

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Iswanto, dkk (2020) dalam penelitiannya tentang perbandingan *induction hardening* dengan *flame hardening* pada sifat fisik baja ST 60 dapat disimpulkan bahwa baja ST 60 dengan perlakuan *induction hardening* memiliki kekuatan tarik lebih besar yaitu sebesar 87,15 N/mm² dibandingkan baja ST 60 yang diberikan perlakuan *flame hardening* dengan kekuatan tarik 81.53 N/mm². Besarnya regangan baja ST 60 dengan perlakuan *induction hardening* senilai 17,5 %, sehingga lebih besar dibanding baja ST 60 yang mendapat perlakuan *flame hardening* yang besar regangannya hanya 2.5%. Dari pengamatan struktur mikro, baja ST 60 dengan perlakuan *induction hardening* lebih banyak menghasilkan butiran *perlite* dibandingkan dengan perlakuan *flame hardening*.

Ismail, R., dkk (2014) dalam penelitiannya menggunakan teknologi pemanas induksi untuk menaikkan temperatur suatu daerah dengan tegangan 380 Volt, 3 phase dan daya antara 6000 – 8000 Watt pada *continuous hardening*. Menggunakan koil pemanas dengan jumlah 2 lilitan dan sistem pendingin menggunakan fluida air yang dipompakan di daerah sekitar pin yang dipanaskan untuk istem pneumatik untuk pencekam pin. Mesin tersebut menggunakan penggerak pin turun secara vertikal menggunakan motor DC, memberikan efek *quenching* pasca pemanasan.

Kurniawan, dkk (2020) dalam penelitiannya membuat desain rancangan alat pemanas induksi proses perlakuan panas, menghitung bagian elemen mesin, menghitung estimasi waktu dan biaya pembuatan, menguji hasil alat pemanas induksi dengan metode pada penelitiannya menggunakan eksperimental. Hasil evaluasi rancangan konsep antara lain penggunaan ulir trapesium pada sistem lifter, 0,2 kilowatt daya motor, 12 mm diameter poros, dan ball bearing 6201 dengan umur pemakaian 0,31 tahun yang ditentukan dari perhitungan elemen mesin pada sistem pemanas induksi. Total waktu dan biaya pembuatan berkisar 3.182,06 menit dan Rp. 5.360.700,-. Hasil pengujian menunjukkan 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 ditempering temperatur 400°C mengalami penurunan menjadi 69 HRB.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Baja

Baja dapat didefinisikan suatu campuran dari besi dan karbon, di mana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya. Kandungan karbon didalam baja sekitar 0,1-2,0 %. Unsur karbon adalah unsur campuran yang amat penting dalam pembentukan baja, jumlah persentase dan bentuknya membawa pengaruh yang amat besar terhadap sifatnya (Nurhilal, dkk., 2020).

2.2.2 Heat treatment

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan (Nurhilal, dkk., 2020). Berikut adalah macam-macam proses *Heat Treatment* yang biasanya dilakukan :

1. Hardening

Hardening adalah perlakuan panas terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan, jangka waktu penghentian yang memadai pada suhu pengerasan dan pendinginan (pengejukan) berikutnya secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis

2. Tempering

Perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan disebut dengan memudakan (*tempering*). *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan udara.

3. Anealing

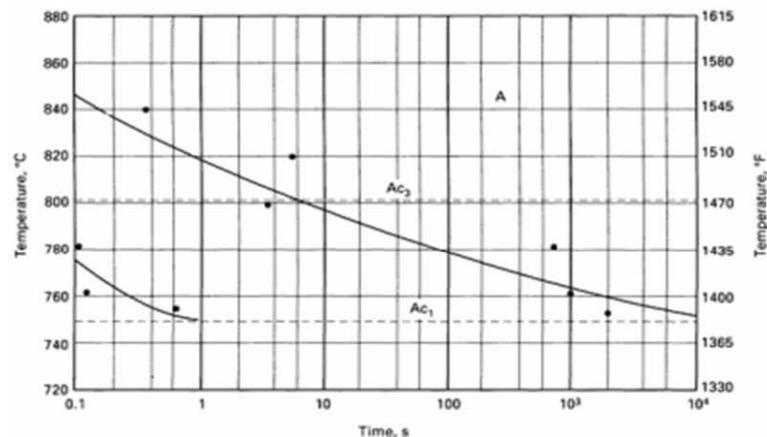
Anealing adalah perlakuan panas logam dengan pendinginan yang lambat berfungsi untuk memindahkan tekanan internal atau untuk mengurangi dan menyuling struktur kristal.

