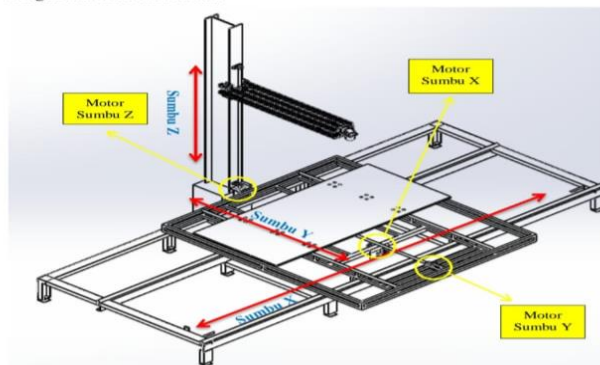


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

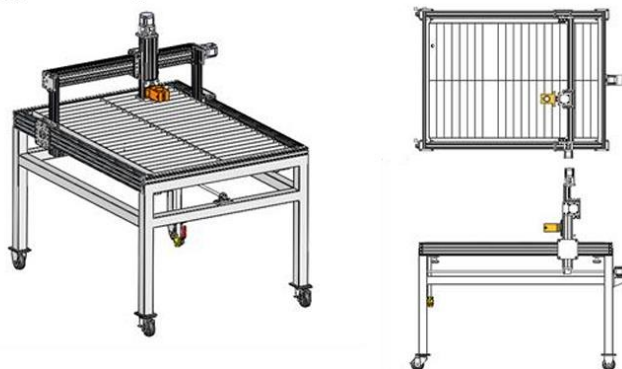
Nugroho, A. W. (2015) melakukan penelitian tentang Rancang Bangun Mesin PC Based CNC Milling Tiga Sumbu (Sistem Kontroler dan Analisa Torsi Motor *Stepper*). Pada penelitian ini menggunakan sistem kontroler dan analisa motor *stepper*. Sistem kontroler disini dikendalikan dengan *software Artsoft Mach3*, dan analisa pada motor *stepper* yang ditinjau adalah kekuatan torsi. Dari hasil perancangan dan pembuatan mesin PC Based CNC milling tiga sumbu didapatkan hasil sebuah program yang dapat menggerakkan semua sumbu pada mesin dan *wiring* diagram rangkaian kontrol. Sedangkan untuk hasil perhitungan torsi, didapatkan hasil torsi beban pada sumbu X, Y, dan Z sebesar 1,98 Nm, 0,71 Nm, dan 7,78 Nm. Sedangkan torsi maksimum pada motor *stepper* X, Y, dan Z adalah 11,5 Nm, 2,28 Nm, dan 11,5 Nm. Sehingga motor *stepper* dinyatakan aman. Hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema pergerakan sumbu dan letak motor *stepper*
(Nugroho, A. W., 2015)

Ridwan dkk, (2023) melakukan sebuah penelitian dengan judul “Rancang Bangun Mesin Potong *Plasma* CNC 3 Axis”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat mesin potong *plasma* CNC untuk pelaku fabrikasi kecil dan menengah untuk proses pemotongan logam dengan harga yang lebih terjangkau. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, analisa kebutuhan lapangan, pendesainan, list kebutuhan bahan, fabrikasi, *assembly*

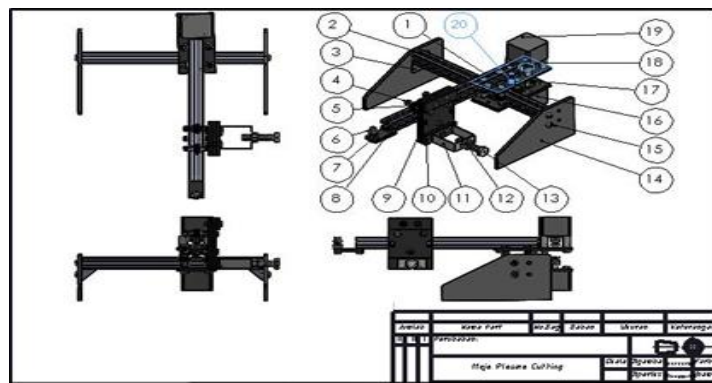
(komponen mekanik dan elektrik), uji fungsi komponen dan pengujian mesin. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yakni berupa mesin potong *plasma* CNC yang ditujukan untuk pelaku usaha fabrikasi kecil dan menengah dengan menggunakan bahan yang relatif terjangkau, mudah didapat di pasaran dan pengoperasian mesin yang mudah. Mesin *plasma* ini mampu melakukan pemotongan logam dengan dimensi $600 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, maksimal ketebalan pemotongan 3 mm dengan tingkat kepresisian yang cukup, tingkat keamanan percikan *spark plasma* lebih terjaga karena adanya pendingin air tepat dibawah proses pemotongan. Performa yang dihasilkan sama dengan mesin CNC yang menggunakan metode penggerak *timing belt* sebagai penggeraknya dengan menempatkan penggunaan *stepper* motor dan *lead screw* pada setiap axisnya (X, Y, dan Z). Sistem kontroler perangkat lunak Mach3 yang didukung oleh *breakoutboard* mach3 mempunyai respon yang cukup baik serta proses instalasi perangkat yang mudah dilakukan dan tidak memerlukan banyak biaya. Hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perancangan komponen mekanik (Ridwan dkk, 2023)

Maulidiansyah dkk, (2022) melakukan sebuah penelitian dengan judul “Rancang Bangun *Prototype* Meja 3 Axis CNC *Plasma Cutting* dengan Penggerak Motor Listrik Berbasis Atmega 328 P”. Tujuan dari penelitian penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan kinerja mesin *plasma cutting* pada saat proses pemotongan pelat. Kinerja yang dioptimalkan adalah kecepatan pemotongan benda kerja dan SOD (*Stand-Off Distance*) yaitu jarak antara *nozzle* dan benda kerja. Meja *plasma cutting* ini juga bisa dioptimalkan lagi, dengan memanfaatkan sistem otomasi yang mana nantinya tidak perlu tenaga manusia lagi dalam proses pemotongannya. Dengan adanya alat bantu berupa meja yang dibuat untuk pemotongan otomatis

plasma cutting ini diharapkan bisa meningkatkan hasil produksi baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan data melalui studi pustaka, observasi lapangan, pendesaian sesuai dengan kebutuhan, perhitungan mekanik, perakitan dan pengujian alat. Hasil dari rancang bangun alat memiliki dimensi bidang gambar sebesar 20 cm × 20 cm dan *frame* yang sudah dirancang dapat menahan beban yang ada, sistem otomasi menggunakan modul CNC *Shield* berbasis Arduino berjalan dengan baik, daya pada motor *stepper* yang sudah di hitung dapat membawa beban yang ada serta hasil pengujian menggunakan spidol sebagai ganti *torch* mendapatkan hasil stabil dengan ketebalan tinta yang sama. Hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah.



