

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Metode *blow molding* adalah suatu proses manufaktur mencetak benda kerja dari material plastik, biasanya material yang digunakan adalah jenis material PET. Metode *blow molding* diawali dengan memanaskan material plastik PET (*bottle preform*) didalam sebuah pemanas (*heater*) hingga mencapai temperatur kurang lebih 88-116°C dan dilanjutkan dengan meniupkan atau menghembuskan udara kedalam *bottle preform* yang nantinya material *bottle preform* akan mengembang mengikuti bentuk dari cetakan. Dalam proses pembuatan *injector blowing tools* perlu dibutuhkan perhitungan dan pertimbangan agar nantinya proses *blowing* dapat berjalan sesuai dengan perencanaan. Adapun beberapa penelitian yang berkaitan dengan *injection blow molding*, yaitu :

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Belcher (2007). *Blow molding* mencakup tiga proses termoplastik utama, yaitu *extrusion blow molding*, *stretch blow molding*, and *injection blow molding*. *Blow molding* adalah proses pembentukan objek atau produk berongga dengan cara menggembungkan atau meniup tabung termoplastik dari bahan *polyethylene terephthalate* (PET) dan kemudian dibentuk rongga cetakan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Norman (2006). *Blow molding* adalah proses untuk memproduksi benda – benda berongga, terutama dari bahan termoplastik. Botol dan kemasan adalah aplikasi utama dari bagian *blow molding*. Sebagai segmen industri, sekitar 80% dari *polyethylene* (PE) dan bagian utama dari bahan *polyethylene terephthalate* (PET) digunakan untuk botol dan kemasan oleh industri *blow molding*. Berbagai aplikasi bahan diantaranya *polypropylene*, *polyvinyl chloride*, *polycarbonate*, dan *fuoropolymer*. Menurut Norman, *injection blow molding* biasanya digunakan untuk menghasilkan cetakan yang disebut *preform*. *Injection blow molding* biasanya digunakan untuk membuat

bagian – bagian kecil yang membutuhkan volume produksi tinggi dan kontrol dimensi yang baik.

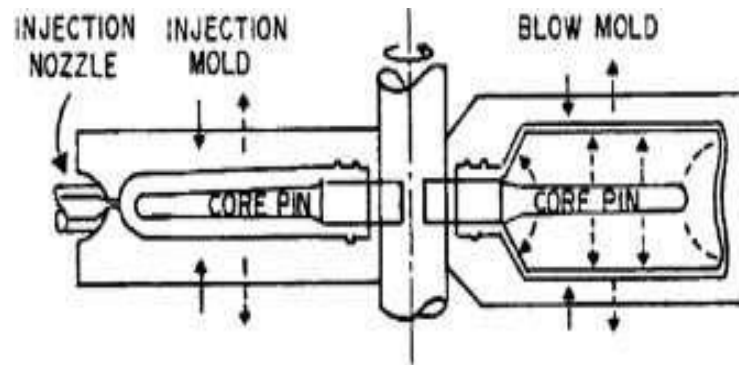
Menurut penelitian yang dilakukan Krismasurya (2015). *Injection Blow Molding* adalah proses pembentukan produk berbahan plastik dengan cara menginjeksikan terlebih dahulu bijih plastik yang akan diproses menjadi bakalan plastik (*preeform*). Pada sistem injeksi terdiri dari komponen *injection* (pengisi) dan *blower* (peniup). Secara umum digunakan untuk profil produk dengan ukuran yang relatif kecil dan terdapat ulir pada mulut botol.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Poeng (2014). Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu proses pemotongan dengan mesin pres, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (*shearing*), pengepre-san (*pressing*) dan penarikan (*drawing, elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), sekrap (*shaping*). Proses pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses pemesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi geram (*chips*) sehingga terbentuk benda kerja. Proses pemesinan adalah proses yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari seluruh proses pembuatan suatu mesin yang komplit dilakukan dengan proses pemesinan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Injection Blow Molding

Plastic molding adalah suatu proses pembentukan benda kerja dengan bentuk yang dikehendaki menggunakan material kompon (*compound articles / plastic*) dengan menggunakan alat bantu berupa cetakan (*mold*) yang dalam proses pembuatannya menggunakan perlakuan panas dan pemberian tekanan. Berikut adalah contoh proses *injection blow molding* seperti yang tertera pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses *injection blow molding* (Harper, 2006)

Berikut adalah tahapan proses *injection blow molding* :

1. Biji plastik dalam keadaan *melting* akan diinjeksi ke dalam *cavity* dengan bentuk *preform*.
2. Dilanjutkan dengan memindahkan plastik ke proses *blowing injection*.
3. Udara ditiupkan sehingga material plastik mengembang dan membentuk sesuai dengan bentuk cetakan (*mold*).
4. Cetakan terbuka untuk proses pengeluaran produk.

Pemilihan proses *molding* secara umum ditentukan material untuk mendapatkan sifat – sifat yang diinginkan dari benda kerja (*workpiece*) yang akan dibuat. Selain hal itu, pemilihan proses *molding* juga dipengaruhi dari bentuk desain.

Berdasarkan material plastik yang dibuat, bentuk produk, dan faktor yang mempengaruhi proses *molding*, metode proses dasar pada *molding* dibagi menjadi beberapa macam, yaitu :

- a. *Compression Molding*
- b. *Transfer Molding*
- c. *Injection Molding*
- d. *Extrusion Molding*
- e. *Blow Molding*
- f. *Vacuum Forming*

2.2.2 Blow Molding

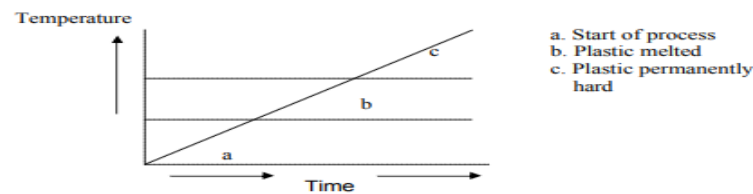
Blow molding adalah suatu proses manufaktur benda berongga yang salah satu ujungnya tertutup, dengan cara *preform* atau *parison thermoplastic* dipanaskan didalam sebuah pemanas dengan suhu tertentu, dilanjutkan dengan memindahakan kedalam sebuah cetakan (*mold*) dan dilanjutkan dengan proses injeksi dengan cara meniupkan udara bertekanan tinggi kedalam *preform* atau *parison thermoplastic* melalui sebuah *injector* agar *preform* atau *parison thermoplastic* mengembang mengikuti bentuk dari cetakan.

Pada metode *blow molding* banyak digunakan untuk membuat benda – benda dan peralatan dari plastik berbentuk tabung, seperti botol, gelas, kemasan kosmetik, dan peralatan lainnya yang mempunyai rongga didalamnya. Berikut adalah komponen utama dan urutan proses dari *blow molding* :

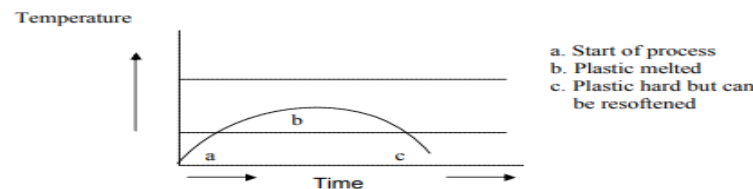
- a. Proses pertama adalah pemilihan *botte preform* yang yang dipanaskan pada alat pemanas (*heater*) pada temperatur 88°C - 116°C.
- b. Pada proses kedua *bottle preform* dipindahkan kedalam sebuah cetakan (*mold*).
- c. *Bottle preform* ditiup oleh sebuah *injector* dengan tekanan sedemikian rupa agar plastik dapat mengembang mengikuti bentuk dari cetakan (*mold*).

