

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Metalografi

Dalam ilmu metalurgi, mempelajari struktur mikro sangat penting karena berhubungan dengan sifat fisik dan mekanik suatu material. Struktur mikro yang kecil berarti memiliki sifat kekerasan yang tinggi sedangkan sebaliknya, struktur mikro yang besar berarti memiliki sifat kekerasan yang ulet.

Untuk mengetahui struktur mikro suatu material, perlu dilakukannya pengujian metalografi. Menurut Hadi (2016:110) “metalografi adalah studi struktur fisik dan komponen logam yang menggunakan mikroskop atau mengetahui perkiraan sifat-sifat fisik dengan mengenali ciri-ciri khusus dari struktur mikronya ataupun sebagai karakteristik bahan”. Sedangkan menurut Benjamin dan Christopher (2014:67) “*metallography is the application of microscopic techniques to section or polished of ancient metallic materials for the purpose of gaining information concerning composition, microstructural components, extent of corrosion, or method of fabrication*”. Dengan kata lain, metalografi adalah aplikasi teknik mikroskopis untuk bagian atau poles pada bahan logam kuno dengan tujuan memperoleh informasi mengenai komposisi, komponen mikrostruktur, tingkat korosi atau metode fabrikasi.

Dari pengertian diatas, dapat disimpulkan bahwa metalografi merupakan salah satu ilmu yang mempelajari tentang struktur mikro pada suatu material dengan menggunakan bantuan mikroskop untuk mengetahui ciri-ciri khusus serta sifat fisik dari material tersebut.

2.2 Pengertian Umum Hot Mounting Press

Mounting merupakan pelapisan zat logam dengan mencampurkan resin dengan zat lain yang akan membentuk media *mounting* untuk spesimen metalografi. Adapun tujuan *mounting* adalah untuk memudahkan pemegangan pada spesimen yang berukuran kecil dan memiliki bentuk tidak beraturan ketika di-*grinding* atau dihaluskan. Alat *Hot Mounting Press* ini mulai dikembangkan pada tahun 1960-an,

ketika industri metalografi memerlukan metode yang lebih efektif untuk mempersiapkan spesimen untuk analisis mikroskopis. Pada awalnya, alat ini digunakan secara manual, memerlukan waktu dan tenaga yang banyak untuk mempersiapkan spesimen. Namun, dengan kemajuan teknologi, alat ini mulai dilengkapi dengan fitur otomatis dan sistem pemanasan yang lebih efektif, pada tahun 1980-an, beberapa merek seperti *Trojan* dan *Struers* mulai mengembangkan alat *Hot Mounting Press* yang lebih canggih dan efektif. Merek-merek ini menjadi populer di industri metalografi dan laboratorium pengujian dan Pada tahun 2000-an, teknologi alat *Hot Mounting Press* terus dikembangkan dengan penambahan fitur-fitur seperti sistem pemanasan yang lebih cepat dan sistem pendingin yang lebih efektif. Hal ini memungkinkan penggunaan alat ini untuk berbagai aplikasi, termasuk pengujian material yang lebih kompleks.

2.3 Jenis – Jenis Metode *Mounting*

Mounting adalah proses yang digunakan dalam industri metallografi untuk mempersiapkan spesimen untuk analisis mikroskopis. Ada dua jenis metode *mounting* yang umum digunakan, yaitu:

1. *Hot Mounting*

Metode *hot mounting* merupakan teknik *mounting* yang dilakukan dengan meletakkan spesimen kedalam alat *hot mounting* lalu diberi bahan *mounting*, kemudian dipanaskan yang kemudian akan diberi tekanan sehingga zatnya rapat dan menjadi padat. Setelah selesai, proses pendinginan dilakukan kemudian produk *mounting* dapat dikeluarkan. *Hot mounting* biasanya digunakan untuk material yang memiliki sifat termoplastik, seperti logam dan keramik.

2. *Cold Mounting*

Cold mounting adalah teknik *mounting* yang dilakukan dengan cara meletakkan spesimen logam atau keramik ke dalam wadah cetakan yang telah diisi dengan campuran resin dan zat lain. Kemudian, wadah tersebut didinginkan hingga resin cair mengeras dan membentuk blok yang stabil.

Cold mounting biasanya digunakan untuk material yang memiliki sifat termosetting, seperti logam dan keramik.

Perbedaan utama dari kedua metode tersebut terletak pada suhu yang digunakan dalam proses *mounting*. *Hot mounting* melibatkan pemanasan material hingga suhu tinggi sebelum *mounting*, sedangkan *cold mounting* tidak melibatkan pemanasan material sebelum *mounting*.

2.4 Prinsip Kerja Alat *Hot Mounting Press*

Prinsip kerja dari alat *hot mounting press* yaitu membentuk bahan spesimen metalografi yang semula berbentuk butiran yang dimasukkan pada silinder pencetak spesimen dan diberi tekanan menggunakan dongkrak dengan tekanan tertentu. Kemudian bahan spesimen dipanaskan sampai mencapai suhu tertentu sehingga bahan spesimen menyatu dan membentuk blok silinder atau menyerupai tablet. Setelah itu, melakukan proses pendinginan dengan mengalirkan air ke dalam ruang silinder selama beberapa menit kemudian produk *mounting* dapat dikeluarkan.

2.5 Jenis – Jenis Bahan *Mounting*

Adapun beberapa macam jenis bahan untuk *hot mounting* yang dapat digunakan tergantung pada jenis dari sampel metalografi, yaitu sebagai berikut

1. *PhenoCure*

Phenocure adalah bahan yang mengandung campuran serbuk kayu dan resin bakelit, *PhenoCure* memiliki kekerasan yang tinggi, sehingga membuatnya cocok untuk pengawetan spesimen yang keras dan tahan asam, *PhenoCure* memiliki 3 macam warna yaitu hitam, merah dan hijau, Titik leleh *Phenocure* adalah 174,3°C pada tekanan satu atmosfer (1 atm).