Gambar 2.3 Desain 3D meja *plasma cutting* (Maulidiansyah dkk, 2022)

Irfan dkk, (2021) melakukan sebuah penelitian dengan judul “Rancang Bangun CNC *Plasma Cutting*”. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengembangan menggunakan model perancis untuk dimodifikasi agar pergerakannya lebih stabil dan konstan saat melakukan pemotongan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *french* yang meliputi *Need* (kebutuhan), analisis masalah, pernyataan masalah, desain konseptual, rencana terpilih, perwujudan rencana, perincian dan pengerjaan. Model ini memiliki 8 langkah yang digunakan untuk menghasilkan desain potongan *plasma* CNC. Teknik analisis data yang digunakan adalah teknik analisis statistik deskriptif yang diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan. Pengujian faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2015* dengan rangka 110,54 N. Hasil pemotongan presisi dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan instrumen yang sama, 20 arus dengan kecepatan 400 mm/menit, terhadap *material*

ST 37 dengan ketebalan dari 1,3 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rangka dikategorikan aman karena nilai faktor keamanan minimum 4,23 ul dan hasil uji potong menunjukkan rata-rata pengukuran dengan simpangan maksimum 0,3 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemotongan CNC *plasma* memiliki toleransi. Hasil desain dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah.



Gambar 2.4 Desain CNC *plasma cutting* (Irfan dkk, 2021)

2.2 Landasan Teori

Untuk merealisasikan rancang bangun sistem penggerak dan pengujian hasil mesin CNC *plasma cutting*. Penulis memerlukan landasan teori yang diperlukan sebagai berikut: CNC (*Computer Numerical Control*), *plasma*, perancangan, metodologi perancangan, gambar teknik, komponen penggerak mekanik, elemen mesin, *software* kontrol, *solidworks* dan teori pendukung lainnya.

2.2.1 Mesin CNC (*Computer Numerical Control*)

CNC merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem mekanik dan kontrol berbasis komputer pada (Gambar 2.5) mesin CNC *milling* yang mampu membaca instruksi kode N, G, F, T, dan lain-lain, dimana kode-kode tersebut akan menginstruksikan ke mesin CNC agar bekerja sesuai dengan program benda kerja yang akan dibuat. Secara umum cara kerja mesin perkakas CNC tidak berbeda dengan mesin perkakas konvensional. Fungsi CNC dalam hal ini lebih banyak menggantikan pekerjaan operator dalam mesin perkakas konvensional. CNC merupakan singkatan dari *Computer Numerically Controlled* adanya mesin CNC berawal dari berkembangnya sistem *Numerically Controlled* (NC) pada akhir

tahun 1940 – an dan awal tahun 1950 – an yang ditemukan oleh John T.Parsons dengan bekerja sama dengan perusahaan Servomechanisn MIT.



Gambar 2.5 Mesin CNC *milling*

Sistem CNC pada awalnya menggunakan jenis perangkat keras NC dan komputer yang digunakan sebagai alat untuk mengedit, pada awal penemuan mesin CNC menggunakan kertas berlubang sebagai media untuk mentransfer kode G dan M ke sistem kontrol tetapi pada tahun 1950 – an ditemukan metode baru dalam mentransfer data dengan menggunakan kabel RS232, *floppy disk*, dan yang terakhir adalah komputer jaringan kabel (*computer network cables*) bahkan bisa dikendalikan dengan melalui internet (Mulyadi, 2017).

2.2.2 Sistem mesin CNC

Untuk menunjukkan jalanya pergerakan CNC agar sesuai dengan yang diinginkan, digunakan dua macam metode pemrograman, yaitu :

1. Pemrograman *absolute*

Pemrograman *absolute* merupakan metode pemrograman yang menggunakan satu titik acuan atau satu titik referensi. Dalam menentukan koordinat, dari sebuah benda harus sesuai dengan sistem koordinat yang dipakai. Untuk sistem dalam pemrograman mesin CNC, adalah menggunakan sistem koordinat *cartesius*.

2. Pemrograman *incremental*

Pemrograman metode inkremental, merupakan suatu metode pemrograman dimana titik referensinya selalu berubah, yaitu titik koordinat terakhir yang dituju menjadi titik referensi baru untuk ukuran berikutnya.

2.2.3 Pemrograman dalam CNC

Tujuan pemrogram yang dipakai pada CNC adalah sebagai sarana komunikasi antara mesin dengan pemakainya, yakni memberikan informasi data kepada mesin yang harus dipahaminya. Bahasa pemrograman yang digunakan pada mesin CNC adalah *G-Code* dan *M-Code*. Berikut merupakan macam-macam *G-Code* dan *M-Code* serta kegunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Macam-macam *G-Code* (Mulyadi, 2017).

No	Kode	Penjelasan
1	G00	Pengeposisian bebas
2	G01	Interpolasi lurus (gerak pemakanan)
3	G02	Interpolasi melingkar searah jarum jam (CW)
4	G03	Interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam (CCW)
5	G33	Pembuatan ulir (<i>threading cutting</i>)
6	G40	Cancel kompensasi <i>cutter</i>
7	G45	Menaikkan <i>offset tool</i>
8	G46	Menurunkan <i>offset tool</i>
9	G54, G55	Sistem koordinat <i>workpiece</i>
10	G90	Perintah sistem koordinat <i>absolute</i>
11	G91	Perintah sistem koordinat <i>incremental</i>
12	G96	Kecepatan potong permukaan konstan

Untuk *M-Code* yang digunakan dalam pemrograman CNC dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah.

Tabel 2. 2 Macam-macam *M-Code* (Mulyadi, 2017).

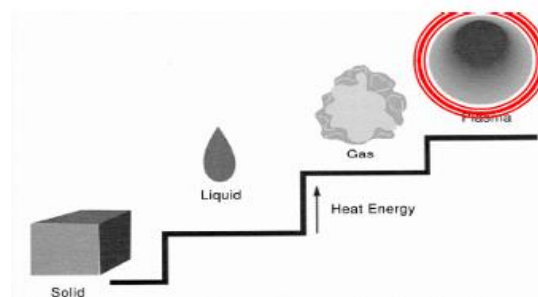
No	Kode	Penjelasan
1	M00	Berhenti antar program, <i>spindle</i> berhenti : 3 sumbu x,y,z berhenti, distart kembali setelah kembali setelah menekan “ <i>cycle start</i> ”
2	M01	Usulan program <i>stop</i>
3	M02	Akhir program, program berhenti, lampu alarm hidup

Tabel 2. 2 Macam-macam *M-Code* (Mulyadi, 2017) (Lanjutan).

No	Kode	Penjelasan
4	M03	Putaran <i>spindle</i> searah jarum jam
5	M04	Putaran <i>spindle</i> berlawanan arah jarum jam
6	M05	Spindle berhenti berputar tetapi kode lainnya masih jalan
7	M06	Pergantian <i>tool</i> otomatis dari <i>spindle</i> dengan <i>tool</i> di <i>magazine</i>
8	M07	<i>Coolant</i> (pendingin) mengeluarkan angin otomatis untuk membersihkan bram
9	M08	<i>Coolant</i> ON
10	M09	<i>Coolant</i> OFF
11	M10	Rem ke-4 sumbu ON untuk menghentikan jalan
12	M11	Rem ke-4 sumbu OFF untuk menjalankan

2.2.4 Plasma

Menurut Akhmad (2009), *plasma* adalah suatu bentuk fase zat ke-4 setelah fase padat, cair, dan gas. Jika ditambahkan kalor, es akan berubah wujud dari padat ke cair, dan jika diberikan kalor berlebih maka zat cair tersebut akan berubah menjadi uap. Jika Uap tersebut ditambahkan kalor lagi maka akan berubah menjadi wujud *plasma*. Jika air ditambah sejumlah energi kalor maka air tersebut akan menguap dan mengurai menjadi dua gas yakni oksigen dan hidrogen (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Tingkatan fase molekul pada air dalam beberapa kondisi (Akhmad, 2019).