2.3 Klasifikasi Plastik

Plastik merupakan senyawa polimer yang terbentuk dari polimerisasi molekul–molekul kecil (monomer) hidrokarbon yang membentuk rantai yang panjang dengan struktur kaku. Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*. Salah satu perbedaannya terdapat pada perlakuan panas seperti pada Gambar 2.2 dibawah.



Gambar 1. Plastik Termoset



Gambar 2. Plastik Thermoplast

Gambar 2.2 Grafik perlakuan panas pada *Thermoset* dan *Thermoplastic*.

(Sumber : Mujiarto, 2005)

a. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah polimer yang tidak memiliki ikatan silang antar molekul. Material *thermoplastic* dapat ditemukan dalam struktur linear atau bercabang. Sebuah material *thermoplastic* yang mengalami proses pemanasan akan menjadi cairan yang sangat kental yang dapat dibentuk dengan menggunakan peralatan pengolahan plastik. *Thermoplastic* akan selalu melunak jika dipanaskan dan mengeras jika didinginkan. Yang termasuk plastik thermoplast antara lain : (PE, PP, PS, ABS, SAN, nylon, PET, BPT, Polyacetal (POM), PC).

b. *Thermoset*

Thermoset adalah polimer yang mempunyai sifat berbanding terbalik dengan *thermoplastic*. *Thermoset* memiliki silang antar molekul yang kuat dan apabila dipanaskan mengalami perubahan kimia sehingga bentuknya tidak dapat kembali seperti semula. Dalam kondisi umumnya *thermoset* berbentuk tepung atau cair. Yang termasuk plastik *thermoset* adalah : PU (*Poly Urethane*), UF (*Urea Formaldehyde*), MF (*Melamine Formaldehyde*), Polyester, Epoksi.

2.3.1 Karakteristik *Bottle Preform* dari Material *Polyethylene* (PET)

Bottle preform adalah sebuah produk *preform* plastik atau bentuk awal dari sebuah kemasan (botol) dengan dimensi 300ml. Material yang digunakan pada *bottle preform* adalah *polyethylene terephthalate* (PET) yang merupakan material higroskopis, yang berarti material ini menyerap air dari sekelilingnya. Namun ketika material ini “lembab” kemudian memperoleh perlakuan panas maka air akan menghidrolisi PET (penurunan ketahanan). Karena bahan jenis menyerap air maka PET perlu di *dryng* selama kurang lebih 4 jam dengan suhu 165° C-175° C, yang bertujuan untuk menghilangkan kelembaban pada material tersebut. Contoh *bottle preform* 15cm yang akan digunakan tertera pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Bottle preform* (Sumber : Brandau 2012)

PET adalah suatu resin polimer termoplastik dari kelompok *polyester*. Pada tahun 1945 melalui proses polikondensasi antara *terephthalic acid* dan *ethylene glycol* dengan konsumsi utama pada produk botol kemasan minuman, toples kemasan makanan, dan film. PET merupakan keluarga *polyester* seperti halnya PC. Polimer PET dapat diberi penguat seperti *fiber glass* atau *filler mineral*. PET dapat diproses melalui proses ekstrusi pada suhu 518-608 ° F, selain itu juga dapat diproses dengan teknik cetak injeksi maupun secara tiup. Sebelum dicetak sebaiknya resin PET dikeringkan lebih dahulu (maksimum kandungan uap air 0,02 %) untuk mencegah terjadinya proses hidrolisa selama proses pencetakan. PET mempunyai sifat-sifat seperti pada Tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1 Sifat – sifat PET.

Sifat	Besaran
Massa jenis	1.33-1.45 g/cm ³
Modulus elastisitas	2100-3100 MPa
Kandungan kristal	30-40 %
Kekuatan mulur	55-80 MPa
Regangan mulur	4-7 %
Regangan patah	> 50 %
Tm	250-260° C
Suhu proses (injeksi)	440-660° F
Suhu proses (ekstrusi)	520-580° F
Penyusutan	1.3 – 1.5 %
Kekerasan (<i>Rockwell</i>)	M 94
Tekanan <i>cavity</i>	300-500 Bar
Tekanan injeksi	1200-1700 Bar

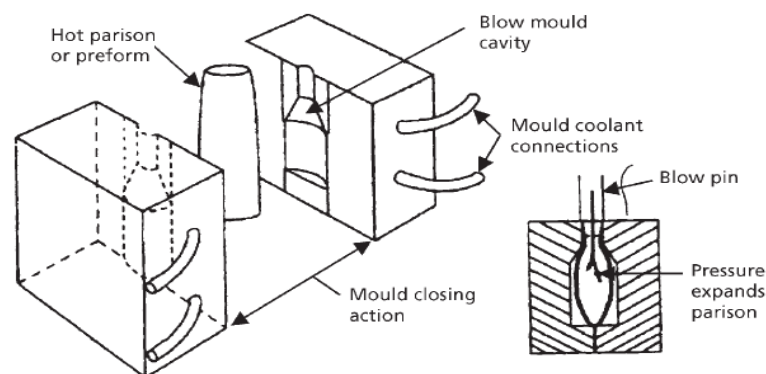
(Sumber : Budiyanoro, 2009).

Secara ringkas PET mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- a. Keras, kaku, kuat, dan bahan yang secara dimensi stabil.
- b. Sifat penghalang gas baik.
- c. Menyerap sedikit air.
- d. Tahan gores
- e. Ketahanan terhadap mineral oil, larutan kimia dan asam.
- f. Seringkali ditambah bahan penguat.

2.4 *Injector Tools* pada *Injection Blow Molding*

Secara umum pengertian *injection blow molding* adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu yang mendapat perlakuan panas dan pemberian tekanan dengan menggunakan alat bantu berupa alat injeksi (*injector tools*). *injector tools* pada prinsipnya adalah suatu alat (*tool*) yang di rancang menggunakan material alumunium yang digunakan untuk menginjeksikan udara bertekanan tinggi pada komponen dari material plastik. Proses dasar pada *injection blow molding* tertera pada Gambar 2.4 dibawah ini :



Gambar 2.4 Proses dasar pada *blow molding*.
(Norman C. Lee, 2006).

Injector tools mempunyai prinsip kerja untuk meniupkan udara bertekanan tinggi kedalam *bottle preform* yang sebelumnya sudah dipanaskan didalam sebuah pemanas (*heater*) dan dipindahkan kedalam sebuah wadah cetakan (*mold*). Pada bagian *injector* terdapat selang sebagai saluran udara masuk yang tersambung pada kompresor.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan *injector tools* pada *injection blow molding* diantaranya adalah :

- a. Pemilihan material yang memiliki daya tahan terhadap karat dan tidak beracun.
- b. Pemilihan bahan yang tahan terhadap tekanan tinggi.
- c. Pada bagian penyambungan komponen diusahakan rapat dan kedap udara.

2.5 Material pada *line slider* dan *injector tools*

Komponen pada pembuatan *injector tools* meliputi *injector tools* sendiri yang akan menggunakan material dari alumunium daur ulang dan untuk *line slider* (pilar dudukan) akan menggunakan material dari besi plat baja karbon rendah.

