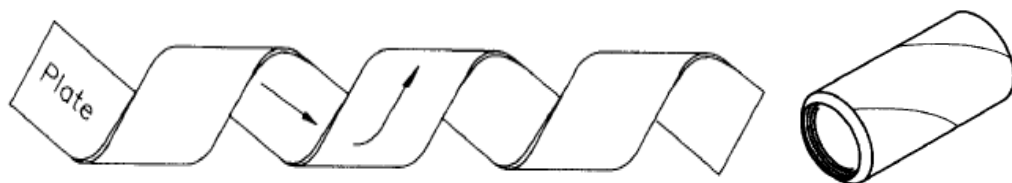
menghasilkan sambungan las. Gambar 2.2 berikut ini menunjukkan *Butt-welded pipe*.



Gambar 2.2 *Butt-welded pipe*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.1.3. Pipa las spiral (*spiral welding pipe*)

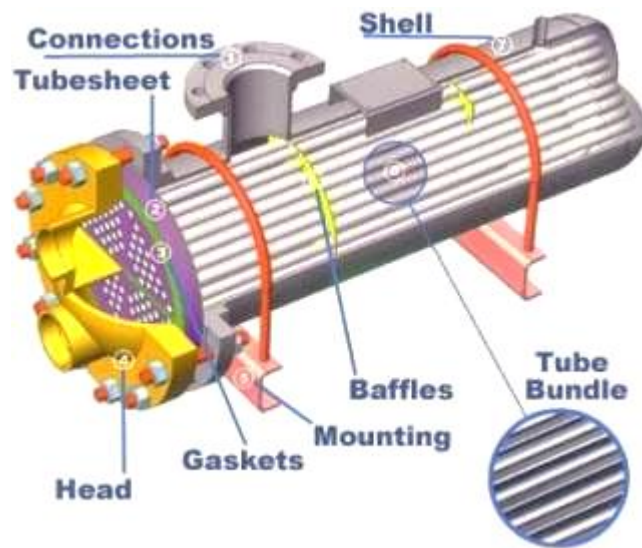
Pipa las spiral (*spiral welding pipe*) dibuat dengan menggunakan pelat baja strip yang dibentuk menjadi spiral dan kemudian disambung sehingga membentuk sebuah pipa. Dalam sistem perpipaan, pipa jenis ini jarang digunakan karena penggunaannya terbatas pada tekanan yang rendah dan memiliki tebal pipa yang tipis. Gambar 2.3 berikut menunjukkan pipa las spiral sebelum dilas dan sesudah dilas.



Gambar 2.3 *Spiral welding pipe*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.1.4. Tubing

Tubing adalah sebuah benda silindris yang memiliki lubang pada tengahnya untuk mengalirkan fluida. Berbeda dengan *pipe*, *tube* ukurannya relatif kecil, lebih fleksibel dan mudah untuk dibentuk. Gambar 2.4 berikut ini menunjukkan *Tubing* pada *heat exchanger*.



Gambar 2.4 *Tubing* pada *heat exchanger*.
(Sugeng, 2014)

2.2.2. Flens (*flange*)

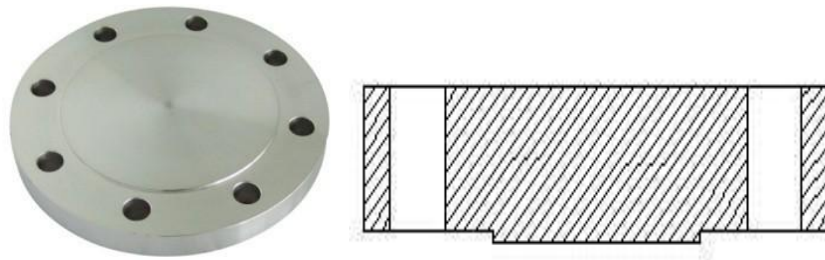
Flanges adalah metode penyambungan menggunakan baut antar elemen atau *equipment* dalam perpipaan yaitu antara dua buah pipa, pompa, *equipment*, *fitting*, dan *valve*, sehingga dapat dihubungkan bersama-sama. *Flange* tersedia dalam berbagai bentuk, tekanan, *rating* dan ukuran untuk memenuhi persyaratan desain. Gambar 2.5 berikut ini menunjukkan Flens.



Gambar 2.5 Flens (*flange*)
(Hartoyo, 2011)

2.2.2.1. *Blind flange*

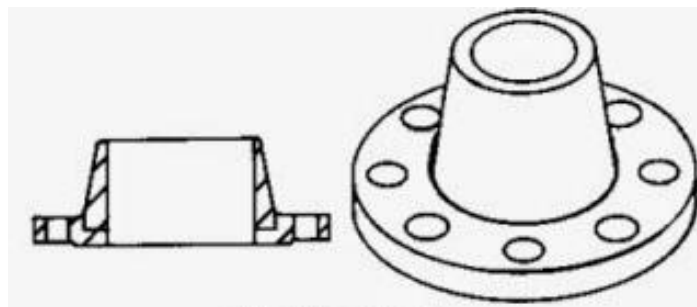
Blind flange yaitu salah satu jenis *flange* yang tidak memiliki lubang untuk mengalirkan aliran dan digunakan pada akhir pipa atau *fitting* dalam suatu instalasi perpipaan. *Blind flange* berfungsi untuk menutup aliran seperti halnya *cap* pada *fitting*. Gambar 2.6 berikut ini menunjukkan *Blind flange*.



Gambar 2.6 *Blind flange*
(Hartoyo, 2011)

2.2.2.2. *Weld neck flange*

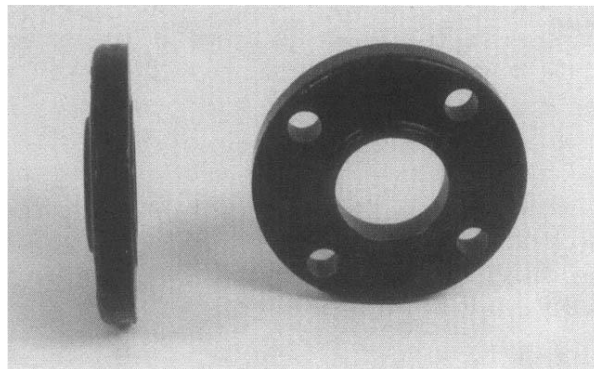
Weld neck flange mempunyai ciri khas yaitu penyambungan *flange* menggunakan las. *Flange* jenis ini digunakan untuk *pressure* tinggi, baik temperatur rendah atau tinggi. Karakteristik *flange* ini memiliki ketahanan sambungan terhadap kejutan dengan getaran pipa akibat laju aliran fluida yang besar di dalam pipa. Gambar 2.7 berikut ini menunjukkan *Weld neck flange*.



Gambar 2.7 *Weld neck flange*.
(Sugeng, 2014)

2.2.2.3. *Slip on flange*

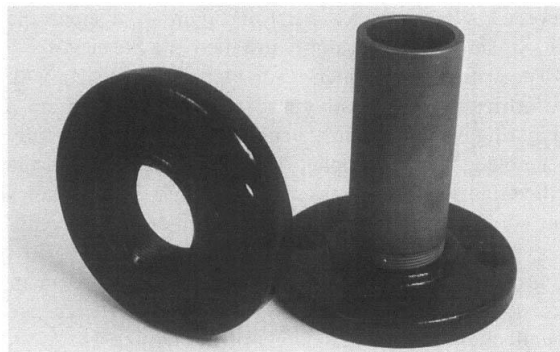
Flange jenis ini mempunyai ketahanan kejutan dan getaran yang rendah. *Flange* jenis ini sangat ideal untuk aplikasi tekanan rendah karena kekuatannya pada tekanan *internal* sekitar sepertiga dari *weld neck flange*. Serta konfigurasiya menimbulkan gangguan aliran di dalam pipa. Las-lasan bagian dalam cenderung lebih mudah terkorosi dibandingkan *weld neck type flange*. Gambar 2.8 berikut ini menunjukkan *Slip on Flange*.



Gambar 2.8 *Slip on flange*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.2.4. *Threaded flange*

Threaded flange yaitu jenis *flange* yang hampir sama dengan *slip on flange* hanya saja memiliki *internal thread* atau ulir dalam. *Flange* jenis ini digunakan untuk tekanan rendah dan tidak digunakan pada temperatur yang sangat tinggi. *Flange* jenis ini memiliki harga yang murah. Gambar 2.9 berikut ini menunjukkan *Threaded Flange*.



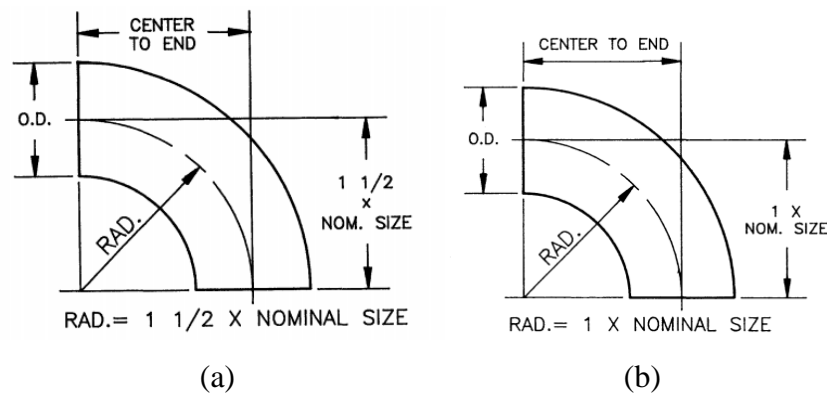
Gambar 2.9 *Threaded flange*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.3. Sambungan (*fitting*)

Sambungan (*fitting*) merupakan komponen perpipaan yang berfungsi untuk untuk merubah aliran, menyebarkan aliran, membesar atau mengecilkan aliran.

