

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

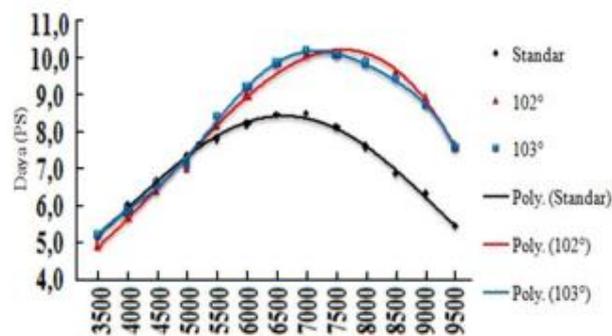
2.1 Tinjauan Pustaka

Bunga et al., (2019) membuat suatu karya ilmiah dengan judul “Rancang Bangun Mesin Gerinda *Copy Camshaft*”. Metode yang digunakan dalam pembuatan karya ilmiah tersebut yaitu menggunakan 2 metode, yaitu perancangan dan manufaktur. Metode perancangan yang digunakan adalah metode Ulrich & Epinge, sedangkan metode manufaktur yang digunakan adalah metode DFMA. Hasil yang didapatkan terdapat pada gambar 2.1. Desain mesin duplikat poros cam menggunakan 1 buah motor listrik sebagai penggerak. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik dengan daya 0,5 HP atau 375 kW dengan putaran 1400 RPM dan dinaikan putaran menjadi 2800 RPM. Dari hasil analisa simulasi bahwa rangka aman digunakan, karena *stress* maksimal hasil analisa sebesar 119,86 MPa lebih kecil dari *yield strength* material S35C sebesar 304 MPa.

Destrio Estu Wijanata, (2014) melakukan penelitian terhadap poros cam dengan judul “Pengaruh Variasi Lobe Separation Angle (LSA) Pada Camshaft Terhadap Unjuk Kerja Mesin Supra X 125 Tahun 2008”. Dari hasil penelitian didapatkan hasil secara umum, daya efektif yang dihasilkan oleh poros cam modifikasi 102° dan 103° mengalami peningkatan rata-rata 25,24% dan 22,52% dari standar 104° dikarenakan torsi pada poros cam dengan LSA yang dipersempit semakin meningkat, sedangkan pada putaran bawah daya efektif yang dihasilkan oleh poros cam modifikasi 102° dan 103° mengalami penurunan rata-rata -4,17% dan -1,90% dari standar 104° dikarenakan torsi pada poros cam standar sudah meningkat dan torsi pada poros cam modifikasi 102° dan 103° baru akan mengalami peningkatan. Berdasarkan gambar 2.2.

Grafik daya efektif cenderung mengalami peningkatan pada rentang putaran 3500 rpm sampai titik optimal 7000 rpm. Hal ini disebabkan karena torsi yang dihasilkan juga meningkat. Pada putaran 7500 rpm sampai 9500 rpm, grafik daya efektif mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada putaran tinggi torsi

mengalami penurunan dan torak tidak mempunyai waktu yang cukup untuk menghisap campuran udara dan bahan bakar, sehingga volume bahan bakar yang dihisap semakin berkurang dan tekanan kompresi menurun. Hal itu menyebabkan proses pembakaran menjadi tidak sempurna. Akibatnya daya efektif yang dihasilkan juga menurun. Dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa penggunaan sudut LSA poros cam yang dimodifikasi dapat meningkatkan daya efektif mesin Honda Supra X tahun 2008 dari pada menggunakan LSA poros cam standar (104°). Daya efektif optimal yang paling tinggi dihasilkan pada modifikasi 103° yaitu sebesar 10,17 PS pada 7000 rpm.



Gambar 2.1 Grafik hubungan antara putaran mesin terhadap daya

Nasution et al., (2019) membuat suatu karya ilmiah dengan judul “Pembuatan Mesin Penduplikat *Camshaft Racing* Sepeda Motor 4 TAK dengan Kapasitas 1Pcs/30Menit”. Hasil yang didapatkan yaitu berhasil merancang dan mengembangkan mesin duplikat poros cam *racing* untuk sepeda motor 4 TAK dari yang sebelumnya membutuhkan waktu pengerjaan untuk 1 poros cam yaitu 3jam menjadi 30 menit sesuai dengan kemampuan yang telah direncanakan yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Hasil analisa yang diterima oleh rangka sebesar $F_{total} = 41,46$ kgf. Dari hasil tersebut maka besaran gaya yang dapat di distribusikan secara merata pada setiap kaki-kaki rangka besi hollow sebesar 10,37 kgf. Dari hasil perencanaan dan perhitungan didapatkan biaya untuk merancang dan membuat mesin duplikat poros cam *racing* sepeda motor sebesar Rp. 11.900.000.