Gambar 2.1 *Phenocure*
(shop.opti-tech.ca, 2023)

2. *Diallyl Phthalate* yang mengandung campuran kaca atau resin dan mineral digunakan sebagai *plasticizer* dalam produksi plastik, seperti PVC, untuk membuatnya lebih lunak dan fleksibel, *Diallyl Phthalate* memiliki warna biru, Titik leleh *Diallyl Phthalate* adalah 157-165°C



Gambar 2.2 *Diallyl Phthalate*
(metlabcorp.com, 2024)

3. *EpoMet G* yang mengandung campuran resin termoset dan mineral memiliki kekerasan yang tinggi, yang membuatnya cocok untuk pengawetan spesimen yang keras. Tetapi memiliki biaya yang tinggi, sehingga tidak cocok untuk penggunaan yang tidak memerlukan kualitas yang tinggi, *EpoMet G* memiliki warna hitam, Titik leleh *EpoMet G* adalah 290°C.



Gambar 2.3 *EpoMet G*
(jhtechnologies, 2024)

4. *TransOptic* yang mengandung *acrylic thermoplastic* memiliki sifat yang transparan, sehingga memungkinkan pengawetan spesimen dengan cara yang lebih efektif, memiliki warna yang transparan dan bersih, Titik didih *TransOptic* adalah 290°C



Gambar 2.4 TransOptic
(ncimicro.com, 2024)

5. *KonductoMet* suatu jenis bahan yang digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengawetan spesimen metalografi yang mengandung campuran *graphite*, mineral dan resin fenolik, *KonductoMet* memiliki warna hitam, Titik didih *KonductoMet* adalah 290°C



Gambar 2.5 KonduktoMet
(ncimicro.com, 2024)

6. *ProbeMet* yang mengandung campuran tembaga, mineral dan resin fenolik Direkomendasikan untuk analisis SEM bila tembaga bukan objek analisis, *ProbeMet* memiliki warna coklat tembaga, Titik didih *ProbeMet* adalah 290°C.



Gambar 2.6 ProbeMet
(jhtechnologies, 2024)

7. *EpoMet F* yang memberikan retensi tepi yang sangat baik dan direkomendasikan untuk pemasangan material keras. mengandung campuran mineral dan resin, memiliki warna hitam, Titik didih *EpoMet F* adalah 290°C.



Gambar 2.7 *EpoMet F*
(jhtechnologies, 2024)

2.6 Komponen Utama Alat *Hot Mounting Press* Spesimen Metalografi

Adapun komponen yang terdapat pada alat *hot mounting press* spesimen metalografi akan dijelaskan sebagai berikut:

1. *Moulding Unit*

Moulding Unit adalah komponen yang berfungsi sebagai ruang yang digunakan untuk memanaskan media resin yang ditekan menggunakan dongkrak, sehingga ketika resin atau bahan *mounting* tersebut meleleh sifatnya akan berubah menjadi padat.



Gambar 2.8 *Moulding Unit*
(Applied, 2017)

2. Dongkrak

Dongkrak merupakan salah satu alat vital bagi manusia sejak zaman dahulu dengan desain yang teramat simpel dan pembuatan yang tidak rumit dapat membantu manusia mengangkat benda yang beratnya lebih dari berat tubuhnya. Konsep sebuah dongkrak berawal dari sebuah hukum pascal,

yang meneliti sebuah bejana tekan yang keduanya tertutup. Prinsip inilah yang mengawali berkembangnya sebuah dongkrak dengan pesat mengenai desain dan efisiensi beban dari sebuah dongkrak agar lebih ekonomis dan banyak digunakan oleh semua orang di dunia (Waluyo, B. S. 2015). Pada pelaksanaan *hot mounting press* ini membutuhkan dongkrak yang berfungsi untuk memberi tekanan pada saat pengoperasian untuk menekan pin yang berada di tungku *mounting*, dongkrak yang terdapat di alat *hot mounting* ini ialah tipe dongkrak hidrolik dan memiliki kapasitas 6 ton.



Gambar 2.9 Dongkrak
(Indotrading, 2024)

3. *Pressure Gauge*

Pressure gauge yaitu alat yang berfungsi untuk mengukur suatu sistem tekanan fluida gas ataupun cair yang tersambung ke dongkrak pada alat *hot mounting press* spesimen metalografi.



Gambar 2.10 *Pressure Gauge*

4. Selang Karet

Merupakan benda berbentuk lubang silinder dengan lubang ditengahnya sebagai sarana pengaliran atau transportasi fluida berbentuk cair, gas, maupun udara, fungsi selang ini sendiri ialah sebagai saluran air yang masuk

kedalam *mounting unit* untuk mendinginkan *heater* dan juga saluran air yang keluar dari *heater*.



Gambar 2.11 Selang Karet
(Altaria dan Tatang Sobandi, 2017)

5. Bak penampung air

Bak penampungan air berfungsi sebagai wadah penampungan air yang akan dialirkan maupun dikeluarkan dari ruang pemanas/*moulding unit* pada alat *hot mounting press* spesimen metalografi.



Gambar 2.12 Bak Penampungan Air
(terangaquariumbogor, 2021)

2.7 Pemilihan Bahan dan Komponen

Sularso (1997). Mengungkapkan bahwa setiap perencanaan rancang bangun memerlukan pertimbangan-pertimbangan bahan agar bahan yang digunakan sesuai dengan yang direncanakan. Hal-hal penting dan mendasar harus di perhatikan dalam pemilihan bahan.