Plasma cutting adalah proses yang digunakan untuk memotong baja atau logam. Pada prosesnya gas yang terkandung dalam udara yang dikompresi (78% nitrogen, 21% oksigen, 1% *argon*) ditiup dengan kecepatan tinggi keluar dari nozzel, pada waktu yang sama busur listrik terbentuk melalui gas dari nozzel ke permukaan yang dipotong, kemudian mengubah sebagian dari udara menjadi *plasma*. Dibidang industri *plasma cutting* banyak digunakan untuk memotong berbagai *material* seperti pelat besi, alumunium, dll (Maulidiansyah dkk, 2022).

2.2.5 Prinsip kerja *plasma*

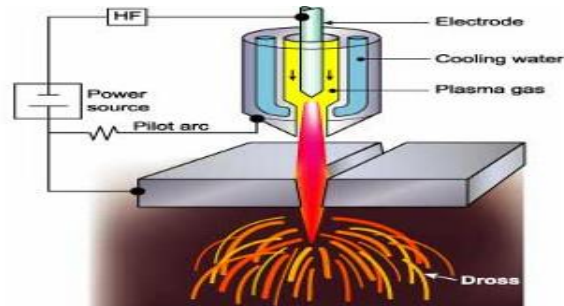
Proses *plasma arc cutting* diawali dengan terbentuknya busur *wolfram* (*arc*) di antara elektroda dan benda kerja dari hasil reaksi ionisasi listrik terhadap gas potong yang sangat konduktif. Gas dipanaskan oleh busur *wolfram* hingga suhunya meningkat sangat tinggi lalu gas akan terionisasi dan menjadi penghantar listrik Gas dalam kondisi ini disebut *plasma*. *Plasma* ini dialirkan melalui nozzel untuk melakukan pemotongan benda kerja. Akibat konsentrasi energi dari *plasma* maka bagian benda kerja tersebut akan mencair dengan cepat. Ketika aliran gas meninggalkan nozzel, gas berkembang cepat membawa serta logam cair, sehingga proses pemotongan berjalan terus (Akhmad, 2009). Gambar 2.7 merupakan contoh mesin *plasma*.



Gambar 2.7 Mesin *plasma arc cutting* (Akhmad, 2009)

Gas yang digunakan pada *plasma* adalah *argon*, hidrogen dan *nitrogen*. Kombinasi argon dan nitrogen memberikan hasil yang terbaik. Untuk operasi pemotongan digunakan campuran 80% *argon* dan 20% *hydrogen* dengan arus sekitar 400 ampere, untuk arus yang lebih tinggi digunakan campuran 65 : 35. Nitrogen hanya digunakan untuk memotong baja tahan karat, karena uapnya

beracun diperlukan sistem pembuangan yang baik. Proses pemotongan dengan *plasma* ini secara skematis dapat dilihat seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Prinsip dasar proses pemotongan dengan *plasma* (Akhmad, 2009)

2.2.6 Perancangan

Perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisis, menilai memperbaiki dan menyusun suatu sistem, baik sistem fisik maupun non fisik yang optimum untuk waktu yang akan datang dengan memanfaatkan informasi yang ada. Pengertian perancangan lainnya menurut Ladjamudin (2005), perancangan adalah tahapan perancangan (*design*) memiliki tujuan untuk mendesain sistem baru yang dapat menyelesaikan masalah-masalah yang dihadapi perusahaan yang diperoleh dari pemilihan alternatif sistem yang terbaik.

Sedangkan perancangan menurut Kusri (2007), perancangan adalah proses pengembangan spesifikasi sistem baru berdasarkan hasil rekomendasi analisis sistem. Berdasarkan pengertian di atas penulis dapat menyimpulkan bahwa perancangan adalah suatu proses untuk membuat dan mendesain sistem yang baru (Nur dan Suyuti, 2017). Adapun fungsi, syarat perancangan dan kriteria evaluasi menurut Nur dan Suyuti, (2017) yaitu:

1. Fungsi menyatakan apa yang harus dilakukan oleh sebuah peralatan dengan menggunakan pernyataan umum yang menggunakan kata aksi seperti : untuk menyangga suatu beban, untuk mengangkat peti kayu atau mentransmisikan daya.
2. Syarat perancangan adalah pernyataan terperinci yang biasanya bersifat kuantitatif mengenai tingkat unjuk kerja yang diinginkan, kondisi lingkungan dimana peralatan dapat beroperasi, terbatasnya ruang atau berat, atau bahan-bahan dan komponen yang tersedia yang dapat dimanfaatkan.

3. Kriteria evaluasi adalah pernyataan tentang kualitatif yang diharapkan dari perancangan yang membantu perancang dalam menentukan alternatif perancangan yang terbaik berupa perancangan yang memperbesar manfaat dan meminimalkan kerugian.

2.2.7 Metode perancangan James H. Earle

Metode perancangan atau model perancangan merupakan proses untuk membuat sebuah produk dengan besaran dan luaran yang terdefinisi sesuai standar. Model perancangan yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan pendekatan metode perancangan dari James H. Earle, model perancangan ini terdiri dari 6 langkah yaitu :

- a. Identifikasi masalah (*Identify*)

Identifikasi masalah adalah kegiatan mengenal/mencari tahu suatu kebutuhan dan merupakan langkah awal ketika seorang perancang menyelesaikan suatu masalah. Pertama yang dilakukan adalah mengenal kebutuhan selanjutnya mengusulkan kriteria rancangan.

- b. Ide awal

Kreatifitas sangat tinggi pada tahap ide awal dalam proses desain, karena tidak ada batasan berinovasi, mencoba, dan tantangan. Pada tahap selanjutnya dari proses desain, kebebasan kreatifitas dikurangi dan kebutuhan akan informasi semakin bertambah.

- c. Perbaiki ide

Perbaikan dari ide-ide rancangan awal adalah permulaan dari kreativitas dan imajinasi yang tidak terbatas. Seseorang perancang sekarang ini berkewajiban memberikan pertimbangan utama pada fungsi dan kegunaannya. Sesi berdiskusi merupakan jalur yang baik untuk mengumpulkan ide yang bagus, revolusioner, bahkan liar. Sket kasar, catatan, dan komentar dapat menangkap dan mempertahankan persiapan ide untuk penyaringan lebih lanjut. Ide selanjutnya lebih baik pada tahap ini.