Gambar 2.2 Mesin Copy Camshaft (Nasution et al., 2019)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Poros Cam (*Camshaft*)

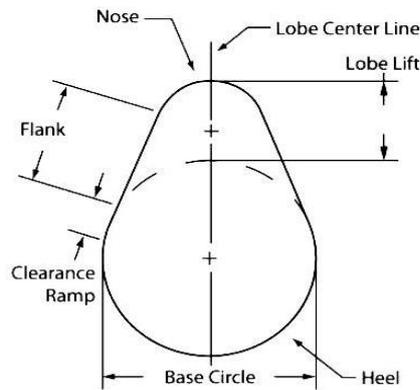
Poros cam atau yang sering disebut dengan noken adalah sebuah komponen pada suatu mesin sepeda motor yang berfungsi untuk menjalankan *valve poppet* (buka tutup katup). Poros cam memiliki bentuk berupa batang silinder dengan panjang tertentu yang memiliki bentuk khusus berupa beberapa tonjolan landai menyerupai telur pada badannya yang disebut *cam* atau biasa juga disebut *lobe*. Bagian yang bernama *cam/lobe* inilah yang bertugas untuk menggerakkan katup mesin sehingga dapat membuka lubang masuk dan keluar pada suatu ruang bakar mesin. Waktu buka tutup katup tersebut akan sangat berpengaruh terhadap tenaga yang dihasilkan oleh suatu mesin. Poros cam di desain berdasarkan 4 hal, yaitu :

1. Durasi

Adalah waktu buka-tutup katup dalam 1 siklus kerja yang dihitung berdasarkan perubahan posisi poros engkol yang diukur dalam bentuk derajat. Berdasar riset, besar kecil durasi ideal *camshaft* ditentukan oleh karakter jalanan dan besarnya volume silinder.

2. *Lift*

Adalah tinggi angkatan katup dihitung dari posisi katup menutup sempurna sampai dengan posisi katup membuka *full* sempurna. Selisih dari hal tersebut adalah *lift* katup. Besar kecil *lift* katup ditentukan oleh diameter katup (0,32 dari D katup), perbandingan *rocker arm*, kualitas bahan katup dan pegas katup.



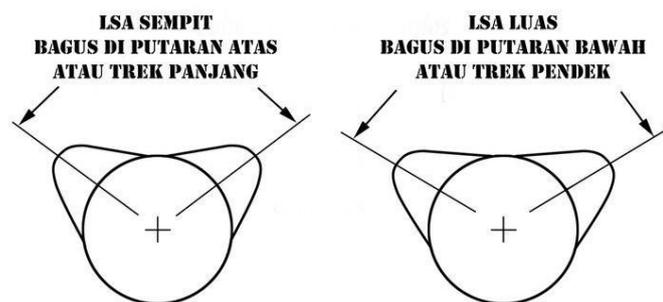
Gambar 2.3 Cam Lobe Diagram

3. Profil

Adalah bentuk dari *camshaft*, yang membedakan antara *camshaft* satu dengan yang lainnya adalah dilihat dari *flank* dan *nose*. Meskipun durasi dan *lift* sama belum tentu karakter *camshaft*nya sama juga.

4. LSA (*Lobe Separation Angle*)

Adalah jarak titik puncak tonjolan antara *cam in* dan *cam out* yang diterjemahkan dalam bentuk sudut derajat poros engkol. Hal ini berhubungan dengan sudut *overlapping camshaft* motor. Dari riset yang dilakukan, LSA sangat mempengaruhi karakter mesin motor yang dihasilkan. Semakin kecil LSA *power band* yang dihasilkan mesin semakin sempit dan *peak power* terjadi pada rpm tinggi. Begitu juga sebaliknya dengan LSA besar.