2.5.1 Alumunium

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat - sifat lainnya. Kekuatan tarik dari alumunium murni adalah 90Mpa, sedangkan alumunium paduan mempunyai kekuatan tarik sekitar 200Mpa – 600Mpa. Sifat umum dari alumunium adalah sifat yang mampu cor yang baik dan sifat mekanik yang rendah. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan industri, kongsruksi, dan lain sebagainya.

Aluminium adalah salah satu bahan teknik yang sangat penting dari jenis logam *Non-ferro* karena secara umum Aluminium memiliki sifat yang dapat memenuhi syarat dari berbagai sifat produk komponen atau peralatan teknik. Salah satu keunggulan dari alumunium ialah berat jenisnya yang rendah yakni hanya 2,702 Kg/dm³.

Terdapat beberapa sifat penting yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik, diantaranya:

- a. Konduktifitas listrik tinggi (*high electrical conductivity*)

Konduktifitas pada alumunium dua kali lebih besar dibandingkan dengan tembaga dengan perbandingan berat yang sama.

- b. Mudah dalam pembentukannya (*easy fabrication*)

Alumunium adalah logam yang mudah difabrikasi seperti *forging*, *bending*, *casting*, *rolling*, *drawing*, *machining*, dan ekstrusi. Kandungan struktur yang ada pada alumunium adalah struktur kristal *FCC (Face Centered Cubic)*, sehingga alumunium mempunyai

struktur yang ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Alumunium sangat mudah dibentuk menjadi bentuk-bentuk yang tipis dan kompleks.

c. Ringan (*light in weight*)

Alumunium memiliki sifat yang ringan dibandingkan dengan magnesium dengan densitas sekitar 1/3 dari densitas besi. Kekuatan pada paduan alumunium dapat mendekati dari kekuatan baja karbon dengan kekuatan tarik (*tensile strenght*) 700 Mpa (100 Ksi). Dengan sifat yang ringan dan kekuatan yang cukup baik alumuniu sering diaplikasikan pada pesawat terbang, komponen kendaraan bermotor, alat rumah tangga, hingga komponen pada roket.

d. Tangguh pada temperatur rendah (*high toughness at cryogenic temperature*)

Sifat yang tidak akan menjadi getas meskipun pada temperatur -100°C, bahkan akan mejadi lebih keras dan ketangguahn akan meningkat. Sehingga alumunium dapat digunakan pada material seperti bejana yang beroperasi pada temperature rendah.

e. Mudah didaur ulang (*recyclability*)

Alumunium mudah untuk didaur ulang, dengan berbagai keunggulan alumunium pada saat ini sangat berkembang pesat terutama pada industri otomotif dan pesawat terbang.

f. Tahan korosi (*corrosion reistance*)

Alumunium tidak berkarat karena adanya lapisan pelindung yang terdapat pada permukaan alumunium. Alumunium tahan terhadap asam nitrat konsentrat, asam fosfat encer, dioksida belerang dan senyawa nitrogen.

g. Tidak beracun (*non toxic*)

Alumunium tidak memiliki kandungan yang dapat merusak organ tubuh manusia, sehingga alumunium banyak sekali digunakan pada kemasan makanan seperti kaleng makanan dan minuman.

h. Konduktifitas panas tinggi (*high thermal conductivity*)

Konduktifitas panas pada aluminium tiga kali lebih besar dibandingkan dengan besi. Sehingga banyak digunakan pada produk seperti koil evaporator, radiator mobil, alat penukar kalor, dan komponen mesin.

Jenis aluminium dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok menurut sifat pengerjaannya, yaitu :

a. Aluminium paduan tempa (*wrought Aluminium Alloy*)

Pada proses ini terbagi menjadi dua macam aluminium paduan tempa, yaitu yang bisa diheatreatment dan aluminium paduan yang tidak bisa diheatreatment.

b. Aluminium paduan Tuangan (*Cast Aluminium Alloy*).

Pada proses ini terbagi menjadi dua macam yang terdiri dari aluminium *die casting* dan *permanent casting*.

2.5.2 Aluminium daur ulang

Daur ulang adalah proses untuk menjadikan suatu bahan bekas menjadi bahan baru dengan menggunakan strategi pengelolaan sampah padat yang terdiri dari, pemilahan, pengumpulan, pemrosesan, pendistribusian dan pembuatan produk dengan tujuan mencegah adanya sampah yang sebenarnya dapat menjadi sesuatu yang berguna, mengurangi penggunaan bahan baku yang baru, mengurangi penggunaan energi, mengurangi polusi, kerusakan lahan, dan emisi gas rumah kaca. Salah satunya adalah daur ulang dari aluminium yang pada dasarnya memiliki sifat mampu cor yang baik dan sifat mekanik yang rendah. Gambar 2.5 dibawah adalah piston bekas yang digunakan dengan jenis UNS 4032.



Gambar 2.5 Alumunium daur ulang

Pada pembuatan *injector tools* pada *blow molding machine* akan memanfaatkan kembali alumunium bekas dari piston (alumunium *alloy* UNS 4032) yang nantinya akan dilebur dan dilanjutkan dengan proses pengecoran, yang bertujuan untuk menjadi salah satu upaya menanggulangi kelangkaan bahan baku alumunium. Selain itu akan lebih menghemat sumber daya yang ada di alam. Produk – produk alumunium sering dihasilkan melalui proses pengecoran (*casting*) dan pembentukan (*forming*) seperti proses pemotong pembubutan, pengefraisan, dan pengeboran.

2.5.3 Plat Baja

Baja adalah logam campuran yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Jadi baja berbeda dengan besi (Fe), alumunium (Al), seng (Zn), tembaga (Cu), dan titanium (Ti) yang merupakan logam murni. Dalam senyawa antara besi dan karbon (unsur non logam) tersebut besi menjadi unsur yang lebih dominan dibanding karbon. Kandungan karborg berkisar 0.2 - 2,1% dari berat baja, tergantung dari tingkatannya.

Besi dan baja mempunyai kandungan unsur utama yang sama yaitu Fe, hanya kadar karbonlah yang menjadi pembeda besi dan baja. Besi dan baja pada saat ini sangat banyak digunakan mulai dari yang kecil seperti jarum, peniti sampai dengan alat –alat berat. Berikut adalah klasifikasi dari sifat mekanik baja, antara lain :

- a. Kekuatan (*strength*) adalah kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah.
- b. Kekenyalan (*elasticity*) adalah kemampuan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen.
- c. Plastisitas (*plasticity*) adalah kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang permanen tanpa mengakibatkan adanya kerusakan.
- d. Keretakan (*creep*) merupakan kecenderungan suatu logam mengalami deformasi plastis pada saat bahan menerima beban yang besarnya relatif tetap.
- e. Kekakuan (*stiffness*) merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban / tegangan tanpa mengakibatkan defleksi.
- f. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan berulang (*cyclic stress*).
- g. Ketangguhan (*toughness*) merupakan kemampuan bahan untuk menyerap energi tanpa mengakibatkan adanya kerusakan dan
- h. Kekerasan (*hardness*) adalah kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, penetrasi dan pengikisan.

Baja karbon terbagi menjadi 3 jenis dan mempunyai klasifikasi yang berbeda - beda. Berikut adalah tabel 2.2 yang menjelaskan tentang klasifikasi jenis baja karbon.