2.2.3.1. Siku (*elbow*)

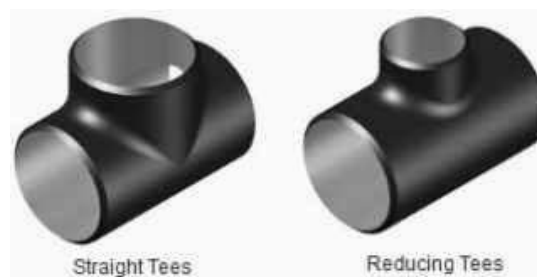
Siku (*elbow*) adalah jenis *fitting* yang merupakan komponen perpipaan berfungsi untuk merubah arah aliran dalam suatu instalasi perpipaan. Secara umum *elbow* terdiri dari dua jenis yaitu 45^0 dan 90^0 , bertipe *short radius* dan *long radius* seperti pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 (a) *Long radius* (b) *Short radius*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.3.2. *Fitting tee*

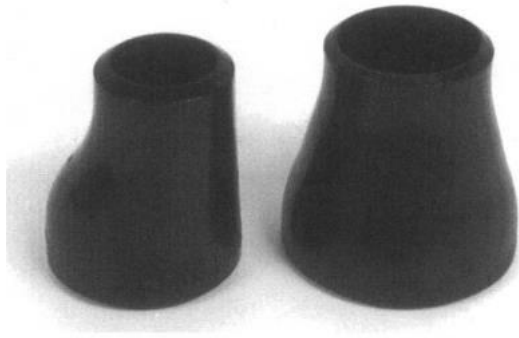
Fitting tee mempunyai tugas untuk membagi aliran dan memiliki cabang. Cabang *tee* yang mempunyai ukuran diameter sama dengan diameter pipa utama disebut dengan *straight tee*, sedangkan jika ukurannya berbeda disebut dengan *reducing tee*. Gambar 2.11 berikut ini menunjukkan *ittings tee*.



Gambar 2.11 *Fitting straight tee* dan *reducing tee*.
(Sugeng, 2014)

2.2.3.3. *Fitting reducer*

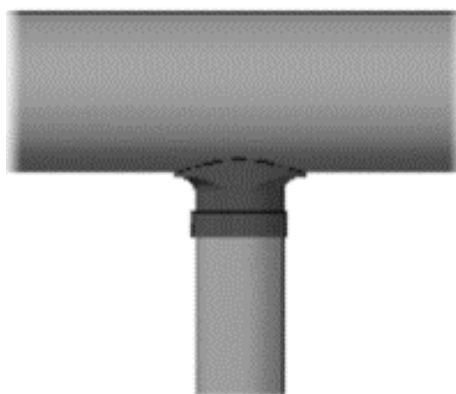
Fitting reducer memiliki fungsi untuk mengurangi aliran fluida. Mengurangi disini bukan seperti *valve*, tapi ukuran pipanya saja yang berkurang. Jadi *fitting reducer* bertugas untuk menyambungkan dua buah pipa dari diameter yang lebih besar ke diameter yang lebih kecil atau sebaliknya. Gambar 2.12 berikut ini menunjukkan *fitting reducer*.



Gambar 2.12 *Fitting concentric reducer* dan *eccentric reducer*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.3.4. *Fitting stub in*

Fitting Stub in merupakan jenis *fitting* yang fungsinya hampir sama dengan *tee*, yaitu membagi aliran. Beda antara *stub in* dengan *tee* yaitu kalau *tee* adalah *item* yang terpisah yang mengabungkan beberapa pipa. Namun kalau *stub in*, percabangan langsung dari pipa utamanya yang fungsinya menggantikan *reducing tee*. Gambar 2.13 berikut ini menunjukkan *fitting stub in*.



Gambar 2.13 *Fitting stub in*.
(Sugeng, 2014)

2.2.3.5. *Fitting cap*

Fitting cap berfungsi untuk menghentikan aliran pada ujung pipa. *Fitting* ini dilas langsung pada pipa utama. Gambar 2.14 berikut ini menunjukkan *fitting cap*.



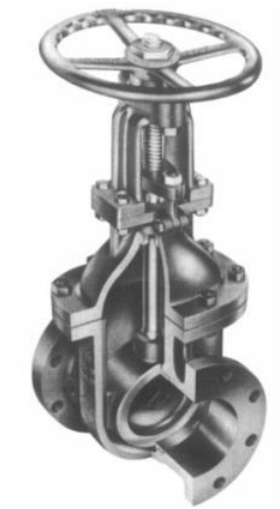
Gambar 2.14 *Fitting cap*.
(Sugeng, 2014)

2.2.4. Katup (*valve*)

Katup (*valve*) merupakan salah satu komponen penting pada sistem perpipaan. Katup mempunyai fungsi untuk mengatur, mengarahkan atau mengontrol aliran dari suatu fluida baik berupa cairan, padat atau gas dengan cara membuka, menutup, atau menutup sebagian dari jalan alirannya.

2.2.4.1. Katup pintu (*gate valve*)

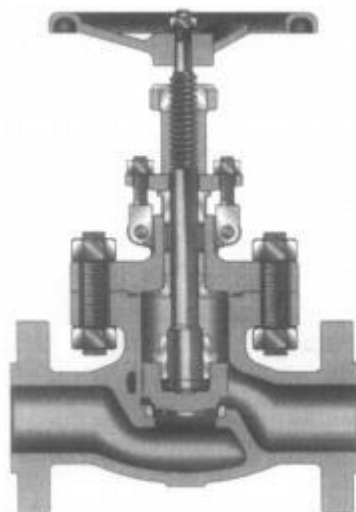
Katup pintu (*gate valve*) merupakan jenis katup yang berfungsi untuk membuka atau menutup sebuah aliran menggunakan sebuah penyekat yang berbentuk bulat atau persegi panjang dengan cara mengangkatnya. Posisi *gate valve* pada saat pengoperasian harus benar-benar terbuka atau tertutup, tidak disarankan dibuka setengah. Hal ini dapat menyebabkan turbulensi. Gambar 2.15 berikut ini menunjukkan *gate valve*.



Gambar 2.15 *Gate valve*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.4.2. Katup dunia (*globe valve*)

Katup dunia (*globe valve*) berfungsi untuk mengatur besar kecilnya laju aliran di dalam pipa. *Globe valve* memiliki ruang sempit yang menjorok ke atas tempat fluida mengalir yang nantinya akan ditutup dengan *disk* yang bergerak naik turun. Dengan pergerakan *disk* yang tidak terlalu cepat maka dapat mengontrol aliran (debit) dengan sangat baik. Gambar 2.16 berikut ini menunjukkan *globe valve*.



Gambar 2.16 *Globe valve*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.4.3. Katup bola (*ball valve*)

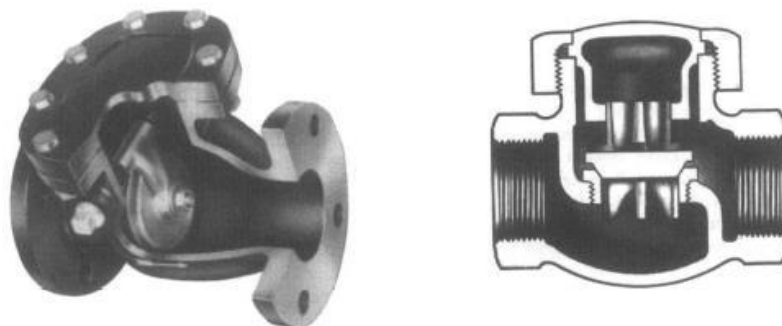
Katup bola (*ball valve*) merupakan jenis *valve* yang digunakan untuk mengatur debit aliran berbentuk *disk* (bulat/bola). Bola itu memiliki lubang, yang berada di tengah sehingga ketika lubang tersebut segaris lurus atau sejalan dengan kedua ujung *Valve* / katup, maka aliran akan terjadi dan sebaliknya. Gambar 2.17 berikut ini menunjukkan *ball valve*.



Gambar 2.17 *Ball valve*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.4.4. Katup cek (*check valve*)

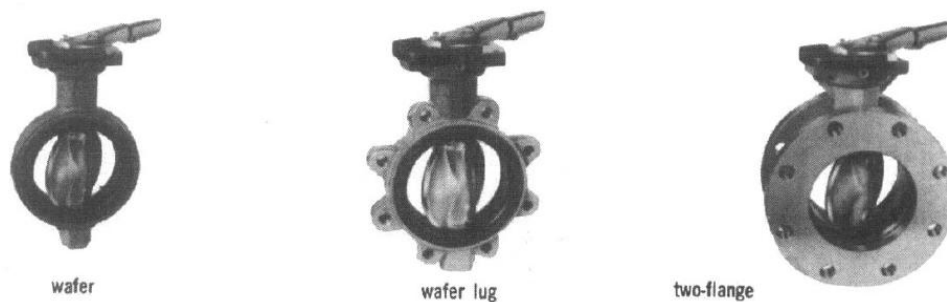
Katup cek (*check valve*) merupakan jenis katup yang digunakan untuk membuat sebuah aliran mengalir ke satu arah atau agar tidak terjadi aliran balik. Karena fungsinya dapat mencegah aliran balik maka *check valve* sering digunakan sebagai pengaman dari sebuah *equipment* dalam sistem perpipaan. Gambar 2.18 berikut ini menunjukkan *check valve*.



Gambar 2.18 *Check valve*.
(Parisher dkk, 2002)

2.2.4.5. Katup kupu-kupu (*butterfly valve*)

Katup kupu-kupu (*butterfly valve*) merupakan jenis katup yang memiliki plat bundat (*disk*) yang dioperasikan dengan ankel untuk membuka/menutup penuh dengan sudut 90^0 . *Butterfly valve* baik digunakan untuk penanganan arus besar cairan atau gas pada tekanan yang relatif rendah dan untuk penanganan *slurries* atau cairan padatan tersuspensi dengan jumlah besar. Gambar 2.19 berikut ini menunjukkan *butterfly valve*.



Gambar 2.19 *Butterfly valve*.
(Parisher kk, 2002)

2.2.5. Baut-baut (*boltings*)

Baut (*bolting*) digunakan untuk mengencangkan atau menggabungkan dua buah komponen atau *equipment* menjadi satu. Ada 3 jenis baut yang umum digunakan yaitu baut mesin (*machine bolt*), baut paku (*stud bolt*) dan ulir penutup (*cap screw*).