Sunardi (2021). Mengungkapkan bahwa dalam membuat dan merencanakan rancang bangun suatu alat atau mesin perlu sekali mempertitungkan pemilihan material yang akan di gunakan. Pemelihan material yang sesuai akan sangat menunjang keberhasilan pembuatan rancang bangun dan perencanaan alat tersebut. Material yang akan diproses harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan pada desain produk, dengan sendirinya sifat-sifat material akan sangat menentukan proses pembentukan. Berdasarkan pemilihan bahan yang sesuai akan sangat

menunjang keberhasilan dalam perencanaan tersebut, adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan yaitu:

1. Fungsi Dari Komponen

Komponen yang direncanakan mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Yang dimaksud dengan fungsinya adalah bagian-bagian utama dari perencanaan atau bahan yang akan dibuat dan dibeli harus sesuai dengan fungsi dan kegunaan dari bagian-bagian bahan masing-masing. Namun pada bagian-bagian tertentu atau bagian bahan yang mendapat beban yang lebih besar, bahan yang dipakai tentunya lebih keras. Oleh karena itu penulis memperhatikan jenis bahan yang digunakan sangat perlu untuk diperhatikan.

2. Sifat Mekanis Bahan

Dalam perencanaan perlu diketahui sifat mekanis dari bahan, hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan bahan. Dengan diketahuinya sifat mekanis dari bahan maka akan diketahui pula kekuatan dari bahan tersebut. Dengan demikian akan mempermudah dalam perhitungan kekuatan atau kemampuan bahan yang akan dipergunakan pada setiap komponen tentu saja hal ini akan berhubungan dengan beban yang akan diberikan pada komponen tersebut. Sifat-sifat mekanis bahan yang dimaksud berupa kekuatan tarik, tegangan geser, modulus elastisitas dan sebagainya.

3. Sifat Fisis Bahan

Sifat fisis bahan juga perlu diketahui untuk menentukan bahan apa yang akan dipakai. Sifat fisis yang dimaksud disini seperti: kekasaran, kekakuan, ketahanan terhadap korosi, tahan terhadap gesekan dan lain sebagainya.

4. Bahan Mudah Didapat

Bahan-bahan yang akan dipergunakan untuk komponen suatu alat/mesin yang akan direncanakan hendaknya diusahakan agar mudah didapat dipasaran, karena apabila nanti terjadi kerusakan akan mudah dalam pengantiannya. Meskipun bahan yang akan direncanakan telah

diperhitungkan dengan baik, akan tetapi jika tidak didukung oleh persediaan bahan yang ada dipasaran, maka pembuatan suatu alat tidak akan dapat terlaksana dengan baik, karena terhambat oleh pengadaan bahan yang sulit. Oleh karena itu, perencana harus mengetahui bahan- bahan yang ada dan banyak dipasaran.

5. Harga Relatif Murah

Untuk membuat komponen-komponen yang telah direncanakan maka diusahakan bahan-bahan yang akan digunakan harganya harus semurah mungkin dengan tanpa mengurangi karakteristik dan kualitas bahan tersebut. Dengan demikian dapat mengurangi biaya produksi dari komponen yang direncanakan.

2.7.1 *Temperatur Controller dan Thermocouple*

Temperature controller atau pengontrol suhu adalah instrumen yang digunakan untuk mengontrol suhu, terutama tanpa keterlibatan operator yang ekstensif. Pengontrol dalam sistem kontrol suhu akan menerima sensor suhu seperti *thermocouple* atau RTD sebagai input dan membandingkan suhu aktual dengan suhu kontrol yang diinginkan, atau setpoint. Kemudian akan memberikan *output* ke elemen kontrol.

Digital temperature controller digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari proses industri hingga produk konsumen. Misalnya, aplikasi industri seperti sistem HVAC, pemrosesan makanan, dan pemrosesan bahan kimia sering kali membutuhkan kontrol suhu yang tepat untuk memastikan kualitas dan keamanan.



Gambar 2. 13 *Temperatur Controller*
(ubuy.co.id, 2021)

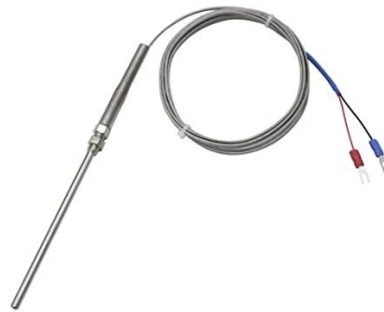
Adapun spesifikasi dari *temperatur controller* yang akan digunakan sebagai pengontrol suhu pada alat *hot mounting press* tersebut:

Type	: TZN4S-14R
Panjang	: 11 cm
Lebar	: 5,2 cm
Tinggi	: 5,3 cm

Adapun cara *setting* thermostat type TZN4S-14R adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan thermostat ke sumber daya listrik.
2. Pastikan thermostat terhubung ke sumber daya listrik dengan benar.
3. Atur batas bawah suhu.
4. Tekan tombol thermostat sekali dan tahan hingga lampu thermostat berkedip. Setelah itu, atur suhu batas bawah dengan menaikkan atau menurunkan suhu menggunakan tombol atas dan bawah.
5. Atur batas atas suhu. Tekan tombol thermostat sekali dan tahan hingga lampu thermostat berkedip.
6. Setelah itu, atur suhu batas atas dengan menaikkan atau menurunkan suhu menggunakan tombol atas dan bawah.
7. Pilih *unit* pengukuran suhu. Pilih antara *fahrenheit* atau *celcius* menggunakan tombol pada thermostat.
8. Contoh *setting* suhu Batas bawah: 30°C Batas atas: 50-200°C
9. Setelah mengatur suhu, thermostat akan berfungsi untuk mengontrol suhu sesuai dengan batas yang telah ditentukan.

Thermocouple tipe K adalah salah satu dari beberapa jenis *thermocouple* yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena kemampuannya dalam mengukur suhu yang sangat tinggi dan sangat rendah dengan ketahanan yang baik terhadap kondisi operasional yang beragam.



Gambar 2.14 Thermocouple
(momentous.id, 2020)

Adapun spesifikasi dari *thermocouple* tipe K yang akan digunakan sebagai pengontrol suhu pada alat *hot mounting press* tersebut:

Bahan : Kombinasi dari logam seperti krom, nikel, dan besi.