4. Normalizing

Normalizing adalah perlakuan panas logam di sekitar 40°C di atas batas kritis logam, kemudian di tahan pada temperatur tersebut untuk masa waktu yang cukup dan dilanjutkan dengan pendinginan pada udara terbuka.

2.2.3 Diagram ITh (Pembentukan *austenit*).

Diagram ITh (Pembentukan *Austenit*) berlaku selama pembentukan *austenit* dari struktur mikro asli *ferit* dan *perlit* atau *martensit temper*, volume (dan karenanya panjangnya) berkurang dengan pembentukan *austenit* padat fase (gambar 2.1). Dari kurva *elongasi*, waktu mulai dan selesai untuk pembentukan *austenit*, biasanya didefinisikan sebagai 1% dan 99% transformasi, masing-masing, dapat diturunkan. Waktu ini kemudian dengan mudah diplot pada suhu-log diagram waktu (gambar 2.2). Juga diplot dalam diagram ini adalah suhu A_{c1} dan A_{c3} . Di bawah A_{c1} tidak ada *austenit* yang dapat terbentuk, dan antara A_{c1} dan A_{c3} produk akhirnya adalah campuran *ferit* dan *austenit*. Perhatikan bahwa panas berlebih yang cukup besar adalah diperlukan untuk menyelesaikan *transformasi* dalam waktu singkat. Struktur mikro asli juga memainkan peran besar. Sebuah struktur halus terdistribusi seperti *martensit temper* lebih cepat berubah menjadi *austenit* daripada, struktur *perlitik feritik*. Hal ini terutama berlaku untuk baja paduan dengan elemen paduan pembentuk karbida seperti *kromium* dan *molibdenum*. Hal penting bahwa laju pemanasan ke suhu penahanan menjadi sangat tinggi jika diagram isothermal yang benar adalah untuk diperoleh.



Gambar 2. 1 Diagram pemanasan *isothermal*

2.2.4 Media pendingin

Proses pendinginan (*quenching*) melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan diantaranya jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*. Adapun media yang sering digunakan dalam *quenching* diantaranya :

1) Air

Air merupakan media pendingin yang mempunyai *cooling capacity* yang tinggi sekali (terjadi pada suhu 300°C yaitu temperatur mulainya terbentuk *martensit*) padahal laju pendinginan tertinggi diperlukan pada saat melewati *nose* dari kurva transformasi yaitu sekitar suhu 550°C sehingga air murni kurang baik untuk pendingin baja yang mempunyai *hardenability* tinggi. Untuk memperbaiki / menurunkan *cooling capacity* dapat dilakukan dengan menambahkan sedikit (5-10%) soda atau garam dapur.

2) Minyak

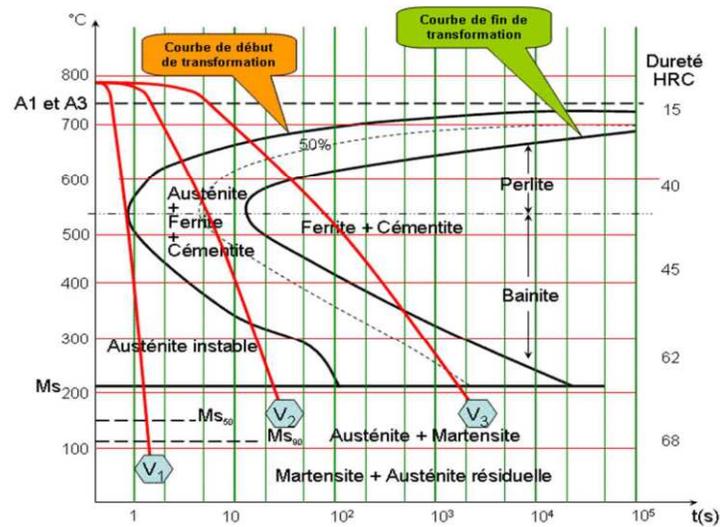
Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas benda kerja yang diolah terlebih dahulu. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan oli, minyak bakar atau solar. Derajat kekentalan (*viscosity*) berpengaruh pada *Severity Of Quench*. Minyak mineral banyak dipilih karena kapasitas pendinginannya cukup baik. Pada umumnya minyak memiliki kapasitas pendinginan tertinggi sekitar temperatur 600°C, dan agak rendah pada temperatur pembentukan *martensit*. Laju pendinginan minyak bisa dinaikkan dengan tiga cara salah satunya yaitu *agitasi*, memanaskan minyak pada temperatur diatas temperatur kamar dan mengemulsikan air (*water soluble*). Jenis minyak mineral yang sering dipakai untuk aplikasi *quenching* pada industri yaitu oli khusus, *oil quench*.

