

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut penjabaran Kazmer (1992) *blow molding* merupakan suatu metode mencetak benda kerja berongga dengan cara meniupkan atau menghembuskan udara kedalam material/bahan yang menggunakan cetakan yang terdiri dari dua belahan *mold* yang tidak menggunakan inti (*core*) sebagai pembentuk rongga tersebut. Material plastik akan keluar secara perlahan secara perlahan akan turun dari sebuah *extruder head* kemudian setelah cukup panjang kedua belahan *mold* akan dijepit dan menyatu sedangkan begiah bawahnya akan dimasuki sebuah alat peniup (*blow pin*) yang menghembuskan udara kedalam pipa plastik yang masih lunak, sehingga plastik tersebut akan mengembang dan membentuk seperti bentuk rongga *mold*-nya. Material yang sudah terbentuk akan mengeras dan bisa dikeluarkan dari *mold* hal ini karena *mold* dilengkapi dengan saluran pendingin didalam kedua belahan *mold*. Untuk memperlancar proses peniupan proses ini dilengkapi dengan pisau pemotong pipa plastik yang baru keluar dari *extruder head*.

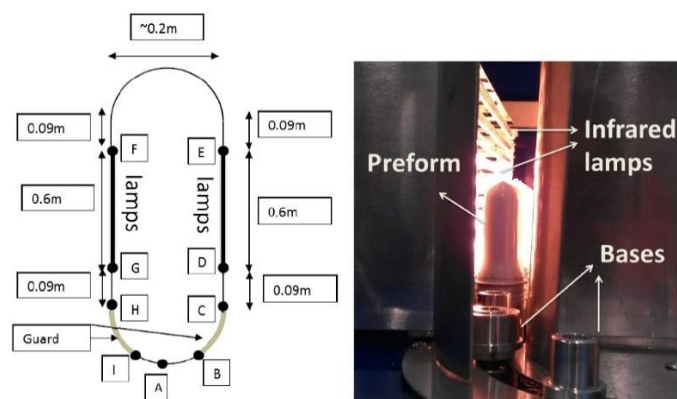
Penelitian yang dilakukan oleh Amri (2009) material plastik yang digunakan dalam pembuatan produk botol plastik diantaranya yaitu *polypropylene, polyethylene, polystyrene*, dan lain – lain.

Menurut Firdaus (2002) menyatakan bahwa cacat *shrinkage* dapat timbul antara lain jika temperatur leleh terlalu tinggi. Cacat ini dapat dikurangi dengan mendesain parameter proses secara tepat dan benar.

Menurut Setyono (2016) *Autodesk Inventor* merupakan sebuah program CAD (*Computer Aided Design*) dengan kemampuan pemodelan tiga dimensi solid untuk proses pembuatan objek prototipe 3D secara visual, simulasi dan drafting beserta dokumentasi data-

datanya. Dalam Inventor, seorang desainer bisa membuat sketsa 2D produk, memodelkannya menjadi 3D untuk dilanjutkan dengan proses pembuatan prototipe visual atau bahkan yang lebih kompleks lagi yaitu simulasi. *Autodesk Inventor*, yang dikembangkan oleh perusahaan perangkat lunak yang berbasis di AS *Autodesk* merupakan perangkat lunak CAD mekanik 3D untuk membuat *prototipe digital 3D* yang digunakan dalam desain, visualisasi dan simulasi produk.

Penelitian yang dilakukan oleh Yang (2014) dalam proses produksi botol *polyethylene terephthalate* (PET), suhu awal dari *preform* mempengaruhi perbedaan antara suhu di dalam dan luar ruangan dapat membuat suatu dampak signifikan pada kualitas produk akhir. *Preform* dipanaskan dengan pemanasan inframerah sistem oven bersuhu 111°C yang sering dinamakan sistem loop terbuka. Hasil simulasi berdasarkan data eksperimen tentang efektivitas pemodelan dan metode optimasi mendapati kecepatan pengangkutan mesin merupakan parameter penting, yang bisa disesuaikan dari $13,18\text{ mm/s}$ ke $18,67\text{ mm/s}$. Pada kecepatan transportasi maksimum, seluruh pemanasan proses untuk *preform* tunggal adalah 129 detik. **Gambar 2.1.** merupakan struktur oven pemanas *infrared heater*.



Gambar 2.1. Struktur Oven Pemanas *Infrared Heater*

(Yang, 2014)

Perancangan yang dilakukan oleh Hakim (2017) oven adalah suatu alat yang berfungsi untuk memanaskan suatu benda padat maupun cair, suhu oven lebih rendah dibanding suhu tanur yaitu kisaran 105°C sampai dengan 250°C .

Pemanasan didefinisikan sebagai proses pemindahan panas dari suhu tinggi menuju yang lebih rendah. Pemanasan meliputi proses perbindahan panas, massa dan momentum. Bahan yang akan dipanaskan dikontakkan dengan panas dari *infrared* sehingga panas akan dipindahkan dari udara panas ke bahan tersebut. Dalam pemanasan ini, dapat mendapatkan produk dengan satu atau lebih tujuan produk yang diinginkan, misalnya diinginkan bentuk fisiknya (bubuk, pipih, atau butiran), diinginkan warna, rasa dan strukturnya, mereduksi volume, serta memproduksi produk baru. Adapun dasar dari tipe pemanasan yaitu panas yang masuk dengan cara konveksi, konduksi, radiasi, pemanas elektrik, atau kombinasi antara tipe cara-cara tersebut.

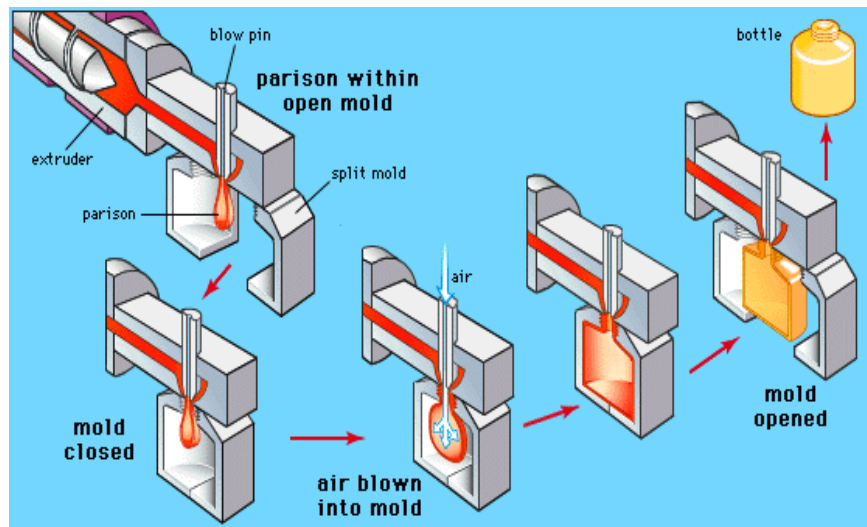
2.2. Dasar Teori

2.2.1. Sejarah Penemuan Mesin *Blow Molding*

Penelitian yang dilakukan oleh Lee (2000). Proses *blow molding* berasal dari seni kuno yang pada pada awal tahun 1940-an mulai diproduksi dengan bahan baku plastik atau resin yang murah. Seiring perkembangan jaman proses *blow molding* mengalami banyak pengembangan dibagian sistem maupun desain alatnya. *Blow molding* dibuat dengan menggabungkan dua proses, yaitu *extrusion molding* dan *injection blow molding*.

