

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Iswanto dkk., (2020) pada penelitiannya membahas perbandingan antara pengerasan induksi dengan pengerasan api pada baja *ST 60* dalam hal kekuatan tarik dan struktur mikro. Mesin pengerasan induksi dirancang dan dibuat sendiri dengan panas maksimum yang dihasilkan mencapai 650°C . Sedangkan api mesin *hardening* menggunakan mesin las asetilen. Setelah dipanaskan spesimen hingga 650°C , kemudian didinginkan menggunakan air. Setiap proses pemanasan menggunakan tiga benda uji untuk pengujian tarik dan pengujian struktur mikro. Hasil uji tarik diperoleh bahwa, baja *ST 60* dengan pengerasan induksi memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan pengerasan api. Baja *ST 60* yang mengalami perlakuan pengerasan induksi juga memiliki regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja *ST 60* yang mengalami perlakuan pengerasan api.

Kurniawan dkk., (2020) dalam karya ilmiahnya yang berjudul rancang bangun alat pemanas induksi proses perlakuan panas diuji dengan melakukan pengujian kekerasan pada plat *mild steel* ukuran $100 \times 15 \times 3,5$ mm yang diperlakukan panas *hardening temperatur* 850°C ditahan 45 menit menggunakan *furnace* dan di *quenching* air kemudian di *tempering* 400°C menggunakan pemanas induksi. Angka kekerasan *raw material mild steel* yang diberi perlakuan panas *hardening temperatur* 850°C ditahan 45 menit meningkat dari 65,2 *HRB* menjadi 84,3 *HRB*. Namun setelah di *tempering temperatur* 400°C mengalami penurunan menjadi 69 *HRB*.

Priohutomo dkk., (2019) dalam karya ilmiahnya yang berjudul optimasi proses pemesinan sudu turbin FD FAN terhadap waktu dan biaya produksi menjelaskan waktu proses pemesinan yang di dapat waktu seluruh proses pemesinan pembuatan sudu turbin (*blade*) FD FAN 31,58 jam (31 jam 30 menit), waktu tersebut meliputi proses *turning* (bubut) selama 4,75 jam (4 jam 45 menit), proses *milling* (frais) selama 26,5 jam (26 jam 30 menit), dan proses *drilling* (bor)

selama 20 menit, penulis mendapat biaya keseluruhan dari material dan biaya pemesinan sebesar Rp. 15.287.000,-.

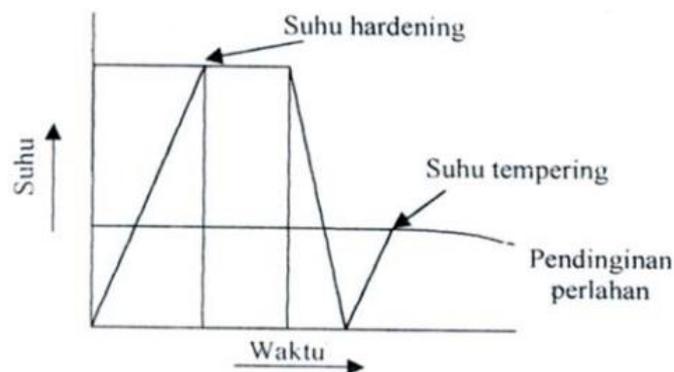
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perlakuan panas (*heat treatment*)

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses pemanasan, penahanan pada temperatur tertentu, dan pendinginan pada suatu baja untuk memperoleh perbedaan kombinasi sifat-sifat mekanik. Perlakuan panas dilakukan di dalam suatu tungku listrik dengan pengontrolan temperatur yang tepat dan pendinginan ke suatu media pendingin sesuai dengan kondisi dan spesifikasi dari bajanya (Hadi, 2016).

2.2.2 *Hardening*

Pengerasan (*hardening*) pada baja dilakukan dengan cara mengubah struktur mikro *austenit* menjadi *martensit* dengan cara pemanasan baja, penahanan, dan pendinginan cepat ke suatu media pendingin. Media pendingin berupa air, oli, atau udara. Sifat optimum dari suatu baja yang telah di-*quenched*, dan kemudian ditemper hanya jika selama pendinginan spesimen telah diubah ke kandungan *martensit* yang tinggi, pembentukan *perlit* dan/atau *bainit* berakibat ke selain kombinasi sifat-sifat mekanik terbaik. Selama pendinginan cepat tidak mungkin lajunya seragam, pada permukaan selalu lebih cepat dingin daripada bagian dalamnya. Oleh karenanya, *austenit* bertransformasi dalam rentang temperaturnya, hasilnya berkemungkinan dapat bervariasi sifat dan struktur mikronya dengan posisi di dalam spesimen (Hadi, 2016). Diagram suhu-waktu untuk proses *hardening* dan *tempering* ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Diagram suhu-waktu untuk proses *hardening* dan *tempering*
(Purwanto & Malang, 2017)

Perlakuan panas baja yang berhasil ialah yang menghasilkan dominasi struktur mikro *martensit* pada seluruh penampang melintangnya yang terutama tergantung kepada tiga faktor, yakni komposisi paduan, tipe, dan sifat media pendingin, serta ukuran dan bentuk spesimen.