- d. Analisa rancangan

Analisa rancangan adalah pengevaluasian dari sebuah rancangan yang didasarkan atas pemikiran objektif dan merupakan aplikasi teknologi. Analisa

rancangan merupakan langkah dimana ilmu pengetahuan digunakan dengan intensif untuk mengevaluasi desain terbaik dan membandingkan kelebihan setiap desain dengan membandingkan kelebihan dengan perhatian kepada biaya, kekuatan, fungsi, dan permintaan pasar.

e. Keputusan

Setelah seorang perancang menyusun analisa perbaikan dan pengembangan untuk beberapa desain, kemudian salah satu dari desain tersebut harus dipilih untuk diimplementasikan. Proses pengambilan keputusan untuk menentukan semua kesimpulan tentang penemuan-penemuan signifikan, keistimewaan, perkiraan perkiraan dan rekomendasi-rekomendasi desain tersebut dimulai dengan presentasi dari perancang (tim perancang). Agar mudah pelaksanaannya presentasi harus terorganisir dan juga dapat mengkomunikasikan semua kesimpulan serta rekomendasi yang di tentukan si perancang sebab hal ini sangat berarti untuk memperoleh dukungan agar proyek tersebut nantinya dapat diterapkan menjadi suatu kenyataan. Pada umumnya tim membuat keputusan dari mana pembiayaannya harus diperoleh. Sekalipun pengambilan keputusan dipengaruhi oleh fakta, data, analisa, yang pada akhirnya penilaian subjektiflah yang terbaik.

f. Implementasi

Implementasi adalah langkah terakhir dalam proses desain, dimana sebuah desain menjadi nyata. Perancang mendetailkan produk dalam gambar kerja dengan spesifikasi dan catatan untuk fabrikasi. Metode grafik sangat penting dalam proses implementasi, karena semua produk diproses berdasarkan gambar kerja dan spesifikasinya. Implementasi juga melibatkan pengemasan, pergudangan, distribusi, dan penjualan hasil produk.

2.2.8 Gambar teknik

Gambar merupakan alat untuk menyatakan maksud dari seorang juru gambar. Gambar disebut juga sebagai bahasa teknik atau bahasa untuk juru gambar. Dalam dunia teknik, gambar adalah alat untuk menyampaikan informasi. Informasi yang disampaikan adalah dari seorang juru gambar atau orang yang membuat gambar. Informasi tersebut nantinya dipakai oleh teknisi untuk membuat,

mengerjakan atau membetulkan suatu mesin/alat (Ryan, 2011). Dalam dunia teknik gambar memiliki beberapa fungsi antara lain:

- a. Gambar berfungsi sebagai sarana penyampaian informasi yang berfungsi sebagai alat untuk meneruskan maksud dari perancang dengan tepat kepada orang-orang yang bersangkutan, misalnya kepada perancang proses, pembuatan, perakitan dan sebagainya.
- b. Gambar sebagai sarana pengawetan, penyimpanan, dan penggunaan keterangan. Gambar sebagai sarana pengawetan berfungsi untuk menyuplai bagian-bagian produk untuk perbaikan atau untuk diperbaiki. Gambar sebagai sarana penyimpanan berfungsi sebagai bahan informasi untuk rencana-rencana baru di kemudian hari, sehingga perlu tempat yang cukup luas.
- c. Gambar sebagai cara-cara pemikiran dalam penyajian informasi, maksudnya adalah gambar tidak hanya melukiskan gambar tetapi berfungsi sebagai sarana untuk meningkatkan daya pikir perencana.

Menurut Ryan (2009), sifat-sifat gambar dan tujuan-tujuan gambar dapat digolongkan sebagai berikut:

- a. Internasionalisasi gambar
Artinya peraturan-peraturan yang ada dalam gambar teknik dimulai dengan persetujuan bersama dan kemudian dibuatkan suatu standar perusahaan.
- b. Mempopulerkan gambar
Mempopulerkan gambar berarti bahwa gambar perlu diketahui kejelasan, peraturan-peraturan dan standarnya. Hal ini dikarenakan golongan yang harus membaca dan mempergunakan gambar meningkat jumlahnya.
- c. Perumusan gambar
Bidang-bidang industri yang bermacam-macam misalnya permesinan, struktur, perkapalan, perumahan atau arsitektur dan teknik sipil, semuanya menggunakan gambar sebagai bahasa teknik. Akan tetapi dari beberapa bidang tersebut, terdapat hubungan yang erat sebab masing-masing bidang tidak mungkin dapat menyelesaikan suatu proyek tanpa menggunakan bidang lain. Untuk itu masing-masing bidang mencoba untuk mempersatukan dan mengidentifisir standar-standar gambar.

d. Sistematika gambar

Isi gambar sangat mementingkan susunan dan konsolidasi sistem standar gambar.

e. Penyederhanaan gambar

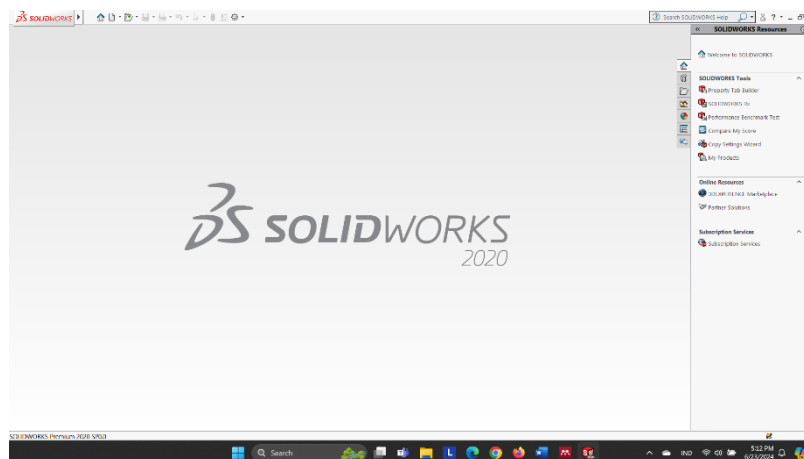
Penghematan tenaga kerja dalam menggambar adalah penting, tidak hanya untuk mempersingkat waktu, tetapi juga untuk meningkatkan mutu rencana. Oleh karena itu penyederhanaan gambar menjadi masalah penting untuk menghemat tenaga dalam menggambar.

f. Modernisasi gambar

Dengan kemajuan teknologi, standar gambar telah dipaksa untuk mengikutinya. Misalnya saja menggambar menggunakan komputer.

2.2.9 Solidworks

SolidWorks adalah salah satu CAD *software* yang dibuat oleh *Dassault Systemes* digunakan untuk merancang *part* permesinan atau susunan *part* permesinan yang berupa *assembling* dengan tambahan 3D untuk mempersentasikan *part* sebelum *real part* nya dibuat atau tampilan 2D (*drawing*) untuk gambar proses permesinan. Dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah tampilan awal dari *SolidWorks*.



Gambar 2.9 Tampilan awal *SolidWorks*

2.2.10 Komponen penggerak mekanis dan elektronika

Komponen penggerak mekanis merupakan bagian-bagian atau *part* yang saling terhubung satu sama lain untuk menghasilkan gerakan tertentu. Komponen-komponen tersebut antara lain:

A. Motor *stepper*

Motor *Stepper* adalah suatu motor listrik yang dapat mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor *discret* (terputus) yang disebut *step* (langkah). Satu putaran motor memerlukan 360° dengan jumlah langkah yang tertentu perderajatnya. Ukuran kerja dari motor *stepper* biasanya diberikan dalam jumlah langkah per-putaran per-detik, bentuk motor *steper* seperti terlihat pada Gambar 2.10 (Fauziah dkk, 2019).