2.2.5.1. Baut mesin (*machine bolt*)

Baut mesin (*machine bolt*) adalah jenis baut yang hanya memiliki satu buah mur (*nut*). *Machine bolt* memiliki permukaan rata pada satu ujungnya, sedangkan ujung lainnya biasanya untuk mur (*nut*)nya. *Machine bolt* cenderung lebih gampang rusak karena seluruh panjangnya harus mengakomodir gaya ketika terjadi torsi. Ketika dipuntir untuk dikencangkan atau dikendurkan, maka seluruh badan pada *machine bolt* akan mengalami tahanan puntir, hal ini yang dapat berpotensi mengalami kerusakan.

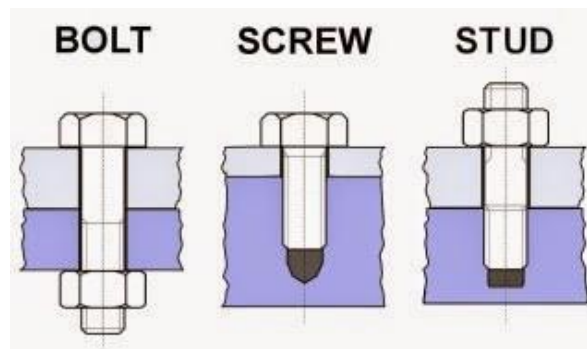
2.2.5.2. Baut paku (*stud bolt*)

Baut paku (*stud bolt*) adalah jenis baut yang memiliki dua buah mur yang dapat dikencangkan dari sisi kanan atau kirinya. *Stud bolt* biasanya digunakan pada sambungan *flange* yang menghubungkan antar pipa atau *equipment* tertentu.

Stud bolt memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan *machine bolt*, diantaranya yaitu :

1. *Stud bolt* lebih mudah dibuka jika berkarat (rusak)
2. Memiliki diameter yang seragam (tidak ada *head*)
3. *Stud bolt* yang jarang digunakan dapat mudah dibuat dari baja padat (*round stock*)

Dibalik keunggulan yang ditawarkan, *stud bolt* punya satu kelemahan, yaitu kadang membingungkan arah ketika akan dilepas atau dikencangkan. Gambar 2.20 berikut ini menunjukkan macam-macam jenis baut.



Gambar 2.20 Baut mesin, baut ulir penutup, baut paku.
(Sugeng, 2014)

2.2.6. Gasket pipa

Gasket merupakan lapisan material yang dipasang diantara dua komponen misalnya pada sambungan *flange*. Gasket berfungsi untuk mencegah adanya kebocoran akibat dari fluida yang bertekanan.

2.2.6.1. Standar untuk gasket

1. ASME B16.20 : *Ring-join gasket* dan *grooves* untuk *steel pipe flanges* (*metallic gasket*)
2. ASME B16.21 : *Non-Metallic gasket* untuk *pipe flange*

2.2.6.2. Pemilihan gasket

Pemilihan gasket ditentukan oleh :

1. Material dari gasket harus disesuaikan dengan spesifikasi fluida misalnya tekanan, suhu dan fluida yang bekerja.
2. Seringnya perawatan/operasi yang mengharuskan adanya pembukaan *flange* pada jalur pipa.
3. Aspek biaya.

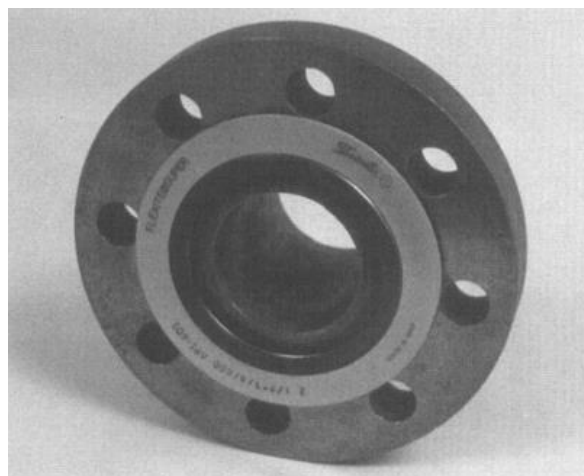
2.2.6.3. Jenis-jenis gasket

1. *Full face gasket*, ditunjukkan pada Gambar 2.21.



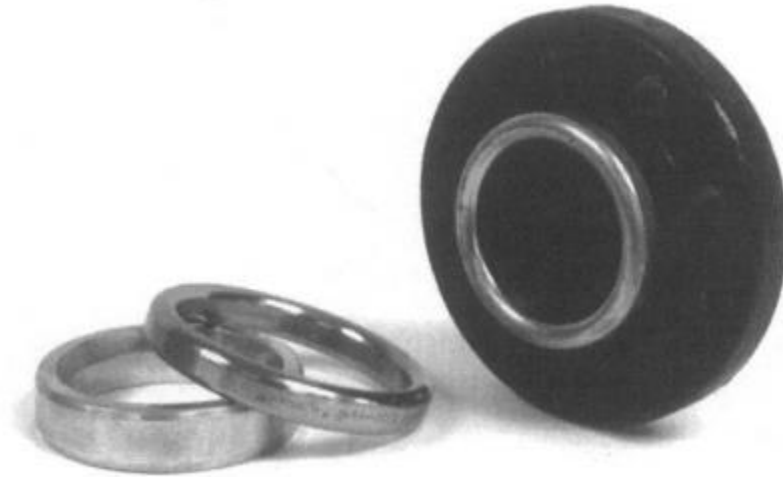
Gambar 2.21 *Full face gasket*.
(Parisher dkk, 2002)

2. *Flat ring gasket*, ditunjukkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 *Flat ring gasket*.
(Parisher dkk, 2002)

3. *Metal ring gasket*, ditunjukkan pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 *Metal ring gasket*.
(Parisher dkk, 2002)

2.3. Pemilihan Bahan Perpipaan

Dalam pemilihan bahan perpipaan haruslah disesuaikan dengan pembuatan teknik perpipaan dan hal ini dapat dilihat pada ASTM (*American Society of Testing Materials*) dan ANSI (*American National Standar Institute*) dalam pembagian sebagai berikut :

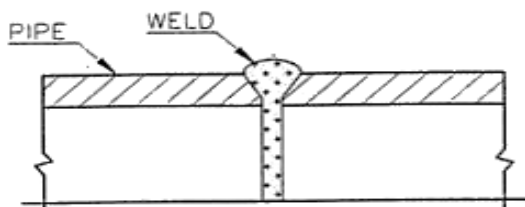
1. Perpipaan untuk pembangkit tenaga.
2. Perpipaan untuk industri bahan gas.
3. Perpipaan untuk penyulingan minyak mentah.
4. Perpipaan untuk pengangkutan minyak.
5. Perpipaan untuk proses pendinginan.
6. Perpipaan untuk tenaga nuklir.
7. Perpipaan untuk distribusi dan transmisi gas.

2.4. Jenis-jenis penyambungan

Dalam penggunaan pipa banyak sekali diperlukan sambungan, baik sambungan antara pipa dengan pipa maupun sambungan antara pipa dengan peralatan yang diperlukan seperti katup (*valve*), instrumentasi, nozel (*nozzle*) peralatan atau sambungan untuk merubah arah aliran.

2.4.1. Sambungan las (*but weld joint*)

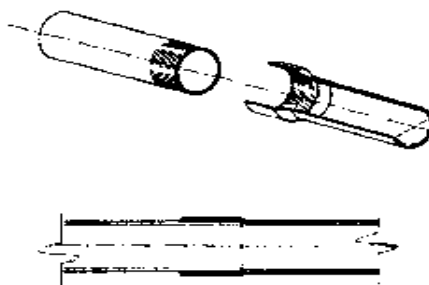
Jenis pengelasan yang dilakukan berdasarkan pada jenis pipa dan penggunaannya, misalnya pengelasan untuk bahan *stainless steel* menggunakan las busur gas *wolfram* dan untuk pipa baja karbon digunakan las metal. Tipe sambungan pipa jenis ini cocok untuk pipa yang berukuran besar, ketahanan atas kebocorannya cukup bagus, sambungannya dapat dicek kualitasnya menggunakan *radiography*. Kelemahan sambungan jenis ini yaitu sambungan akan mempengaruhi aliran fluida karena las-lasan yang berada di dalam pipa tidak dapat dikontrol atau dibersihkan. Gambar 2.24 berikut ini menunjukkan sambungan pipa dengan pengelasan (*but weld joint*).



Gambar 2.24 Sambungan pipa dengan pengelasan (*but weld joint*).
(Sugeng, 2014)

2.4.2. Sambungan ulir (*trhreaded*)

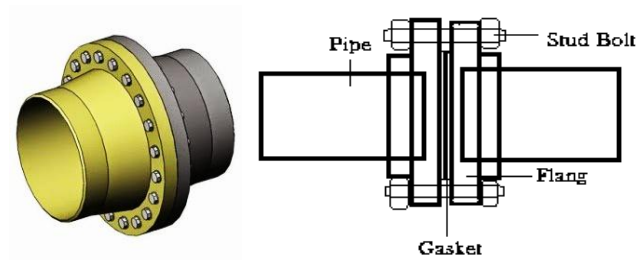
Penyambungan ini digunakan pada pipa yang bertekanan tak terlalu tinggi. Kebocoran pada sambungan ini dapat dicegah dengan menggunakan gasket. Umumnya pipa dengan sambungan ulir digunakan pada pipa dua inci kebawah. Gambar 2.25 berikut ini menunjukkan sambungan pipa ulir (*trhreaded*).



Gambar 2.25 Sambungan pipa ulir (*trhreaded*).
(Sugeng, 2014)

2.4.3. Menggunakan flens (*flange*)

Kedua ujung pipa yang akan disambung dipasangkan flens kemudian diikat dengan baut. Gambar 2.26 berikut ini menunjukkan sambungan pipa menggunakan flens.