2.2.3 Pendinginan cepat (*quenching*)

Quenching atau pengejukan merupakan suatu operasi yang bila cukup cepat akan menghasilkan *martensite* yang keras. Dengan *quenching* maka akan timbullah perbedaan suhu antara permukaan dan *core/inti*. Perbedaan ini akan mengakibatkan tegangan yang tinggi di dalam baja. Karenanya apabila *quenching* dilakukan begitu drastis dengan mudah akan timbul apa yang disebut *quenching cracks* (Purwanto & Malang, 2017b).

Kecepatan pendinginan pada lapisan permukaan sangat bergantung pada kemampuan *quenching* medium untuk menghilangkan/menyerap panas dari baja. *Core/inti* didinginkan melalui difusi dari panasnya, jadi karena *thermal conductivitas*, panas keluar dari *core/inti* menuju ke kulit/permukaan luar. Jadi, kecepatan pendinginan *core* ditentukan oleh *conductivitas thermis* serta ukuran dari benda kerja yang di*quenching*. Material yang tipis atau diameter yang kecil dapat dikejutkan lebih cepat dengan air daripada minyak ataupun udara.

2.2.4 Tempering

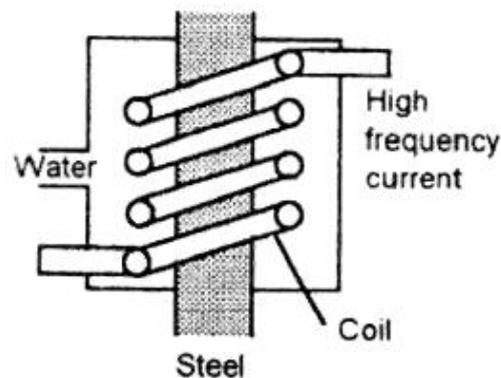
Tempering merupakan proses pemanasan kembali baja setelah *quenched* untuk meningkatkan ketangguhan dan keuletannya, *martensit* ditranfer ke *martensit temper*. Perubahan struktur mikro *martensit* selama *tempering* terjadi pada *martensit* yang strukturnya metastabil didekomposisi selama pemanasan kembali. *Martensit lath* baja karbon rendah memiliki kepadatan dislokasi tinggi, dan dislokasi tersebut energinya rendah untuk atom-atom C daripada posisi interstisi reguler, sehingga baja *martensitik* karbon rendah yang pertama di*temper* pada rentang 20 sampai 200⁰C atom-atom karbonnya memisahkan dirinya ke tempat yang energinya lebih rendah (Hadi, 2016).

2.2.5 Baja

Baja merupakan paduan besi dan karbon yang konsentrasinya cukup besar daripada unsur paduan lainnya. Terdapat ribuan paduan yang mempunyai komposisi dan/atau perlakuan panas. Sifat mekanis sensitif terhadap kadar karbon (normalnya $< 1\%$ berat). Umumnya baja diklasifikasikan berdasarkan kadar karbonnya, dinamai tipe karbon rendah, karbon menengah, dan karbon tinggi. Baja karbon biasa (*plain carbon steels*) hanya mengandung unsur bawaan (Mn, S, Si, dan P) selain karbon, sedangkan paduan baja, lebih spesifik dengan unsur-unsur paduan yang ditambahkan (Hadi, 2016).

2.2.6 Pengerasan induksi (*induction hardening*)

Induction hardening yaitu penempatan komponen baja dalam suatu lilitan melalui suatu frekuensi arus yang dilakukannya sebagaimana Gambar 2.1. Bentuk lilitan induksi tergantung pada bentuk komponen yang akan dikeraskan, juga ukuran area yang akan dikeraskan. Arus bolak-balik menginduksi yang mengalir ke dalam lapisan permukaan komponen baja, induksi arus listrik memanaskan lapisan permukaan. Temperatur yang dihasilkan akan mengakibatkan lapisan permukaan berubah ke *austenit*. Ketika mencapai temperatur *austenit*, permukaan disemprot dengan air dingin transformasi *austenit* ke *martensit* (Hadi, 2016). Gambar prinsip *induction hardening* ditunjukkan pada gambar 2.2.