2.2.2. Mesin *Extrusion Blow Molding*

Proses *extrusion blow molding* adalah proses dimana material *thermoplastic* yang sudah dilelehkan di dalam pemanas (*heater*) akan dikeluarkan ke dalam bentuk seperti pipa berongga yang disebut parison. Proses selanjutnya parison akan dimasukkan kedalam cetakan (*mold*), kemudian setelah parison dimasukkan kedalam cetakan lalu didorong oleh *screw* menuju *die head* untuk menghasilkan bentuk seperti pipa, yang kemudian ditangkap oleh cetakan dan dilakukan proses peniupan udara bertekan dari aliran kompresor sehingga parison membentuk sesuai cetakan. Proses *extrusion blow molding* dapat dilihat pada **Gambar 2.2.**

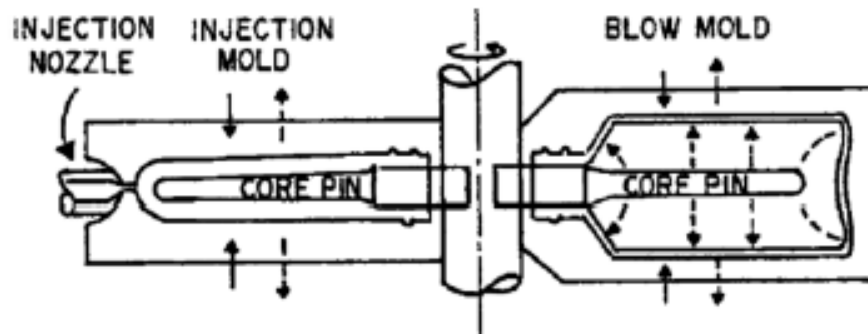


Gambar 2.2. Proses *Extrusion Blow Molding* (Harper, 2006)

Kelebihan dari proses *extrusion blow molding* ini adalah pembentukan rongga yang natural, sesuai untuk kemasan dengan volume yang besar. Namun proses ini memiliki kekurangan diantaranya sulit mengatur ketebalan dinding produk, dan sulit mengontrol permukaan serta memiliki toleransi dimensi yang lebih besar (Lee, 2006).

2.2.3. Mesin *Injection Blow Molding*

Injection Blow Molding adalah proses pembentukan produk berbahan plastik dengan cara menginjeksikan terlebih dahulu bijih plastik yang akan diproses menjadi bakalan plastik (*preform*). 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 mulut botol (Krismasurya, 2015). Berikut pada **Gambar 2.3.** merupakan proses *injection blow molding*



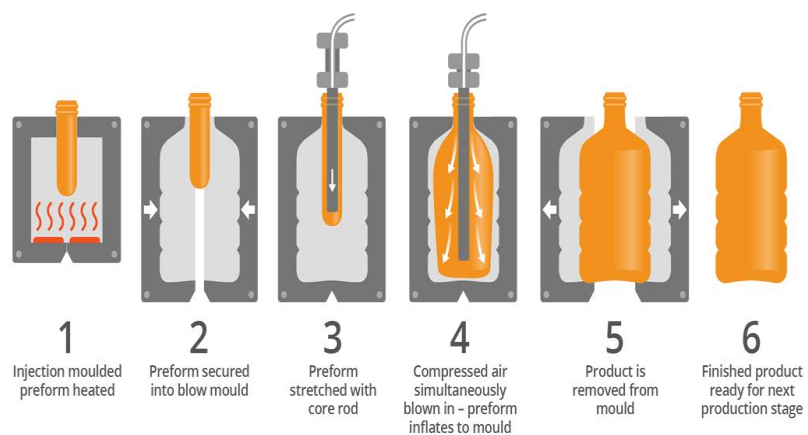
Gambar 2.3. Proses *Injection Blow Molding* (Harper, 2006)

Berikut tahapan proses *injection blow molding* :

1. Biji plastik dalam keadaan *melting* akan diinjeksikan ke dalam *cavity* dengan bentuk *preform*.
2. Kemudian plastik dipindahkan ke proses *blowing injection*.
3. Udara ditiupkan sehingga bakalan plastik (*preform*) dapat mengembang dan membentuk sesuai dengan bentuk profil dari *mold* (cetakan).
4. Cetakan terbuka untuk mengeluarkan produk.

2.2.4. Mesin *Stretch Blow molding*

Stretch blow molding adalah proses *industri blow molding* metode pembuatan kemasan plastik dengan cara di rentangkan (*stretch*) sampai tercapai ukuran yang diinginkan lalu ditiup dengan mempertimbangkan ketebalan *plastic* **Gambar 2.4.**



Gambar 2.4. Proses *Stretch Blow Molding*

(Harper, 2006)

Produk utamanya diterapkan pada botol *softdrink*. Bahan plastik yang sering digunakan dalam proses *stretch blow molding* antara lain polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), polyethylene terephthalate (PET), dan polyacrylonitrile (PAN), dengan aplikasi paling umum untuk peregang *blow molding* yaitu menjadi botol soda yang terbuat dari PET bening atau berwarna **Gambar 2.5.**



Gambar 2.5. PET Carbonated Beverage Botol
(Harper, 2006)

Stretch blow molding mengaplikasikan metode pembuatan kemasan plastik dari sebuah *preform* yang direntangkan dan ditiup sehingga membentuk sesuai bentuk terakhir yang diinginkan (Lee, 2006).

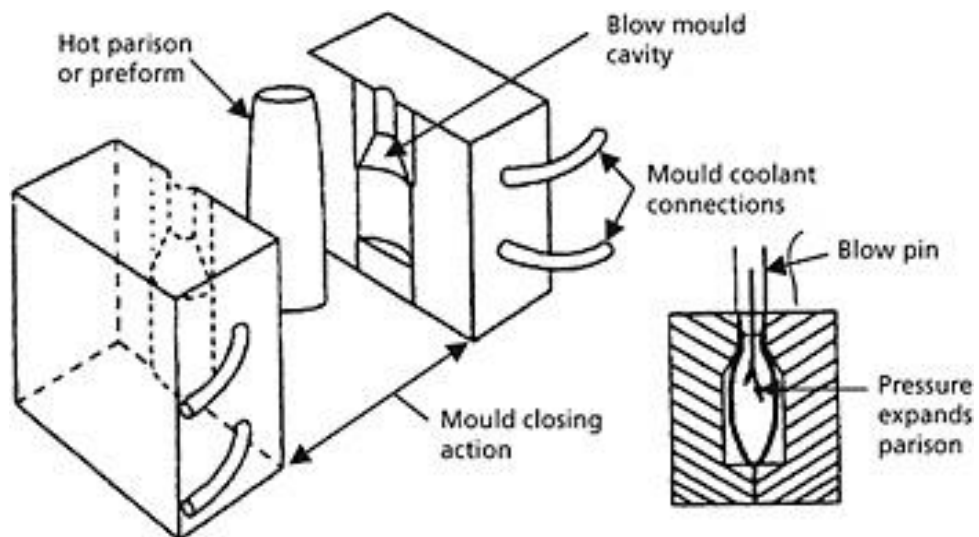
2.2.5. Mesin Blow Molding

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Kazmer (1992), *blow molding* merupakan suatu metode mencetak benda kerja atau produk berongga dengan cara meniupkan atau menginjeksikan udara dengan tekanan tertentu ke dalam suatu material. Pada umumnya material yang digunakan berupa plastik. Proses *blow molding* menggunakan cetakan yang terdiri dari dua belahan atau sisi cetakan (*mold*) yang tidak menggunakan inti (*core*) sehingga bentuk produk dari proses *blow molding* merupakan produk berongga.