3) Udara

Udara memiliki *cooling capacity* yang rendah, namun menguntungkan untuk baja paduan karena dengan laju pendinginan yang rendah *thermal stress* (tegangan sisa) akan rendah sehingga benda kerja akan bebas dari *distorsi* maupun *crack*.

2.2.5 Diagram TTT

Proses perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur baja yang diinginkan agar cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi awal. Proses transformasi ini dapat dibaca dengan menggunakan diagram fasa namun untuk kondisi tidak setimbang diagram fasa tidak dapat digunakan, untuk kondisi seperti ini maka digunakan diagram TTT (Hadi, S., 2016).



Gambar 2. 2 Hubungan antara diagram persen transformasi terhadap waktu dan pembuatan kurva s (Hadi, 2016: 160)

Diagram diatas menunjukkan perlakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas, diagram ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik dari baja yang diberi *quenching* dari temperatur *austenitisasi* material tersebut ke suatu temperatur dibawah A1.

2.2.6 Pemanasan induksi

Pemanasan induksi adalah timbulnya panas pada logam yang terkena induksi medan magnet, hal ini disebabkan karena pada logam timbul arus *Eddy* atau arus pusar yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet terjadinya arus pusar akibat dari induksi magnet yang menimbulkan *fluks magnetik* yang menembus logam, sehingga menyebabkan panas pada logam. Induksi magnet adalah kuat medan magnet akibat adanya arus listrik yang mengalir dalam konduktor.



Gambar 2. 3 Pemanas induksi

Beberapa persyaratan dasar sistem penanganan kerja untuk pemanasan induksi adalah (*ASM Handbook Vol 4, 1991*):

1. Bahan harus dipegang tanpa mengganggu bagian mana pun dari proses perlakuan panas.
2. Bagian atau bahan yang diproses harus diposisikan untuk setiap langkah proses dengan tingkat akurasi yg dibutuhkan.
3. Bagian atau material harus diposisikan dengan benar dan didukung cukup baik untuk meminimalkan *distorsi*. Dibeberapa kasus, pengekangan mekanis dapat digunakan untuk mencapai hal ini.
4. Berat bagian dan/atau perangkat pemosisian harus mencegahnya bergerak saat mengalami efek *elektromekanis* dari medan induksi (terutama pada frekuensi yang lebih rendah).
5. Bahan penghantar listrik yang digunakan dalam konstruksi perlengkapan harus dijauhkan dari pemanasan medan dan arus induksi nyasar dihindari *drive*, bantalan, dan bagian yang bergerak.

Perbedaan antara suhu perlakuan panas untuk pemanasan induksi dan pemanasan tungku terkait dengan sifat bawaan waktu pemanasan yang singkat dari metode induksi dan pengaruhnya terhadap suhu transformasi. Di bagian ini, sejumlah kunci parameter yang mempengaruhi respon pengerasan baja yang telah

mengalami perlakuan panas induksi diantaranya (*ASM Handbook Vol 4, 1991: 442*):

1. Hubungan waktu-suhu untuk pengerasan dan *tempering* induksi

Pengerasan induksi seperti halnya bagian yang dikeraskan dengan metode perlakuan panas konvensional, kekerasan dan kekerasannya profil bagian austenitisasi induksi hanya bergantung pada komposisi kimia baja dan media pendinginan. Oleh karena itu, pertanyaan metalurgi utama yang muncul dalam pengerasan induksi berkaitan dengan austenitisasi.