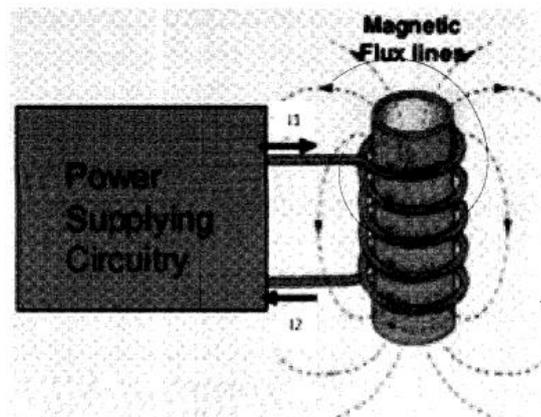


Gambar 2. 2 Prinsip *induction hardening* (Hadi, 2016)

Pada dasarnya *flame hardening* sama dengan *induction hardening*, hanya saja pada *induction hardening* pemanasan dilakukan dengan menggunakan arus listrik ac berfrekuensi tinggi. *Coil* yang dialiri arus listrik dengan frekuensi tinggi diletakkan di dekat permukaan baja yang akan dikeraskan, sehingga permukaan

baja tadi akan timbul arus induksi berfrekuensi tinggi, yang menyebabkan permukaan baja menjadi panas, dan setelah temperatur *austenite* tercapai sampai kedalaman yang diinginkan, kemudian didinginkan dengan cepat (Purwanto & Malang, 2017b).

Menurut Hadi., (2016) prinsip utama pemanasan induksi sebagai berikut: (1) sumber daya listrik (*power supply circuitry*) mengalirkan arus ke lilitan induksi, (2) arus dalam lilitan membangkitkan medan magnet yang garis-garis medannya (*magnetic flux lines*) selalu mengitari lilitan, (3) medan magnet akan mengalir melalui penampang melintang komponen (berpasangan dengan komponen) dan menginduksi tegangan dalam komponen, (4) tegangan induksi menghasilkan arus *eddy* pada komponen, (5) arus *eddy* membangkitkan panas pada komponen, dan (6) pada tiap sistem induksi selalu terdapat tiga loop, yaitu lilitan induksi, lilitan arus *eddy* dalam komponen, dan lilitan fluks magnetik. Gambar prinsip utama pemanasan induksi ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Prinsip utama pemanas induksi (Hadi, 2016)

2.2.7 Uji kekerasan (*hardness test*)

Kekerasan adalah ukuran ketahanan material terhadap deformasi oleh indentasi permukaan atau goresan. Uji kekerasan dilakukan pada material yang mengalami gesekan. kekerasan bahan melibatkan indentasi atau penggoresan permukaan material, makin keras suatu material makin sulit indentasi atau penggoresannya. Standar yang umum untuk indenter adalah *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell* (Hadi, 2016).

Uji kekerasan *Rockwell* berbeda dengan uji keras *Brinell* maupun *Vickers* yang mengukur luas indentasi, melainkan mengukur kedalaman indentasinya yang langsung diidentifikasi dengan suatu skala yang telah dikalibrasi. Beban awal diberikan untuk menekan indenter kontak pada permukaan spesimen uji. Lebih lanjut diberikan gaya, sehingga indenter menekan masuk (*penetrasi*) ke permukaan spesimen uji. Perbedaan penetrasi kedalaman akhir dan kedalaman awal sebagai penetrasi akibat gaya tambahan (*additional load*). Skala kekerasan *rockwell* ditunjukkan pada gambar 2.4.

Scale	Indenter	Additional load kg	Typical applications
A	Diamond	60	Extremely hard materials, e.g. tool steels
B	Ball 1.588 mm dia.	100	Softer materials, e.g. Cu alloys, Al alloys, mild steel
C	Diamond	150	Hard materials, e.g. steels, hard cast irons, alloy steels
D	Diamond	100	Medium case hardened materials
E	Ball 3.175 mm dia.	100	Soft materials, e.g. Al alloys, Mg alloys, bearing metals
F	Ball 1.588 mm dia.	60	As E, the smaller ball being more appropriate where inhomogeneities exist
G	Ball 1.588 mm dia.	150	Malleable irons, gun metals, bronzes
H	Ball 3.175 mm dia.	60	Soft aluminium, lead, zinc, thermoplastics
K	Ball 3.175 mm dia.	150	Aluminium and magnesium alloys
L	Ball 6.350 mm dia.	60	Soft thermoplastics
M	Ball 6.350 mm dia.	100	Thermoplastics
R	Ball 12.70 mm dia.	60	Very soft thermoplastics

Note: the diameter of the balls arise from standard sizes in inches, 1.588 mm being 1/16 in, 3.175 mm being 1/8 in, 6.350 mm being 1/4 in, and 12.70 mm being 1/2 in.