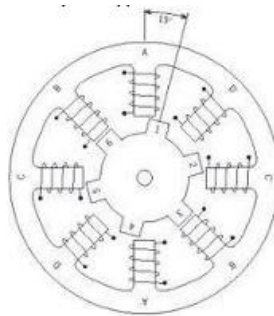


Gambar 2.10 Motor *stepper* (Fauziah dkk, 2019)

Motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan pengendali motor *stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Pada dasarnya terdapat tiga tipe motor *stepper* yaitu:

1) Motor *stepper* tipe *variable reluctance*

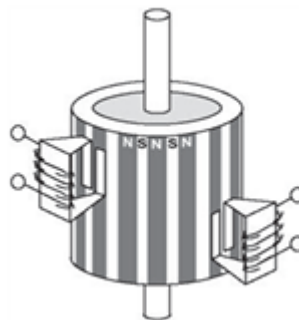
Motor *stepper* jenis ini telah lama ada dan merupakan jenis motor yang secara struktural paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri atas sebuah rotor besi lunak dengan beberapa gerigi dan sebuah lilitan stator. Ketika lilitan stator diberi energi dengan arus DC, kutub-kutubnya menjadi termagnetasi. Perputaran terjadi ketika gigi rotor tertarik oleh kutub-kutub stator. Berikut ini adalah penampang melintang dari motor *stepper* tipe *variable reluctance* (VR), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Penampang melintang motor *stepper* pada tipe *variable reluctance* (Fauziah dkk, 2019)

2) Motor *stepper* tipe *permanent magnet* (PM)

Motor *stepper* jenis ini memiliki rotor yang berbentuk seperti kaleng bundar (*tin can*) yang terdiri atas lapisan magnet permanen yang diselang-seling dengan kutub yang berlawanan. Dengan adanya magnet permanen, maka intensitas *fluks* magnet dalam motor ini akan meningkat sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar. Motor jenis ini biasanya memiliki resolusi langkah (*step*) yang rendah yaitu antara $7,5^\circ$ hingga 15° per langkah atau 48 hingga 24 langkah setiap putarannya. Gambar 2.12 menunjukkan ilustrasi sederhana dari motor *stepper* tipe *permanent magnet*.

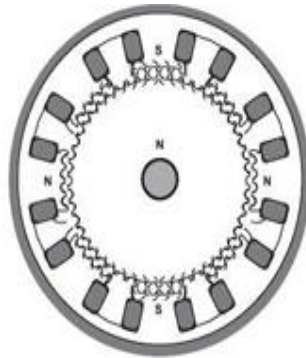


Gambar 2.12 Ilustrasi motor *stepper permanent magnet* (Fauziah dkk, 2019)

3) Motor *stepper* tipe *hybrid*

Motor *stepper* tipe *hybrid* memiliki struktur yang merupakan kombinasi dari kedua tipe motor *stepper* sebelumnya. Motor *stepper* tipe *hybrid* memiliki gerigi seperti pada motor tipe VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerja lebih baik. Motor

tipe hibrid dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara $3,6^\circ$ hingga $0,9^\circ$ per-langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya, seperti terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Penampang melintang dari motor *stepper* tipe *hybrid* (Fauziah dkk, 2019)

B. *Driver* motor

Untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan sebuah rangkaian yang dapat memberikan catu daya ke motor *stepper* disamping memberikan catu daya, *driver* tersebut juga mengatur *input* yang berupa pulsa untuk mengatur gerakan dan Motor *Stepper* karena motor *stepper* bergerak *step by step*. Fungsi dari *stepper driver* itu sendiri yaitu untuk menerima sinyal keluaran dari rangkaian *breakout board* yang kemudian menerjemahkannya untuk memberikan input tegangan dan frekuensi tertentu. *Stepper driver* ini mengendalikan arah putaran motor dengan cara membalik urutan pemberian tegangan pada lilitan motor *stepper*. Sedangkan untuk mengatur kecepatan putaran motor, *driver* akan mengatur besarnya frekuensi pulsa yang masuk pada lilitan motor *stepper* (Nugroho A. W., 2015). Dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 *Driver* (Nugroho A. W., 2015).

C. Power supply

Power supply adalah sebagai alat atau perangkat keras yang mampu menyuplai tenaga atau tegangan listrik secara langsung dari sumber tegangan listrik ke tegangan listrik yang lainnya. *Range* tegangan yang dimilikinya bisa berupa tegangan AC (misal: 120/240 VAC) maupun tegangan DC (misal: 24 V DC). Disini *power supply* digunakan sebagai penyedia daya untuk *driver*, motor *stepper*, menjaga kestabilan arus. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan pada saat pemilihan *power supply* yaitu: Kebutuhan tegangan dan arus, ukuran dan berat *power supply*, biaya *power supply*. Gambar 2.15 merupakan contoh *power supply* yang biasa digunakan.



Gambar 2.15 *Power supply* (<https://sariteknologi.com>).

D. Breakout board mach3

Breakout board (BOB) mach3 merupakan papan elektronik yang berfungsi menghubungkan sinyal *input* dari komputer menjadi *output* berupa pergerakan *actuator*. *Breakout board* (BOB) merupakan komponen utama yang digunakan untuk merakit CNC, menghubungkan sinyal data dari komputer menuju *relay* atau *driver*, serta menghubungkan sinyal *input* dari luar untuk bisa dibaca komputer. BOB menggunakan *parallel port* komputer DB25, bisa bekerja menggunakan *software* mach3 maupun *software* lain sejenis yang bekerja dengan *parallel port* DB25 (Gambar 2.16).



Gambar 2.16 Breakout board mach3 (<https://www.thegioic.com>).

E. Software mach3

Mach3 merupakan sebuah *software* yang berfungsi sebagai kontroler untuk mesin CNC. *Software* ini bekerja dengan cara menerjemahkan program yang diberikan pada mesin. Melalui program tersebut, *tool* mesin dikendalikan agar dapat bergerak dan memotong benda kerja. *Software* tersebut selanjutnya akan di-*install* pada perangkat komputer dan bertindak sebagai *Interface*. *Interface* merupakan perangkat lunak yang berfungsi mengkomunikasikan semua perintah dari *end user* sehingga mampu dibaca dengan baik oleh semua *hardware*. Tampilan awal *software* mach3 dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Tampilan awal *software* mach3 (Mach3).

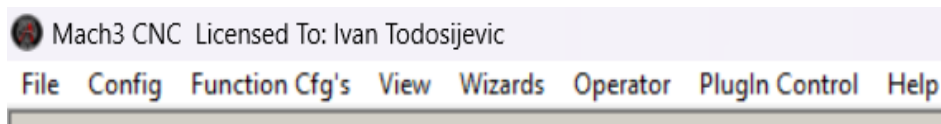
Mach3 sangat kaya fitur dan memberikan nilai yang besar untuk mereka yang membutuhkan paket kontrol CNC. Mach3 bekerja pada PC *Windows* untuk mengendalikan gerakan Motor (*Stepper & Servo*) dengan mengolah *G-Code*. Penggunaan mach3 dapat juga diimplementasikan terhadap segala jenis CNC yang tersedia serta dapat menyesuaikan terhadap berbagai jenis *hardware*, seperti motor *stepper* maupun *breakout board* yang tersedia di pasaran (Totok, 2023). Mach3 memiliki beberapa fitur-fitur antara lain:

1. Dapat mengkonversikan PC standar ke fitur lengkapnya, dapat mencapai pengedali dengan 6 sumbu.
2. Menyediakan pengiriman langsung berupa data DXF, BMP, JPG, dan HPGL melalui *LazyCam*.
3. Penampilan visual *G-code*
4. Menghasilkan keluaran G-code melalui *SheetCam*, *LazyCam* dan *Wizard*.
5. Menampilkan *display* video dari mesin.