Suhu Operasi : -200°C sampai 1.300°C.

Kemampuan : Dapat digunakan untuk mengukur suhu yang sangat tinggi dan sangat rendah.

Ketahanan : Tahan terhadap korosi dan panas.

2.7.2 Pompa Air

Pompa air merupakan salah satu perangkat teknologi yang telah memberikan dampak signifikan dalam berbagai bidang, terutama dalam distribusi dan penggunaan air. Dengan kemampuannya untuk memindahkan air dari satu tempat ke tempat lain. Di alat ini ketika bak penampung air 1 kehabisan air pendingin, maka pompa akan mengisi air pada bak penampung air tersebut begitupun seterusnya sehingga ketika kita ingin mendinginkan alat pemanas, air tersebut akan *standby* untuk mendinginkannya.



Gambar 2.15 Pompa Air
(suryadutainternasional, 2024)

Perhitungan pada pompa air

- a. Mencari Luas penampang pipa (A)

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (2.1)$$

- b. Mencari kecepatan aliran air

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.2)$$

Dimana :

v = Kecepatan Aliran fluida (m/s)

Q = Debit aliran (m³/detik)

A = Luas Penampang (m²)

- c. Mencari kerugian tekanan air pada pompa

$$H_{lm} = \left(\frac{Q}{0,2785 \cdot C_{hw} \cdot D^{2,63}} \right)^{1,85} \cdot L \quad (2.3)$$

Dimana :

C_{hw} = Koefisien Kekasaran Pipa

Q = Debit (m³/s)

D = Diameter Pipa (meter)

L = Panjang Pipa (meter)

- d. Mencari waktu pengisian bak penampungan

$$t = \frac{V}{Q} \quad (2.4)$$

Dimana :

t = Waktu pengisian

V = Volume bak penampungan

Q = Debit aliran

2.7.3 Bak Penampungan Air

Pada *mounting unit* memiliki *heater* dan di dalam *heater* terdapat saluran pendingin yang di aliri air, inilah peran dari bak penampungan air sebagai sarana penampungan air untuk masuk kedalam *mounting unit* sebagai pendingin.



Gambar 2.16 Bak Penampung Air

Perhitungan pada bak penampungan air

a. Mencari volume air

$$V = p \times l \times t \quad (2.5)$$

Dimana :

V = volume air (dalam satuan kubik),

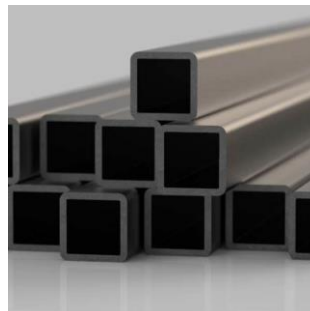
b. p = panjang bak penampungan air (dalam satuan cm),

c. l = lebar bak penampungan air (dalam satuan cm),

d. t = tinggi bak penampungan air (dalam satuan cm).

2.7.4 *Square Hollow Bar*

Square Hollow Bar adalah besi yang memiliki rongga serta terdapat penampang segi empat atau bujur sangkar. *Square Hollow Bar* juga seringkali dikenal dengan nama pipa kotak. *Square Hollow Bar* biasanya terbuat dari besi galvanis, *stainless* atau besi baja. *Square Hollow Bar* menjadi besi yang cukup populer digunakan saat ini karena memiliki fungsi yang cukup banyak dan beragam. Mulai dari kanopi, pintu pagar, pintu besi, teralis modern, dan *GRC Board* menggunakan besi ini sebagai salah satu komponen utamanya.



Gambar 2.17 *Square hollow bar*
(force5ltd.co.uk, 2019)

Panjang dari *Square Hollow Bar* sendiri berukuran 6 meter dengan ukuran lebar dan tinggi yang bervariasi, yaitu (20 x 20) (40 x 40 mm) (50 x 50 mm) (60 x 60 mm) (75 x 75 mm) (100 x 100 mm) (125 x 125 mm) (150 x 150 mm) (175 x 175 mm) (200 x 200 mm). *Square Hollow Bar* juga mempunyai ketebalan yang beragam, yaitu mulai dari (0.6 mm) (0.7 mm) (0.8 mm) (0.9 mm) (1.0 mm) (1.2 mm) (1.3 mm) (1.4 mm) (1.7 mm) (2.0 mm) (5.0 mm) sampai dengan ukuran (10.0 mm).

Tabel 2.1 Ukuran *square hollow bar*
(cv.adlikarya, 2021)

Ukuran Besi Hollow				
Tabel Besi Hollow	A (mm)	B (mm)	Tebal (mm)	Berat (kg)
Pipa Kotak Besi 20 x 20 x 1.8mm x 6m	20	20	1.8	6.78
Pipa Kotak Besi 20 x 40 x 1.2mm x 6m	20	40	1.2	5.44
Pipa Kotak Besi 20 x 40 x 1.4mm x 6m	20	40	1.4	6.30
Pipa Kotak Besi 20 x 40 x 1.8mm x 6m	20	440	1.8	10.17
Pipa Kotak Besi 20 x 40 x 2.0mm x 6m	20	40	2.0	11.30
Pipa Kotak Besi 20 x 40 x 2.3mm x 6m	20	40	2.3	13.00

Berikut ini merupakan beberapa jenis *square hollow bar*:

1. *Square hollow bar galvanise*

Baja jenis ini merupakan sebutan untuk pelapisan *finishing* yang terdiri dari 97% unsur *coating zinc* (besi), +1% unsur *coating* alumunium dan sisanya adalah unsur bahan lain. Dengan komposisi bahan seperti ini, akan membuat *square hollow bar* jenis ini menjadi korosif, terlebih lagi jika besi ini tergesek maupun terpotong. Oleh karena itu, pada penerapannya *square hollow bar* jenis ini harus diberikan anti karat dan jenit cat yang baik agar tahan lebih lama meskipun diterpa cuaca panas dan hujan.