Gambar 2. 4 Skala kekerasan *rockwell* (Hadi, 2016)

Berikut rumus perhitungan nilai kekerasan pada baja yang diuji (*ASTM E18 - 15*).

$$H = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

H = Rata-rata nilai kekerasan terukur (*HRB*)

H_1 = Nilai kekerasan pengujian pertama (*HRB*)

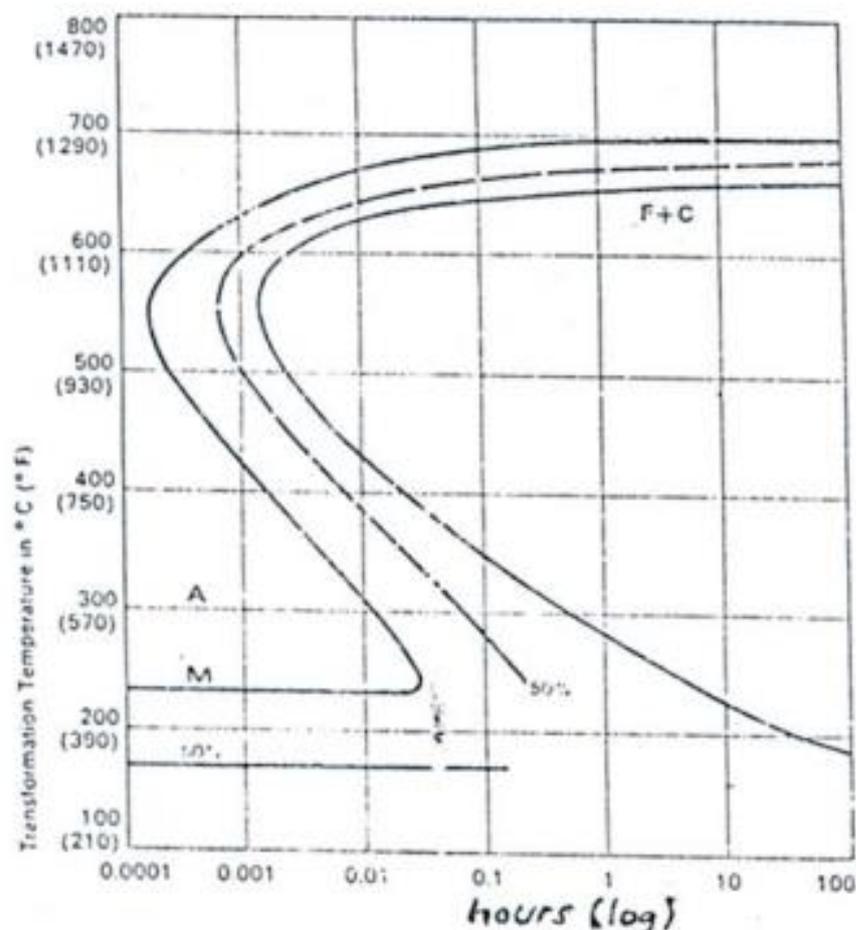
H_2 = Nilai kekerasan pengujian kedua (*HRB*)

H_n = Nilai kekerasan pengujian ke- n (*HRB*)

n = Jumlah banyaknya kekerasan

2.2.8 Diagram $T - T - T$ (pendinginan)

Pelaksanaan perlakuan panas terhadap baja akan melibatkan penggunaan bermacam-macam kecepatan pendinginan. Meskipun pengaruh waktu tidak terlihat secara jelas pada diagram besi-zat arang, dengan demikian studi tentang fenomena transformasi menjadi penting dan phase transformasi untuk bermacam-macam baja dicatat dengan hubungannya terhadap perubahan waktu dan temperatur. Hal ini disajikan dengan diagram transformasi isothermal. Diagram ini disebut curva TTT untuk pendinginan (waktu temperatur-transformasi) atau kadang-kadang juga disebut curva s sesuai dengan bentuk garisnya (Purwanto & Malang, 2017b). Diagram TTT untuk pendinginan suatu baja perkakas dengan 0,80/0 Mn setelah pemanasan sampai *temperature* 750°C ditunjukkan pada gambar 2.5.