Tabel 2.2 Klasifikasi jenis baja karbon

No.	Jenis baja karbon	Unsur karbon	Penggunaan
1	Baja karbon tinggi	$\geq 0,60\% - 1,50\%$	<i>screw drivers, tables knives, screws, hammers, vise jaws, knives, drills.</i>
2	Baja karbon menengah	$\leq 0,30\% - 0,60\%$	as roda, rel, obeng, palu dan kereta luncur.
3	Baja karbon rendah	$\leq 0,30\%$	Rantai, paku keling, paku, roda gigi, poros, dan baut.

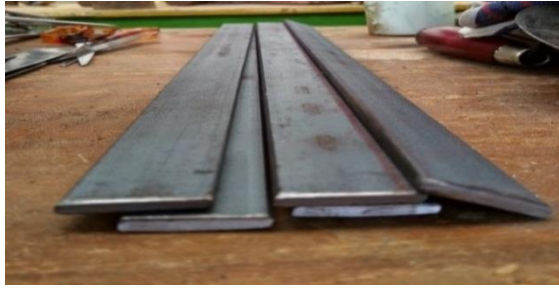
2.5.3.1 Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah adalah salah satu jenis baja karbon, dimana mempunyai kandungan unsur karbon $\leq 0,30\%$. Baja karbon rendah sangat banyak digunakan mempunyai sifat yang relative lunak dan lemah tetapi memiliki ketangguhan dan keuletan yang luar biasa sehingga mudah di *machining*. Baja karbon rendah biasanya digunakan dalam bentuk plat, sekrup, ulir, dan baut. Berikut adalah Tabel 2.3 yang menunjukkan komposisi kimia dari baja karbon rendah :

Tabel 2.3 Komposisi kimia baja karbon rendah

Unsur	Prosentase %
Mn	0,443
Si	< 0,117
Cr	0,0085
S	< 0,0002
Mo	0,0065
Al	0,0381
Ni	0,0143
C	99,350
P	0,112
Cu	< 0,0008
Fe	0,0176

Baja karbon A36 memiliki kandungan karbon 0.25% s/d 0.30% tergantung kepada tebalnya. Baja karbon struktural ini memiliki titik leleh 36 ksi (250 Mpa). Dengan begitu material baja dengan karbon rendah dipilih sebagai material utama dikarenakan sifat mekanisnya yang memiliki keuletan tinggi sehingga mudah untuk dibengkokkan agar dapat membentuk rangka yang diinginkan dan mudah untuk diproses pada proses pengelasan menggunakan tipe las Smaw. Gambar 2.6 dibawah adalah plat baja yang digunakan.



Gambar 2.6 Plat baja

2.5.3.2 Korosi dan Penanggulangan

Korosi dapat diartikan sebagai penghancuran paksa zat seperti pada logam dan bahan bangunan media sekitarnya, yang biasanya cair (agen korosif). Biasanya dimulai pada permukaan yang disebabkan oleh zat kimia dan dapat menyebar ke bagian dalam dari logam. Selain itu korosi dapat juga diartikan sebagai penurunan mutu dari suatu logam yang dapat disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitar.

Dampak dari ancaman terjadinya korosi dapat mempengaruhi penurunan kualitas dan memperburuk penampilan dari plat baja, maka perlu dikembangkan beberapa cara untuk melindungi baja tersebut dari segala kerusakan yang mungkin dapat terjadi dengan tujuan untuk memperpanjang umur pakai produk. Kerusakan yang diakibatkan oleh korosi atau karat merupakan suatu permasalahan umum yang menyebabkan degradasi material sebagai interaksi dengan lingkungan.

Korosi dapat terjadi apabila terdapat beberapa faktor sebagai berikut :

a. Katoda

Terjadi reaksi reduksi, daerah tersebut mengkonsumsi elektron

b. Anoda

Terjadi reaksi oksidasi, maka daerah tersebut akan timbul korosi



c. Ada hubungan (*Metallic Pathaway*)

Tempat arus mengalir dari anoda ke katoda

d. Larutan (*electrolyte*)

Larutan korosif yang dapat mengalirkan arus listrik.

Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu :

- a. Memodifikasi lingkungan
- b. Memodifikasi rancangan komponen
- c. Proteksi katodik dan anodik
- d. Pemilihan material
- e. Pemberian lapisan pelindung

Bagian plat baja yang sudah terkena dampak korosi akan dikendalikan menggunakan metode pemberian lapisan pelindung berupa cat. Tahap pertama adalah membersihkan kotoran korosi yang menempel pada plat baja, secara mekanis (pengamplasan) dan pencucian dengan detergen yang bertujuan untuk menghilangkan debu, minyak agar tidak bercampur pada cat dan cat dapat benar-benar menempel pada permukaan baja.

Tahap pengecatan, cat adalah suatu larutan berpigmen dalam air, minyak, maupun pelarut organik lainnya yang digunakan untuk melapisi permukaan benda-benda yang terbuat dari baja maupun kayu dengan maksud memberi perlindungan permukaan maupun memperindah penampilan. Pengecatan dapat dilakukan dengan cara penyemprotan bertekanan (*air spraying*) dengan menggunakan cat pilox.

Pada bagian alumunium tidak mengalami korosi dikarenakan adanya lapisan pelindung yang terdapat dipermukaan alumunium. Alumunium tahan terhadap air murni, asam folfat encer, asam nitrat konsentrat, dioksida belerang dan senyawa nitrogen lainnya, tetapi tidak tahan terhadap air laut, asam organik, soda mortar, dan beton. Pada suatu titik temu alumunium sendiri perlu dilapisi dengan cat atau diisolasi untuk mencegah terjadinya elektrolitis. Alumunium juga dapat dibalut dan dianodasi (*oxidase elektris*).

2.6 Pengecoran Logam

Pengecoran logam dapat diartikan sebagai proses dari logam yang dicairkan, dituangkan ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku. Oleh karena itu sejarah pengecoran dimulai ketika orang mengetahui bagaimana mencairkan logam dan bagaimana membuat cetakan. Logam pertama yang dicor adalah emas dan perak. Berbagai macam metode pengecoran telah ditemukan dan terus dikembangkan hingga mendapatkan suatu metode yang sempurna, diantaranya adalah *investmen casting*, *centrifugal casting*, dan *sand casting*. Bahan yang digunakan dalam pengecoran berupa metal dan non metal. Aplikasi pada pengecoran sangat banyak salah satunya digunakan dalam pembuatan komponen pemesinan. Proses pengecoran diawali dengan proses pembautan cetakan, peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan.

Seiring begitu ketatnya persaingan industri saat ini menyebabkan para perancang harus membuat rancangan yang se-efisien mungkin. Hal ini dimaksudkan untuk menekan biaya produksi. Disamping itu, kualitas coran harus ditingkatkan agar produk yang dihasilkan mampu bersaing di pasaran. Penggunaan peralatan, pemilihan bahan dan kemampuan dari pengecor sangat mempengaruhi kualitas dari hasil coran. Pengecoran alumunium sering dihasilkan melalui proses pengecoran (*casting*) dan pembentukan (*forming*). Pengecoran alumunium dapat dilakukan menggunakan cetakan logam dan cetakan pasir (*sand casting*). Pengecoran *sand casting* adalah pengecoran dengan menggunakan cetakan dan pola sebagai alat bantu dan didukung dengan alat-alat serta sistem saluran. Hasil dari pengecoran alumunium banyak dijumpai pada peralatan otomotif dan peralatan rumah tangga.