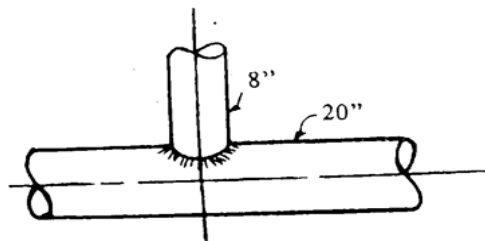
Gambar 2.26 Sambungan pipa menggunakan flens (*flange*).
(Sugeng, 2014)

2.5. Kontruksi Sambungan Perpipaan

Sambungan pipa dengan cara pengelasan dapat dilakukan dengan cara sambungan langsung (tanpa penguat), sambungan dengan penguatan, sambungan dengan menggunakan alat penyambung dan sambungan pipa cabang dengan menggunakan *o'let*.

2.5.1. Sambungan langsung (*stub in*)

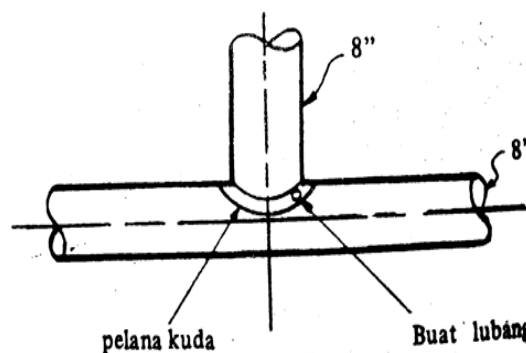
Sambungan langsung (*stub in*) merupakan penyambungan pipa secara langsung. Gambar 2.27 berikut ini menunjukkan sambungan pipa langsung (*stub in*).



Gambar 2.27 Sambungan pipa langsung (*stub in*).
(Raswari, 2010)

2.5.2. Sambungan dengan penguatan

Sambungan dengan penguatan adalah penyambungan antara pipa dengan pipa yang menggunakan penguatan yang berupa pelana kuda (*saddle*). Gambar 2.28 berikut ini menunjukkan sambungan pipa dengan penguatan.



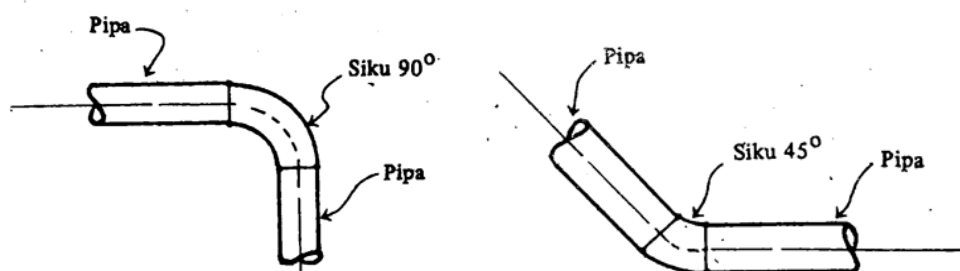
Gambar 2.28 Sambungan pipa dengan penguatan.
(Raswari, 2010)

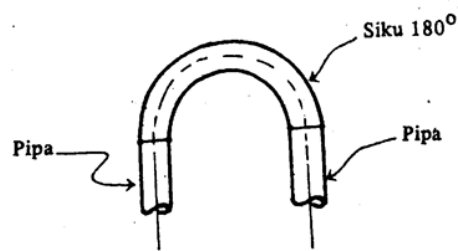
2.5.3. Sambungan menggunakan alat penyambung (*fitting*)

Berikut ini dapat dilihat beberapa contoh penyambungan pipa dengan pipa yang menggunakan alat penyambung (*fitting*), untuk mengubah arah aliran atau memperkecil jalur pipa.

2.5.3.1. Siku (*elbow*)

Penyambungan pipa dengan menggunakan siku (*elbow*) untuk merubah arah aliran pada suatu sistem perpipaan. Gambar 2.29 berikut ini menunjukkan sambungan pipa dengan *elbow* 90° , 45° , dan 180° .

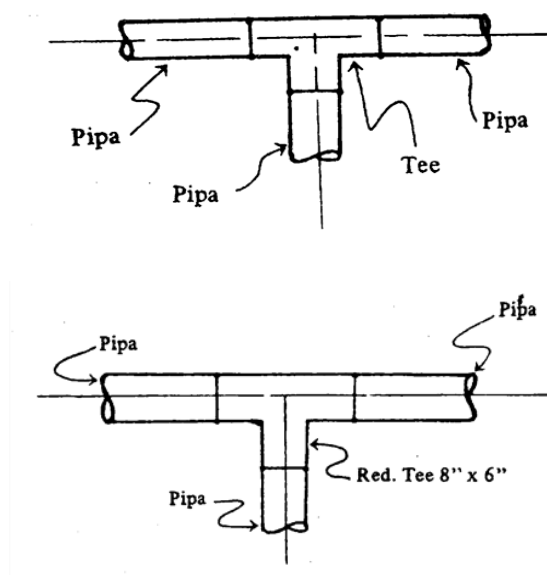




Gambar 2.29 Sambungan pipa dengan *ellbow* 90^0 , 45^0 , dan 180^0
(Raswari, 2010)

2.5.3.2. Sambungan Te (*tee*)

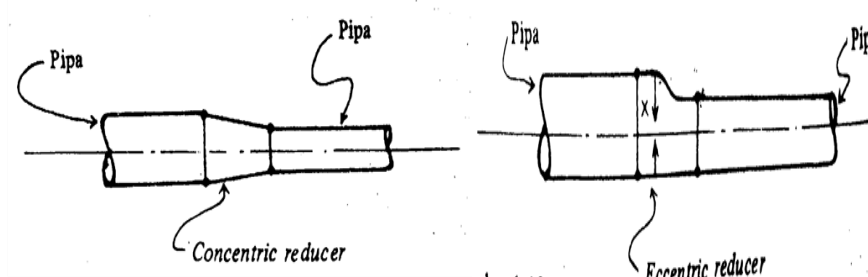
Sambungan pipa menggunakan Te (*tee*) berfungsi untuk membuat percabangan 90^0 pada suatu aliran fluida pada sistem perpipaan. Gambar 2.30 berikut ini menunjukkan sambungan pipa dengan tee dan tee $8'' \times 6''$.



Gambar 2.30 Sambungan pipa dengan tee dan tee $8'' \times 6''$
(Raswari, 2010)

2.5.3.3. Pemerkecilan (*reducer*)

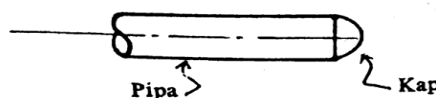
Sambungan menggunakan *reducer* berfungsi untuk pengecilan dan pembesaran jalur pipa. Berdasarkan garis sumbu nya *reducer* dibedakan menjadi dua jenis yaitu *concentric reducer* (sesumbu) dan *eccentric reducer* (jarak antar sumbu atau offset = $0,5 (ID_{max} - ID_{min})$). Gambar 2.31 berikut ini menunjukkan sambungan pipa *concentric reducer* dan *eccentric reducer*.



Gambar 2.31 Sambungan pipa *concentric reducer* dan *eccentric reducer*.
(Raswari, 2010)

2.5.3.4. Kap (*cap*)

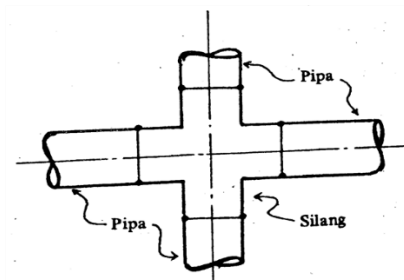
Cap digunakan untuk menutup ujung suatu jalur pipa. Untuk diameter besar terdapat beberapa jenis *cap* berdasarkan bentuknya, yaitu jenis *ellipsoidal*, *dished head* yang banyak digunakan untuk *head* dari bejana tekan (*pressure vessel*). Gambar 2.32 berikut ini menunjukkan sambungan pipa dengan kap (*cap*).



Gambar 2.32 Sambungan pipa dengan kap (*cap*).
(Raswari, 2010)

2.5.3.5. Silang (*cross*)

Sambungan silang (*Cross*) adalah sambungan cabang dengan dua pipa cabang membentuk sudut 90° . *Cross* digunakan untuk percabangan dengan keterbatasan ruang, banyak digunakan pada perpipaan di anjungan lepas pantai dan kapal-kapal (*marine piping*). *Cross* tidak dianjurkan pada percabangan dengan ruang yang cukup dan dianjurkan menggunakan *tee*. Gambar 2.33 berikut ini menunjukkan sambungan pipa dengan silang (*cross*).

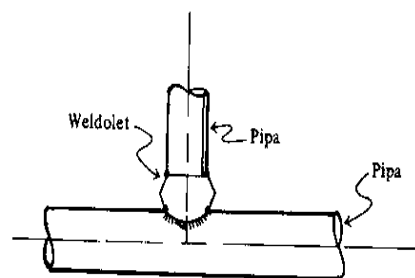


Gambar 2.33 Sambungan pipa dengan silang (*cross*).
(Raswari, 2010)

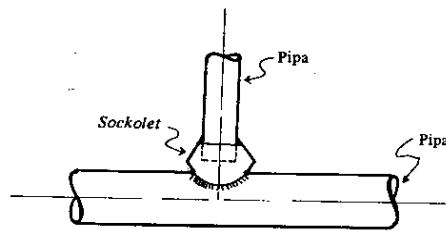
Sambungan perpipaan secara sambungan ulir atau flens ini adalah sambungan yang lebih mudah dalam pelaksanaannya, jika dibanding sambungan pengelasan. Penyambungan ini dilakukan pada masing-masing alat yang telah mempunyai pasangannya. Hanya tinggal menentukan jenis ketahanan materialnya terhadap tekanan, gaya, tegangan, temperatur, korosi aliran dan lenturnya.