Blow molding machine merupakan mesin utama dari proses *blowing*, yaitu meniupan *preform* menjadi botol sesuai dengan cetakan yang dibuat. Mesin ini pada dasarnya terdiri dari dua bagian, yaitu botol *blowing unit* dan *preform heating unit*. *Infrared preform heating* (oven), merupakan bagian dari *stretch blow molding machine* dimana pada bagian ini terjadi proses pemanasan botol *preform* sebagai bentuk awal dari botol. *Preform* sendiri diperoleh dari unit *stretch machine*, sehingga sebelum proses *blowing*, *preform* tersebut harus dipanaskan terlebih dahulu pada bagian mesin ini.

Material plastik akan keluar dan secara perlahan akan turun dari sebuah *extruder head* kemudian setelah cukup panjang kedua belahan cetakan (*mold*) akan menjepit bakalan plastik tersebut hingga menyatu sedangkan bagian bawahnya akan dimasuki sebuah alat peniup (*blow pin*) yang berfungsi untuk menginjeksikan udara ke dalam material plastik yang masih lunak atau bakalan plastik (*preform*) tadi, sehingga bakalan plastik tersebut akan mengembang dan membentuk seperti bentuk profil rongga cetakannya

Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Komponen Mesin *Blow Molding*

(Lee, 2000)

Berikut tahapan proses *blow molding* secara garis besar:

1. Peleburan resin (*plasticizing*).
2. Pembuatan *parison* dengan cara *extrusion* atau pembuatan *preform* dengan cara *injection*.
3. Peniupan atau pemompaan dengan udara bertekanan pada *parison* atau *preform* dengan diikuti proses pendinginan.
4. Pelepasan produk dari bagian cetakan (*mold*).
5. Pemangkasan (*finishing*) produk.
(langkah pemangkasan biasanya dilakukan. Namun, diantara yang lainnya hanya sampai pada langkah ke 4 saja).

Sedangkan pada bagian botol *blowing unit* merupakan kelanjutan dari proses *preform heating unit (oven)* yaitu proses *blowing*. Setelah pemanasan dan masih dalam temperature tinggi (sehingga PET menjadi lunak) kemudian *preform* tersebut dimasukan oleh mesin kedalam cetakan (*mold*), dan kemudian dilakukan proses peniupan menjadi botol. Mesin kosme KSB4L merupakan mesin *stretch blow molding* yang prosesnya sebagian besar menggunakan sistem *pneumatic* dan proses transfernya menggunakan berbagai sensor baik sensor temperatur, proximity, maupun sensor optic. Dan semua gerakan maupun setting parameter-nya diatur melalui sebuah monitor (Mas'ud, 2017).

2.2.6. Jenis Thermoplastik

Thermoplastik adalah bahan yang tidak mengalami perubahan kimia sewaktu pembentukan yang hasil akhirnya adalah sama seperti asli kecuali bentuknya. Bahan termoplastik dapat dilunakkan dan dibentuk berulang-ulang dengan cara pemanasan. Termoplastik dapat mengeras setelah pencetakan dan larut dalam larutan organik. Seluloid, selulosa nitrat, resin vinil, nilon, polikarbonat, polieten dan polystyrene merupakan contoh bahan thermoplastik yang sering digunakan (Amri, 2009). Berikut dijelaskan titik leleh pada termoplastik pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1. Titik leleh thermoplastik (Kristiyantoro, 2009)

Material	°C	°F
<i>Polyethylene-low density (LDPE)</i>	149-232	300-450
<i>Polyethylene-high density (HDPE)</i>	177-260	350-500
<i>Polypropylene (PP)</i>	190-288	374-550
<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	117-260	350-500
<i>Nylon</i>	260-327	500-620
<i>Polyethylene Terephthalate (PET)</i>	227-349	440-660
<i>Polycarbonate</i>	271-300	520-572
<i>Polyethylene Oxide</i>	204-354	400-670

Sifat-sifat thermal ditunjukkan pada **Tabel 2.2.** dan diantaranya sebagai berikut :

1. T_m (*melting point*)

- Daerah perubahan dari kondisi lunak ke kondisi cair, tidak dalam titik eksak tetapi daerah temperatur
- Ditandai dengan hilangnya bagian kristal pada bahan
- Polymer amorphous tidak memiliki *melting point*

2. T_g (*glass transition temperature*)

- Perubahan polimer dari solid menjadi lunak dengan perenggangan rantai molekul
- Perubahan ditandai dengan turunnya nilai modulus (menjadi lebih fleksibel)
- T_g plastik umumnya di atas temperatur ruang
- T_g rubber umumnya di bawah temperatur ruang

3. T_d (*Decomposition temperature*)

- Suhu dimana kemampuan ikatan molekul terlampaui sehingga terjadi putusnya ikatan
- Dekomposisi thermoplast terjadi pada kondisi cair, pada thermoset dalam kondisi padat

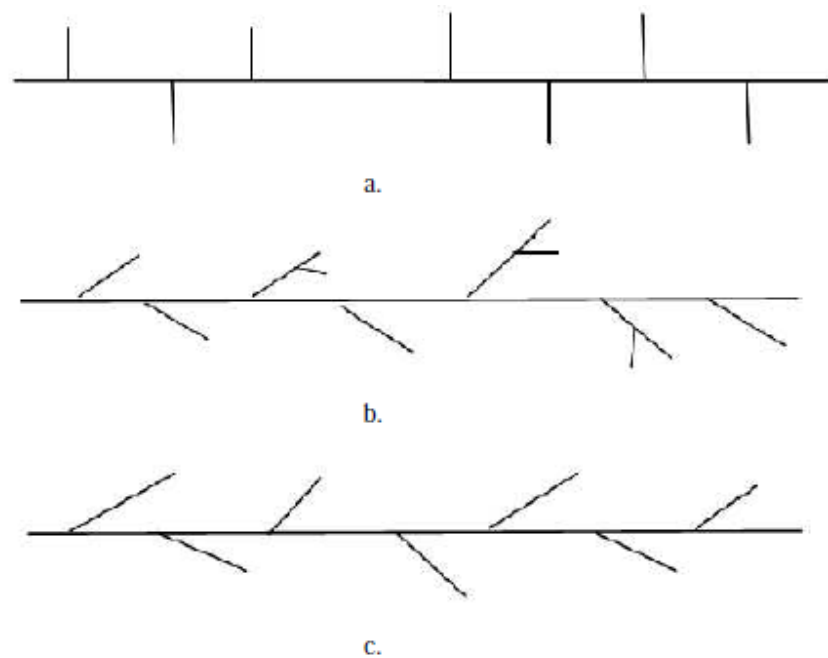
- Koefisien ekspansi thermal: perubahan panjang bahan jika dipanaskan sebesar 1K
- Konduktivitas panas: kemampuan material menghantarkan panas
- Kapasitas penyerapan panas: Panas/Energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 Kg bahan sebesar 1K

Tabel 2.2. Sifat-sifat Thermal Plastik (Budyantoro, 2009)

Polymer	T_g	T_m	Processing Temp
Polyethylene—low density (LDPE)	−130 to −13°F (−90 to −25°C)	208 to 240°F (98 to 115°C)	300 to 450°F (149 to 232°C)
Polyethylene—high density (HDPE)	−160°F (−110°C)	266 to 280°F (130 to 137°C)	350 to 500°F (177 to 260°C)
Polypropylene (PP)	−103 to −94°F (−25 to −20°C)	320 to 356°F (160 to 180°C)	374 to 550°F (190 to 288°C)
Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	212°F (100°C)	230 to 257°F (110 to 125°C)	350 to 500°F (177 to 260°C)
Nylon (6,6)	120°F (49°C)	470 to 500°F (243 to 260°C)	500 to 620°F (260 to 327°C)
Polyethylene terephthalate (PET)	150 to 175°F (66 to 80°C)	413 to 509°F (212 to 265°C)	440 to 660°F (227 to 349°C)
Polycarbonate (PC)	300°F (149°C)	284 to 300°F (140 to 149°C)	520 to 572°F (271 to 300°C)
Polyphenylene oxide (PPO)	375 to 428°F (190 to 220°C)	500 to 900°F (260 to 482°C)	400 to 670°F (204 to 354°C)