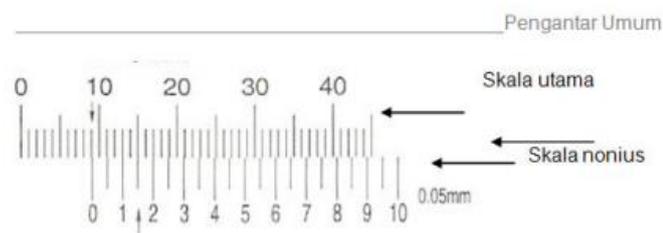


Gambar 2. 5 Diagram TTT untuk pendinginan suatu baja perkakas dengan 0,80/0 Mn setelah pemanasan sampai *temperature* 750°C (Purwanto & Malang, 2017b)

2.2.9 Pengukuran

Mengukur merupakan proses membandingkan ukuran/dimensi yang tidak diketahui terhadap standar ukuran tertentu. Alat ukur yang baik merupakan kunci dari proses produksi yang baik. Tanpa alat ukur, elemen mesin tidak akan akurat. Pada waktu merakit, komponen yang dirakit harus sesuai antara satu dengan lain. Pada saat ini, alat ukur adalah alat penting dalam proses pemesinan dari awal pembuatan sampai dengan kontrol kualitas di akhir produksi (Widarto, 2008a).

Untuk mendapatkan benda kerja yang presisi. Kemampuan melakukan pengukuran memegang peranan yang sangat penting dalam suatu proses pembuatan benda kerja. Untuk melihat berbagai ukuran dimensi benda kerja kita dapat menggunakan beberapa jenis alat ukur seperti mistar geser dan mikrometer (Sumbodo dkk, 2008). Skala jangka sorong ketelitian 0.05 mm ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Skala jangka sorong ketelitian 0.05 mm (Widarto, 2008a)

2.2.10 Proses gerinda

Penggerindaan (*grinding*) merupakan suatu proses manufaktur dengan menggunakan batu gerinda yang diputar untuk mengikis/mengasah suatu permukaan benda kerja yang mempunyai akurasi yang tinggi atau memotong benda kerja. Jenis mesin gerinda: mesin gerinda permukaan, mesin gerinda silindris, gerinda potong, dan alat gerinda manual (Hadi, 2016). Gambar gerinda potong ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Gerinda potong (Hadi, 2016)

Fungsi utama mesin gerinda adalah untuk:

- 1) Memotong benda kerja yang tidak tebal.
- 2) Menghaluskan dan meratakan permukaan benda kerja.
- 3) Sebagai proses akhir pengerjaan/*(finishing)* benda kerja.
- 4) Mengasah alat potong supaya tajam.
- 5) Menghilangkan sisi tajam benda kerja.
- 6) Membentuk suatu profil menjadi bentuk tertentu (elip, siku, atau bentuk lain).

Berikut rumus perhitungan proses pemotongan untuk mengetahui waktu pemotongan pada material (Rochim, 2007).

$$T_c = T \times A \times I \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

T_c = Waktu total pemotongan (menit)

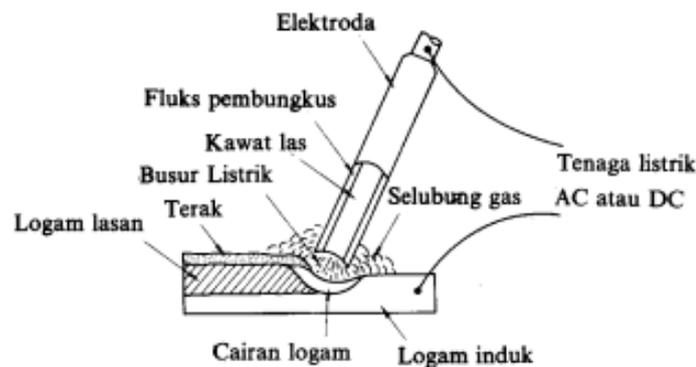
T = Waktu per satuan luas (detik/cm²)

A = Luas penampang (cm²)

I = Jumlah benda

2.2.11 Proses pengelasan

Proses pengelasan dilakukan guna untuk menyatukan bagian-bagian rangka. Berdasarkan cara kerjanya pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian (Wiryosumarto & Okumura, 2000). Pengelasan busur dengan elektroda terbungkus ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Pengelasan busur dengan elektroda terbungkus (Wiryosumarto & Okumura, 2000)

- 1) Pengelasan cair merupakan cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
- 2) Pengelasan tekan merupakan cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- 3) Pematrian merupakan cara pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Pada cara ini logam induk tidak turut cair.

Berikut rumus perhitungan proses pengelasan untuk mengetahui waktu pengelasan pada material:

- a) Jumlah elektroda/bahan tambah

$$G = \frac{\Sigma P}{Pk} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

G = Jumlah bahan tambah (batang)

ΣP = Total panjang las (mm)

Pk = Panjang las per bahan tambah (mm/batang)