2.5.4. Sambungan pipa cabang menggunakan *O'let*

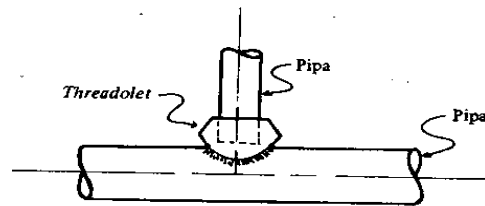
Dari segi kekuatan dan teknis, sambungan pipa cabang yang menggunakan *o'let* lebih kuat dan lebih baik dari sambungan yang menggunakan penguat seperti pelana kuda (*saddle*), tetapi dari segi ekonomi sambungan *o'let* lebih mahal. Gambar 2.34, Gambar 2.35 dan Gambar 2.36 berikut ini menunjukkan sambungan pipa cabang menggunakan *O'let*.



Gambar 2.34 Sambungan *weldolet* dan pipa dengan pengelasan.
(Raswari, 2010)



Gambar 2.35 Sambungan *sockolet* dan pipa secara sok dan las.
(Raswari, 2010)



Gambar 2.36 Sambungan *threadolet* dan pipa secara ulir (*threaded*).
(Raswari, 2010)

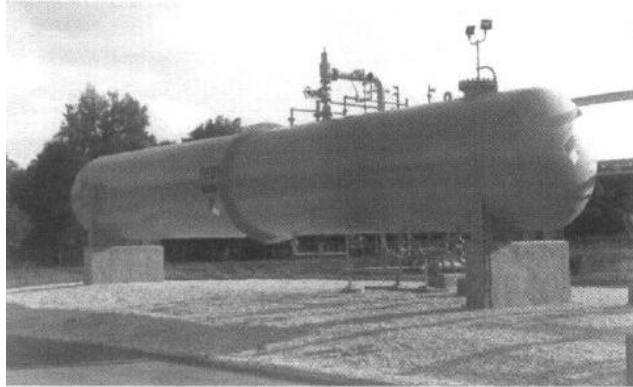
2.6. Mechanical Equipment

Mechanical equipment merupakan fasilitas lain dalam sistem perpipaan selain komponen-komponen pipa. *Mechanical equipment* digunakan untuk memulai, menghentikan, memanaskan, mendinginkan, mencairkan, menguapkan, menyimpan, mencampur dan memisahkan fluida mengalir yang melalui sistem perpipaan. Berikut ini jenis- jenis *mechanical equipment* yang ada pada suatu *plant*.

2.6.1. Horizontal vessels/accumulators

Horizontal vessel adalah tangki penyimpanan berbentuk silinder yang sejajar dengan *horizon* dan digunakan untuk menerima dan menyimpan fluida yang berasal dari unit lain. Pada bagian bawah *horizontal vessel* terdapat *saddle* yang telah dilas untuk menghindarkan *vessel* meluncur dari pondasi beton. *Horizontal vessel* mempunyai beberapa katup (*nozzle*) yang memiliki fungsi berbeda. Katup yang ada pada bagian atas digunakan untuk jalan masuknya fluida ke dalam *vessel*. Katup pada bagian bawah digunakan untuk jalan keluarnya fluida dari *vessel*. Ada juga katup yang berukuran besar yang disebut *manhole* yang digunakan sebagai pintu masuk ke dalam *vessel* untuk melakukan pemeriksaan

maupun pemeliharaan bagian *internal*. Gambar 2.37 berikut ini menunjukkan *horizontal vessel*.



Gambar 2.37 *Horizontal vessel*
(Parisher dkk, 2002)

2.6.2. *Vertical vessel/fractionation columns*

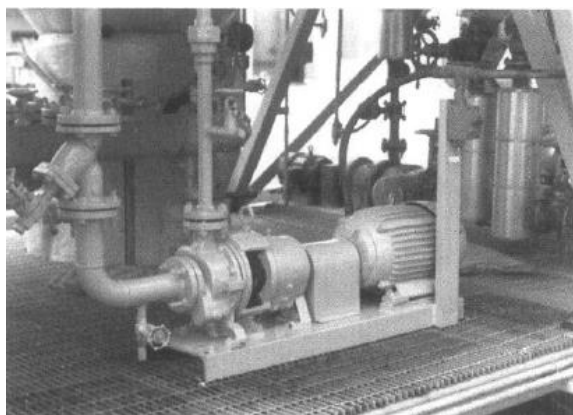
Vertical vessel adalah sebuah *vessel* berbentuk silinder yang panjang sumbuannya tegak lurus terhadap *horizon*. Dalam sebuah *plant*, *vertical vessel* sangat mudah untuk diketahui karena tingginya yang bisa mencapai 200 kaki. Gambar 2.38 berikut ini menunjukkan *vertical vessel*.



Gambar 2.38 *Vertical vessel*.
(Parisher dkk, 2002)

2.6.3. *Pumps*

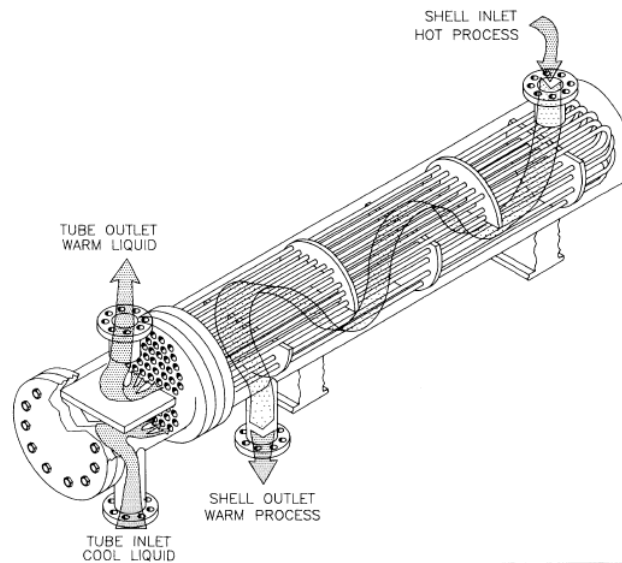
Pompa adalah alat mekanis yang digunakan untuk memindahkan fluida di bawah tekanan dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Pompa mempercepat kecepatan dimana fluida bergerak di dalam pipa, dengan demikian terjadi peningkatan laju aliran. Pompa digunakan dalam fasilitas perpipaan dan mempunyai beberapa klasifikasi seperti : *sentrifugal*, *reciprocating*, atau *rotary*. Gambar 2.39 berikut ini menunjukkan pompa.



Gambar 2.39 *Pump*.
(Parisher dkk, 2002)

2.6.4. *Shell and tube exchanger*

Shell and tube exchanger melakukan tugasnya dengan cara mensirkulasikan cairan panas di sekitar *tube* (pipa kecil) yang mengandung cairan pendingin. Cairan panas bersirkulasi di area tertutup yang disebut *shell* (cangkang). *Tube* yang mengandung cairan pendingin dilingkarkan melalui *shell*. Cairan panas di dalam *shell* menghangatkan cairan pendingin di dalam *tube*, sementara cairan pendingin di dalam *tube*, mendinginkan cairan hangat di dalam *shell*. Kontak antara cairan dingin dan panas secara alami akan menukar panas dari yang awalnya panas menjadi dingin. Gambar 2.40 berikut ini menunjukkan *Internal view of a shell and tube exchanger*.



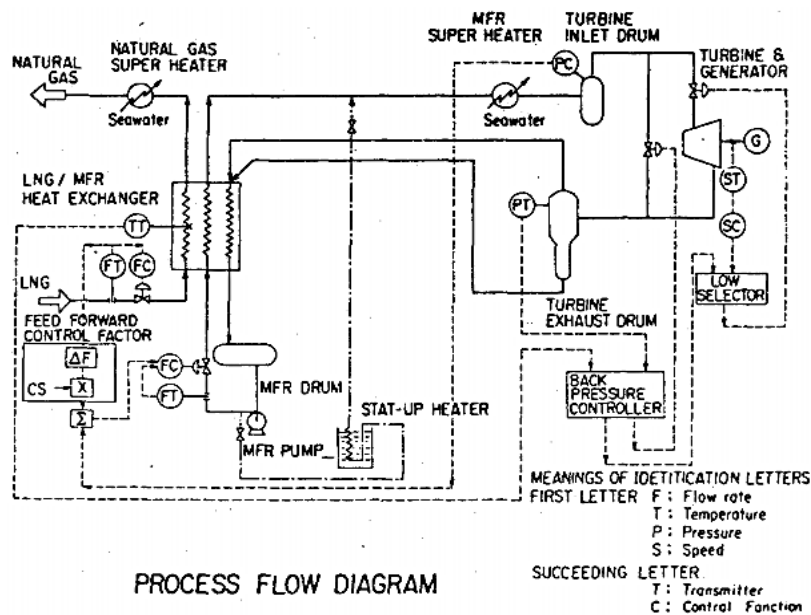
Gambar 2.40 *Internal view of a shell and tube exchanger.*
(Parisher dkk, 2002)

2.7. Penggambaran Proses Perencanaan Sistem Perpipaan

Sebelum memulai pembangunan sebuah *plant*, dalam pengerjaannya dibutuhkan sebuah acuan, diantaranya dapat berupa dokumen dan gambar teknik yang mendukung yang memberikan informasi mengenai hal-hal apa saja yang harus dikerjakan dalam membangun *plant* tersebut.

2.7.1. PFD (*process flow diagram*)/diagram proses.

Diagram proses berguna untuk menunjukkan aliran suatu proses yang terjadi dalam suatu pabrik yang akan dibangun. Biasanya diagram ini menggunakan simbol-simbol yang menggunakan simbol internasional. Untuk menunjukkan arah proses digunakan tanda panah. Penggambaran diagram proses dapat disajikan berdasarkan kebutuhan yang diperlukan. Gambar 2.41 berikut ini menunjukkan contoh diagram aliran proses.