2.2.6.1. Polietilena (PE)

Polietilena adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 140-260°C. Umumnya polietilen bersifat resisten terhadap zat kimia. Pada suhu kamar, polietilena tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik. Beberapa jenis polietilena antara lain : *Low Density Polyethylene (LDPE)*, *High Density Polyethylene (HDPE)* dan *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)*. Dapat dilihat pada **Gambar 2.7.** *Low Density Polyethylene (LDPE)* memiliki struktur rantai bercabang yang tinggi dengan cabang-cabang yang panjang dan pendek. Sedangkan *High Density Polyethylene (HDPE)* mempunyai struktur rantai lurus, *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)* memiliki rantai polimer yang lurus dengan rantai-rantai cabang yang pendek (Amri, 2009).



Gambar 2.7. Struktur rantai polietilena a. HDPE, b. LDPE, c. LLDPE
(Amri, 2009)

HDPE didefinisikan mempunyai kepadatan yang tinggi atau sama dengan $0,941 \text{ g/cm}^3$. HDPE memiliki derajat percabangan yang rendah sehingga gaya antar molekul dan kekuatan tariknya juga rendah, material HDPE ini bersifat kuat, rapat dan strukturnya mudah diatur. Sedangkan LDPE didefinisikan mempunyai kepadatan $0,915 \text{ g/cm}^3$, secara substansial merupakan polimer dengan sejumlah besar percabangan pendek dan LDPE memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan HDPE. Material LDPE ini memiliki sifat yang lunak dan fleksibel. Untuk penggunaannya polietilena dengan densitas rendah biasanya digunakan untuk lembaran tipis pembungkus makanan, kantung-kantong plastik, jas hujan. Sedangkan untuk polietilena yang memiliki densitas tinggi, polimernya lebih keras, namun mudah dibentuk sehingga banyak dipakai sebagai alat dapur misalnya ember, juga untuk pelapis kawat dan kabel (Amri, 2009).

2.2.6.2. PET (*Polyethylene Terephthalate*)

PET dimulai perkembangannya pada tahun 1945 dengan melalui proses polikondensasi antara *terephthalic acid* dan *ethylene glycol* menghasilkan produk botol kemasan minuman, toples kemasan makanan, dan film. PET merupakan keluarga polyester seperti halnya PC. Polimer PET yang dapat diberi penguat *fiber glass*, atau *filler* mineral. PET film bersifat jernih, kuat, liat, dimensinya stabil, tahan nyala api, tidak beracun, permeabilitas terhadap gas, dan aroma maupun air rendah. PET mempunyai kombinasi sifat-sifat: kekuatan (*strength*)-nya tinggi, kaku (*stiffness*), dimensinya stabil, tahan terhadap bahan kimia dan panas, serta mempunyai sifat elektrik yang baik. PET memiliki daya serap terhadap uap air yang rendah. Pada **Tabel 2.3.**, merupakan sifat-sifat dari PET.

Tabel 2.3. Sifat-sifat PET (Budyantoro, 2009)

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 %
T _m	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

PET dapat diproses dengan proses ekstrusi pada suhu tinggi 520-580° F, selain itu juga dapat diproses dengan teknik cetak injeksi maupun cetak tiup. PET semi-kristal memiliki berat jenis 1.455 gr/cm³, Kandungan

kristal pada PET tidak terlalu tinggi hanya berkisar antara 30-40% sehingga dengan tambahan nucleating agent bahan ini akan menjadi transparan. Tanpa tambahan *nucleating agent* dan *plasticizer*, PET akan mengalami pendinginan secara perlahan sehingga menjadi masalah pada saat proses injeksi karena diperlukan *mold* yang panas atau waktu siklus yang lebih lama. Karakteristik PET secara ringkas sebagai berikut:

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

Yang dimaksud dengan sifat penghalang gas di atas adalah kemampuan untuk menahan rembesan gas yang terjadi dari dua arah permukaan produk, dengan sifat ini PET menjadi populer untuk digunakan sebagai bahan pembuatan botol kemasan minuman karena mampu mempertahankan aroma. Secara sederhana PET dapat diidentifikasi dengan cara dibakar melalui baunya yang harum, cairan yang menetes, dan nyala dasar berwarna orange (Budiyantoro, 2009:78).

2.2.6.3. Polipropilen (PP)

Polipropilen mempunyai sifat sangat kaku; berat jenis rendah; tahan terhadap bahan kimia, asam, basa, tahan terhadap panas, dan tidak mudah retak. Plastik polipropilen digunakan untuk membuat alat-alat rumah sakit, komponen mesin cuci, komponen mobil, pembungkus tekstil, botol, permadani, tali plastik, serta bahan pembuat karung. Pada **Tabel 2.4.** merupakan perbandingan *specific gravity* material thermoplastik dan **Tabel 2.5.** temperatur leleh material thermoplastik

Tabel 2.4. Perbandingan *Specific Gravity* Material Thermoplastik
(Mujiarto, 2005)

Resin	Specific Gravity
PP	0,85 - 0,90
LDPE	0,91 - 0,93
HDPE	0,93 - 0,96
ABS	0,99 - 1,10
Polistirena	1,05 - 1,08
Nylon	1,09 - 1,14
PVC	1,15 - 1,65
Poli Karbonat	1,20
Asetil Selulosa	1,23 - 1,34

Tabel 2.5. Temperatur Leleh Material Thermoplastik
(Mujiarto, 2005)

Temperatur Leleh Material Thermoplastik		
Material	°C	°F
PVC	160 - 180	320 - 365
LDPE	160 - 240	320 - 464
ABS	180 - 240	356 - 464
PS	180 - 260	356 - 500
HDPE	200 - 280	392 - 536
PP	200 - 300	392 - 572
Nylon	260 - 290	500 - 554
PC	280 - 310	536 - 590

2.2.6.4. Polistirena

Polistirena adalah jenis plastik termoplast yang termurah dan paling berguna serta bersifat jernih, keras, halus, mengkilap, dapat diperoleh dalam berbagai warna, dan secara kimia tidak reaktif. Busa polistirena digunakan untuk membuat gelas dan kotak tempat makanan, polistirena juga digunakan untuk peralatan medis, mainan, alat olah raga, sikat gigi, dan lainnya.

2.2.6.5. Polivinil Klorida (PVC)

Plastik jenis ini mempunyai sifat keras, kuat, tahan terhadap bahan kimia, dan dapat diperoleh dalam berbagai warna. Jenis plastik ini dapat dibuat dari yang keras sampai yang kaku keras. Banyak barang yang dahulu dapat dibuat dari karet sekarang dibuat dari PVC. Penggunaan PVC terutama untuk membuat jas hujan, kantong kemas, isolator kabel listrik, ubin lantai, piringan hitam, fiber, kulit imitasi untuk dompet, dan pembalut kabel.

2.2.6.6. Politetrafluoroetilen (Teflon)

Teflon memiliki daya tahan kimia dan daya tahan panas yang tinggi (sampai 260°C). Keistimewaan teflon adalah sifatnya yang licin dan bahan lain tidak melekat padanya. Penggorengan yang dilapisi teflon dapat dipakai untuk menggoreng telur tanpa minyak.