2. *Square hollow bar galvalume*

Galvalume merupakan sebutan untuk *zinc-alume* yang pelapisannya mengandung unsur *alume* (alumunium) dan *zinc* (besi). Untuk bahan *galvalume* yang paling baik adalah yang unsur *coating* nya terdiri dari 55% alumunium, unsur besi 43,5% dan unsur lapisan silicon 1,5%. Dilihat dari komposisi bahannya, *hollow galvalume* ini memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap korosi dibandingkan

hollow galvanise. Dengan kualitas yang bagus, otomatis harga dari *square hollow bar galvalume* lebih mahal dibanding *square hollow bar galvanise*.

3. *Square hollow bar gypsum*

Hollow gypsum merupakan besi yang digunakan untuk konstruksi bangunan rangka plafon gedung atau rumah, dimana jenis ini dipilih karena kokoh dan juga tahan lama. Bahan yang digunakan untuk membuat *hollow gypsum* adalah besi yang terdiri dari *stainless*. Umumnya ukuran *hollow gypsum* adalah 0,4 mm.

Rumus menghitung volume *square hollow bar* dan berat rangka

$$\begin{aligned} V_{\text{sisi luar}} &= (P \times L_1) \\ V_{\text{sisi dalam}} &= (P \times L_2) \\ V_{\text{hollow}} &= V_{\text{sisi luar}} - V_{\text{sisi dalam}} \\ m &= \rho \times V_{\text{hollow}} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Keterangan:

V : Volume (m^3).

W : Berat (kg).

P : Panjang besi (m).

ρ : Massa jenis besi (kg/m^3).

L_1 : Lebar sisi luar (m).

L_2 : Lebar sisi dalam(m).

Mencari berat *square hollow bar*

$$M = \rho \times V \quad (2.7)$$

Dimana:

m : Berat *square hollow bar* (kg)

ρ : Massa jenis besi (kg/m^3)

V : Volume besi berongga (m^3)

A. Berat benda yang memberikan benda

$$W = m_{\text{total}} \times g \quad (2.8)$$

Dimana:

W : Berat benda (N)

m_{total} : Massa total (kg)

G : Gravitasi (m/s^2)

B. Gaya reaksi bebas pada rangka

$$\mathbf{R_{ay}} - \mathbf{F_1} - \mathbf{F_2} + \mathbf{R_{by}} = \mathbf{0} \quad (2.9)$$

Dimana:

R_{ay} : Gaya reaksi pada titik A (N)

R_{by} : Gaya reaksi pada titik B (N)

F_1 : Beban (N)

C. Momen *bending*

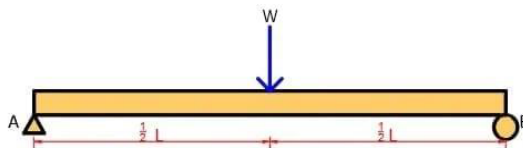
$$\mathbf{M_b} = \frac{\mathbf{W}}{2} \times \frac{\mathbf{l}}{2} \quad (2.10)$$

Dimana:

M_b : Momen *bending* (Nmm).

W : Berat benda (N).

l : Panjang benda yang terindikasi *bending* (mm).



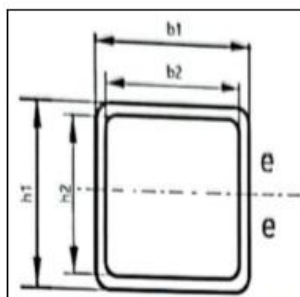
Gambar 2.18 Momen bending
(Mekanikateknik, 2020)

D. Kekuatan rangka meja terhadap benda

Momen inersia besi *square hollow bar* (mm)

$$\mathbf{I} = \left[\frac{1}{12} \mathbf{b_1} \cdot \mathbf{h_1^3} - \frac{1}{12} \mathbf{b_2} \cdot \mathbf{h_2^3} \right] \quad (2.11)$$

Dimana:



Gambar 2.19 *Square hollow bar*
(force5ltd.co.uk, 2019)

I : Momen Inersia (mm^4).

b_1, h_1 : Panjang bagian luar *square hollow bar* (mm).

b_2, h_2 : Panjang bagian dalam *square hollow bar* (mm).

$$e = \frac{b_1}{2} \quad (2.12)$$

$$W_b = \frac{I}{e} \quad (2.13)$$

Keterangan :

W_b : Momen tahanan *bending* (mm^3).

I : Momen tahanan *bending* (mm^4).

e : Jarak terjauh dari titik benda (mm).

E. Tegangan *bending* benda

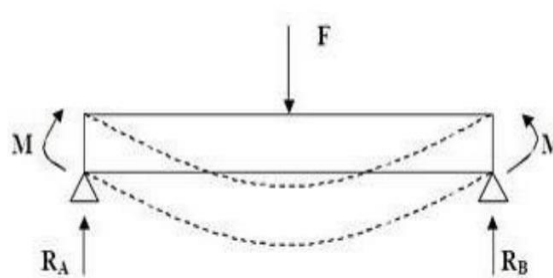
$$\sigma_{b \text{ benda}} = \frac{M_b}{W_b} \quad (2.14)$$

Keterangan :

$\sigma_{b \text{ benda}}$: Tegangan *bending* bahan (N/mm^2).

M_b : Momen *bending* (Nmm).

W_b : Momen tahanan *bending* (mm^3).



Gambar 2. 20 Tegangan bending
(Dwi, 2014)

F. Tegangan izin bahan

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{t \text{ bahan}}}{V_k} \quad (2.15)$$

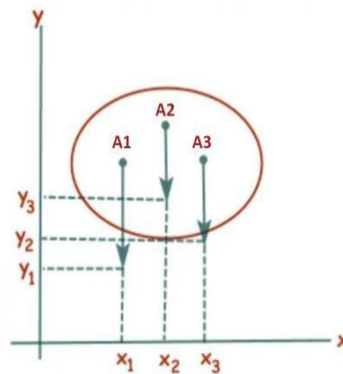
Keterangan :

σ_i : Tegangan izin bahan (N/mm²).