Gambar 2.41 Contoh diagram aliran proses.
(Raswari, 2009)

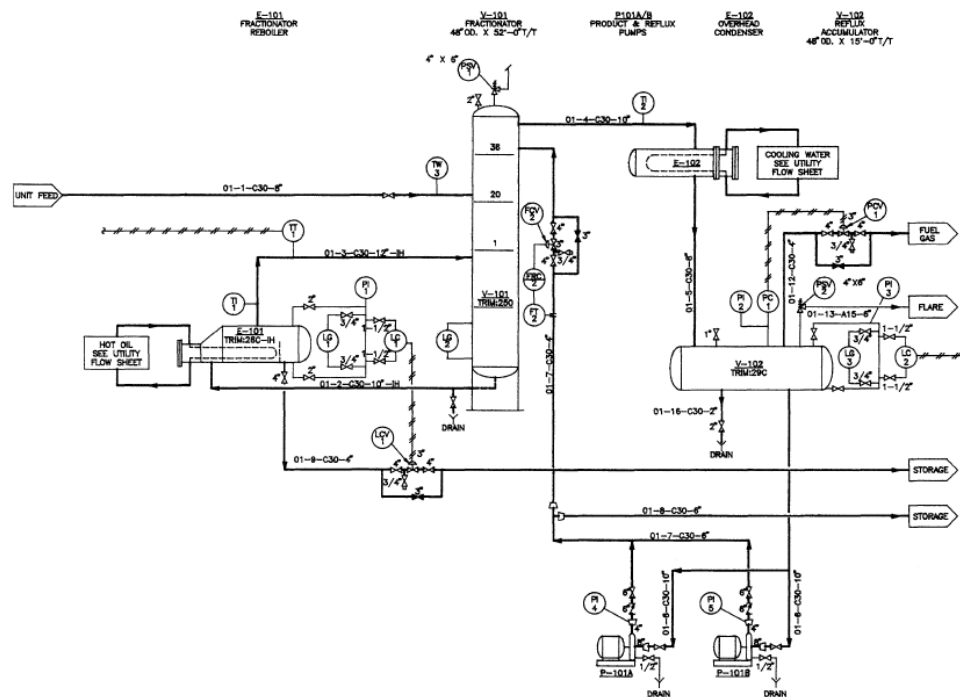
2.7.2. P&ID (Piping & Instrumentation Diagram)

Gambar P&ID atau gambar Diagram Perpipaan dan Instrumentasi merupakan *master plan* dari suatu instalasi pabrik (misal : industri proses, industri pembangkit listrik, dll). P&ID mempunyai keterkaitan yang erat dengan gambar-gambar sebagai berikut :

1. Diagram Aliran Proses
2. Proses Perpipaan dan Diagram Instrumentasi
3. Perpipaan Utilitas dan Diagram Instrumentasinya.

Pada Gambar 2.42 berikut menunjukkan contoh gambar P&ID yang meliputi beberapa hal berikut ini :

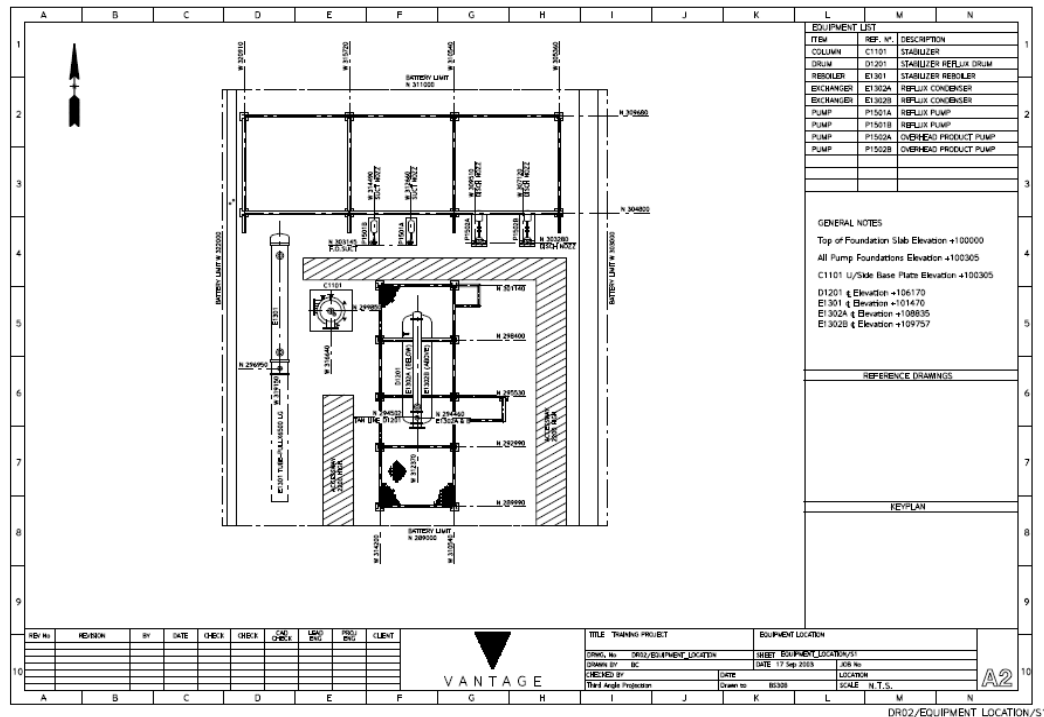
1. Line number pipa dan arah alirannya.
2. Spesifikasi pipa dan ukurannya.
3. Keseluruhan *equipment*.
4. Keseluruhan *valve*.
5. Semua instrumentasi dengan alat pengontrolnya.



Gambar 2.42 Contoh gambar P&ID.
(Parisher dkk, 2002)

2.7.3. Gambar tata letak peralatan pabrik (*plot plan*)

Gambar tata letak peralatan pabrik (*plot plan*) adalah gambar yang memperlihatkan lokasi setiap *equipment* yang dilihat dari atas. Gambar *plot plan* merupakan hal yang penting pada sistem perencanaan perpipaan, karena perencanaan perpipaan akan mengambil pedoman jalur-jalurnya dari gambar ini pada daerah proses. Gambar 2.43 berikut ini menunjukkan *plot plan* pada sebuah unit proses.



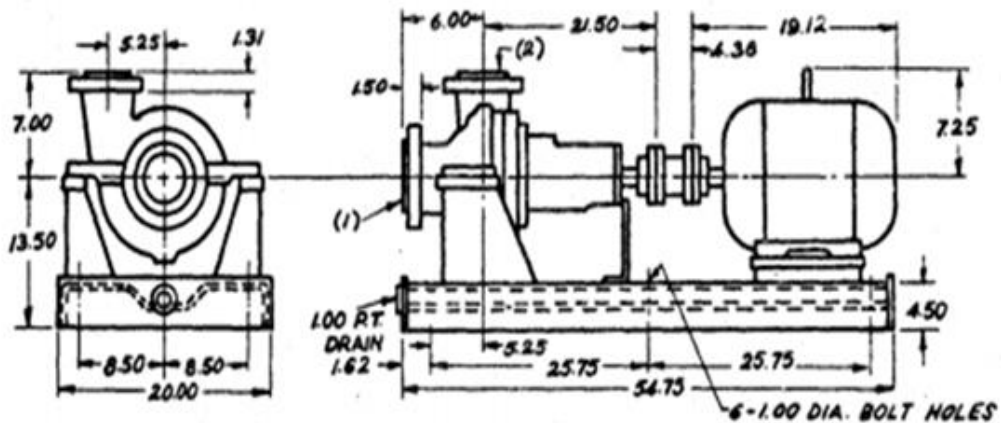
Gambar 2.43 Plot plan pada sebuah unit proses.

2.7.4. Gambar peralatan (*equipment*)

Gambar peralatan (*equipment*) adalah peralatan yang dihubungkan dengan pipa antara yang satu dengan yang lainnya, seperti tangki bertekanan, *vessel horizontal* atau *vertikal*, alat penukar kalor (*heat exchanger*), pompa, kompresor, dsb. Pada umumnya gambar peralatan ini telah direncanakan oleh pabrik pembuatnya yang dilengkapi dengan spesifikasi tekniknya. Sehingga dalam merencanakan tata letak (*plot plan*), pipa dan peralatan hanya perlu menambahkan dudukan seperti *plate form* atau tangga (*ladder*) jika diperlukan, serta peralatan lain yang tidak disebutkan atau dispesifikasikan oleh pabrik/*vendor*.

Gambar peralatan haruslah diusahakan dengan data selengkap mungkin untuk memudahkan perencanaan penggambaran perpipaan, karena itu letak atau posisi *nozzle* harus benar-benar tepat, baik koordinat lokasi, orientasi, elevasi, ukuran, dan *rating* (tekanan) yang diizinkan, serta penempatan instrumentasi dan perlengkapan lain yang dibutuhkan.

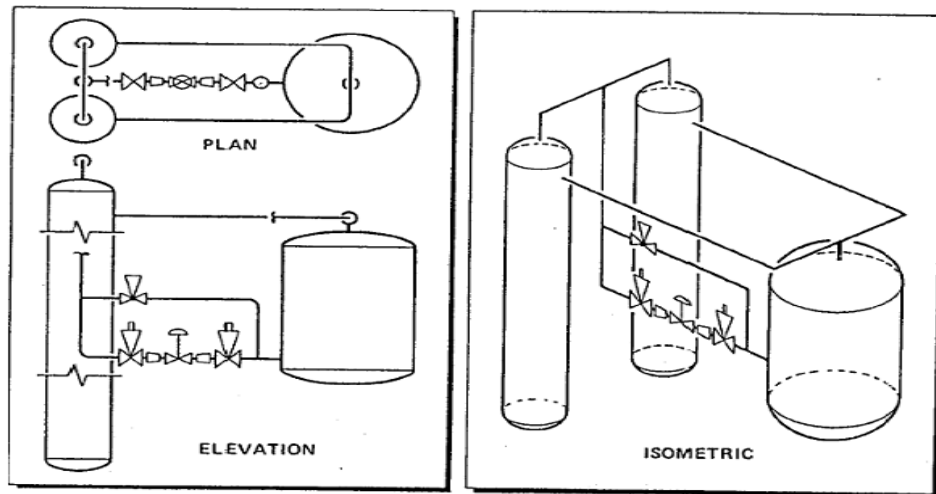
Dengan memperhatikan semua data peralatan yang ada dan batasan-batasan yang diizinkan maupun yang tidak diizinkan, maka pelaksanaan perencanaan penggambaran perpipaan dapat dilakukan dengan baik. Gambar 2.44 berikut ini menunjukkan contoh gambar *equipment* pompa.