2.2.6.7. Polimetil pentena (PMP)

Plastik polimetil pentena adalah plastik yang ringan dan melebur pada suhu 240°C. Barang yang dibuat dari PMP bentuknya tidak berubah bila dipanaskan sampai 200°C dan daya tahannya terhadap benturan lebih tinggi dari barang yang dibuat dari polistiren. Bahan ini tahan terhadap zat-zat kimia yang korosif dan tahan terhadap pelarut organik, kecuali pelarut organik yang mengandung klor, misalnya kloroform dan karbon tetraklorida. PMP cocok untuk membuat alat-alat laboratorium dan kedokteran yang tahan panas dan tekanan, tanpa mengalami perubahan. Barang-barang dari bahan ini tahan lama (Budiyantoro, 2011).

2.2.7. Pemanas *Infrared Heater*

Infrared Heater atau lampu pemanas adalah sebuah alat penghasil panas, dimana alat tersebut dapat menghantarkan energy panas dengan suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah melalui radiasi elektromagnetik. Panjang gelombang puncak radiasi sinar infrared berkisar antara 780 nm sampai 1 mm tanpa adanya kontak atau media antara kedua benda untuk proses pemindahan energy. Pemanas infrared dapat dioperasikan kedalam ruangan hampa udara.

Klasifikasi infrared berdasarkan panjang pita gelombang antara lain:

1. Gelombang pendek atau Near Infrared (NIR) rata-rata dari 780 nm sampai 1400 nm.
2. Gelombang sedang rata-rata antara 1400 nm sampai 3000 nm.
3. Gelombang tinggi lebih dari 3000 nm.

2.2.7.1. Material Elemen

Bahan yang paling umum digunakan untuk kelistrikan pemanas inframerah adalah kawat *tungsten*, yang digulung untuk memberi luas permukaan lebih banyak. Alternatif untuk suhu rendah pada material tungsten adalah karbon atau besi paduan, kromium dan aluminium. Sementara *filament* karbon lebih mudah atau cepat berubah daripada pemanas gelombang dengan *filament FeCrAl*. Bila tidak ingin ada cahaya dalam proses pemanasan benda kerja, pemilihan pemanas jenis *infrared* keramik adalah solusi yang tepat mengandung kawat resistensi alloy melintang sepanjang 8 meter, mampu memancarkan panas seragam diseluruh permukaan pemanas dan mampu menyerap 90% radiasi emisi yang dihasilkan oleh pemanas. Pada **Gambar 2.8.** merupakan pemanas *infrared* dengan kaca *silica* dan keramik disetiap ujungnya sebagai isolator.



Gambar 2.8. *Infrared Heater*

Pemanas infra merah industri terkadang menggunakan lapisan emas pada tabung kuarsa yang mencerminkan radiasi infra merah dan mengarahkannya ke produk yang akan dipanaskan. Akibatnya, radiasi infra merah yang menimpa produk hampir dua kali lipat. Emas digunakan karena ketahanan oksidasi dan reflektivitas infra merah yang sangat tinggi sekitar 95%.

2.2.7.2. Karakteristik *Infrared Heater*

Pemanas infra merah biasanya digunakan dalam modul infra merah (atau bank emitor) yang menggabungkan beberapa pemanas untuk mencapai area berpemanas yang lebih besar. Pemanas infra merah biasanya diklasifikasikan berdasarkan panjang gelombang yang mereka pancarkan.

Inframerah (NIR) atau pemanas infra merah gelombang pendek beroperasi pada suhu filamen tinggi di atas 1800°C. Pemanas inframerah gelombang menengah dan karbon (CIR) beroperasi pada suhu filamen sekitar 1000°C. Mereka mencapai kepadatan daya maksimal hingga 60 kW / m² (medium-wave) dan 150 kW / m² (CIR).

Kelebihan dari *infrared heater* adalah lebih mudahnya dalam pengaturan suhu didalam oven. Sehingga, *Infrared heater* banyak digunakan di pabrik-pabrik yang membutuhkan kecepatan dan hasil yang memuaskan. Contoh aplikasi *infrared heater* adalah untuk oven pemanggang roti, pemanas botol *preform* dan lain-lain.

Yang harus diperhatikan dalam pembuatan infrared heater adalah :

1. Berapa besar suhu yang diinginkan.
2. Jenis barang atau material yang akan di keringkan.
3. Luas oven yang diinginkan, karena dalam pembuatan oven lebih kecil luas oven akan lebih baik, karena lebih cepat mendapatkan suhu yang diinginkan.

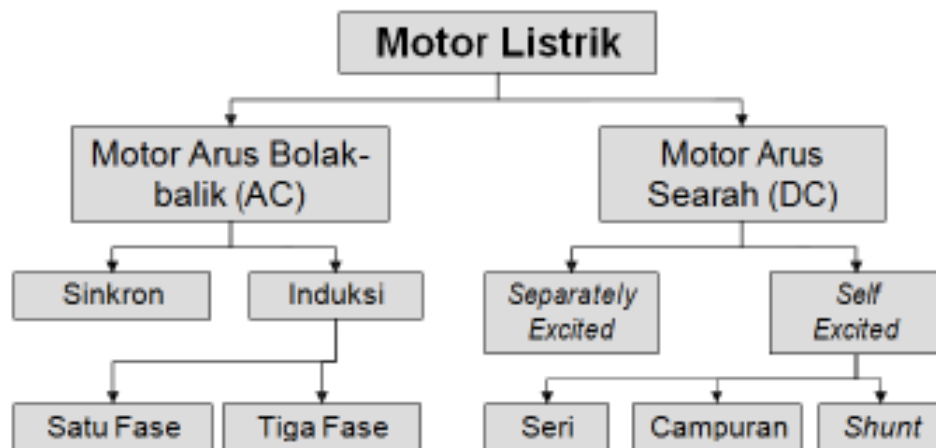
2.2.8. Motor Penggerak

Motor listrik adalah suatu komponen utama dari sebuah konstruksi permesinan yang berfungsi sebagai penggerak. Gerakan yang dihasilkan oleh motor adalah sebuah putaran poros. Komponen lain yang akan dihubungkan dengan suatu poros motor adalah *pulley* ataupun roda gigi yang kemudian akan dihubungkan dengan sabuk ataupun rantai. Motor adalah suatu komponen utama dalam sebuah konstruksi permesinan yang berfungsi sebagai sumber daya mekanik untuk menggerakkan suatu poros. Pada **Gambar 2.9.** merupakan motor kipas angin.