Gambar 2.4 LSA (*Lobe Separation Angle*)

Material pembuat poros cam berupa material yang dapat tahan terhadap putaran tinggi yang dihasilkan oleh mesin, tahan terhadap suatu gesekan/aus, tahan panas, dan tahan defleksi. Biasanya material yang digunakan untuk pembuatan poros cam yaitu baja (steel), besi tuang (cast iron), aluminium.

Tujuan akhir dari modifikasi camshaft adalah untuk meningkatkan efisiensi volumetrik campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam silinder dan mempercepat proses pembuangan setelah pembakaran. Jika udara mengalir lebih mudah, jumlah udara yang masuk ke ruang bakar saat putaran mesin tinggi. Pada putaran mesin tinggi, peningkatan efisiensi volumetrik ini diharapkan dapat meningkatkan daya dan torsi. (Kurniawan et al., 2021) Gambar poros cam ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.5 Poros cam untuk Yamaha Jupiter 5TP
(www.aliexpress.com)

2.2.2 Motor Penggerak

Motor penggerak termasuk kedalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Ada dua jenis motor penggerak yaitu motor penggerak DC (*Direct Current*) dan AC (*Alternating Current*). Keduanya memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga pemilihan motor penggerak disesuaikan dengan penggunaannya (Bagia dan Parsa, 2018) .

Berikut ini merupakan persamaan dalam perancangan penggunaan motor DC (Mott, 2004) :

a) Torsi motor penggerak

$$T = F \times r \quad (2.1)$$

Dimana :

T = Torsi

F = Gaya

R = Radius

b) Menentukan daya motor penggerak

$$P = T \times \omega \quad (2.2)$$

Dimana :

P = Daya motor listrik (kW)

T = Torsi (kg.mm)

ω = Percepatan sudut (rad/s)

2.2.3 Transmisi Puli dan Sabuk

Sistem transmisi, dalam otomotif, adalah sistem yang berfungsi untuk konversi torsi dan kecepatan (putaran) dari mesin menjadi torsi dan kecepatan yang berbeda-beda untuk diteruskan ke penggerak akhir. Konversi ini mengubah kecepatan putar yang tinggi menjadi lebih rendah tetapi lebih bertenaga, atau sebaliknya. (Setyono & Setiawan, 2015)

Berikut ini merupakan perhitungan yang digunakan untuk menentukan *pulley* dan sabuk yang akan digunakan untuk pembuatan mesin duplikat poros cam:

1. Puli dan Sabuk

Puli dan sabuk yang digunakan pada mesin duplikat poros cam ini adalah jenis *Timing* dengan 1 jalur. Berikut merupakan perhitungan dalam menentukan panjang sabuk dan jarak antar sumbu poros:

a. Menentukan perbandingan serta jenis puli yang akan digunakan.

b. Menghitung *pitch diameter* (PD)

$$PD = \frac{\text{Pitch} \times \text{Number of teeth}}{\pi} \quad (2.3)$$

c. Menentukan jarak antar sumbu poros sementara (C')

$$PD_2 < C' < PD_2 + PD_1 \quad (2.4)$$

Keterangan :

PD_1 : Small pulley pitch diameter (mm)

PD_2 : Large pulley pitch diameter (mm)

d. Menghitung panjang sabuk sementara (LP')

$$LP' = 2C' + \frac{\pi(Dp+dp)}{2} + \frac{(Dp-dp)^2}{4C'} \quad (2.5)$$

Keterangan:

Dp : Large pulley pitch diameter (mm)

dp : Small pulley pitch diameter (mm)

e. Menentukan panjang sabuk aktual (dapat dilihat pada tabel 1-35, V832-E

Design Manual Timing Belt Mitsuboshi, hal. 26)

Pilih ukuran sabuk pada tabel dengan panjang sabuk yang mendekati hasil perhitungan panjang sabuk sementara.

f. Menghitung jarak antar sumbu poros aktual (C)

$$b = 2LP - \pi(Dp + dp) \quad (2.6)$$

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(Dp - dp)^2}}{8} \quad (2.7)$$

2.2.4 Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sembari memberikan keleluasaan gerak relatif antara antara dua elemen dalam sebuah mesin, Beberapa bantalan menggunakan elemen-elemen gelinding berbentuk bola bundar atau rol-rol silindris atau kerucut. Dengan demikian akan menghasilkan koefisien gesekan yang sangat rendah.