Penggunaan *software* mach3 dapat digunakan untuk beberapa proses pemesinan yaitu proses *milling*, proses *turning* dan *plasma*. Dalam *software* mach3 terdapat beberapa tampilan utama yaitu : *Ribbon*, tab pemilihan layar, *display* real time mesin, *display G-code*, dan tombol pengoperasian. Berikut penjelasan mengenai tampilan utama dari *software* mach3.

1. *Ribbon*

Ribbon adalah tampilan yang memuat menu-menu utama pada *software* mach3 berisi tombol-tombol perintah dengan fungsinya. Berikut ilustrasi dari *ribbon* pada mach3 ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 *Ribbon* mach3

Ribbon software mach3 memuat beberapa menu utama yaitu :

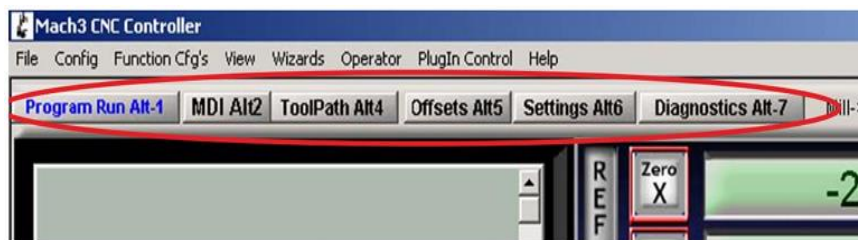
- Menu *file* merupakan menu yang berisi tombol perintah manajemen file, menu ini merupakan menu untuk perintah penguploadan G-code.
- Menu *config* merupakan menu untuk mengatur dan mengkonfigurasi berbagai parameter dan pengaturan yang diperlukan untuk menjalankan mesin CNC dengan efektif menu ini terdiri dari beberapa fungsi utama yaitu *homing/limits*, *ports and pin*, *motor tuning*, *spindle setup*, *spindle speed control*, *input* dan *outputs*.
- Menu *function cfg's* merupakan menu untuk mengatur dan mengkonfigurasi beberapa fungsi parameter dan pengaturan yang diperlukan untuk menjalankan mesin CNC dengan tepat, menu ini terdiri dari beberapa fungsi utama yaitu

calibrate spindle, serial motor, calibrate mpg, screwmapping, setup modbus dan font.

- Menu *view* merupakan menu untuk mengatur dan mengontrol tampilan layar pada *software* mach3.
- Menu *wizard* merupakan menu yang digunakan untuk mengatur dan mengoptimalkan penggunaan *software* mach3.
- Menu operator menu ini digunakan untuk mengatur dan mengontrol akses pengguna ke berbagai macam fitur.

2. Tab pemilihan layar

Tab pemilihan layar merupakan tampilan yang memuat menu-menu untuk pengoperasian mesin CNC pada *software* mach3. Tab pemilihan layar *software* mach3 ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Tab pemilihan layar

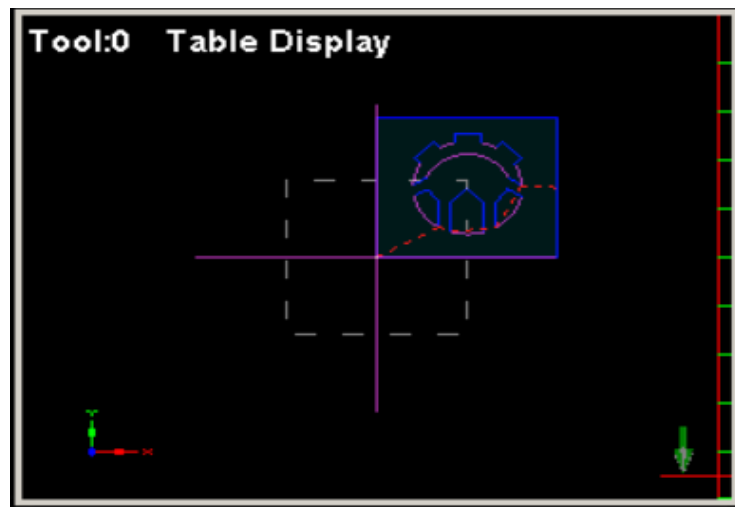
Tab pemilihan layar memuat beberapa menu untuk pengoperasian yaitu :

- Program run pada tampilan pemilihan layar memuat proses penjalanan dan pembuatan, *G-code* yang telah dibuat dan disimpan ke dalam file.
- MDI (*manual data input*) pada *software* mach3 berfungsi untuk melakukan *input* pembuatan *G-code* secara manual.
- *Toolpath* fungsi *toolpath* pada *software* mach3 berfungsi untuk mengontrol dan mengatur jalur alat potong mesin CNC.
- *Offsets* fungsi *offsets* pada *software* mach3 berfungsi untuk mengatur jarak antara alat potong dengan benda kerja yang akan diproses.
- *Settings* merupakan menu yang digunakan untuk mengatur pengoperasian dan parameter-parameter mesin yang dioperasikan seperti *steps motor*, sensor dll.

- *Diagnostic* merupakan menu yang digunakan untuk mendiagnosna dan menganalisis ketidakefektifan dan trouble pada mesin CNC.

3. *Display mesin*

Display mesin merupakan fitur pada *software* mach3 yang berfungsi menampilkan *real time* proses pemesinan yang berlangsung. *Display* mesin secara *real time* ditunjukkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 *Display* mesin

4. *Display G-code*

Display G-code merupakan fitur pada *software* mach3 yang berfungsi menampilkan *G-code* yang telah diinput untuk proses pemesinan yang berlangsung.

```

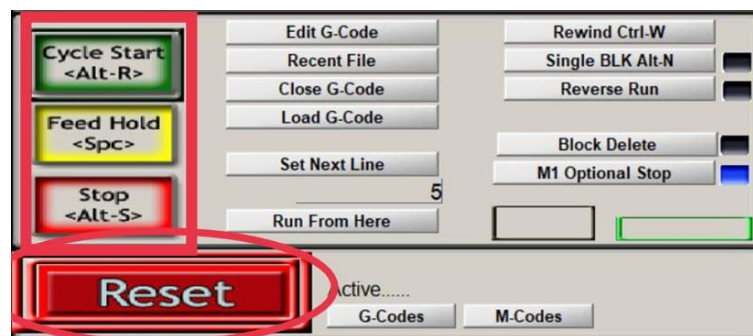
N0010 (Filename: DAUN SKETH.tap)
N0020 (Post processor: Mach3 plasma.scpst)
N0030 (Date: 01/08/2024)
N0040 G21 (Units: Metric)
N0050 G53 G90 G91.1 G40
N0060 F1
N0070 S500
N0080 (Part: DAUN SKETH)
N0090 (Operation: No Offset, Colour 7, T1: Plasma, 1.5 n
N0100 M06 T1 F2000.0 (Plasma, 1.5 mm kerf)