$\sigma_{t \text{ bahan}}$: Tegangan tarik bahan (N/mm²).

V_k : Faktor keamanan.

G. Titik Berat



Gambar 2.21 Titik berat
(Ahmad, 2023)

$$X = \frac{A1 \cdot X1 + A2 \cdot X2 + A3 \cdot X3 + A4 \cdot X4}{A1+A2+A3+A4} \quad (2.16)$$

$$Y = \frac{A1 \cdot Y1 + A2 \cdot Y2 + A3 \cdot Y3 + A4 \cdot Y4}{A1+A2+A3+A4} \quad (2.17)$$

Dimana:

A : Luas penampang (mm²)

$X_{1,2,3}$: Titik tengah absis bidang ke 1, 2,3 dst.

$Y_{1,2,3}$: Titik tengah ordinat bidang ke 1,2,3 dst.

H. Mencari Lendutan Izin

$$W = \frac{F}{\ell} \quad (2.18)$$

Keterangan:

W : Tekanan yang terjadi (N/mm).

F : Gaya (N).

ℓ : Regangan normal (mm)

$$\delta = \frac{W \cdot L^4}{E \cdot I} \quad (2.19)$$

Keterangan:

δ : Perubahan bentuk aksial total (mm).

W : Tekanan yang terjadi (N/mm).

L : Panjang batang (mm).

E : Modulus elastisitas bahan (N/mm²).

I : Momen Inersia (mm⁴).

Tabel 2.2 Nilai Modulus Elastisitas Untuk Beberapa Material (Khurmi dan J. K. Gupta, 1982)

Material	Modulus of elasticity (E) in GPa i.e. GN/m ² or kN/mm ²
Steel and Nickel	200 to 220
Wrought iron	190 to 200
Cast iron	100 to 160
Copper	90 to 110
Brass	80 to 90
Aluminium	60 to 80
Timber	10

I. Persamaan Euler

$$W_{cr} = \frac{C \pi^2 \cdot E \cdot A}{\left(\frac{l}{K}\right)^2} \quad (2.20)$$

$$\text{Safety load} = \frac{\text{Buckling load}}{\text{Factor of safety}} \quad (2.21)$$

Keterangan:

W_{cr} = Beban kritis terkecil

C = Kondisi dari kolom

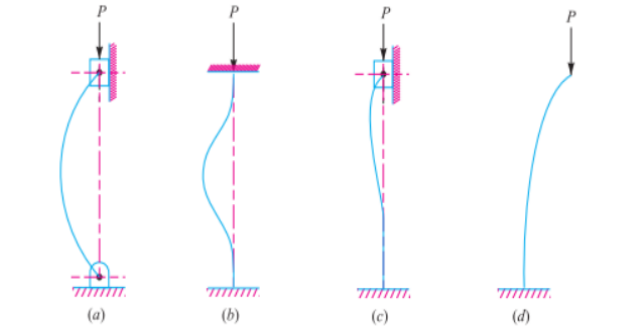
E = Modulus elastisitas bahan (N/mm²)

K = Faktor akuntansi untuk posis akhir

A = Luas penampang (mm²)

l = Panjang pembebanan (mm)

1. Both the ends hinged or pin jointed as shown in Fig. 16.1 (a),
2. Both the ends fixed as shown in Fig. 16.1 (b),
3. One end is fixed and the other hinged as shown in Fig. 16.1 (c), and
4. One end is fixed and the other free as shown in Fig. 16.1 (d).



Gambar 2.22 Jenis kondisi akhir
(Khurmi dan J.K Gupta, 2005)

Tabel 2.3 Nilai koefisien ketetapan ujung (C)
(Khurmi dan J.K Gupta, 2005)

S. No.	End conditions	End fixity coefficient (C)
1.	Both ends hinged	1
2.	Both ends fixed	4
3.	One end fixed and other hinged	2
4.	One end fixed and other end free	0.25

2.8 Proses Pengerjaan Yang Digunakan

Ada beberapa pengerjaan yang digunakan untuk membuat mesin gergaji besi semi otomatis ini baik dengan menggunakan alat atau mesin.

2.8.1 Pengelasan

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam yang terjadi akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan. Proses ini juga dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Untuk menghitung waktu pengerjaan pada pengelasan maka dapat menggunakan rumus:

$$t = \frac{L}{v} \quad (2.22)$$

Dimana:

L = Panjang pengelasan (mm)

V = Kecepatan Pengelasan (mm/det)

Mencari tegangan geser pada kampuh las

$$\tau_g = 0,5.\sigma_t \quad (2.23)$$

Dimana:

τ_g : Tegangan geser (N/mm²)

σ_t : Kekuatan tarik (N/mm²)

Mencari kekuatan pengelasan

$$P = t \times l \times \tau_g \text{ (N)} \quad (2.24)$$

Dimana:

P : Kekuatan Pengelasan (N)

t : Tebal Pengelasan (mm)

l : Panjang Pengelasan (mm)

: 2.b (Pengelasan dilakukan pada kedua sisi pelat)

d : Tebal Pelat / Lebar Daerah Las

b : Panjang Daerah Lasan

τ_g : Tegangan Geser (N/mm²)

Tabel 2.4 Ukuran minimum tebal las yang disarankan
(Khurmi, R.S dan Gupta J.K, 2005)

Ketebalan Plat (mm)	Ukuran Las Minimum (mm)
3 – 5	3
6 – 8	5
10 – 16	6
Ketebalan Plat (mm)	Ukuran Las Minimum (mm)
18 – 24	10
26 – 55	14
> 58	20