Tempering induksi terdapat perbedaan utama antara siklus *tempering* induksi dan tungku terletak pada waktu dan suhu yang terlibat. *Tempering* struktur baja yang dikeraskan, seperti *martensit*, melibatkan *difusi* atom karbon membentuk karbida besi (Fe_3C , atau *sementit*). Tingkat *difusi* meningkat dengan meningkatnya suhu dan waktu. Dengan demikian, perlakuan waktu singkat/suhu tinggi dan perlakuan waktu lebih lama/suhu rendah akan memberikan hasil yang serupa tanggapan *temper*.

2. Sifat listrik dan magnet baja

Prinsip pemanasan induksi sifat material penting yang menentukan keberhasilan pemanasan induksi adalah *resistivitas* bahan " ρ " dan permeabilitas magnet relatif " μ ". Kedua faktor ini memasuki persamaan untuk kedalaman referensi, d . Karena nilai d ditetapkan setelah bahan dipilih, satu-satunya parameter yang dapat disesuaikan adalah frekuensi " f ". Biasanya, frekuensi yang lebih tinggi dipilih untuk permukaan pengerasan dan frekuensi yang lebih rendah untuk melalui pengerasan.

3. Pemilihan frekuensi dan daya induksi

Frekuensi adalah parameter pertama yang dipertimbangkan untuk pemanasan induksi. Pertimbangan utama dalam pemilihan frekuensi adalah kedalaman pemanasan, efisiensi, jenis perlakuan panas (seperti pengerasan permukaan *versus anil subkritis*), dan ukuran dan geometri bagian.

4. Pengaruh struktur mikro sebelumnya

2.2.7 Arus eddy (*Eddy current*)

Arus *Eddy* merupakan arus yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet dan menimbulkan fluks menembus pada logam, sehingga logam menjadi panas. Panas yang terjadi pada pemanas induksi terjadi karena adanya arus listrik bolak-balik melalui *coil* yang terbuat dari tembaga. Arus ini akan menimbulkan medan elektromagnetik yang besarnya tidak sama. Medan magnet akan membangkitkan arus listrik pada material logam di dalamnya. Arus listrik yang timbul (arus *Eddy*) menimbulkan panas yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk memanaskan dan mencairkan logam. Kecepatan pemanasan harus disesuaikan dengan komponen yang sesuai spesifikasi.

2.2.8 Metode perancangan menurut VDI 2222

VDI merupakan singkatan dari *Verein Deutsche Ingenieuer* yang artinya adalah Persatuan Insinyur Jerman. Perancangan menurut VDI 2222 lebih sederhana dan lebih singkat (Pahl, dkk., 2007). Tahapan perancangan menurut VDI 2222 ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Metode Perancangan Menurut VDI 2222.

Urutan tahapan perancangan menurut VDI 2222 adalah sebagai berikut :

1. Merencana

Yaitu merencanakan desain yang akan dibuat. Tahap ini berisi tentang masukan desain dan rencana realisasi desain tersebut. Tahapan ini sama dengan tahap input desain dan rencana desain.

2. Mengkonsep

Memberikan sketsa dan spesifikasi teknis terhadap ide desain yang sudah ditetapkan.

3. Merancang

Memberikan desain wujud dan desain rinci terhadap ide desain. Ide ini sudah melewati analisa, pemilihan dan penentuan ide desain.

4. Penyelesaian

Melakukan *finishing* terhadap rancangan desain, dengan melakukan verifikasi terhadap konsumen/*marketing* dan menyiapkan dokumen untuk disampaikan kepada lini produksi.

2.2.9 Gambar teknik

Gambar merupakan sebuah alat untuk menyatakan maksud dari seorang perancang. (Sujiyanto, 2001). Fungsi gambar adalah bahasa teknik dan pola informasi, tugas gambar digolongkan dalam tiga golongan berikut:

a. Penyampaian informasi

Gambar mempunyai tugas meneruskan maksud dari perancang dengan tepat kepada orang-orang yang bersangkutan, kepada perencanaan proses, pembuatan, pemeriksaan, perakitan.

b. Pengawetan, penyimpanan dan penggunaan keterangan

Gambar merupakan data teknis yang sangat ampuh dimana teknologi dari suatu perusahaan dipadatkan dan dikumpulkan.