Gambar 2.9. Motor Kipas Angin

Komponen lain yang dihubungkan dengan poros diantaranya adalah *pulley* ataupun roda gigi yang kemudian akan dihubungkan dengan sabuk ataupun rantai untuk menggerakkan komponen lain. Menurut jenisnya motor dibagi menjadi 2 yaitu, motor listrik dan motor bakar. Berikut adalah skema klasifikasi motor listrik seperti pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10. Klasifikasi Motor Listrik

(Sularso, 2002)

Adapun persamaan dibawah ini yang dipakai untuk mencari kecepatan yang terjadi terdapat pada persamaan dibawah ini:

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : V_c = kecepatan (m/menit)

n = putaran (rpm)

d = diameter (mm)

Kecepatan putaran yang dihasilkan suatu motor listrik, juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: frekuensi dan jumlah kutub. Kecepatan putaran (rpm) biasa juga dituliskan dengan huruf N , dan besar rpm ini ditentukan oleh seberapa besar frekuensi listrik yang digunakan dikali dengan sudut phase (120°) dibagi dengan jumlah kutub gulungan (Pole). (Sularso, 2002)

$$N = (f \times 120) : P \dots \dots \dots (2.2)$$

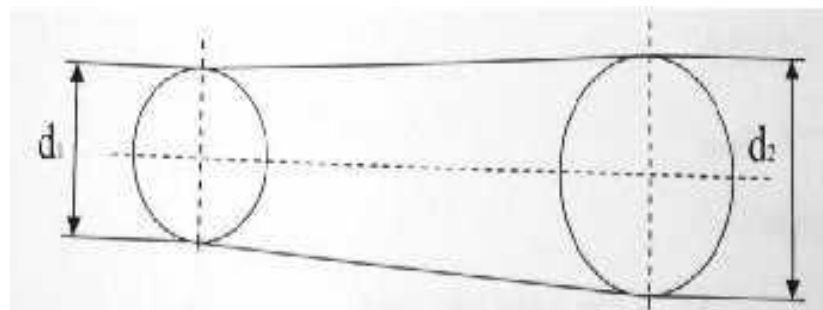
Dimana : N = Jumlah Putaran permenit (rpm)

F = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub gulungan (Pole)

2.2.9. Pulley Transmission

Pulley adalah suatu elemen mesin yang berfungsi sebagai komponen atau penghubung gerakan yang diterima tenaga dari motor diteruskan dengan menggunakan *belt* ke benda yang ingin digerakan. Dalam penggunaan *pulley* kita harus mengetahui berapa besar putaran yang akan kita gunakan serta dengan menetapkan diameter dari salah satu *pulley* yang kita gunakan. *Pulley* biasanya terbuat dari besi tuang, dan alumunium. Pada **Gambar 2.11.** merupakan sistem transmisi pada sabuk dan *pulley*



Gambar 2.11. Sistem transmisi pada sabuk dan *pulley*

(Sularso, 2002)

Dalam hal ini dapatlah kita gunakan rumus : (Sularso, 2002)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : d_1 = diameter pulley pada penggerak(mm)

d_2 = diameter pulley yang digerakan(mm)

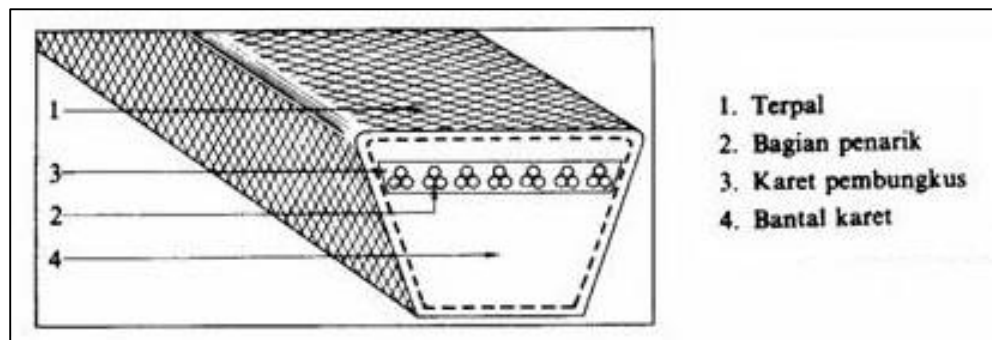
n_1 = putarn penggerak(rpm)

n_2 = putaran pulley yang digerakan(rpm)

2.2.10. Sabuk V-Belt

Sabuk merupakan suatu elemen mesin berfungsi sebagai penghantar daya atau mentransmisikan tenaga dari satu poros lain dengan menggunakan puli yang memutar dengan kecepatan yang sama atau berbeda. Sabuk biasanya terbuat dari rayon, nylon atau katun yang diresapi dengan karet

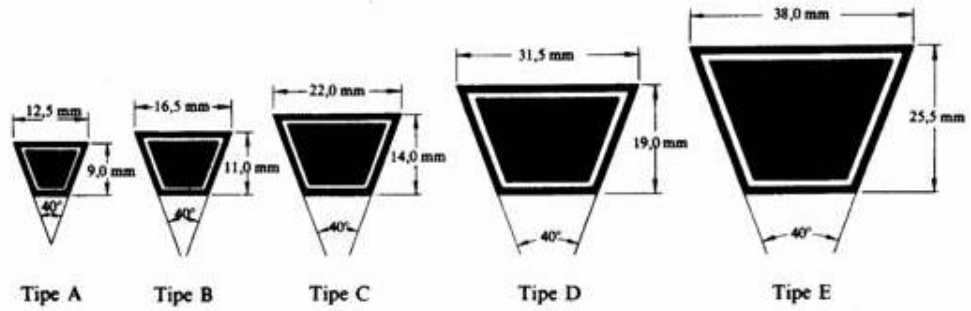
Gambar 2.12. (Sularso, 2002)



Gambar 2.12. Konstruksi Sabuk Berbentuk V

(Sularso, 2002)

Pada rencana rancang bangun ini *belt* yang digunakan adalah *belt* berbentuk V jenis B, karena jenis ini tidak menimbulkan suara berisik seperti sabuk datar dan sangat baik untuk putaran tinggi. Sabuk V terbuat dari dari karet dan berbentuk trapezium. Sabuk V dililitkan disekeliling alur *pulley* yang berbentuk V pula atas dasar daya rencana dan putaran poros, penampangan sabuk V yang dapat diperoleh dengan pemilih ansabuk V. Adapun jenis-jenis penampang sabuk V dapat dilihat pada **Gambar 2.13.** dibawah ini :



Gambar 2.13. Ukuran penampang sabuk V
(Sularso, 2002)

Gaya tegangan yang terjadi pada sabuk karena sabuk V biasanya digunakan untuk menghantarkan putaran, maka perbandingan yang umum menggunakan rumus : (Sularso, 2002)

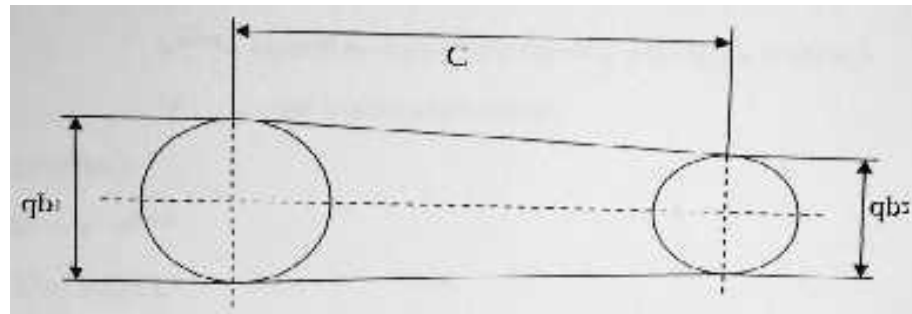
$$\frac{n1}{n2} = i = \frac{dp1}{dp2} = \frac{1}{u} = u ; \dots\dots\dots(2.4)$$

- Dimana : n1 = putaran pulley besar (rpm)
- n2 = putaran pulley kecil (rpm)
- dp1 = diameter pulley 1 (mm)
- dp2 = diameter pulley 2 (mm)
- i = perbandingan reduksi

Rumus yang digunakan untuk perhitungan sabuk :

$$L = 2C + \frac{\pi}{2} dp1 + dp2 + \frac{1}{4c} (dp1 + dp2)^2$$

- Dimana : L = panjang sabuk (mm)
- C = jarak antara sumbu poros (mm)
- dp1 = diameter pulley besar (mm)
- dp2 = diameter pulley kecil (mm)



Gambar 2.14. Posisi sabuk dan pulley
(Sularso, 2002)