```

Gambar 2.21 *Display G-code*

5. Tombol pengoperasian

Tombol pengoperasian pada *software* mach3 berfungsi untuk menjalankan dan menghentikan program yang dibuat untuk proses pemesinan yang dilakukan. Ikon tombol pengoperasian ditunjukkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Tombol pengoperasian

F. Sheet Cam

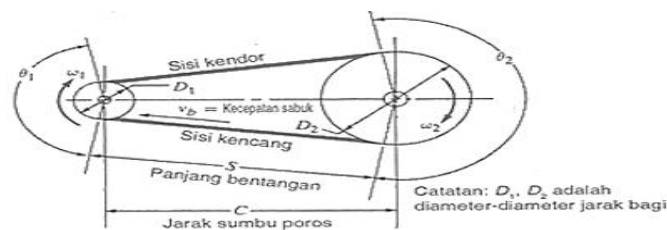
Computer Aided Manufacturing (CAM) adalah sebuah teknologi aplikasi yang menggunakan perangkat lunak komputer dan mesin untuk memfasilitasi dan mengotomatisasi proses manufaktur. *Computer Aided Manufacturing (CAM)* adalah penerus dari *Computer Aided Engineering (CAE)* dan sering digunakan bersama dengan *Computer-Aided Design (CAD)*. Selain persyaratan bahan, sistem *Computer Aided Manufacturing (CAM) modern* termasuk kontrol *real-time* dan robotika. (*Computer Aided Manufacturing (CAM)*) mengurangi limbah dan energi untuk meningkatkan produksi dan efisiensi produksi melalui kecepatan produksi meningkat, konsistensi bahan baku dan akurasi perkakas yang lebih tepat. *Computer Aided Manufacturing (CAM)* menggunakan proses manufaktur berbasis komputer untuk otomatisasi tambahan manajemen, pelacakan *material*, perencanaan dan transportasi *Computer Aided Manufacturing (CAM)* juga mengimplementasikan perangkat produktivitas canggih seperti simulasi dan optimasi untuk meningkatkan keterampilan profesional (Setyoadi dkk, 2015). Dalam proses pembuatan *G-code* mesin CNC *plasma cutting software* CAM yang digunakan yaitu *software sheetcam*.

Sheetcam merupakan *software* yang digunakan untuk mengubah gambar yang telah didesain menjadi program *G-code* sebagai bahasa pemrograman yang dapat memberikan perintah terhadap mesin CNC *milling, router, plasma,*

waterjet, laser, dan *oxy-fuel cutting*. *Sheetcam* dirancang untuk memproses barang lembaran (pelat logam, lembaran plastik, kayu tipis, dll.) *SheetCam* menerima data dalam bentuk file DXF (gambar CAD), file HPGL (seni garis), file SVG, gambar kode G, dan file *Excellon* (papan sirkuit).

G. Sabuk

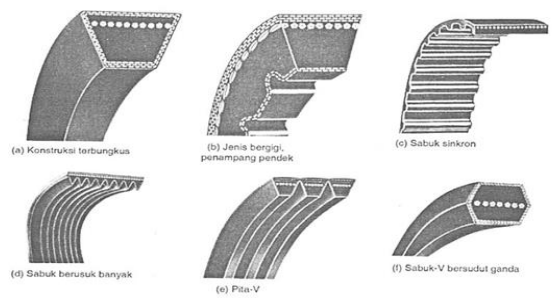
Sabuk atau *belt* adalah penggerak berbentuk sabuk bekerja atas dasar gesekan tenaga yang disalurkan dari mesin penggerak dengan cara persinggungan sabuk yang menghubungkan antar puli penggerak dengan puli yang akan digerakkan. Sebaliknya sabuk mempunyai sifat lekat tetapi tidak lengket pada puli dan salah satu puli itu harus dapat diatur, dasar geometri transmisi sabuk dapat dilihat pada Gambar 2.23 (Ramdani dkk., 2024).



Gambar 2.23 Dasar-dasar geometri transmisi sabuk (Nur dan Suyuti, (2017)).

Adapun klasifikasi sabuk menurut (Nur dan Suyuti, (2017) antara lain yaitu:

- 1) Sabuk rata (*flat belt*) adalah jenis paling sederhana, sering terbuat dari kulit atau berlapis karet. Permukaan pulinya juga rata dan halus. Dan karena itu penggeraknya dibatasi oleh gesekan murni antara puli dan sabuk.
- 2) Sabuk sinkron (*synchronous belt*) atau sering disebut sabuk gilir (*timing belt*) bergerak bersama puli yang mempunyai alur-alur yang sesuai dengan gigi-gigi pada sisi dalam sabuk. Ini merupakan gerak positif, hanya dibatasi oleh kekuatan tarik sabuk dan kekuatan geser gigi-giginya.
- 3) Sabuk bergerigi digunakan pada puli standar V. Hal ini menyebabkan sabuk mempunyai fleksibilitas dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sabuk-sabuk standar. Sabuk ini dapat beroperasi pada diameter puli yang kecil.
- 4) Sabuk V merupakan jenis sabuk yang banyak digunakan pada kendaraan dan industri. Bentuk V menyebabkan sabuk-V dapat terjepit alur dengan kencang, memperbesar gesekan dan memungkinkan torsi yang tinggi dapat ditransmisikan sebelum terjadi slip. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Jenis-jenis sabuk (Nur dan Suyuti, (2017)).

H. Puli

Puli komponen transmisi yang digunakan untuk mempermudah arah gerak sabuk, yang berfungsi untuk mengurangi gesekan (*fraction*). Secara industrialisasi terdapat banyak jenis puli. Puli ini sudah menjadi suatu sistem kerja mesin. Baik mesin kerja industri maupun mesin kendaraan bermotor. Cara kerja puli ini sering digunakan untuk mengubah arah dari gaya yang diberikan seperti mengirimkan gerak rotasi (Ramdani dkk., 2024). Gambar 2.25 merupakan salah satu contoh bentuk puli yaitu puli *timing* GT2.



Gambar 2.25 Puli GT 2 (Ramdani dkk., 2024).

Adapun klasifikasi puli *timing* yaitu:

- 1) Puli *timing* standar puli *timing* standar memiliki gigi dengan profil trapesium. Ini adalah jenis puli *timing* yang paling umum.
- 2) Puli *timing* HTD, puli *timing* HTD memiliki gigi dengan profil kurva. Puli *timing* ini lebih tahan aus dan dapat digunakan pada aplikasi dengan kecepatan tinggi.
- 3) Puli *timing* ATD, puli *timing* ATD memiliki gigi dengan profil yang lebih kecil dan lebih ringan. Puli *timing* ini lebih efisien dan dapat digunakan pada aplikasi dengan torsi tinggi.

Berikut adalah beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan saat memilih puli *timing* :

- 1) Ukuran dan diameter, ukuran dan diameter puli *timing* harus sesuai dengan sabuk *timing* yang digunakan.
- 2) Jumlah gigi, jumlah gigi pada puli *timing* harus sama dengan jumlah gigi pada sabuk *timing*.
- 3) Bahan, puli *timing* terbuat dari berbagai bahan, seperti baja, aluminium, dan plastik. Bahan yang dipilih harus sesuai dengan aplikasi.
- 4) Kecepatan dan torsi, puli *timing* harus dapat beroperasi pada kecepatan dan torsi yang diperlukan untuk aplikasi.

I. Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja secara semestinya. Jadi, bantalan dalam permesinan dapat disamakan perannya dengan pondasi pada gedung. Dapat kita lihat pada Gambar 2.26 yang menunjukkan bentuk dari bantalan tersebut. Adapun beberapa klasifikasi bantalan sebagai berikut (Sularso & Suga, 2004):

- 1) Atas dasar gerakan bantalan terhadap poros
 - a. Bantalan luncur: karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantaraan lapisan pelumas, terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan.
 - b. Bantalan gelinding, pada bantalan ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol atau rol jarum dan rol bulat.
- 2) Atas dasar arah beban dan poros
 - a. Bantalan radial, arah bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros.
 - b. Bantalan aksial, bantalan ini sejajar dengan sumbu poros.
 - c. Bantalan gelinding khusus, bantalan ini dapat manampu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.



Gambar 2.26 Bantalan (Ramdani dkk., 2024).

J. Poros

Poros pada umumnya berfungsi untuk memindahkan daya dan putaran. Bentuk dari poros adalah silinder baik pejal maupun berongga. Namun ukuran diameternya tidak selalu sama. Biasanya dalam permesinan, poros dibuat bertangga/*step* agar bantalan, roda gigi maupun puli mempunyai dudukan dan penahan agar dapat diperoleh ketelitian mekanisme (Ramdani dkk., 2024). Terlihat bentuknya pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Poros (Ramdani dkk., 2024)

Klasifikasi poros berikut ini (Nur dan Suyuti, (2017) :

a. Poros transmisi (*transmission shafts*).

Poros transmisi lebih dikenal dengan sebutan *shaft*. *Shaft* akan mengalami beban putar berulang, beban lentur berganti ataupun kedua-duanya. Pada *shaft*, daya dapat ditransmisikan melalui *gear*, *belt* puli, *sprocket* rantai, dll.

b. Gandar.

Poros gandar merupakan poros yang dipasang diantara roda-roda kereta barang. Poros gandar tidak menerima beban puntir dan hanya mendapat beban lentur.

c. Poros spindel.

Poros spindel merupakan poros transmisi yang relatif pendek, misalnya pada poros utama mesin perkakas dimana beban utamanya berupa beban puntiran. Selain beban puntiran, poros *spindle* juga menerima beban lentur (*axial load*). Poros *spindle* dapat digunakan secara efektif apabila deformasi yang terjadi pada poros tersebut kecil.

2.2.11 Proses produksi

Proses produksi yaitu cara, metode dan teknik untuk menciptakan atau menambah kegunaan suatu barang atau jasa dengan menggunakan sumber-sumber (tenaga kerja, mesin, bahan-bahan, dan dana) yang ada. Dapat diketahui bahwa cara, metode, maupun teknik dalam menghasilkan suatu produk cukup banyak, maka proses produksi dalam hal ini sangat banyak macamnya (Nur dan Suyuti, 2017). Proses produksi mesin CNC *plasma cutting* terdiri dari beberapa proses yaitu:

A. Proses pengukuran

Proses pengukuran adalah proses membandingkan variabel atau besaran pada obyek yang diukur terhadap besaran yang telah di standarkan. Pengukuran juga bagian usaha untuk mendapatkan informasi deskriptif-kuantitatif dari variabel variabel besaran utama maupun besaran turunan. Secara ideal, nilai asli dan nilai ukur akan menunjukkan hasil yang sama, namun aktual pengukuran akan menghasilkan sedikit perbedaan dan hal ini tergantung pada tingkat keakurasian instrumentasi sistem pengukuran (Rizal, 2020).

B. Proses pemotongan

Pemotongan adalah proses pemisahan benda padat menjadi dua atau lebih melalui aplikasi gaya yang terarah melalui luas bidang permukaan yang kecil (Widarto, 2008). Setiap benda yang tajam mampu memotong benda yang memiliki tingkat kekerasan lebih rendah dan diaplikasikan dengan gaya yang signifikan. Proses pemotongan dilakukan dengan *tool* (perkakas) yang khusus, sesuai dengan jenis proses pemotongannya. Dalam proses pemotongan ini dilakukan dengan berbagai jenis alat potong logam pada produksi antara lain:

a) Gerinda tangan

Mesin gerinda merupakan mesin yang digunakan untuk memutar roda gerinda. Roda gerinda yang digunakan pada mesin gerinda tangan adalah sebuah piringan gerinda tipis. Mesin gerinda tangan dapat digunakan untuk mengikis permukaan benda kerja maupun memotong benda kerja. Gerinda tangan biasanya digunakan untuk menghaluskan permukaan benda kerja setelah proses pengelasan.

b) Mesin gerinda potong

Menurut Widarto (2008), mesin gerinda potong merupakan mesin gerinda yang digunakan untuk memotong benda kerja dari bahan pelat atau pipa. Roda gerinda yang digunakan dengan kecepatan tinggi. Mesin gerinda potong dapat memotong benda kerja pelat ataupun pipa dari bahan baja dengan cepat.

C. Proses bubut

Menurut Rochim (2007), Proses bubut adalah suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatan nya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja. Prinsip kerja mesin bubut menghilangkan bagian benda kerja untuk memperoleh bentuk tertentu dimana benda kerja diputar dengan kecepatan tertentu bersamaan dengan dilakukannya proses pemakanan oleh pahat.

D. Proses gurdi

Menurut pandey (2013), Proses gurdi atau pembuatan lubang adalah proses pemesinan yang umum digunakan untuk membuat lubang pada berbagai macam benda kerja, seperti logam, plastik, dan kayu. Dapat disimpulkan bahwa proses gurdi atau pembuatan lubang adalah proses pemesinan yang digunakan untuk membuat lubang pada benda kerja dengan menggunakan alat potong berputar yang disebut mata bor. Proses ini termasuk proses yang paling sederhana dalam proses *machining* dan banyak digunakan dalam berbagai industri.

E. Proses *assembly* (pengabungan)

Perakitan adalah suatu proses penyusunan dan penyatuan beberapa bagian komponen menjadi suatu alat atau mesin yang mempunyai fungsi tertentu. Pekerjaan perakitan dimulai bila objek sudah siap untuk dipasang dan berakhir bila

objek tersebut telah bergabung secara sempurna. Perakitan juga dapat diartikan penggabungan antara bagian yang satu terhadap bagian yang lain atau pasangannya. Proses penggabungan (*assembly*) dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan *welding*, *rivet*, mur dan baut (Ilyandi dkk, 2015). Adapun macam-macam sistem perakitan yaitu :

a) Perakitan manual

Perakitan manual adalah perakitan yang proses operasinya dikerjakan secara konvensional atau menggunakan tenaga manusia dengan peralatan yang sederhana tanpa alat-alat bantu yang spesifik atau khusus.

b) Perakitan otomatis

Perakitan otomatis adalah perakitan yang dikerjakan dengan sistem otomatis seperti otomasi, elektronik, gabungan mekanik dan elektronik (mekatronik).