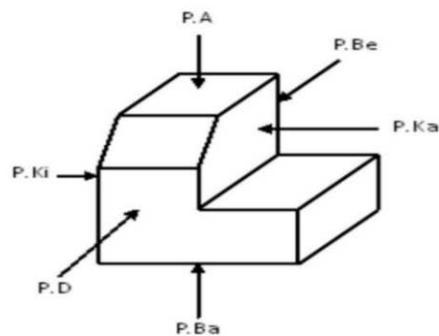
c. Cara-cara pemikiran dalam penyiapan informasi

Dalam perencanaan, konsep abstrak yang melintas pikiran diwujudkan dalam bentuk gambar melalui proses pemikiran dari perencanaan dan gambar.

Di negara-negara tertentu ada yang memiliki badan standarisasi nasional yang cukup dikenal di seluruh dunia, yaitu :

1. Proyeksi Eropa

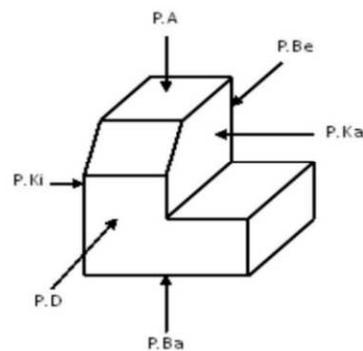
Proyeksi ini apabila dibuka, maka pandangan depan tetap, pandangan samping kanan terletak di sebelah kiri, pandangan samping kiri terletak di sebelah kanan, pandangan atas terletak di sebelah bawah, pandangan bawah terletak di atas, dan pandangan belakang terletak di sebelah kanan pandangan samping kiri. Berikut gambar proyeksi Eropa ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Proyeksi Eropa

2. Proyeksi amerika

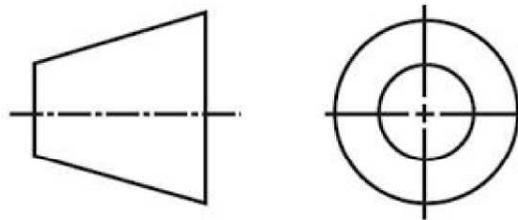
Proyeksi ini apabila bidang-bidang proyeksi dibuka, maka pandangan depan akan terletak di depan, pandangan atas terletak di atas, pandangan samping kanan terletak di samping kanan, pandangan samping kiri terletak di samping kiri, pandangan bawah terletak di bawah, dan pandangan belakang terletak di sebelah kanan samping kanan. Berikut gambar proyeksi amerika ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah ini.



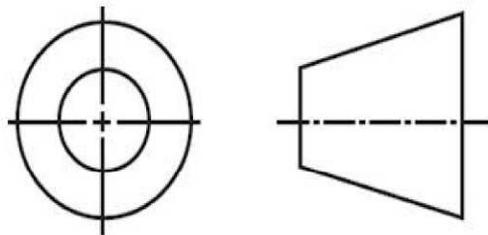
Gambar 2. 6 Proyeksi Amerika

3. Simbol Proyeksi

Untuk membedakan proyeksi Eropa dan proyeksi Amerika, perlu diberi lambang proyeksi. Dalam standar ISO (ISO/DIS 128), telah ditepkan bahwa cara kedua proyeksi boleh dipergunakan. Sedangkan untuk keseragaman ISO, gambar sebaiknya digambar menurut proyeksi Eropa (Kuadran I atau dikenal dengan proyeksi sudut pertama). Symbol dari proyeksi eropa dan amerika dapat dilihat pada gambar 2.7 dan gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Simbol proyeksi eropa



