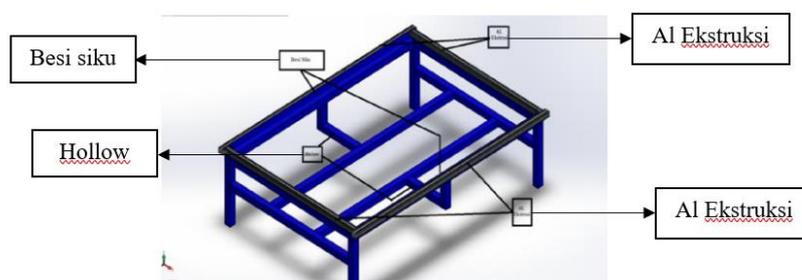


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDSAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

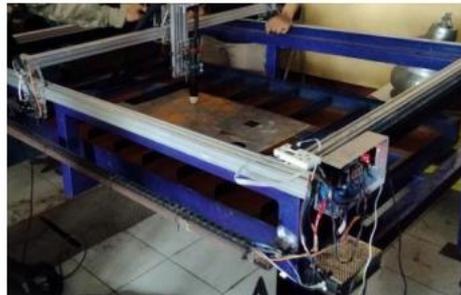
Anggara, dkk. (2023) melakukan penelitian terhadap struktur statis pada rangka mesin CNC *plasma cutting* yang bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimum yang diterima akibat pembebanan yang diberikan dan dapat mengetahui keamanan kekuatan rangka meja yang akan diberi beban serta mengetahui beban maksimal yang bisa diterima rangka. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan *simulasi solidworks* untuk mendapatkan nilai berupa tegangan, regangan, deformasi, dan faktor keamanan yang terjadi pada rangka meja CNC *plasma cutting*. Dari penelitian ini didapatkan bahwa dengan pembebanan yang diberikan sebesar 600 N pada rangka mengalami tegangan maksimum sebesar 161,1 MPa dan didapatkan tegangan luluh sebesar 257,76 MPa serta faktor keamanan sebesar 1,3. Maka dengan data tersebut desain rangka yang telah dibuat dinyatakan aman. Dan untuk beban maksimal yang bisa diterima rangka adalah sebesar 97,88 kg. Desain rangka meja dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Desain akhir rangka meja (Anggara dkk, 2023)

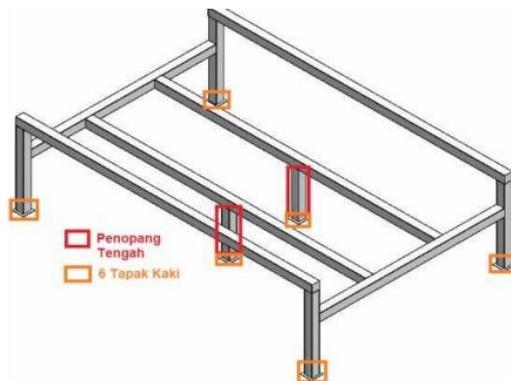
Malik dkk (2021) melakukan penelitian yang berjudul “Penerapan Metode DFMA di Rancang Bangun Rangka Purwarupa Mesin Potong *Plasma*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain dua rangka purwarupa mesin potong *plasma* (*custome made*) dengan waktu perakitan yang lebih sedikit menggunakan teknik DFMA untuk meningkatkan kemudahan servis dan mengurangi biaya perawatan. Pada penelitian ini menggunakan metode DFMA (*Design For Manufacturing and*

Assembly). Hasil dari penelitian ini berupa dua desain rangka purwarupa mesin potong *plasma* serta rangka meja produk *costume made* mesin potong *plasma* berukuran 1,3 m x 1,8 m berat total rangka dan sistem CNC sekitar 125 kg untuk mampu memotong hingga ketebalan plat 4 mm. Rangka meja mesin CNC *plasma cutting costume made* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Produk *costume made* (Malik dkk, 2021)

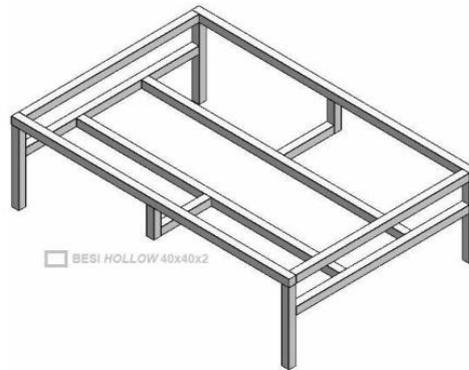
Pada penopang kaki desain (A), terdapat beberapa komponen yang dihilangkan termasuk enam tapak kaki penopang dengan tidak mempengaruhi secara signifikan kekuatan dari rangka meja (analisis CAE statis) dikarenakan fungsi utamanya sebagai penopang tidak hilang namun meningkatkan efisiensinya. Desain rangka A dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Desain rangka A (Malik dkk, 2021)

Pada desain (B) terdapat komponen pengganti dari desain (A). Hal ini dikarenakan kebutuhan teknis dari pengoperasian alat yang dibuat maka ditambahkan alumunium ekstrusi yang dijadikan landasan rel sumbu y untuk meningkatkan kepresisian alat pada saat roda berjalan di rel dan membuat perakitan lebih mudah dilakukan. Juga ada penambahan komponen besi siku dimaksudkan sebagai penopang alumunium ekstrusi sumbu y dengan cara diikat dengan baut

antara besi siku dan aluminium ekstrusi. Desain rangka B dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Desain rangka B (Malik dkk, 2021)