- b) Waktu pengelasan

$$Tp = G \times T \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

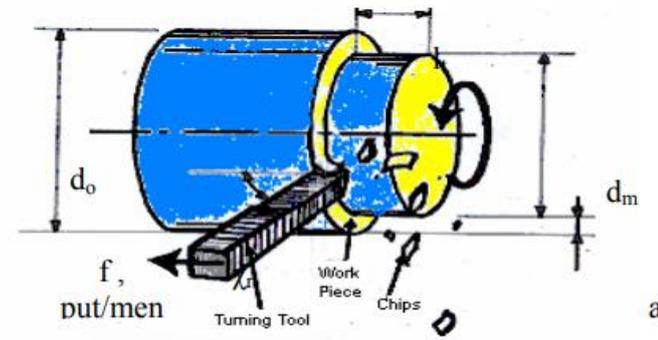
Tp = Waktu pengelasan

G = Jumlah bahan tambah (batang)

T = Waktu total panjang pengelasan (menit)

2.2.12 Proses bubut

Proses bubut merupakan proses pemesinan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan Mesin Bubut. Prinsip dasarnya dapat didefinisikan sebagai proses pemesinan pada permukaan luar benda silindris atau bubut rata. Dengan benda kerja yang berputar, satu pahat bermata potong tunggal (*with a single-point cutting tool*), dan gerakan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu sehingga akan membuang permukaan luar benda kerja (Widarto, 2008a). Gambar skematis proses bubut ditunjukkan gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Skematis proses bubut (Widarto, 2008a)

- 1) Benda kerja :

d_o = diameter mula (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

l_t = panjang pemotongan (mm)

- 2) Pahat :

X_r = sudut potong utama/sudut masuk

- 3) Mesin bubut

a = kedalaman potong (mm)

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran poros utama (putaran/menit)

- 4) Kecepatan potong

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}; m/menit \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

v = kecepatan potong (m/menit)

π = nilai konstanta : 3,14

d = diameter rata-rata benda kerja $((d_o+d_m)/2)$ (mm)

n = putaran poros utama (putaran/menit)

- 5) Kecepatan makan

$$v_f = f \cdot n; mm/menit \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

v_f = kecepatan makan (mm/menit)

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran poros utama (putaran/menit)

6) Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{l_t}{v_f}; \text{menit} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

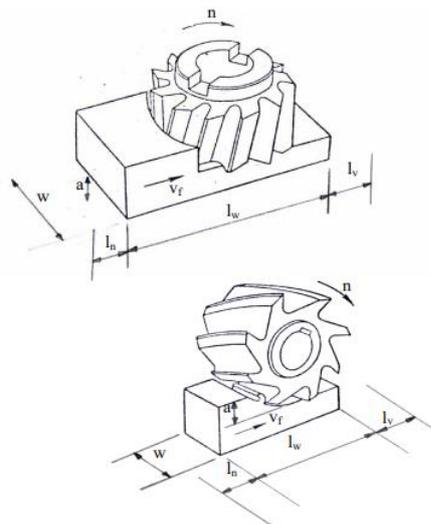
t_c = waktu pemotongan (menit)

l_t = panjang pemotongan (mm)

v_f = kecepatan makan (mm/menit)

2.2.13 Proses frais

Proses pemesinan frais (milling) merupakan proses penyayatan benda kerja menggunakan alat/mesin potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak, yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan benda yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga dari beberapa bentuk kombinasi (Widarto, 2008a). Gambar skematis proses frais vertical dan frais horizontal ditunjukkan gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Skematis proses frais *vertical* dan frais *horizontal* (Widarto, 2008a)

Keterangan :

1) Benda Kerja :

w = lebar pemotongan (mm)

l_t = panjang pemesinan (mm) = $l_v + l_w + l_n$

l_v = panjang langkah awal pemotongan (mm)

l_w = panjang pemotongan benda kerja (mm)

l_n = langkah pengakhiran (mm)

a = kedalaman potong (mm)

2) Pisau frais

d = diameter luar (mm)

z = jumlah gigi/mata potong

X_r = sudut potong utama (90^0) untuk pisau frais selubung

3) Mesin frais

n = putaran poros utama (rpm)

v_f = kecepatan makan (mm/putaran)

4) Kecepatan potong

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}; m/menit \dots \dots \dots (2.8)$$

v = kecepatan potong (m/menit)

π = nilai konstanta : 3,14

d = diameter rata-rata benda kerja $((d_0+d_m)/2)$ (mm)

n = putaran poros utama (putaran/menit)

5) Gerak makan per gigi

$$f_z = v_f / z \cdot n; mm/menit \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

f_z = gerak makan per gigi (mm/menit)

v_f = kecepatan makan (mm/putaran)

z = jumlah gigi/mata potong

n = putaran poros utama (putaran/menit)

6) Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{l_t}{v_f}; menit \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

t_c = waktu pemotongan (menit)