2.6.1 Proses Pengecoran Pasir (*sand casting*)

Pada proses pengecoran pasir (*sand casting*) biasanya pasir yang digunakan adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silica (pasir putih) yang disediakan alam. Sedangkan pada desain yang perlu dipertimbangkan untuk memperoleh hasil coran yang baik, yaitu cetakan hendaknya mudah, bentuk dari pola harus mudah, dan cetakan tidak menyebabkan cacat pada coran. Hal

yang perlu diperhatikan selanjutnya adalah pembuatan saluran, keadaan penuangan, dan laju penuangan. Berikut adalah gambar 2.7 contoh pembuatan pola :



Gambar 2.7 Pembuatan pola pengecoran

Sistem saluran adalah sistem yang dibuat dimana logam cair yang nantinya akan mengalir hingga ke dalam rongga cetakan. Secara umum sistem saluran terdiri dari cawan tuang, saluran turun, saluran pengalir, dan saluran masuk.

a. Cawan tuang

Cawan tuang merupakan corong yang berfungsi untuk menampung logam cair dari ladle untuk dimasukkan ke dalam cetakan.

b. Saluran turun

Saluran turun adalah saluran yang pertama membawa cairan logam dari cawan tuang ke dalam pengalir dan saluran masuk. Saluran turus harus dibuat lurus dan tegak dengan irisan berupa sebuah lingkaran. Terkadang irisannya sama dari atas sampai bawah atau mengecil dari atas ke bawah. Ukuran diameter saluran turun disesuaikan dengan berat coran.

c. Pengalir

Pengalir adalah saluran yang membawa logam cair dari saluran turun ke dalam bagian – bagian cetakan. Bentuk dari pengalir biasanya menyerupai trapesium atau setengah lingkaran sebab

irisan demikian mudah dibuat pada permukaan pisah, lagi pula pengalir mempunyai luas permukaan yang terkecil untuk satu luas irisan tertentu, sehingga lebih efektif untuk pendinginan yang lambat.

d. Saluran masuk

Saluran masuk mempunyai fungsi untuk mengisikan logam cair dari pengalir kedalam rongga cetakan. Saluran masuk biasanya dibuat dengan bentuk irisan yang lebih kecil daripada irisan pengalir, agar dapat mencegah kotoran masuk kedalam rongga cetakan.

2.7 Proses Pembubutan

Mesin bubut (*turning machine*) adalah salah satu jenis mesin perkakas yang digunakan untuk proses pemotongan benda yang dilakukan dengan membuat sayatan pada benda kerja yang berputar dimana pahat digerakkan secara translasi dan sejajar dengan sumbu dari benda kerja. Proses bubut dikhususkan untuk menghasilkan bagian – bagian mesin atau komponen yang memiliki bentuk silindris dengan menggunakan pahat sebagai alat potong. Gambar 2.8 dibawah merupakan mesin bubut yang digunakan untuk pembuatan *injector tools* :



Gambar 2.8 Bagian – bagian mesin bubut

Berikuta adalah komponen utama pada mesin bubut :

1. Kepala tetap (*headstock*)
2. Kepala lepas (*tail stock*)
3. Penjepit pahat (*toolpost*)
4. Eretan (*carriage*)
 - a. Eretan memanjang / alas (*longitudinal carriage*)
 - b. Eretan melintang (*cross carriage / slide*)
 - c. Eretan atas (*top carriage*)
5. Keran pendingin (*coolant*)

2.7.1 Prinsip kerja mesin bubut

Prinsip kerja pada mesin bubut adalah menghilangkan bagian dari benda kerja untuk memperoleh bentuk tertentu dimana benda kerja dicekam oleh pencekam (*chuck*) yang berputar dengan kecepatan tertentu bersamaan dilakukannya proses pemakanan oleh pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar benda kerja untuk melakukan proses pemotongan dan pemakanan. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong realtif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak makan (*feeding*).

Proses yang dapat dikerjakan pada mesin bubut, yaitu :

- a. Pembubutan muka (*facing*)
- b. Pembubutan rata (pembubutan silindris)
- c. Pembubutan lubang (*drilling*)
- d. Pembubutan ulir
- e. Perluasan lubang (*boring*)
- f. Pembubutan alur
- g. Pembubutan tirus (*taper*)

2.7.2 Parameter proses bubut

Untuk menghasilkan hasil yang maksimum proses pembubutan memiliki elemen dasar dalam pembubutan yang dapat diketahui dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dari gambar kerja, Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus – rumus sebagai berikut :

a. Kecepatan potong (*cutting speed*)

Kecepatan potong merupakan pemakanan pahat dalam satuan m/menit.

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ (m/min)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana, d = diameter rata-rata, yaitu :

$$\frac{d_o + d_m}{2} = d \text{ (mm)} \dots \dots \dots (2.3)$$

b. Kecepatan makan :

$$vf = f \cdot n \text{ (m/min)} \dots \dots \dots (2.4)$$

c. Kedalaman potong :

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} = d \text{ (mm)} \dots \dots \dots (2.5)$$

d. Waktu pemotongan :

$$T_i = l \cdot f \text{ (min)} \dots \dots \dots (2.6)$$

e. Kecepatan penghasil geram : $Z = F \cdot a$

dimana, penampang geram sebelum terpotong $A = F \cdot a \text{ mm}^3$, maka

$$Z = f \cdot a \cdot v \text{ (cm}^3 \text{ min)} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

n : kecepatan putar pemotongan Rpm

d_o : diameter awal

d_m : diameter akhir

d : diameter rata – rata

V_f : kecepatan makan

f : feed rate

a : kedalaman potong

l : panjang pemotongan

T_i : waktu pemotongan 1 langkah

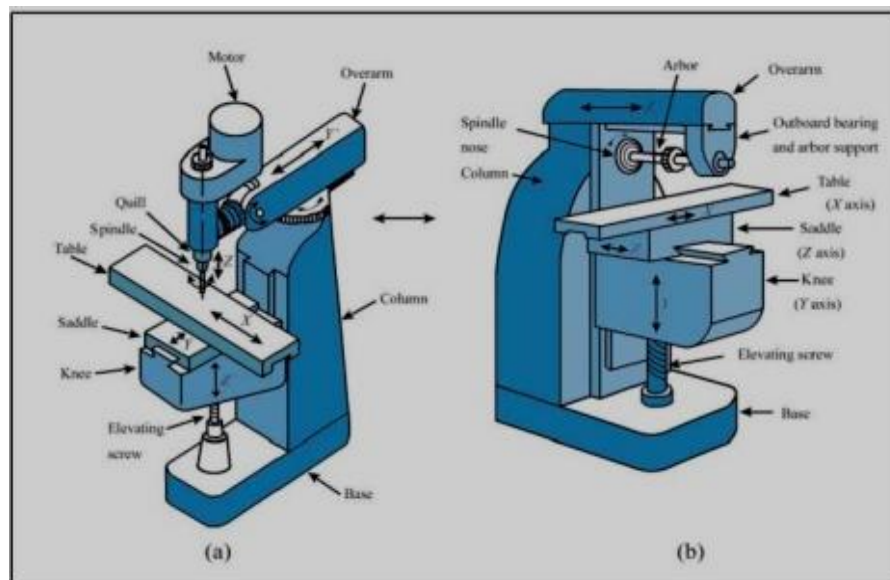
i : jumlah langkah

T : waktu pemotongan total

v : cutting speed

2.8 Proses Pengefraisan

Mesin frais tergolong kedalam jenis mesin perkakas yang gerak utamanya adalah berputar yang mampu mengerjakan penyayatan permukaan datar, sisi tegak, miring bahkan pembuatan alur dan roda gigi. Proses frais adalah suatu proses pengurangan material dari benda kerja untuk membentuk suatu produk dengan cara pahat (*cutter*) berputar. Pada mesin frais terdapat 2 metode penyayatan, yaitu dengan menggunakan frais horisontal dan vertikal seperti Gambar 2.9 dibawah ini :



Gambar 2.9 Komponen mesin frais vertikal dan horisontal.