Gambar 2.44 Contoh gambar *equipment* pompa.
(Raswari, 1987)

2.7.5. Gambar isometrik

Gambar isometrik merupakan gambar pelaksanaan suatu konstruksi perpipaan. Sehingga seorang mandor atau kepala mandor haruslah benar-benar menguasai cara membaca gambar serta pelaksanaan konstruksinya, begitu juga apabila ingin mengadakan pengoperasian baik pemeliharaan atau perbaikan kilang. Penggambaran isometrik tidak menunjukkan skala sebenarnya, karena poin pentingnya adalah arah dan peletakkannya, tetapi gambar isometrik dibuat tetap profesional. Tujuan *piping drawing* baik itu gambar isometrik atau lainnya adalah untuk memberikan informasi yang detail agar suatu *plan* benar-benar dapat dikonstruksi. Gambar 2.45 berikut ini menunjukkan contoh *plan view* dan *isometric view*.



Gambar 2.45 Contoh *plan view* dan *isometric view*.
(Sugeng, 2014)

2.8. Perhitungan Berat *Equipment*

Perhitungan ini dimaksudkan untuk mendapatkan berat total *equipment* yang ada pada suatu *plant*. Dengan diketahuinya berat total *equipment* suatu *plant*, maka biaya pembangunan suatu *plant* akan dapat diestimasi. Perhitungan *equipment* bejana tekan meliputi *shell*, *head*, *tubesheet*, *saddle* dan *nozzle*.

2.8.1. Perhitungan berat *shell*

Untuk mendapatkan berat *shell*, langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan tebal *shell*. Penentuan ketebalan *shell* (t) didasarkan pada dimensi luar *shell*. Besarnya tebal *shell* dapat diketahui dengan persamaan 2.1 berikut ini :

$$t = \frac{P \times R}{(S \times E) + (0,4 \times P)} + CA \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan :

- P = Tekanan desain atau MAWP (psi)
Besarnya tekanan desain dapat dilihat pada data proses.
- R = Jari-jari luar *shell/vessel* (inc)
Besarnya nilai jari-jari dapat diketahui berdasarkan besarnya nilai diameter *vessel* yang ada pada gambar 2D.

- $S = \text{Stress Value Material (psi)}$

Strees value material (S) dicari menggunakan tabel A-1 ASME B31.3.

Misalkan menggunakan pertimbangan sebagai berikut :

- Material *carbon steel A-106 Grade B*
- Temperatur (T) = 189 °F

Dengan menggunakan pertimbangan yang ada di atas ,maka akan didapat nilai **S = 20.000 psi.**

Tabel 2.1 berikut menunjukkan Tabel A-1 ASME B31.3 *BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS.*

Tabel 2.1 Tabel A-1 ASME B31.3 BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS.

STD-ASME B31.3-ENGL 1999 0759670 0607945 108

Table A-1

ASME B31.3-1999 Edition

(99)

TABLE A-1 (CONT'D)
BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS¹

Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

Material	Spec. No.	P-No. or S-No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp.		
						Tensile	Yield	to 100	200	300
Carbon Steel (Cont'd)										
Pipes and Tubes (2) (Cont'd)										
...	A 53	1	B	(57)(59)	-50 -20 A B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 106	1	B	(57)						
...	A 333	1	6	(57)						
...	A 334									
...	A 369									
...	A 381	S-1	Y35	...						
...	API 5L	S-1	B	(57)(59)(77)	B					
...	A 139	S-1	C	(8b)	A	60	42	20.0	20.0	20.0
...	A 139	S-1	D	(8b)	A	60	46			
...	API 5L	S-1	X42	(55)(77)	A	60	42			
...	A 381	S-1	Y42	...	A	60	42			
...	A 381	S-1	Y48	...	A	62	48	20.6	19.7	18.7
...	API 5L	S-1	X46	(55)(77)	A	63	46	21.0	21.0	21.0
...	A 381	S-1	Y46	...	A	63	46	21.0	21.0	21.0
...	A 381	S-1	Y50	...	A	64	50	21.3	20.3	19.3
A 516 Gr. 65	A 671	1	CC65	(57)(67)	B	65	35	21.7	21.3	20.7
A 515 Gr. 65	A 671	1	CB65	(57)(67)	A B	65	35	21.7	21.3	20.7
A 515 Gr. 65	A 672	1	B65							
A 516 Gr. 65	A 672	1	C65							
...	A 139	S-1	E	(8b)	A	66	52	22.0	22.0	22.0
...	API 5L	S-1	X52	(55)(77)	A	66	52	22.0	22.0	22.0
...	A 381	S-1	Y52	...	A	66	52	22.0	22.0	22.0
A 516 Gr. 70	A 671	1	CC70	(57)(67)	B	70	38	23.3	23.1	22.5
A 515 Gr. 70	A 671	1	CB70	(57)(67)	A B	70	38	23.3	23.1	22.5
A 515 Gr. 70	A 672	1	B70							
A 516 Gr. 70	A 672	1	C70							
...	A 106	1	C	(57)	B	70	40	23.3	23.3	23.3
A 537 Cl. 1 (≤ 2½ in. thick)	A 671	1	CD70	(67)	D	70	50	23.3	23.3	22.9
A 537 Cl. 1 (≤ 2½ in. thick)	A 672	1	D70							
A 537 Cl. 1 (≤ 2½ in. thick)	A 691	1	CMSH70							
...	API 5L	S-1	X56	(51)(55)(71)(77)	A	71	56	23.7	23.7	23.7
...	A 381	S-1	Y56	(51)(55)(71)	A	71	56	23.7	23.7	23.7







- E = Efisiensi sambungan

Efisiensi sambungan (E) dicari menggunakan tabel *types of welded joints* yang ada pada buku Megyesy halaman 172. Dengan asumsi bahwa sambungan menggunakan *type butt-joint fully radiographed*, maka didapat nilai **E = 1**

Tabel 2.2 berikut menunjukkan Tabel *types of welded joints* yang ada pada buku Megyesy halaman 172.

Tabel 2.2 *Type of welded joints.*

172

TYPES OF WELDED JOINTS					
TYPES CODE UW-12		JOINT EFFICIENCY, E When the Joint:			
		a. Fully Radio- graphed	b. Spot Examined	c. Not Examined	
1		Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surface. Backing strip if used shall be removed after completion of weld.	1.00	0.85	0.70
2	 For circumferential joint only	Single-welded butt joint with backing strip which remains in place after welding	0.90	0.80	0.65
3		Single-welded butt joint without use of backing strip	—	—	0.60
4		Double-full fillet lap joint	—	—	0.55
5		Single-full fillet lap joint with plug welds	—	—	0.50
6		Single full fillet lap joint without plug welds	—	—	0.45

- CA = Faktor korosi/*Corrosion allowance* (inc)

Besarnya nilai faktor korosi yaitu 0,125 inc

- t = Tebal *Shell* (inc)

Dengan diketahuinya tebal *shell* dan diameter *vessel*, maka berat dari *shell* dapat diketahui yaitu menggunakan tabel *weight of shell and heads* yang ada pada buku Megyesy.

Tabel 2.3 berikut menunjukkan Tabel *weight of shell and heads* yang ada pada buku Megyesy.

Tabel 2.3 *Weight of shell & heads.*

376

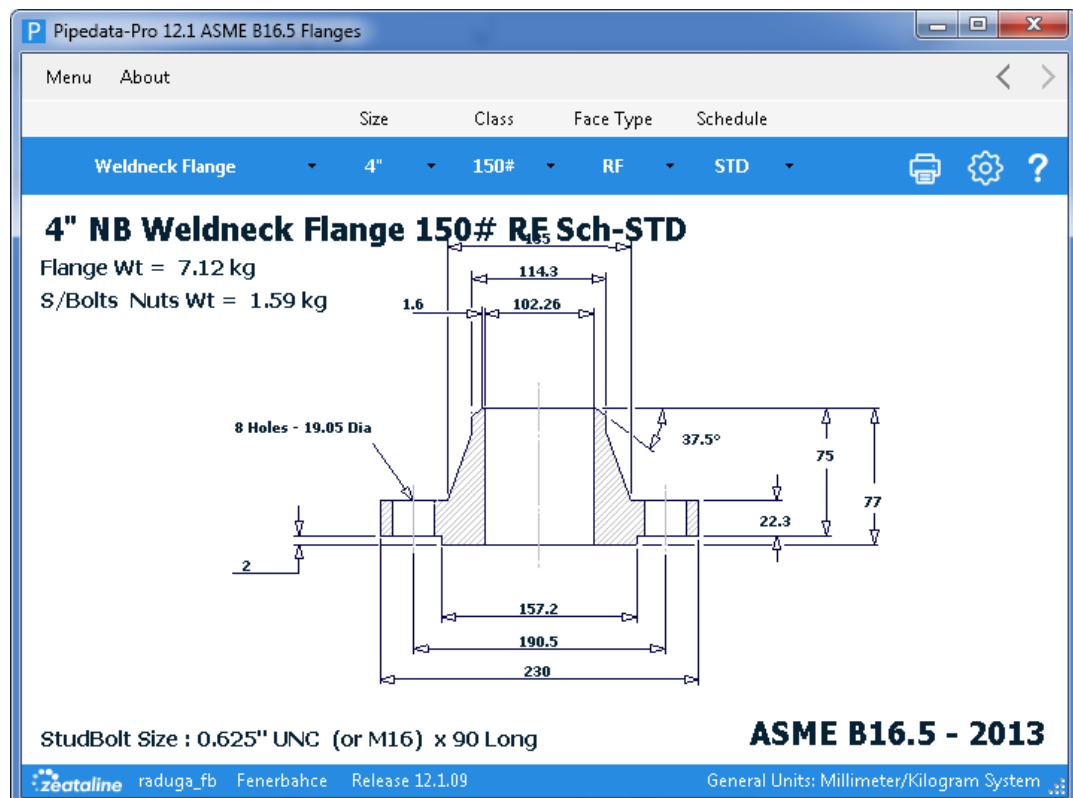
WEIGHT OF SHELLS & HEADS										
DIAM. VESSEL	WALL THICKNESS									
	3/8"					7/16"				
	SHELL		HEAD			SHELL		HEAD		
	I.S.	O.S.	ELLIP	F.&D.	HEMIS	I.S.	O.S.	ELLIP	F.&D.	HEMIS
12	50	47	33	22	32	58	54	41	26	37
14	58	55	42	28	43	67	63	49	33	50
16	66	63	50	35	55	77	73	61	41	65
18	74	71	61	42	70	86	82	71	52	82
20	82	79	70	52	85	95	91	85	61	100
22	90	87	82	61	103	105	101	97	71	121
24	98	95	94	70	122	114	110	109	82	143
26	106	103	105	82	143	123	119	122	97	168
28	114	111	121	94	166	133	129	141	109	194
30	122	119	137	105	190	142	138	160	122	223
32	130	127	154	121	216	151	148	180	141	253
34	138	135	173	134	243	161	157	191	156	285
36	146	143	192	147	272	170	166	224	172	319
38	154	151	213	165	303	179	176	248	192	355
40	162	159	234	180	336	189	185	273	210	393
42	170	167	257	196	370	198	194	300	229	433
48	194	191	331	252	482	226	222	386	295	564
54	218	215	415	316	609	254	250	484	368	712
60	242	239	508	386	751	282	278	592	450	877
66	266	263	610	463	907	310	306	711	540	1060
72	290	287	718	547	1079	338	334	842	639	1260
78	314	311	836	638	1265	366	362	983	745	1478
84	338	335	965	737	1466	394	391	1136	860	1713
90	362	359	1110	842	1682	422	419	1298	983	1965
96	386	383	1260	955	1912	450	447	1473	1115	2234
102	410	407	1419	1075	2158	478	475	1658	1254	2521
108	434	431	1582	1202	2418	506	503	1854	1402	2825
114	458	455	1760	1335	2694	534	531	2061	1558	3146
120	482	479	1950	1476	2984	562	559	2249	1722	3484
126	506	503	2170	1624	3288	591	587	2530	1894	3840
132	530	527	2490	1779	3608	619	615	2790	2075	4213
138	554	551	2595	1928	3942	647	643	3025	2264	4604
144	579	576	2820	2110	4292	675	671	3300	2461	5011