2.8.2 Pengerindaan

Mesin gerinda adalah mesin perkakas yang memiliki banyak mata potong dan digunakan untuk mengasah/memotong benda kerja dengan tujuan tertentu. Prinsip kerja mesin gerinda adalah batu gerinda berputar bersentuhan dengan benda kerja. Untuk menghitung waktu pengerjaan pada gerinda potong maka dapat menggunakan rumus:

Putaran pada mesin

$$n = \frac{1000 \times vc \times 60}{\pi \times d} \quad (2.25)$$

Dimana:

n : Putaran mesin (rpm)

V_c : Kecepatan keliling (m/detik)

d : Diameter mata gerinda (mm)

Rumus perhitungan waktu pengerindaan

$$T_m = \frac{tg \times I \times tb}{sr \times n} \quad (2.26)$$

Dimana:

n : Putaran mesin (rpm)

T_m : Waktu pengerjaan (menit)

T_g : Tebal mata gerinda (mm)

t_b : ketebalan benda kerja (mm)

I : Panjang bidang pemotongan (mm)

Sr : Ketebalan pemakanan (mm/putaran)

2.8.3 Pengeboran

Pengeboran adalah proses menghasilkan lubang berbentuk bulat dengan menggunakan pemotongan berputar yang Dimana disebut bor.

Rumus perhitungan mesin

$$n = \frac{vc \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (2.27)$$

Dimana:

V_c : Kecepatan potong (m/menit)

d : Diameter benda kerja (mm)

n : Kecepatan putaran mesin (rpm)

Rumus perhitungan waktu pengerjaan

$$Tm = \frac{L}{Sr \times \pi} \quad (2.28)$$

Dimana:

N : Putaran mesin

Tm : waktu pengerjaan (menit)

L : kedalaman Pengeboran (mm)

Sr : Ketebalan pemakanan (mm)

2.9 Teori-Teori Dasar *Maintenance Repair*

2.9.1 Pengertian Dasar *Maintenance Repair*

Menurut Benjamin S. Balanchard, Dinesh Verma dan Elmer L. Peterson (1994) Perawatan adalah kegiatan pendukung utama yang bertujuan untuk menjamin kelangsungan peranan (fungsional) suatu sistem produksi (peralatan, mesin) sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai kondisi yang diharapkan. Hal ini dapat dicapai antara lain dengan melakukan perencanaan dan penjadwalan tindakan perawatan dengan tetap memperhatikan fungsi pendukungnya serta dengan memperhatikan kriteria minimasi ongkos. Peranan 1 perawatan 1 baru akan sangat terasa apabila sistem mulai mengalami gangguan atau tidak dapat dioperasikan lagi.

Perawatan juga dapat dikatakan suatu tindakan penggabungan antara manajerial, administratif dan teknis guna memelihara item atau barang supaya bisa bekerja sesuai dengan kebutuhannya. Pernyataan penggabungan antara manajerial, administratif dan teknis yaitu berarti ketiga elemen tersebut harus dapat dikuasai oleh orang yang ahli dalam bidang tersebut. Supaya pemeliharaan dilakukan dengan baik dan benar tidak dilakukan secara asal-asalan sehingga kegiatan pemeliharaan tersebut menghasilkan barang mampu berfungsi dengan baik dalam jangka waktu yang lebih lama. Menurut jurnal Nuswantoro Ilham dan I Made Aryantha Anthara (2018) Proses perawatan membutuhkan langkah yang sistematis dan terstruktur sehingga diperlukan manajemen dalam proses pengelolaannya artinya suatu kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas, mesin serta alat-alat pabrik dan

mengadakan pemugaran atau penggantian yang diperlukan supaya suatu keadaan yang dapat digunakan bisa dioperasikan produksi yang memuaskan dengan menghubungkan pada penggunaan apa yang diperlukan.

Perawatan (*Maintenance*) Menurut Ansori dan Mustajib (2013), perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah konsepsi dari semua pekerjaan yang bertujuan agar mesin atau fasilitas dalam kondisi baik seperti semula dengan menjaga dan mempertahankan kualitasnya. *Maintenance* adalah suatu kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas yang ada serta memperbaiki. Melakukan penyesuaian atau pengantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi agar sesuai dengan perencanaan yang ada. Menurut Moubray (1997), *Maintenance* merupakan tindakan untuk memastikan fisik sistem berjalan terus menerus sesuai tujuan sistem tersebut. Faktor produksi yang harus dioptimalkan salah satunya adalah mesin produksi. Nilai *downtime* yang minimum dapat dikatakan bahwa sistem perawatan berjalan dengan optimal seperti semula. Menurut Kurniawan (2013), perawatan adalah kegiatan didalam suatu sistem produksi dimana fungsinya berupa objek dengan cara pemeliharaan, perbaikan, penggantian, pembersihan, penyetelan dan pemeriksaan. Oleh karena itu, perawatan sangat penting untuk dilakukan guna menjaga stabilitas mesin terhadap produksi perusahaan. Pemeliharaan adalah suatu gabungan dari berbagai kegiatan yang dilakukan untuk menjaga suatu komponen atau memperbaiki hingga dapat berjalan seperti semula. Pemahaman tentang istilah perawatan terdapat beberapa kegiatan seperti berikut (Kurniawan, 2013):

1. *Inspection* (inspeksi) Kegiatan pengecekan terhadap fasilitas produksi untuk mengetahui keberadaan atau kondisinya.
2. *Repair* (perbaikan) Kegiatan terhadap mesin produksi untuk mengembalikan kondisi mesin ketika ada gangguan yang bersifat perbaikan kecil, sehingga dapat beroperasi kembali.
3. *Overhaul* (perbaikan menyeluruh) Kegiatan *repair* yang memiliki sifat perbaikan besar, sehingga mengganggu kegiatan produksi dan membutuhkan biaya besar.
4. *Replacement* (penggantian) Kegiatan dalam perawatan dengan cara

mengganti komponen mesin yang rusak. Kegiatan perawatan dilakukan untuk merawat ataupun memperbaiki peralatan perusahaan agar dapat melaksanakan produksi dengan efektif dan efisien sesuai dengan pesanan yang telah direncanakan dengan hasil produk yang berkualitas. Kurang diperhatikannya perawatan (*maintenance*) diantaranya disebabkan oleh banyaknya dana yang dibutuhkan, dan rumitnya tugas perawatan (*maintenance*). Namun bagi kegiatan operasi perusahaan, *maintenance* sudah menjadi dwi fungsi, yaitu pelaksanaan dan kesadaran untuk melakukan pemeliharaan terhadap fasilitas-fasilitas produksi.