Berikut ini merupakan perhitungan yang digunakan untuk menentukan bantalan yang akan digunakan untuk pembuatan mesin duplikat poros cam:

a. Menghitung jumlah putaran rancangan

$$L_d = h.n.60 \quad (2.8)$$

Dimana:

L_d = jumlah putaran rancangan (putaran)

h = umur rancangan (jam)

n = putaran poros (RPM)

b. Hitung beban dinamis

$$C = P_d \left(\frac{L_o}{10^6} \right)^{1/k} \quad (2.9)$$

Dimana:

C = beban dinamis (kN)

P_d = beban (reaksi) terbesar pada bantalan (kN)

L_d = jumlah putaran rancangan (putaran)

k = 3 untuk bantalan bola

= 3,33 untuk bantalan roll

2.2.5 Poros

Poros jenis ini akan mendapat beban puntir murni dan lentur, daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling roda gigi, puli sabuk atau sproket rantai.

Berikut perhitungan yang digunakan untuk menentukan poros yang akan digunakan untuk pembuatan mesin duplikat poros cam:

a. Menentukan Material Untuk Poros

b. *Tensile Stress* Material Poros

c. Tegangan Tarik yang diijinkan

$$\sigma_a = 0,36. \sigma_u \quad (2.10)$$

Dimana:

σ_u = Ultimate tensile strength dari material yang akan digunakan

d. Tegangan geser yang diijinkan.

$$\tau_a = 0,18. \sigma_u \quad (2.11)$$

Dimana:

σ_u = Ultimate tensile strength dari material yang akan digunakan

e. Perhitungan torsi jika diketahui adalah daya dari penggerak.

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2.12)$$

Dimana:

T = torsi (N.m)

P = daya (watt)

ω = kecepatan sudut (rad/detik)

- f. Menghitung torsi ekuivalen dengan mempertimbangkan faktor kejut dan fatik.

$$T_e = T \times K_t \quad (2.13)$$

Dimana:

T_e = torsi ekuivalen

T = torsi yang bekerja pada poros (N.m)

K_t = faktor koreksi terhadap faktor kejut dan fatik/Lelah

- g. Perhitungan diameter poros pejal.

$$d = \left(\frac{16T_e}{\pi \tau a} \right) \quad (2.14)$$

Dimana:

d = diameter poros (mm)

T_e = torsi ekuivalen (N.mm)

τa = tegangan geser ijin (N/mm²)

- h. Menentukan Torsi

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2.15)$$

Dimana:

T = Torsi (Nmm)

P = Power (Watt)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

- i. Menghitung Gaya Pada Motor Penggerak Listrik AC

$$T = F \times r_{Motor\ Penggerak}$$

(2.16)

Dimana:

T = Torsi (Nmm)

F = Gaya motor penggerak (N)

r = Jari-jari poros motor penggerak (mm)

- j. Menghitung Gaya Pada Puli

$$T = F \times r_{puli} \quad (2.17)$$

Dimana:

T = Torsi (Nmm)

F = Gaya motor penggerak (N)

r = Jari-jari puli (mm)

k. Menghitung Torsi Ekuivalen

$$T_e = \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2} \quad (2.18)$$

Dimana:

T_e = Torsi ekuivalen gabungan (Nmm)

K_m = Faktor kombinasi kejut dan fatik untuk bending momen

M = Momen (Nm)

K_t = Faktor kombinasi dan fatik untuk torsi

2.2.6 Proses Gerinda

Pengerindaan adalah suatu proses manufaktur dengan menggunakan batu gerinda sebagai alat potong yang diputar untuk mengikis suatu permukaan benda kerja dengan akurasi yang tinggi, mengasah alat potong, dan memotong benda kerja. Jenis mesin gerinda yaitu mesin gerinda permukaan, mesin gerinda silindris, gerinda potong, dan alat gerinda manual (Hadi, 2016). Gerinda potong dan gerinda manual ditunjukkan pada Gambar 2.7