(Sumber : Yanuar dkk, 2014).

Mesin frais mempunyai komponen – komponen penting sebagai berikut :

- a. Meja
- b. *Knee*
- c. *Arbor*
- d. *Spindel* utama
- e. *Saddle*
- f. *Collumn*
- g. *Over arm*

2.8.1 Prinsip Kerja Mesin Frais Vertikal

Mesin frais vertikal memiliki spindel dengan posisi vertikal. Spindel bagian dari sistem utama yang bertugas untuk memegang dan memutar pahat (*cutter*) hingga menghasilkan putaran atau gerakan pemotongan dengan kecepatan tertentu bersamaan dikenakan pada permukaan benda kerja yang dicekam pada meja mesin yang dapat bergerak naik, turun, kekanan, dan kekiri pada poros.

Bahan pada proses frais sangat berpengaruh terhadap kecepatan mesin dan pemakanan yang dilakukan oleh pahat pada tiap giginya. Demikian terhadap *feeding*, yang semakin besar digunakan maka nilai dari kekasaran yang dihasilkan akan semakin besar. Untuk menentukan kecepatan potong ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan antara lain :

- a. Diameter pisau
- b. Material pahat
- c. Kehalusan permukaan
- d. Kedalaman pemakanan
- e. Material benda kerja

2.8.2 Parameter Pemotongan

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan sesuai dengan perancangan maka diperlukan parameter pemotongan, sebagai berikut : Putaran *spindel*, gerak makan tiap gigi, kecepatan potong, kedalaman pemakanan, kecepatan menghasilkan geram dan waktu pemesinan.

- a. Kecepatan potong (*cutting speed*)

Kecepatan potong merupakan pemakanan pahat dalam satuan m/menit.

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (\text{mm/menit}) \dots \dots \dots (2.8)$$

- b. *Feed rate*

$$F = n \cdot z \cdot fz \quad (\text{mm/menit}) \dots \dots \dots (2.9)$$

- c. Waktu 1 langkah pemakanan pemakanan

Waktu yang perlu diperhatikan untuk melakukan penyayatan sepanjang benda kerja. Dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_i = \frac{l}{f} \quad (\text{menit}) \dots\dots\dots(2.10)$$

d. Waktu total pemotongan

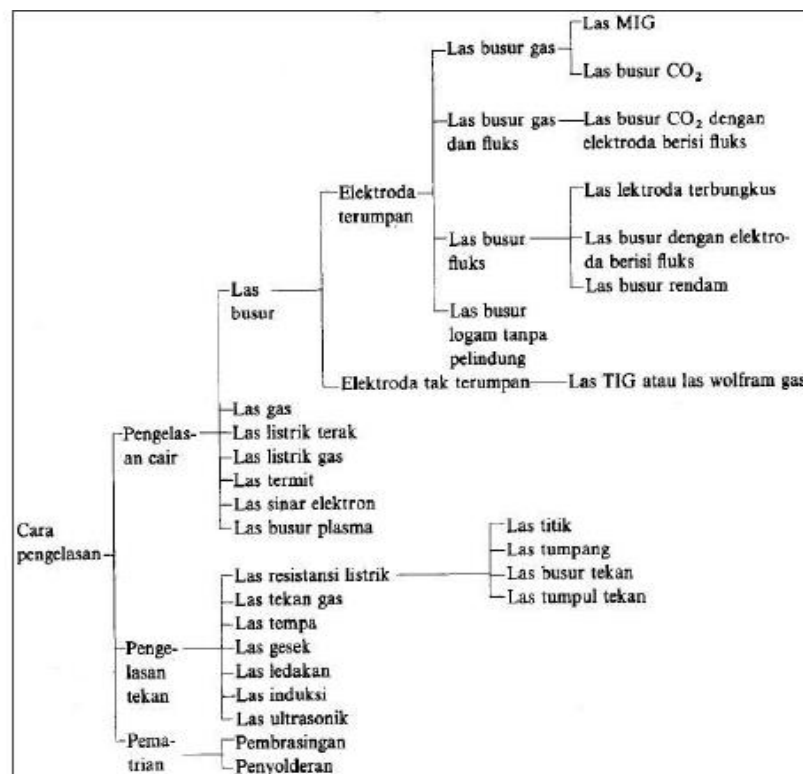
$$t = T_i \cdot i \quad (\text{cm}^3/\text{menit}) \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

- n : kecepatan putar pemotongan Rpm
- d_o : diameter awal
- d_m : diameter akhir
- d : diameter rata – rata
- V_f : kecepatan makan
- f : feed rate
- f_z : sayatan per gigi
- z : jumlah mata potong
- a : kedalaman potong
- l : panjang pemotongan
- T_i : waktu pemotongan 1 langkah
- i : jumlah langkah
- T : waktu pemotongan total
- v : cutting speed

2.9 Proses Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Akibatnya sambungan las mengalami siklus termal cepat sehingga terjadi perubahan metalurgi, deformasi dan tegangan sisa. Hal ini erat kaitannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan sebagainya yang berpengaruh fatal terhadap keamanan konstruksi las. Pengelasan memiliki beragam cara, berikut adalah Gambar 2.10 tentang klasifikasi cara pengelasan :



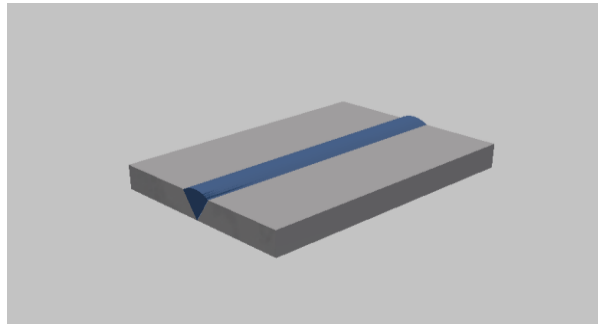
Gambar 2.10 Diagram klasifikasi cara pengelasan.

(Sumber : Wiryosumarto, 2000).

Pada pengelasan terdapat beragam sambungan, berikut klasifikasinya :

a. Sambungan buntu (*butt join*)

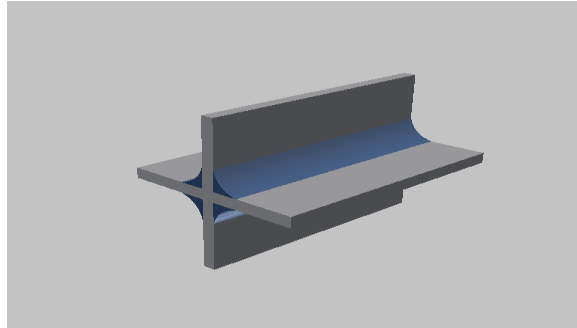
Merupakan sambungan yang efisien, pada sambungan ini terdiri dari dua bagian logam yang disusun secara sejajar. Sambungan buntu (*butt join*) dapat dilihat pada Gambar 2.11.