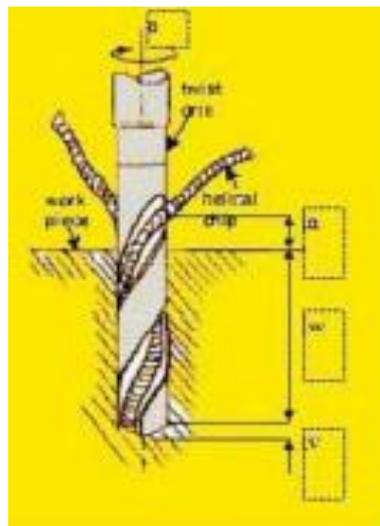
l_t = panjang pemotongan (mm)

v_f = kecepatan makan (mm/menit)

2.2.14 Proses gurdi

Proses gurdi merupakan proses pemesinan yang paling sederhana di antara proses pemesinan yang lain. Biasanya di bengkel atau workshop proses ini dinamakan proses dengan bor, walaupun istilah ini sebenarnya kurang tepat. Proses gurdi merupakan proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*).

Sedangkan proses bor (*boring*) merupakan proses meluaskan/memperbesar lubang yang bisa dilakukan dengan batang bor (*boring bar*) yang tidak hanya dilakukan pada Mesin Gurdi, tetapi bisa dengan Mesin Bubut, Mesin Frais, atau Mesin Bor (Widarto, 2008b). Gambar skematis proses gurdi/*drilling* ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Skematis proses gurdi/*drilling* (Widarto, 2008b)

Berikut ini rumus untuk menghitung proses gurdi untuk mengetahui waktu pembuatan lubang pada material (Widarto, 2008b) :

- 1) Kecepatan potong

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

v = kecepatan potong (m/menit)

π = nilai konstanta : 3,14

n = putaran spindel (rpm)

d = diameter rata-rata benda kerja $((d_0+d_m)/2)$ (mm)

- 2) Gerak makan per gigi

$$f_z = \frac{vf}{z \times n} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

f_z = gerak makan per gigi (mm/putaran)

vf = kecepatan makan (mm/menit)

z = jumlah gigi (mata potong)

n = putaran spindel (rpm)

- 3) Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{lt}{vf} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

t_c = waktu pemotongan (menit)

vf = kecepatan makan (mm/menit)

l_t = panjang pemesinan (mm) = $l_v + l_w + l_n$

l_v = panjang langkah awal pemotongan (mm)

l_w = panjang pemotongan benda kerja (mm)

l_n = langkah pengakhiran (mm)

- 4) Kedalaman potong

$$a = d / 2 \dots \dots \dots (2.14)$$

2.2.15 Kerja plat

Kerja pelat (*sheet metal*) adalah logam yang dibentuk dalam suatu proses industri ke dalam bentuk dasar yang tipis, atau yang datar, yang dapat dipotong dan dibengkokkan ke berbagai bentuk. Tidak terbilang jumlah objek yang digunakan setiap hari yang terbuat dari lembaran logam. Ketebalan bervariasi secara nyata, yang sangat ekstrim ketebalannya disebut dengan foil dan yang ketebalannya lebih dari 6 mm [0.25 inch] disebut sebagai pelat. Lembaran logam tersedia dalam bentuk datar atau gulungan. Gulungan dibentuk dari berjalannya lembaran logam secara menerus melalui sebuah rol (Hadi, 2016).

2.2.16 Proses pra-finishing dan finishing

Proses pra-*finishing* dilakukan guna merapikan hasil pekerjaan sebelum dilanjutkan kedalam proses *finishing*. Adapun proses pra-*finishing* dapat berupa

merapikan hasil pengelasan yang tidak rapi, menghaluskan permukaan yang kasar ataupun meratakan permukaan benda yang tidak rata, serta merapikan permukaan yang tajam pada bagian sudut benda. Alat perkakas yang digunakan berupa mesin gerinda tangan karena sifatnya yang mudah dipindah sehingga menjangkau segala posisi sesuai dengan kerumitan bentuk bahan yang *difinishing*.

Finishing merupakan tahapan terakhir dalam proses produksi. Sebelum produk masuk *quality control* tahap akhir dan pengepakan maka dilakukan *finishing* terlebih dahulu. *Finishing* merupakan suatu proses penyelesaian atau penyempurnaan akhir dari suatu produk. Pada umumnya proses *finishing* dilakukan dengan melapisi material dengan cat, politur, pelindung air, atau bahan lain. Selain membuat tampilan produk mejadi lebih menarik, *finishing* juga dapat memberikan perlindungan terhadap material agar lebih tahan goresan dan benturan.