2.8.2. Perhitungan berat *nozzle*

Perhitungan berat *nozzle* yang terdiri dari pipa dan *flange* dapat ditentukan menggunakan aplikasi *Pipedata-Pro* versi 12.1.09. Misalkan menggunakan data *nozzle* NS1. Langkah pertama yaitu mencari berat dan panjang dari *flange* menggunakan aplikasi *Pipedata-Pro* versi 12.1.09 dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Diameter *nozzle* = 4 in
- Rating = 150 #, facing = RF
- Jenis *flange* = *weldneck flange*
- Standard = ASME B16.5

Gambar 2.46 berikut menunjukkan hasil data panjang dan berat *flange* menggunakan aplikasi *Pipedata-Pro* versi 12.1.09.



Gambar 2.46 Data berat dan panjang *flange* dari aplikasi *Pipedata-Pro* versi 12.1.09.

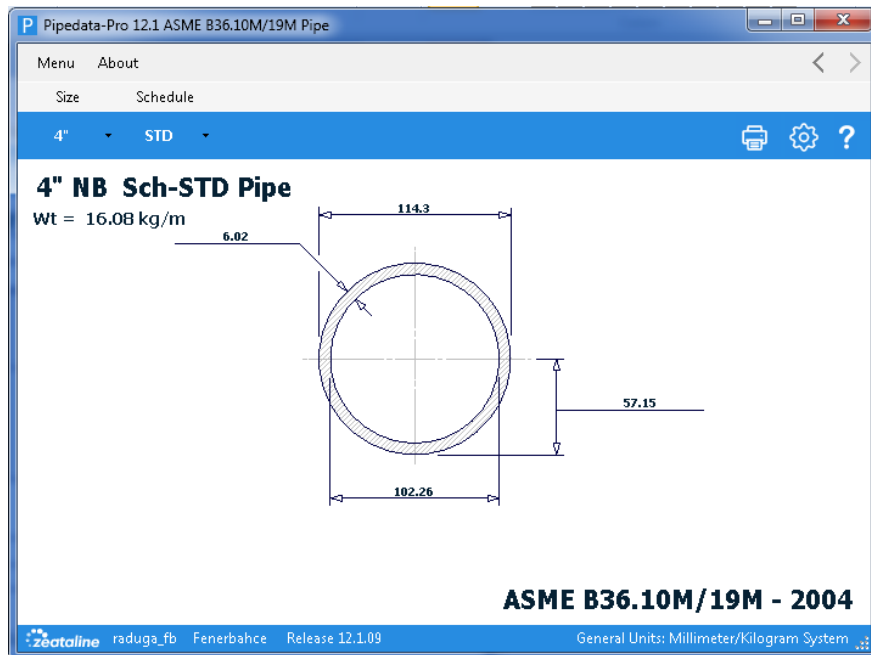
Dengan diketahuinya panjang *flange* maka panjang pipa dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.2 berikut ini :

$$\text{Panjang pipa} = \text{projection} - \text{panjang flange} \dots\dots\dots (2.2)$$

Berat pipa dapat diketahui dengan menggunakan aplikasi *Pipedata-Pro* versi 12.1.09. misalnya dengan pertimbangan :

- Diameter pipa = 4 inc
- *Schedule* = *standard*

Gambar 2.47 berikut menunjukkan hasil data berat pipa menggunakan aplikasi *Pipedata-Pro* versi 12.1.09.



Gambar 2.47 Data berat pipa dari aplikasi *Pipedata-Pro* versi 12.1.09.

Dengan diketahuinya berat pipa dan panjang pipa, maka berat pipa secara keseluruhan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.3 berikut ini :

$$\text{Berat pipa keseluruhan} = \text{berat pipa} \times \text{panjang pipa} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan diketahuinya berat pipa keseluruhan dan berat *flange* + baut maka berat *nozzle* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.4 berikut ini :

$$\text{Berat nozzle} = \text{berat (flange + baut)} + \text{berat pipa keseluruhan} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.8.3. Perhitungan berat *head*

Ada 2 jenis *head* yang digunakan dalam kasus ini yaitu jenis *ellipsoidal* dan *cone*.

2.8.3.1. Perhitungan berat *head* jenis *ellipsoidal*

Untuk mendapatkan berat *head* jenis *ellipsoidal*, langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan tebal *head*. Penentuan ketebalan dinding didasarkan pada dimensi luar *head*. Besarnya tebal dinding *head* dapat diketahui dengan persamaan 2.5 berikut ini :

$$t = \frac{P \times D}{(2 \times S \times E) + (1,8 \times P)} + CA \dots\dots\dots(2.5)$$

keterangan :

- P = Tekanan desain atau MAPW (psi)
Besarnya tekanan desain dapat dilihat pada data proses.
- D = Diameter luar *head* (inc)
Besarnya diameter luar *head* dapat dilihat pada gambar 2D.
- S = *Stress Value Material* (psi)
Strees value material (S) dicari menggunakan tabel A-1 ASME B31.3.
Misalkan menggunakan pertimbangan sebagai berikut :
 - Material *carbon steel* A-106 Grade B
 - Temperatur (T) = 189 °F
 Dengan menggunakan pertimbangan yang ada di atas, maka didapat nilai **S = 20.000 psi**.
- E = Efisiensi sambungan
Efisiensi sambungan (E) dicari menggunakan tabel *types of welded joints* yang ada pada buku Megyesy halaman 172. Dengan asumsi bahwa

sambungan menggunakan *type butt-joint fully radiographed*, maka didapat nilai $E = 1$

- t = Tebal *head* (inc)

Dengan diketahuinya tebal *head* dan diameter *vessel*, maka berat dari *head* jenis *ellipsoidal* dapat diketahui yaitu menggunakan tabel *weight of shell and heads* yang ada pada buku Megyesy.

2.8.3.2. Perhitungan berat *head* jenis *cone/conical section*

Untuk mendapatkan berat *head* jenis *cone/conical section*, langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan tebal *head*. Penentuan ketebalan dinding didasarkan pada dimensi luar *head*. Besarnya tebal dinding *head* dapat diketahui dengan persamaan 2.6 berikut ini :

$$t = \frac{P \times D}{2 \times \cos \alpha \times (S \times E + 0,4 \times P)} + CA \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- P = Tekanan desain atau MAWP (psi)
- S = *Stress Value Material* (psi)
- E = Efisiensi Sambungan
- D = Diameter Luar (inc)
- t = Tebal Dinding (inc)
- Sudut $\alpha \leq 30^0$

Dengan diketahuinya besarnya nilai tebal *head*, maka berat *head* dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.7 berikut ini :

$$W = m \times g = \rho \times V \times g = \rho \times (A \times t) \times g \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- W = Berat *head* (N)
- m = massa (kg)
- g = percepatan gravitasi (m/s^2)
- V = volume (m^3)
- ρ = massa jenis (kg/m^3)

- A = luas permukaan (m²)
- t = tebal dinding (m)

2.8.4. Perhitungan berat *tubesheet*

Berat dari *tubesheet* dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$W = m \times g = \rho \times V \times g = \rho \times (A \times t) \times g \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- W = Berat *tubesheet* (N)
- m = massa (kg)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- V = volume (m³)
- ρ = massa jenis (kg/m³)
- A = luas permukaan (m²)
- t = tebal *tubesheet* (m)

2.8.5. Perhitungan berat *saddle* dan plat aus.

Berat dari *saddle* dan plat aus dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut :

$$W = m \times g = \rho \times V \times g = \rho \times (A \times t) \times g \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

- W = Berat *saddle* & plat aus (N)
- m = massa (kg)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- V = volume (m³)
- ρ = massa jenis (kg/m³)
- A = luas permukaan (m²)
- t = tebal *saddle* (m)