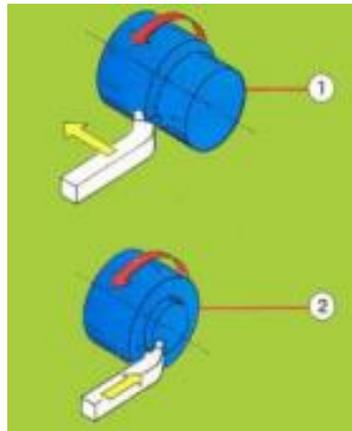
Gambar 2.6 Jenis mesin gerinda : (a) gerinda potong, dan (b) gerinda manual (Hadi, 2016)

Fungsi utama mesin gerinda adalah untuk:

- a. Memotong benda kerja yang tidak cukup tebal.
- b. Menghaluskan dan meratakan permukaan benda kerja.
- c. Sebagai proses akhir pengerjaan (finishing) benda kerja.
- d. Mengasah alat potong supaya tajam.
- e. Menghilangkan sisi tajam benda kerja.
- f. Membentuk suatu profil menjadi bentuk tertentu (elip, siku, atau bentuk lain).

2.2.7 Proses Bubut

Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagian - bagian mesin berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan mesin bubut (Widarto et al., 2008). Benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang di ujung poros utama (*spindle*). Dengan mengatur lengan pengatur, yang terdapat pada kepala diam (*head stock*), putaran poros utama (n) dapat dipilih. Bagi mesin bubut konvensional putaran poros utama umumnya dibuat bertingkat dengan aturan yang telah distandarkan. Pada proses bubut terdapat 2 jenis pemakanan permukaan benda kerja yaitu bubut rata dan bubut permukaan. Jenis proses bubut dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.7 Jenis proses bubut (1) proses bubut rata, dan (2) bubut permukaan (Widarto et al., 2008)

Pahat dipasangkan pada kedudukan pahat dan kedalaman potong (a) diatur dengan menggeserkan peluncur silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter, dengan demikian kedalaman potong adalah setengah dari harga tersebut. Pahat bergerak translasi bersama-sama dengan kereta dan gerak makannya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi. Gerak makan (f) yang tersedia pada mesin bubut bermacam macam dan menurut tingkatan gerak makan yang telah distandarkan. Berikut rumus perhitungan proses bubut untuk mengetahui waktu pembubutan pada material :

a. Kecepatan potong :

Dimana:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/menit} \quad (2.19)$$

v = kecepatan potong (m/menit)

n = putaran spindle (RPM)

d = diameter rata-rata benda kerja $d = \frac{d_o + d_m}{2}$ (mm)

d_o = diameter awal (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

b. Kecepatan makan :

Dimana:

$$v_f = f \cdot n \text{ mm/menit} \quad (2.20)$$

v_f = kecepatan makan (mm/menit)

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran spindle (RPM)

c. Waktu pemotongan :

Dimana:

$$t_c = l_t / v_f \text{ menit} \quad (2.21)$$

t_c = waktu pemotongan (menit)

v_f = kecepatan makan (mm/menit)

l_t = panjang pemesinan (mm)

2.2.8 Proses Frais

Proses pemesinan frais (*milling*) adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat 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 yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk (Widarto et al., 2008). Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis yaitu frais periperal (*slab milling*), frais muka (*face milling*), dan frais jari (*end milling*). Tiga jenis proses frais dapat dilihat pada Gambar 2.9

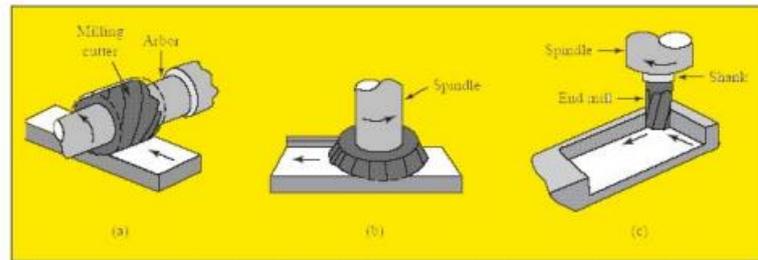


FIGURE 12.2: The three basic milling operations: (a) milling, (b) face milling, (c) end milling

Gambar 2.8 Tiga klasifikasi proses frais: (a) Frais periperal, (b) frais muka, dan (c) frais jari (Widarto et al., 2008)

Berikut rumus perhitungan proses frais untuk mengetahui waktu pengefaisan pada material :

a. Kecepatan potong :