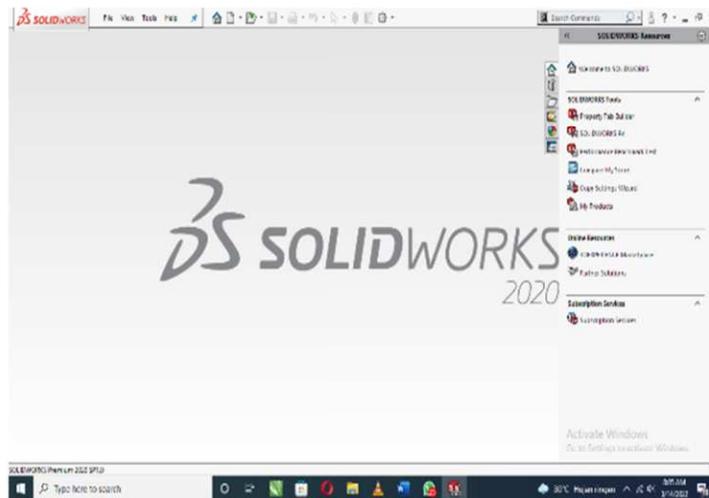
Gambar 2. 8 Simbol proyeksi amerika

2.2.10 Bantuan komputer pada proses perancangan

Komputer sangat membantu proses perancangan, tetapi tidak menggantikan perancang. Hingga saat ini belum ada program komputer mampu menerima masukan berupa spesifikasi produk dan mengolahnya sehingga memberikan keluaran berupa produk hasil rancangan. Akan tetapi kini terdapat banyak program paket komputer yang digunakan untuk membantu kegiatan desain, analisis dan kegiatan lainnya yang dilakukan pada langkah-langkah dalam fase proses perancangan dan membantu mengautomasi teknik-teknik yang digunakan pada proses perancangan.

2.2.11 SolidWorks

SolidWorks merupakan salah satu *software* gambar teknik yang dibuat oleh *Dessault System*. *SolidWorks* ini digunakan untuk merancang *part* atau sebuah susunan *part* yang berupa *assembly* dengan tampilan 3D untuk menampilkan *part* sebelum *part* aslinya dibuat. Selain gambar 3D, *SolidWorks* ini juga dapat menampilkan gambar dalam bentuk 2D. Gambar 2D ini merupakan sebuah gambar yang dibuat dari gambar 3D namun gambar 2D dilengkapi dengan dimensi yang lebih lengkap dari *part* yang digambar pada gambar 3D.



Gambar 2. 9 Tampilan Awal *SolidWorks* 2020

2.2.12 Komponen elektronika

2.2.12.1 Arduino

Arduino adalah sebuah papan (*board*) rangkaian elektronik yang terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang memiliki peran sebagai kontrol kendali dari sebuah sistem. Bahasa pemrograman yang digunakan pada *arduino* adalah bahasa pemrograman C yang telah disederhanakan dengan fitur-fitur dalam *library* sehingga cukup membantu dan mempermudah dalam pembuatan program *arduino*. (Kadir, 2016). Perangkat lunak ini bersifat *open source* dimana *source code arduino* dapat disesuaikan dan dikembangkan dengan kebutuhan pemrograman para penggunanya. Begitu juga dengan perangkat kerasnya dimana rancangan *board arduino*

dipublikasikan di bawah *creative common license* yang artinya pengembang rancangan elektronik dapat mengembangkan, menambahkan dan merancang versi *board* sendiri.

Arduino uno merupakan salah satu produk dengan label *arduino* yang merupakan suatu papan elektronik yang mengandung *microcontroller ATmega 328* sebuah keping yang secara fungsionalnya bertindak seperti sebuah komputer. *Arduino uno* ini dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan rangkaian elektronik dari yang sederhana hingga yang kompleks. Pengendalian LED hingga pengontrolan robot dapat diimplementasikan dengan menggunakan papan elektronik berukuran relatif kecil ini.

2.2.12.2 Motor *stepper*

Motor *stepper* adalah sebuah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. (Raharjo, 2005). Motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor tersebut. Pada dasarnya, prinsip kerja *stepper* motor ini sama dengan motor DC, yaitu pembangkitan medan magnet untuk memperoleh gaya tarik dengan menggunakan catu tegangan DC pada lilitan/ kumparannya. Untuk menggerakkan sebuah motor *stepper* setiap pasang kumparan *stator* harus disambungkan dengan aliran listrik dan diputuskan secara bergantian dalam urutan yang benar. Dengan demikian, *input* ke motor berupa deretan pulsa yang menghasilkan *output* ke setiap pasang kumparan *stator*.