Adapun pada **Gambar 2.14.** merupakan posisi sabuk dan *pulley*. Kemudian untuk mencari besar sudut kontak antara sabuk dan pulley dapat kita gunakan persamaan rumus dibawah ini adalah :

$$\alpha = \text{Arc sin}$$

$$\theta = (180^\circ - 2\alpha) \frac{\pi}{180} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana : α = sudut inklinasi

r_1 = jari-jari pulley I (mm)

r_2 = jari-jari pulley II (mm)

C = jarak antara dua sumbu poros (mm)

θ = sudut kontak (rad)

Untuk menghitung tegangan yang terjadi pada sabuk, terlebih dahulu dihitung torsi yang diakibatkan oleh putaran poros motor dengan menggunakan persamaan rumus dibawah ini :

$$P = (T_1 - T_2).V \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana : P = daya motor (kw)

T_1 = tegangan sabuk pada sisi kencang (N)

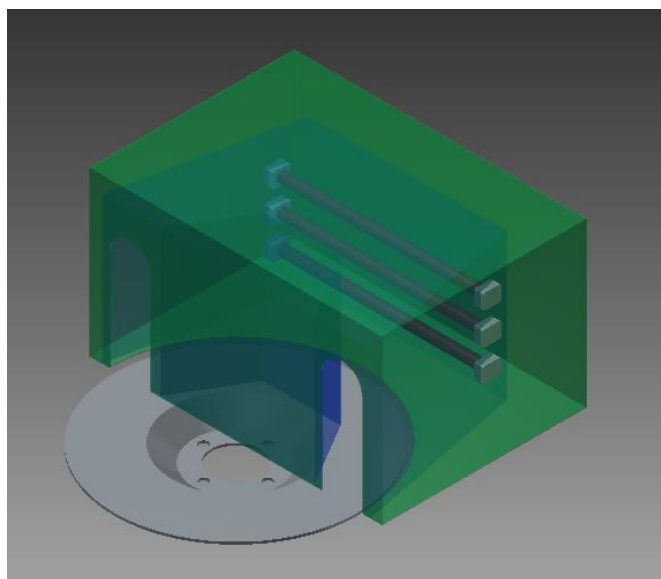
T_2 = tegangan sabuk pada posisi kendur (N)

V = kecepatan linear sabuk (m/s)

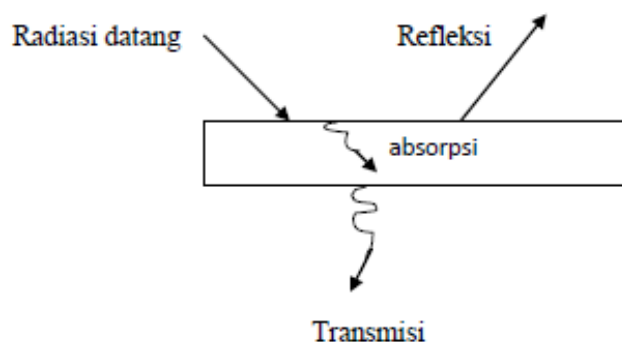
2.2.11. Perpindahan Panas *Heat Transfer* pada Oven

2.2.11.1. Secara Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut. Berikut **Gambar 2.15.** merupakan bentuk desain oven pemanas menggunakan *infrared heater*.



Gambar 2.15. Desain Bentuk Oven



Gambar 2.16. Perpindahan panas radiasi
(Cengel, 2003)

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang

elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan seperti **Gambar 2.16**. sedangkan besarnya energi:

Rumus:

$$\dot{Q}_{\text{pancaran}} = e\sigma AT^4 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : $\dot{Q}_{\text{pancaran}}$ = laju perpindahan panas (W)

e = emisivitas permukaan ($0 \leq e \leq 1$)

σ = konstanta boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

A = luas permukaan benda (m^2)

T = suhu absolut benda ($^{\circ} \text{C}$)

Josep Stefan (1835-1893) berdasarkan pada hasil eksperimen menyatakan bahwa besarnya energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan per waktu per satuan luas sebanding dengan pangkat empat suhu permukaan dan dapat ditulis dengan persamaan:

$$l = e\sigma T^4 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana : l = energi yang dipancarkan atau diserap per satuan luas (J/s m^2 atau watt/m^2)

σ = konstanta umum Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T = suhu mutlak (K)

e = emisivitas permukaan ($0 \leq e \leq 1$)

Emisivitas benda (e) menyatakan suatu ukuran seberapa besar pemancaran radiasi kalor suatu benda dibandingkan dengan benda hitam sempurna dan besarnya bergantung pada sifat permukaan benda. Untuk benda hitam sempurna, harga $e=1$, benda-benda lain harga koefisien emisivitasnya lebih kecil dari satu, sedangkan untuk benda berwarna putih sempurna $e=0$. Harga e bergantung pada keadaan permukaan benda, yaitu kekasarannya serta warna dari benda. Energi yang dipancarkan oleh sebuah benda dalam satuan joule ditentukan dengan persamaan:

$$\dot{Q} = e\sigma T^4 A t \dots\dots\dots(2.9)$$

Dari persamaan di atas ditentukan besarnya energi radiasi yang dipancarkan per satuan waktu (daya radiasi) yaitu:

$$H = \frac{Q}{t} = e\sigma A T^4 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : Q = energi yang dipancarkan oleh permukaan benda (joule)

H = energi per satuan waktu (J/s atau watt)

e = emisivitas permukaan

σ = konstanta umum Stefan-Boltzmann

T = suhu mutlak

A = luas permukaan benda

t = lama waktu emisi energi (detik)

Pada umumnya daya emisi (pancar) sama dengan daya serap/absorpsi suatu benda sehingga dapat disimpulkan bahwa pemancar yang baik merupakan penyerap yang baik pula. Pemancar yang buruk juga merupakan penyerap yang buruk juga. Misalnya besi pada siang hari lebih panas dan pada malam hari lebih mudah dingin daripada benda-benda lainnya. jika suatu benda permukaannya bersuhu T dan di sekitarnya suhunya T' (di mana $T > T'$) maka benda tersebut permukaannya tiap satu satuan luas dan tiap satu satuan waktu memancarkan energi yang memenuhi persamaan:

$$l = e\sigma \{T^4 - (T')^4\} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana : l = energi yang dipancarkan tiap satuan luas dan tiap satuan waktu ($J/s \text{ m}^2$ atau $watt/m^2$)

e = emisivitas permukaan permukaan ($0 \leq e \leq 1$)

σ = konstanta umum Stefan-Boltzmann

T = suhu permukaan benda (K)

T' = suhu sekeliling permukaan (K)

2.2.11.2. Secara Konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan perpindahan panas dengan media fluida. Dalam proses perpindahan panas terjadi gerakan fluida yang berarti ada perpindahan massa, dimana dalam *injection molding* terjadi pada *mold* dan cairan pendingin yang di pompakan ke dalam saluran pendingin pada *mold*. Perpindahan panas konveksi dirumuskan (Cengel, 2003):

$$\dot{Q} = hA(T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana : q = Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

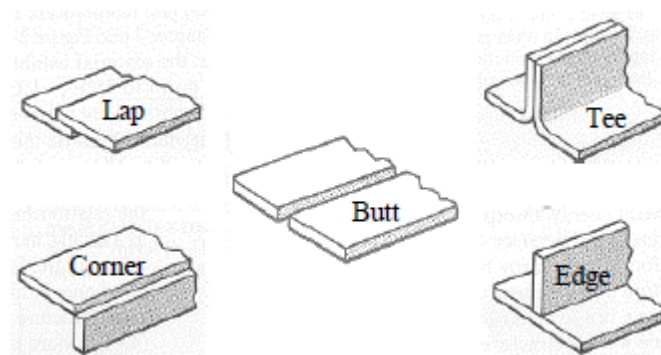
h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = Luasan benda yang bersinggungan fluida (m^2)