Dimana:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/menit} \quad (2.22)$$

v = kecepatan potong (m/menit)

n = putaran spindle (RPM)

d = diameter pisau (mm)

b. Kecepatan makan :

Dimana:

$$fz = \frac{vf}{z \cdot n} \text{ mm/menit} \quad (2.23)$$

fz = gerak makan per gigi (mm/menit)

vf = kecepatan makan (mm/putaran)

z = jumlah gigi/mata potong

n = putaran spindle (RPM)

c. Waktu pemotongan :

Dimana:

$$t_c = \ell_t / v_f \text{ menit} \quad (2.24)$$

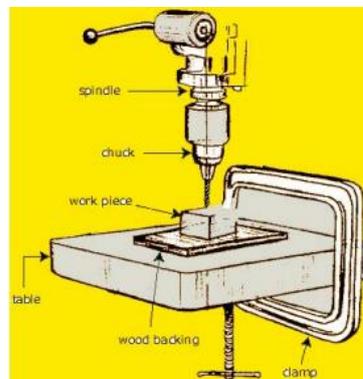
t_c = waktu pemotongan (menit)

v_f = kecepatan makan (mm/menit)

ℓ_t = panjang pemesinan (mm)

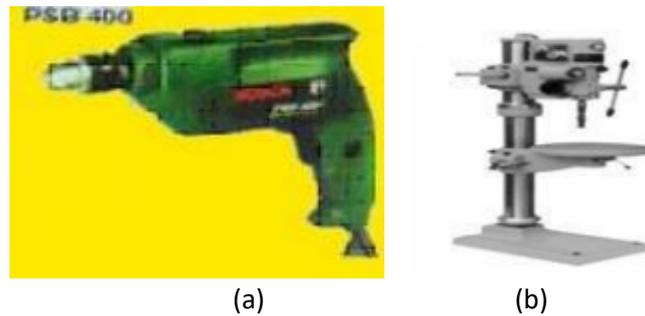
2.2.9 Proses Gurdi

Proses gurdi adalah proses pemesinan yang paling sederhana diantara proses pemesinan lainnya. Biasanya di bengkel atau *workshop* proses ini dinamakan proses bor, walaupun istilah ini sebenarnya kurang tepat. Proses gurdi yang dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat menggunakan mata bor (*twist drill*). Sedangkan proses bor (*boring*) adalah 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, mesin bor (Widarto et al., 2008). Proses gurdi dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.9 Proses gurdi (*drilling*) (Widarto et al., 2008)

Mesin gurdi yang umum dipakai pada proses produksi adalah mesin gurdi *portable* dan mesin gurdi peka. Mesin gurdi *portable* adalah mesin gurdi kecil yang terutama digunakan untuk operasi penggurdian yang tidak dapat dilakukan dengan mudah pada mesin gurdi biasa. Yang paling sederhana adalah penggurdi yang dioperasikan dengan tangan. Mesin gurdi peka adalah mesin kecil berkecepatan tinggi dengan konstruksi sederhana yang mirip dengan kempa gurdi tegak biasa. Mesin ini terdiri atas sebuah standar tegak, sebuah meja horizontal dan sebuah *spindle* vertikal untuk memegang dan memutar penggurdi. Mesin gurdi pada proses produksi dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.10 Mesin gurdi pada proses produksi (a) mesin gurdi *portable*, dan (b) mesin gurdi peka (Widarto et al., 2008)

Berikut rumus perhitungan proses gurdi untuk mengetahui waktu pengguridian pada material :

- a. Kecepatan potong :

Dimana:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/menit} \quad (2.25)$$

v = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter gurdi (mm)

n = putaran spindle (rpm)

- b. Gerak makan per mata potong

Dimana:

$$f_z = v_f / (n \cdot z) \text{ mm/putaran} \quad (2.26)$$

f_z = gerak makan / mata potong (mm/putaran)

V_f = kecepatan makan (mm/menit)

n = putaran spindle (RPM)

z = jumlah mata potong

- c. Waktu Pemotongan :

Dimana:

$$t_c = l_t / v_f \text{ min} \quad (2.27)$$

t_c = waktu pemotongan (menit)

V_f = 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)

ln = panjang langkah akhir pemotongan (mm)