Perencanaan daya motor diperlukan untuk mendapatkan daya yang sesuai dengan yang diharapkan dalam alat atau mesin ini. Menurut R. L. Mott (2004) perencanaan daya motor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

a. Menghitung gaya yang timbul

$$F = m \times g \quad (2.1)$$

$$F = \text{Gaya} \quad (\text{N})$$

$$m = \text{Massa benda} \quad (\text{kg})$$

$$g = \text{Gaya gravitasi} \quad (\text{m/s}^2)$$

b. Menghitung torsi motor

$$T = F \times r \quad (2.2)$$

Dimana:

T = Torsi motor (N.m)

F = Gaya (N)

r = Jari-jari poros (m)

c. Menghitung kecepatan sudut

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (2.3)$$

Dimana:

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

n = Kecepatan putaran motor (rpm)

d. Menghitung besarnya daya motor listrik

$$P = T \times \omega \quad (2.4)$$

Dimana:

P = Daya motor (kW)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

2.2.13 Komponen elemen mesin

2.2.13.1 Poros

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari sebuah mesin. Hampir semua mesin yang meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peranan penting dalam transmisi seperti itu dipegang oleh sebuah poros. (Sularso, 2008). Poros ditahan oleh dua atau lebih bantalan poros atau pemegang poros, dan bagian berputar yang mendukung poros berupa roda daya, roda gigi, roda ban, *rod*, dan lain-lain.

Poros memiliki 3 fungsi utama yaitu poros pendukung, poros transmisi, dan poros gabungan pendukung dan transmisi. Setiap elemen mesin yang berputar, seperti cakaran tali, puli sabuk mesin, roda jalan, dan roda gigi, dipasang berputar terhadap poros dukung yang tetap atau dipasang tetap pada poros dukung yang berputar pada elemen mesin tersebut.

Poros untuk meneruskan daya diklasifikasikan berdasarkan pembebanannya sebagai berikut :

a. Poros transmisi

Poros seperti ini mendapat beban puntir dan lentur. Daya motor kemudian ditransmisikan ke poros ini melalui kopling, roda gigi, puli sabuk atau sproket rantai, dan lain-lain.

b. *Spindel*

Poros transmisi yang panjangnya relatif pendek, seperti poros utama mesinperkakas, dimana beban utamanya berupa puntiran. Syarat yang harus dipenuhi poros *spindel* adalah deformasi material harus kecil serta ukurannya harus teliti.

c. Gandar

Poros seperti yang dipasang di antara roda kereta barang, dimana tidak mendapat beban puntir, bahkan tidak boleh berputar, disebut gandar. Gandar ini hanya mendapat beban lentur saja, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir juga.

Pada perhitungan beban lentur, maka ada hal yang harus diperhatikan yaitu panjang poros yang akan digunakan. Berikut rumus perhitungan beban lentur murni.

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma_b}{y} \quad (2.5)$$

Dimana :

σ_b	= Bending momen yang diijinkan	(kg/mm)
M	= Momen lentur pada poros	(kg.mm)
I	= Momen inersia	(kg/mm ²)
y	= Jari-jari poros	(mm)

Pada perhitungan untuk menentukan diameter poros, maka digunakan sebagai berikut :

$$I = \left(\frac{\pi}{64}\right) d^4 \quad \text{dan} \quad y = \frac{d}{2} \quad (2.6)$$

Maka dapat dimasukkan rumus untuk menghitung diameter poros adalah sebagai berikut :

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma_b}{y} \text{ maka } \frac{M}{\left(\frac{\pi}{64}\right)d^4} = \frac{\sigma_b}{\frac{d}{2}} \quad (2.7)$$

Dimana :

σ_b = Bending momen yang diijinkan (kg/mm)

M = Momen lentur pada poros (kg.mm)

I = Momen inersia (kg/mm²)

y = jari-jari poros (mm)

d = diameter poros (mm)

Perhitungan momen lentur pada poros sebagai berikut :

$$R_a \times L_t = P \times L_p \quad (2.8)$$

$$M = R_a \times L_p \quad (2.9)$$

Dimana :

R_a = Gaya rekasi (N)

L_t = Panjang poros total (mm)

P = Gaya rata-rata (N)

L_p = Panjang poros tengah pembebanan (mm)

M = Momen lentur pada poros (N.mm)

2.2.13.2 *Ballscrew*

Gerakan dasar penggunaan ulir untuk menghasilkan gerakan *linear* dari putaran. Adaptasi khusus dari gerakan ini, yang meminimalisir gerakkan antara ulir dan mur pasangannya adalah *ballscrew*. *Ballscrew* mengganti gesekan luncur pada sekrup daya konvensional dengan gesekan gelinding bola-bola bantalan. Seluruh beban reaktif antara ulir dan mur dibawa oleh bola-bola bantalan yang hanya bersinggungan fisik antara bola-bola lain. Saat ulir dan mur berputar relatif satu terhadap yang lain, bola-bola bantalan dialihkan dari satu ujung mur dan dibawa oleh pipa sirkulasi menuju ke ujung mur bola lainnya. (Mott, 2009).