2.2.17 Perhitungan biaya produksi

Menurut Dewi dkk., (2013) Biaya produksi atau biaya pabrik adalah biaya untuk mengolah bahan baku menjadi barang atau produk jadi, yang terdiri dari 3 elemen biaya, yaitu:

1) Biaya bahan baku

Dalam suatu perusahaan manufaktur, bahan (*material*) dibedakan menjadi bahan baku dan bahan baku penolong. Bahan baku (*direct material*) merupakan bahan yang membentuk bagian menyeluruh dari produk jadi. Bahan baku dapat diidentifikasi sebagai produk atau pesanan tertentu dengan nilainya yang relatif besar. Misalnya dalam perusahaan mebel, bahan baku adalah kayu atau rotan. Biaya yang timbul karena pemakaian bahan baku disebut biaya bahan baku.

Bahan baku penolong (*indirect material*) adalah bahan yang dipakai dalam proses produksi yang tidak dapat diidentifikasi dengan produk jadi dan nilainya relatif kecil. Misalnya pada perusahaan mebel, bahan baku penolong adalah minyak pelitur. Biaya yang ditimbulkan akibat pemakaian bahan baku penolong disebut biaya bahan baku penolong. Biaya bahan baku penolong merupakan bagian dari biaya *overhead* pabrik.

2) Biaya tenaga kerja

Biaya tenaga kerja merupakan biaya yang dikeluarkan akibat dari pemanfaatan tenaga kerja dalam melakukan produksi. Dalam suatu perusahaan manufaktur, penggolongan kegiatan kerja dapat dikelompokkan menjadi empat golongan yaitu:

a) Penggolongan menurut fungsi pokok organisasi.

Dalam suatu perusahaan manufaktur ada tiga fungsi pokok yaitu produksi, pemasaran dan administrasi. Dengan demikian biaya tenaga kerja digolongkan menjadi biaya tenaga kerja produksi, biaya tenaga kerja pemasaran dan biaya tenaga kerja administrasi.

b) Penggolongan menurut kegiatan departemen.

Misalnya, departemen produksi atau perusahaan terdiri dari tiga departemen yaitu departemen pulp, departemen kertas dan departemen penyempurnaan. Biaya tenaga kerja departemen produksi digolongkan sesuai dengan bagian-bagiannya.

c) Penggolongan menurut jenis pekerjaannya.

Misalnya, dalam suatu departemen produksi digolongkan sebagai berikut: operator, mandor dan penyelia, maka biaya tenaga kerja juga digolongkan sesuai dengan pekerjaan yang dilakukan tersebut.

d) Penggolongan menurut hubungannya dengan produk.

Tenaga kerja bisa digolongkan menjadi tenaga kerja langsung dan tidak langsung. Biaya tenaga kerja langsung merupakan unsur biaya produksi sedangkan biaya tenaga kerja tidak langsung merupakan unsur biaya *overhead* pabrik.

3) Biaya *overhead* pabrik

Biaya *overhead* pabrik pada umumnya didefinisikan sebagai biaya bahan baku tidak langsung penolong, tenaga kerja tidak langsung dan semua biaya pabrik lainnya yang tidak dapat secara nyata didefinisikan dengan atau dibebankan langsung ke pesanan, produk atau objek biaya lainnya yang spesifik. Istilah lain yang digunakan untuk biaya *overhead* pabrik ialah beban produksi, *overhead* produksi, beban pabrik dan biaya produksi tidak langsung.

a) Biaya Listrik

$$BL = TM \times P \times B0 \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

BL = Biaya Listrik (Rp)

TM = Waktu pemakaian mesin (Menit)

P = Daya listrik pada mesin yang digunakan (Watt)

B0 = Harga Daya / Kwh = Rp Rp1.352,00

b) Biaya Sewa Mesin

$$BM = TM \times B \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

BM = Biaya Sewa Mesin (Rp)

TM = Waktu Pemakaian Mesin (Jam)

B = Harga Sewa Mesin/Jam (Rp)

c) Biaya Operator

$$BO = BOJ \times Wp \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

BOJ = Biaya Operator / Jam (Rp)

UMK = Upah Minimum Karyawan Wilayah Cilacap (Rp2.230.731/ Bulan)

JB = Jam kerja dalam sebulan (Terhitung dari senin-sabtu selama 8 jam)

Wp = Waktu Pengerjaan (Menit)

d) Biaya Tak Terduga / Biaya Perencanaan

Biaya tak terduga / perencanaan diambil 15% dari biaya material, biaya komponen, biaya sewa mesin, biaya listrik dan biaya operator.

$$BTT = 15\% \times (B_{Material} + B_{Komponen} + B_{Sewa\ Mesin} + B_{Listrik} + B_{Operator}) \dots\dots\dots(2.18)$$

e) Biaya Total Produksi

$$BTP = (B_{Material} + B_{Komponen} + B_{Listrik} + B_{Sewa\ Mesin} + B_{Operator} + B_{Tak\ Terduga}) \dots\dots\dots(2.19)$$