T_w = Suhu benda ($^\circ C$)

T_∞ = Suhu fluida ($^\circ C$)

2.2.12. Jenis Sambungan Las



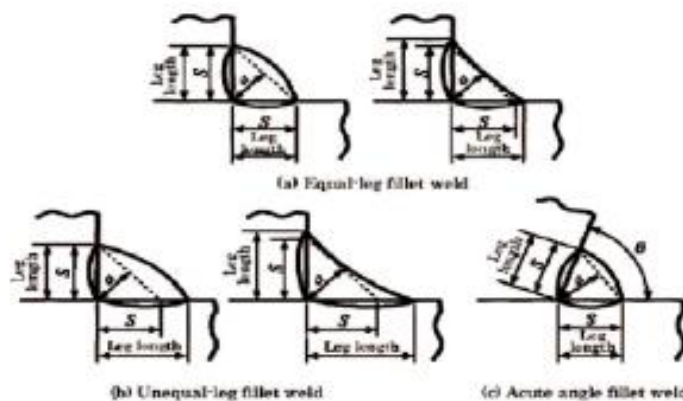
Gambar 2.17. Jenis Sambungan Las (Winarto, 2011)

Dalam proses pembentukan rangka nantinya digunakan sambungan jenis las busur listrik (SMAW) (**Gambar 2.17.**). Pada bidang pengelasan penentuan besar kecil dan tinggi pendek suatu kampuh las akan mempengaruhi daya tahan serta efisiensi dalam penggunaan jumlah elektroda. Dalam perancangan *infrared heater* digunakan las bentuk *fillet*, dikarenakan las bentuk fillet tersebut mudah untuk dikerjakan dan dapat diterapkan pada beberapa jenis sambungan diantaranya *T-joint*, *corner joint*, *lap joint*. Las *fillet* dipilih dikarenakan mudah untuk menjaga bentuk bagian

part dari distorsi pengelasan (**Gambar 2.18.**). Kekuatan las fillet tergolong rendah dibandingkan dengan las groove (Winarto, 2011).

Pada perancangan *infrared heater* menggunakan jenis pengelasan busur listrik dengan elektroda yang digunakan untuk penyambungan material baja lunak dan baja paduan rendah. Menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) dengan keterangan E XXYZ. Kode E digunakan untuk menyatakan jenis elektroda untuk las busur listrik. XX (angka kedua) digunakan untuk menyatakan besar kekuatan tarik ijinnya (tensile strength). Y (angka ketiga) digunakan untuk menyatakan posisi pengelasan, jika dinyatakan dengan angka 1 maka dapat digunakan untuk segala posisi, 2 untuk posisi flat horisontol, dan 3 posisi flat. Z (angka keempat) digunakan untuk menyatakan jenis fluks atau arus yang baik digunakan dalam menganalisa kekuatan struktur las terdapat beberapa tahap:

1. Menganalisa jenis elektroda yang digunakan dan besar tegangan ijin dari elektroda tersebut.
2. Menganalisa jenis sambungan yang digunakan.
3. Menganalisa arah pembebanan yang terjadi pada sambungan.
4. Menghitung besar tegangan yang terjadi akibat pembebanan pada sambungan las.
5. Membandingkan hasil tegangan yang terjadi pada sambungan dengan tegangan ijin las untuk mencari tahu bahwa sambungan mampu menerima pembebanan atau tidak.



Gambar 2.18. Ukuran dan Kedalaman Leher Lasan Fillet (Winarto, 2011)



Gambar 2.19. Jenis Elektroda E6013 (Winarto, 2011)

Salah satu elektroda yang sering dipakai dalam melakukan proses pengelasan adalah jenis AWS E6013 dikarenakan jenis elektroda tersebut memiliki harga yang relatif terjangkau. AWS E6013 memiliki tegangan ijin yang baik sebesar 60.000 psi, dan dapat diterapkan pada proses pengelasan segala posisi dengan kadar fluks yang rendah (Affi, 2007).

Elektroda RD-260 (**Gambar 2.19.**) merupakan jenis elektroda yang digunakan untuk pengelasan vertikal ke bawah. Elektroda ini memiliki penetrasi yang dangkal dan sedikit terjadinya *slag inclusion* (kemasukkan terak). Komposisi kimia pada elektroda RD-260 diantaranya C 0,07% - Si 0,35% - Mn 0,40% - P 0,010% - S 0,007%. Dengan sifat mekanis yang dimiliki titik rentang 465 N/mm² dengan kekuatan tarik sebesar 500 N/mm² dan batas pemanjangan 26,0% (Saputra, 2004).

2.2.13. Bahan Material Oven

2.2.13.1. Galvalume

Perbedaan oven gas stainless dan oven gas galvalume hanya pada ketebalan material plat dan tampilannya saja. Sebelum mengupas kedua hal tersebut, memang yang paling mencolok adalah dari tampilannya, hal tersebut justru sangat mempengaruhi perbedaan selisih harga antara oven bahan material galvalume dengan material stainless. Tampilan oven galvalume kebanyakan berwarna putih, hijau, hitam dll. Warna itupun di karenakan cat yang disemprotkan oleh produsen ke material galvalume, supaya terlihat lebih menarik. Dikarenakan oven ketika melakukan proses pemanggangan adonan mengeluarkan panas hingga mencapai rata rata 200°C, cat yang digunakan juga harus yang anti panas agar tidak gampang

melepuh akibat panas dinding oven. Warna bawaan material galvalume sendiri juga sudah bagus, tidak mudah berkarat dan tidak mudah tergores. Mungkin karena variasi warna saja banyak yang menggunakan semprotan cat untuk terlihat lebih menarik. Proses pelapisan galvalume dilakukan dengan *contuous hot dipped*.

Komposisi cairan pelapis untuk galvalume terdiri dari Aluminium 55% dan zinc/seng 45%, sisanya bahan bahan lain hingga 100%. Karena kandungan aluminium yang tinggi pada galvalume membuat galvalume mempunyai daya tahan karat yang bagus. Sementara tampilan dari material *stainless* sendiri sudah sangat menarik, terlihat lebih bersih dan berkilau. *Stainless Steel* adalah logam paduan dari beberapa unsur logam dengan komposisi tertentu. Antara lain jumlah minimum digunakan untuk membuat stainless steel adalah 10,5%, itu adalah krom yang membuat baja stainless. Kromium juga meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk film oksida kromium pada baja. Elemen lainnya yang digunakan untuk membuat stainless termasuk nikel, nitrogen, dan molibdenum. Dari beberapa elemen tersebut didapatkan sifat baru dari logam tersebut yang lebih kuat.lebih tahan terhadap korosif, dan sifat unggul lainnya. Stainless steel terbagi menjadi beberapa grade berdasarkan struktur metalurginya. Khusus untuk aplikasi dalam pembuatan mesin pengolahan makanan, biasanya digunakan jenis stainless food grade (SS304, SS316). Mengenai ketebalan plat material galvalume yang kami gunakan untuk perancangan oven kami lebih tebal galvalume 0,2 mm. Ketebalan material galvalume 0,7 dan ketebalan stainless 0,5 mm. Hal tersebut mempengaruhi berat kosong oven. Mengenai perbedaan bahan material dan ketebalan tidak mempengaruhi hasil dari kualitas oven (Anonim, 2014).