Ketika mendapat beban transmisi, beban transmisi diteruskan ke bantalan bola, beban dipindah dari sekrup ke bola, dari bola ke mur, dan dari mur ke perangkat didorong atau dipindah, sehingga bola bergulir antara poros sekrup dan mur untuk mencapai efisiensi yang tinggi.

2.2.13.3 Kopling

Kopling merupakan peralatan transmisi yang meneruskan atau memutus putaran dari poros engkol ke poros roda gigi transmisi ketika memulai atau pada saat mesin akan berhenti. Kopling tetap adalah suatu elemen mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dan daya dari poros penggerak ke poros yang digerakkan secara pasti (tanpa terjadi slip), dimana sumbu kedua poros tersebut terletak pada satu garis lurus atau dapat sedikit berbeda sumbunya. (Sularso & Suga, 2008). Kopling tetap selalu dalam keadaan terpasang, untuk memisahkannya harus dilakukan pembongkaran.

Macam-macam kopling tetap sebagai berikut :

a. Kopling kaku

Kopling kaku dipergunakan bila kedua poros harus dihubungkan sumbu segaris dan dipakai pada poros mesin dan transmisi umum di pabrik-pabrik.

b. Kopling luwes

Kopling luwes (*fleksibel*) memungkinkan adanya sedikit ketidaklurusan sumbu poros.

c. Kopling universal

Kopling universal digunakan bila kedua poros akan membentuk sudut yang cukup besar.

d. Kopling fluida

Penerusan daya dilakukan oleh *fluida* sehingga tidak ada hubungan antara kedua poros. Kopling *fluida* sangat cocok untuk mentransmisikan putaran tinggi dan daya yang besar.

2.2.13.4 Sambungan baut dan mur

Baut dan mur digunakan untuk proses penyambungan antara dua bagian plat atau rangka. Proses penyambungan ini dapat dilakukan dengan mengebor bagian

plat yang akan disambung sesuai dengan diameter baut dan mur yang akan digunakan. Sambungan baut dan mur ini merupakan sambungan yang tidak tetap artinya sambungan dapat dibuka sewaktu-waktu. (Mott, 2009). Untuk menentukan jenis dan ukuran baut dan mur harus memperhatikan berbagai faktor seperti sifat gaya yang bekerja pada baut, cara kerja mesin, dan kekuatan bahan.

2.2.13.5 Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur (Sularso & Suga, 2008). Oleh karena itu, bantalan haruslah kokoh agar poros dan elemen mesin lainnya dapat bekerja dengan baik. Apabila bantalan tidak berfungsi dengan baik, maka kinerja elemen mesin akan menurun dan tidak maksimal. Bantalan dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu sebagai berikut :

a. Atas dasar gerakan bantalan terhadap poros

1. Bantalan luncur. Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantaraan lapisan pelumas.

2. Bantalan gelinding. ada bantalan ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol atau rol jarum, dan rol bulat.

b. Atas dasar arah beban terhadap poros

1. Bantalan radial. Arah beban yang ditumpu bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros.

2. Bantalan aksial;. Arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros.

3. Bantalan gelinding khusus. Bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.

Berikut persamaan untuk menghitung umur atau usia pakai dari bantalan yang digunakan (Sularso, 2008):

1. Perhitungan faktor kecepatan (Sularso, 2008)

$$f_n = \left[\frac{33,3}{n} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.10)$$

Dimana :

f_n = Faktor kecepatan

n = Kecepatan putaran (RPM)

2. Perhitungan faktor umur (Sularso, 2008)

$$f_h = f_n \frac{C}{P} \quad (2.11)$$

Dimana :

f_h = Faktor umur

f_n = Faktor kecepatan

C = Beban nominal dinamis spesifik (Kg)

P = Beban equivalen dinamis (Kg)

3. Perhitungan umur bantalan (Sularso, 2008)

$$L_h = 500.f_h^3 \quad (2.12)$$

Dimana :

L_h = Umur bantalan (jam)

f_h = Faktor umur