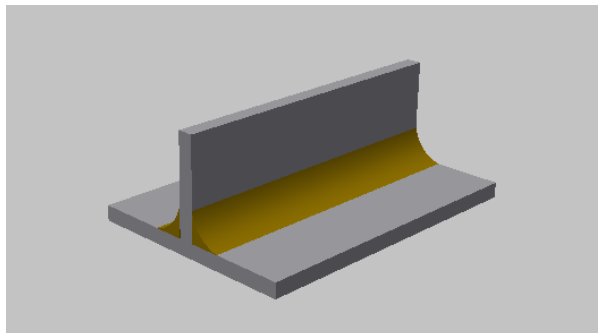
Gambar 2.11 Sambungan buntu (*butt joint*)

b. Sambungan T dan bentuk silang

Sambungan T adalah sambungan antara dua benda yang disambung sehingga membentuk huruf T. Sedangkan sambungan bentuk silang (*cruciform joint*) adalah sambungan yang semula dari sambungan T ditambahkan dengan sambungan yang akhirnya membentuk palang atau silang. Sambungan T dan bentuk silang dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13 dibawah ini :



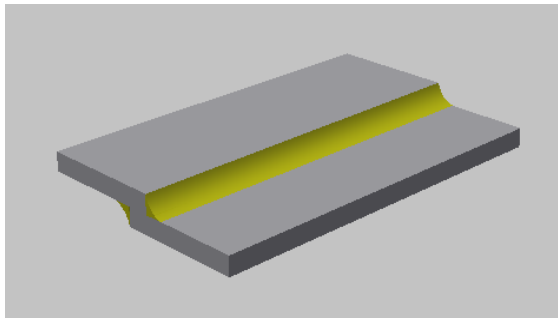
Gambar 2.12 Sambungan bentuk silang



Gambar 2.13 Sambungan T

c. Sambungan tumpang (*Lap joint*)

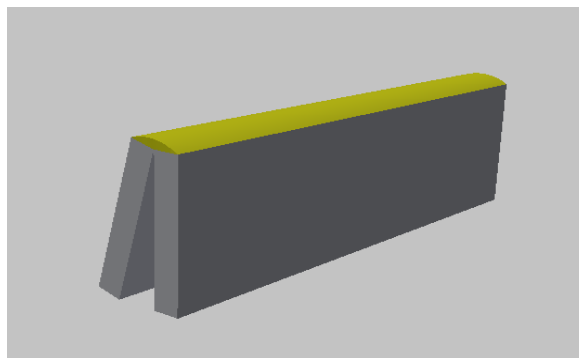
Lap joint merupakan sambungan dengan dua bagian yang letaknya saling bertindihan atau tumpang secara sejajar. Sambungan tumpang (*Lap joint*) dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sambungan tumpang (*lap joint*)

d. Sambungan sisi (*edge joint*)

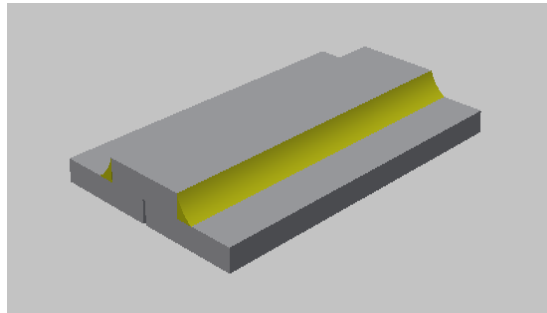
Pada sambungan ini terdiri dari dua bagian yang dilas di bagian pinggir dengan menggunakan ketebalan yang tipis. Sambungan sisi (*edge joint*) dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Sambungan sisi (*edge joint*)

e. Sambungan *splace*

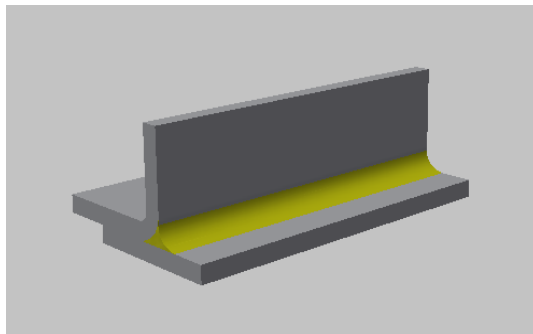
Sambungan *splace* adalah sambungan dengan menggunakan tambahan plat sebagai penguat. Pada sambungan ini terdapa satu atau lebih plat sebagai penguat. Sambungan *splace* dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Sambungan splace plat penguat tunggal dan ganda

f. Sambungan *flange*

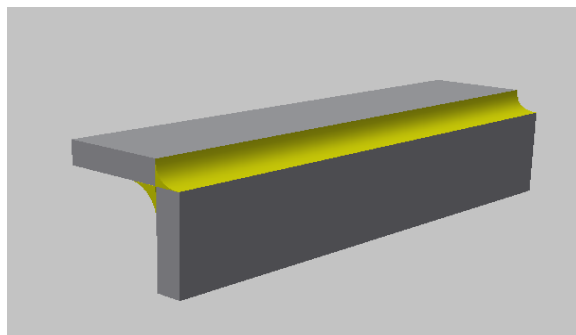
Pada sambungan *flange joint* terdiri dua bagian yang mana pada satu bagian terdapat bagian yang bengkok. Sambungan *flange* dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Sambungan *flange*

g. Sambungan sudut (*corner joint*)

Pada sambungan ini terdiri dari dua bagian yang disambung pada ujungnya sehingga membentuk huruf L. Sambungan sudut (*corner joint*) dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Sambungan sudut (*corner joint*)

Jenis – jenis cacat pada alas, sebagai berikut :

- a. *Undercut* adalah suatu alur atau tarikan yang terjadi pada perbatasan sisi lasan yang sejajar arah pengelasan sehingga bagian kaki lasan mengalami penipisan.
- b. *Lock of fusion* terjadi karena logam induk tidak melebur bersama secara menyeluruh.
- c. *Inklusi* terjadi karena adanya material padat yang terjebak pada saat proses pembekuan.
- d. *Incomplete penetration* terjadi karena logam las tidak menembus melanjutkan ke bagian akar dari sambungan atau kedalaman logam las kurang dari tinggi alur yang direncanakan.
- e. *Incompletely filled groove* terjadi karena alur yang direncanakan tidak terisi logam secara sempurna.

2.9.1 Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)

Pengelasan SMAW pada umumnya disebut las busur listrik adalah proses pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam dimana panas dihasilkan antara ujung elektroda dengan logam yang dilas. Sumber yang digunakan terdapat dua macam yaitu, AC (arus bolak – balik) dan DC (arus listrik searah). Klasifikasi las busur listrik yang digunakan hingga saat ini dalam proses pengelasan adalah las elektroda terbungkus. Elektroda terdiri dari kawat logam sebagai penghantar arus listrik ke busur dan sekaligus sebagai bahan pengisi. Loncatan elektroda pada busur listrik dapat menghasilkan panas mencapai suhu 5000° C sehingga dapat dengan mudah mencair.

Berikut adalah komponen – komponen yang digunakan dalam proses pengelasan :

1. Mesin Las Listrik

Mesin las listrik terbagi menjadi 2 tipe, yaitu : Mesin las listrik arus searah (DC) dan mesin arus bolak-balik (AC). Transformator pada mesin las AC dapat merubah tegangan yang keluar dari mesin las, dari 110V, 220V, dan 380V KE 45-80V dengan arus yang tinggi.

2. Kabel Las

Kabel mempunyai fungsi untuk mengalirkan arus listrik dari sumber listrik ke mesin las atau dari mesin las ke elektroda dan penjepit benda kerja.