Jenis – jenis Perawatan (*Maintenance*) *Maintenance* atau Perawatan dapat dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah:

- a) *Breakdown Maintenance* (Perawatan saat terjadi Kerusakan) *Breakdown Maintenance* adalah perawatan yang dilakukan ketika sudah terjadi kerusakan pada mesin atau peralatan kerja sehingga mesin tersebut tidak dapat beroperasi secara normal atau terhentinya operasional secara total dalam kondisi mendadak. *Breakdown Maintenance* ini harus dihindari karena akan terjadi kerugian akibat berhentinya mesin produksi yang menyebabkan tidak tercapainya kualitas ataupun *output* produksi.
- b) *Preventive Maintenance* (Perawatan Pencegahan) *Preventive Maintenance* adalah jenis *Maintenance* yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung. Contoh *Preventive maintenance* adalah melakukan penjadwalan untuk pengecekan (*inspection*) dan pembersihan (*cleaning*) atau pergantian suku cadang secara rutin dan berkala. *Preventive Maintenance* terdiri dua jenis, yakni:
 1. *Periodic Maintenance* (Perawatan berkala) *Periodic Maintenance* ini diantaranya adalah perawatan berkala yang terjadwal dalam melakukan pembersihan mesin, inspeksi mesin, meminyaki mesin dan juga pergantian suku cadang yang terjadwal untuk mencegah terjadi kerusakan mesin secara mendadak yang dapat mengganggu kelancaran produksi. *Periodic Maintenance* biasanya dilakukan

dalam harian, mingguan, bulanan ataupun tahunan.

2. *Predictive Maintenance* (Perawatan Prediktif). *Predictive Maintenance* adalah perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive Maintenance* ini akan memprediksi kapan akan terjadinya kerusakan pada komponen tertentu pada mesin dengan cara melakukan analisa tren perilaku mesin/peralatan kerja. Berbeda dengan *Periodic maintenance* yang dilakukan berdasarkan waktu (*Time Based*), *Predictive Maintenance* lebih menitik beratkan pada kondisi mesin (*Condition Based*).
3. *Corrective Maintenance* (Perawatan Korektif) *Corrective Maintenance* adalah Perawatan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi penyebab Produksi dapat beroperasi normal kembali. *Corrective Maintenance* biasanya dilakukan pada mesin atau peralatan produksi yang sedang beroperasi secara abnormal (Mesin masih dapat beroperasi tetapi tidak optimal). kerusakan dan kemudian memperbaikinya sehingga Mesin atau peralatan.

2.9.2 Tujuan *Maintenance*

Tujuan-tujuan melakukan *maintenance* diantaranya (Siregar & Munthe, 2019) adalah :

1. Mencegah terjadinya kerusakan berat yang memerlukan biaya perbaikan yang lebih tinggi.
2. Untuk menjamin keselamatan tenaga kerja yang menggunakan mesin yang bersangkutan.
3. Tingkat ketersediaan mesin yang maksimum (berkurangnya *downtime*)
4. Dapat memperpanjang masa pakai mesin atau peralatan kerja.

2.10 Biaya Produksi

Biaya produksi merupakan biaya-biaya yang terjadi untuk mengolah bahan baku menjadi produk jadi yang siap dijual. Secara garis besar biaya produksi ini dibagi menjadi biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya *overhead* (Supriyono. 2018). Perhitungan biaya produksi bertujuan untuk mengetahui besar biaya yang dikeluarkan selama proses pembuatan dan juga dapat menentukan besarnya harga jual dari suatu produk atau alat yang diproduksi, Adapun biaya produksi meliputi antara lain:

A. Biaya Material

Biaya material adalah biaya yang digunakan dalam pembelian bahan baku alat yang akan diproduksi atau proses pembuatan. Material yang digunakan dalam proses pembuatan ini bermacam-macam, harga material ditentukan dari berat, ukuran, dan jumlah satuan dari material tersebut.

B. Biaya Listrik

Dalam pemakaian listrik dapat diketahui besarnya pemakaian dengan menggunakan rumus:

$$B = T_m \times B_l \times P \quad (2.32)$$

Keterangan :

B : Biaya listrik (Rp)

T_m : Waktu pemakaian (jam)

B_l : Biaya pemakaian (1.467,28/kWh)

P : Daya (kW)

C. Biaya tidak terduga

Dalam proses pembuatan alat, diambil 15% dari biaya material dan biaya sewa mesin untuk biaya tak terduga. Maka biaya tak terduga antara lain:

$$\text{Biaya Tak Terduga} = 15\% (\text{Biaya Material} + \text{Biaya Sewa Mesin}) \quad (2.33)$$

Keterangan :

Biaya Material (Rp)

Biaya Sewa Mesin (Rp)

D. Biaya Produksi

Biaya produksi adalah biaya yang dikeluarkan untuk membuat barang atau jasa.

Biaya produksi terdiri dari biaya material, biaya Listrik, operator, sewa mesin dan biaya tak terduga. Maka biaya produksi:

$$\text{Biaya produksi} = \text{Biaya material} + \text{Biaya Listrik} + \text{Biaya sewa mesin} + \text{Biaya Operator} \quad (2.34)$$