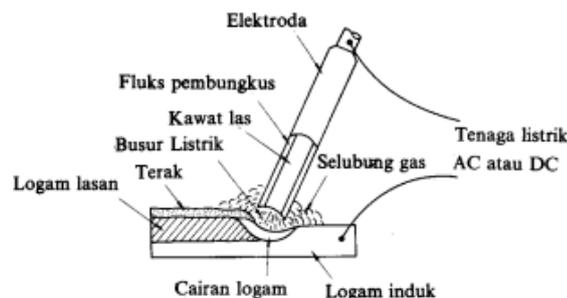
$ln = (d/2) / \tan kr$; sudut potong utama = $\frac{1}{2}$ sudut

2.2.10 Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan untuk menyatukan bagian-bagian rangka. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Berdasarkan cara kerjanya pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian (Wirjosumarto & Okumura, 2000).

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

Pengelasan yang digunakan dalam proses penyambungan rangka menggunakan pengelasan cair yaitu jenis las busur listrik dengan elektroda terbungkus. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan *fluks*. Las busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.11 Las busur listrik (Wirjosumarto & Okumura, 2000)

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

- a. Jumlah elektroda/bahan tambah

Dimana :

$$G = \frac{\Sigma P}{Pk} \text{ batang} \quad (2.28)$$

G = Jumlah elektroda/bahan tambah (batang)

ΣP = Total panjang pengelasan

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

- b. Estimasi waktu pengelasan

Dimana :

$$Tp = G \times T \text{ menit} \quad (2.29)$$

Tp = Waktu pengelasan (menit)

G = Jumlah elektroda/bahan tambah (batang)

T = Waktu pengelasan per batang elektroda/ bahan tambah (menit)

2.2.11 Mesin Gergaji

Mesin gergaji merupakan mesin yang berguna untuk memotong bahan kerja sebelum dikerjakan. (Daryanto, 2006) Mesin gergaji memotong dengan daungergaji yang bergerigi pada salah satu sisinya dan bergerak secara vertikal memotong benda kerja. Gambar 2.13 merupakan mesin gergaji.



Gambar 2.12 Mesin Gergaji

2.2.12 Mesin Bubut

Mesin bubut merupakan mesin perkakas dengan gerak utama berputar untuk mengubah ukuran dan bentuk benda kerja dengan jalan menyayat kerja tersebut menggunakan pahat. Posisi benda kerja dipasangkan pada spindel dan

diputar sesuai dengan sumbu mesin sedangkan pahat digerakkan dengan eretan untuk menyayat benda kerja. (Daryanto, 2006) Panjang maksimal benda yang bisa dibubut dapat diukur mulai jarak senter dari kepala tetap sampai senter kepala lepas. Gambar 2.14 merupakan mesin bubut.



Gambar 2.13 Mesin Bubut

2.2.13 Mesin Frais

Mesin frais merupakan mesin perkakas yang digunakan untuk pengerjaan suatu benda kerja dengan menggunakan pisau frais (*cutter*) sebagai pahat penyayat yang berputar pada sumbu mesin. (Daryanto, 2006) Mesin frais memiliki gerak utama berputar, pisau dipasang pada sumbu/arbor mesin yang mana ketika arbor berputar melalui putaran motor listrik maka pisau ikut berputar. Arbor dapat berputar ke kanan atau ke kiri sedangkan banyaknya putaran diatur sesuai dengan kebutuhan. Gambar 2.15 merupakan mesin frais.



Gambar 2.14 Mesin Frais

2.2.14 Mesin Gurdi

Mesin gurdi merupakan alat yang berfungsi untuk membuat lubang atau alur. Pisau penyayat yang digunakan pada mesin bor disebut mata bor yang memiliki ukuran diameter beragam. (Daryanto, 2006) Mesin bor termasuk mesin perkakas yang memiliki gerak utama berputar. Gambar 2.16 merupakan mesin gurdi.



Gambar 2.15 Mesin Gurdi

2.2.15 Mesin Las SMAW

Las listrik SMAW merupakan proses pengelasan yang menggunakan panas dari listrik dengan mencairkan material dasar. (Wijayanti, 2021) Panas dialirkan dari ujung elektroda berselaput dengan pelindung berupa *flux* atau *slag* yang ikut mencair Ketika pengelasan. Gambar 2.17 merupakan mesin las SMAW.



Gambar 2.16 Mesin Las SMAW