3. Klem massa

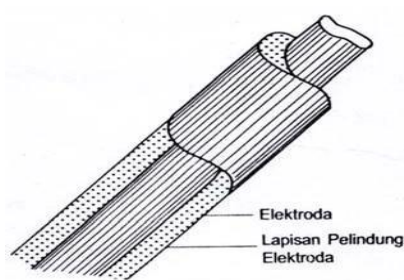
4. Mempunyai fungsi sebagai penghubung kabel massa ke benda atau meja kerja. Klem massa harus mampu menjepit meja kerja dengan baik agar arus dari mesin las tidak tersendat.

5. Pemegang Elektroda (*stick elektroda*)

6. Mempunyai fungsi untuk menjepit ujung dari elektroda yang tidak berselaput. Bagian dari penjepit harus bersih agar arus listrik tidak terhambat.

2.9.2 Elektroda

Elektroda las SMAW dilapisi dengan lapisan yang disebut flux, yang mempunyai fungsi sebagai pembentuk gas yang melindungi cairan loga dari kontaminasi udara disekitarnya. Flux juga berguna sebagai pembentuk terak las yang juga berfungsi untuk melindungi cairan las. Menurut AWS (*American Welding Society*) elektroda diklasifikasikan dengan huruf E dan diikuti oleh empat atau lima digit misalnya EXXXX. Gambar 2.19 dibawah adalah bagian – bagian dari elektroda:



Gambar 2.19 Elektroda las SMAW (Putri, 2010)

Keterangan yang tertera pada elektroda dapat dibaca sebagai berikut :

- a. Huruf E = Elektroda
- b. XX = Dua huruf x terdepan menunjukkan kekuatan tarik dari bahan las setelah proses dilakukan. Misal E60XX yang mempunyai arti bahan tersebut kuat tariknya setelah 60.000psi.

- c. X = Huruf X ketiga menunjukkan posisi pengelasan yang tepat. Untuk angka “1” mempunyai arti boleh digunakan untuk semua posisi. Angka “2” artinya hanya bisa digunakan untuk semua posisi tertentu saja.
- d. X = Huruf X terakhir menunjukkan jenis arus listrik yang sesuai dengan lapisan elektroda.

Elektroda E60 memiliki bermacam jenis klasifikasi yang meliputi jenis arus, kimia pelindung dan posisi yang diterapkan. Berikut adalah Tabel 2.4 klasifikasi dari elektroda E60.

Tabel 2.4 Klasifikasi Elektroda Seri E60

Klasifikasi AWS	Jenis kimia pelindung	Posisi pengelasan	Jenis arus
E6027	High iron oxide, iron powder	DT, F, DB	AB atau ASPL
E6022	High iron oxide	DB	AB atau ASPM
E6020	High iron oxide	DT, F	AB atau ASPL
E6013	High titania potassium	DB, TL, AK, DT	AB atau ASPM
E6012	High titania sodium	DB, TL, AK, DT	AB atau ASPL
E6011	High cellulose potassium	DB, TL, AK, DT	AB atau ASPT
E6010	High cellulose sodium	DB, TL, AK, DT	ASPL

Keterangan :

- DT = Datar tegak (*horizontal*)
 F = *fillet*
 TL = Tegak lurus (*vertical*)
 DB = Datar bawah (*flat*)
 AS = Arus searah (*direct current*)
 AK = Atas kepala (*overhead*)

2.10 Proses Bor (*drilling*)

Mesin bor merupakan salah satu jenis mesin perkakas yang digunakan untuk membuat lubang pada benda kerja. Pada mesin bor mempunyai gerakan mata bor yang memutar dan terbatas yaitu gerak naik dan gerak turun. Pada mesin bor duduk horisontal terdapat bagian – bagian penting seperti yang telah tertera pada Gambar 2.20 dibawah ini :



Gambar 2.20 Mesin bor duduk

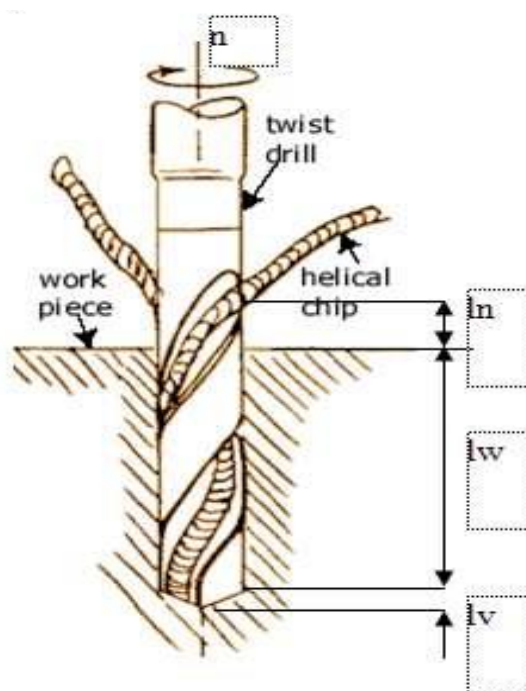
- a. Tiang (*column*) mempunyai fungsi untuk menyangga bagian – bagian yang digunakan untuk proses pengeboran.
- b. *Spindel* adalah bagian yang mempunyai fungsi untuk menggerakkan pengecam sebagai pengecam mata bor.
- c. *Base* terletak dibagian paling bawah yang mempunyai fungsi sebagai dudukan/penompang mesin yang nantinya akan dibaut bersama lantai.
- d. Meja mesin mempunyai fungsi sebagai tempat untuk meletakkan benda kerja yang akan dikerjakan.
- e. Mata bor (pahat) merupakan alat potong untuk membuat lubang.

2.10.1 Prinsip Kerja Mesin Bor Horizontal

Prinsip kerja dari mesin bor meja horizontal adalah putaran dari motor listrik diteruskan ke poros mesin sehingga poros berputar, kemudian poros berputar dan poros memutar mata bor yang mempunyai gerak pemakanan naik dan turun. Untuk melakukan pengeboran pada benda kerja yang dicekam pada pengecam diatas meja kerja mesin bor dilakukan dengan cara menurunkan mata bor menggunakan tuas hingga menyangkut benda kerja.

2.10.2 Parameter proses gudi

Untuk mendapatkan hasil pembuatan yang maksimal dan sesuai dengan perancangan maka diperlukan parameter pemotongan yang telah tertera seperti pada Gambar 2.21 dibawah ini :



Gambar 2.21 Parameter mesin bor

(Sumber : Saputra dan Hamsi, 2014).

1. Kecepatan potong (*cutting speed*) :

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ (mm/min)} \dots \dots \dots (2.12)$$

2. Kecepatan makan (feeding) :

$$F = f \cdot n \text{ (mm/min)} \dots \dots \dots (2.13)$$

3. Kedalaman potong :

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} = d \text{ (mm)} \dots \dots \dots (2.14)$$

4. Waktu pemotongan :

$$t_i = \frac{l}{f} \text{ (min)} \dots \dots \dots (2.15)$$

5. Kecepatan penghasilan geram : $Z = F \cdot a$

dimana, penampang geram sebelum terpotong $A = F \cdot a \text{ mm}^3$, maka

$$Z = f \cdot a \cdot v \text{ (cm}^3 \text{ min)} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

- d : diameter bor (mm)
 l : panjang pemesinan (mm)
 a : kedalaman potong (mm)
 f : gerak pemakanan (mm/r)
 n : putaran poros (rpm)
 d_o : diameter awal
 d_m : diameter akhir
 V_f : kecepatan makan
 v : *cutting speed*