Rahman (2019) melakukan sebuah penelitian dengan judul “Desain dan Manufaktur Mesin CNC *Plasma* 3 Sumbu PT. Bangun Mesin Sejahtera”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan desain dan mesin CNC *plasma* yang sesuai standar. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode *software* ANSYS untuk mengetahui tegangan maksimum yang diijinkan. Hasil dari penelitian ini berupa desain rangka mesin menggunakan material JIS G3466 SKTR490 dan didapatkan tegangan ijin $\sigma_{ijin} = 325$ MPa, sedangkan tegangan total yang terjadi = 132,83 MPa. Selain itu hasil yang lainnya adalah mampu memproduksi mesin CNC *plasma* 3 sumbu dengan kemampuan memotong baja dengan ketebalan 10 mm. Mesin CNC *plasma* 3 sumbu dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Mesin CNC *plasma* 3 sumbu (Rahman, 2019)

2.2 Landasan Teori

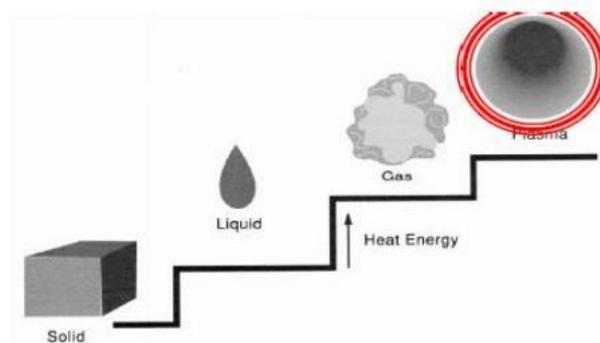
2.2.1 Mesin CNC

Secara garis besar pengertian mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (perintah gerakan yang menggunakan angka dan huruf). Sebuah sistem CNC pada dasarnya terdiri atas tiga komponen dasar, yaitu program yang berisi perintah pengerjaan, unit pengendali mesin MCU (*Machine Control Unit*) dan peralatan proses (Jufrizaldy dkk, 2020).

Sistem kontrol numerik pada mesin CNC dapat berjalan dikarenakan adanya seperangkat seperangkat komponen sistem kontrol yang mendukung operasional mesin seperti *stepper motor*, *driver mot*, *breakout board control*, *power supply* dan lain lain. Semua komponen tersebut selanjutnya digabungkan sedemikian rupa dengan kabel-kabel sehingga membentuk perangkat elektronik tertentu.

2.2.2 Plasma cutting

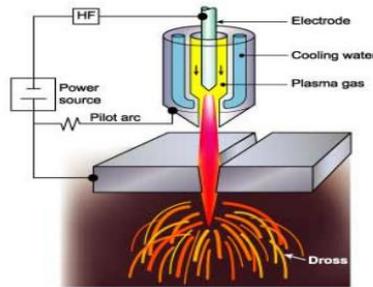
Plasma adalah suatu bentuk fase zat ke-4 setelah fase padat, cair, dan gas. Jika ditambahkan kalor, es akan berubah wujud dari padat ke cair, dan jika diberikan kalor berlebih maka zat cair tersebut akan berubah menjadi uap. Jika Uap tersebut ditambahkan kalor lagi maka akan berubah menjadi wujud *plasma* (Akhmad, 2009). Tingkatan fase molekul pada air dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Tingkatan fase molekul pada air dalam beberapa kondisi
(Akhmad, 2009)

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 *nozzle*, pada waktu yang sama busur listrik terbentuk melalui gas dari *nozzle* ke

permukaan yang dipotong, kemudian mengubah sebagian dari udara menjadi *plasma*. Dibidang industri *plasma cutting* banyak digunakan untuk memotong berbagai material seperti plat besi, aluminium, dll (Maulidiansyah & Handaya, 2022). Prinsip dasar proses pemotongan dengan *plasma* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Prinsip dasar proses pemotongan dengan *plasma* (Akhmad, 2009)

Aliran *torch* pada mesin busur *plasma* dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

1. *Turbulent mode*

Tipe operasi pengerjaan jenis ini digunakan untuk mendapatkan nyala api dengan kecepatan yang tinggi dan mempunyai ukuran yang pendek. Selain ukurannya pendek, nyala api yang dihasilkan pada penggunaan operasi *turbulent mode* ini mempunyai temperatur agak dingin pada daerah di luar *nozzle*. Metode ini sering digunakan dalam proses pemotongan, pengelasan, dan proses penyemprotan.

2. *Laminar mode*

Tipe operasi pengerjaan jenis ini digunakan untuk mendapatkan nyala api dengan kecepatan yang rendah dan mempunyai ukuran yang panjang. Gas yang memiliki laju aliran rendah dipertahankan di dalam suatu *nozzle* yang panjang untuk mendapatkan nyala api yang *laminar*. Metode ini digunakan untuk pengerjaan material yang diinginkan terjadinya percikan dari lelehan logam yang menetes. Pada penggunaan dengan metode *laminar*, nyala api mempunyai kecepatan sekitar 50 m/s dan panjang nyala api sekitar 900 mm.

2.2.3 Rangka

Rangka adalah struktur datar yang terdiri dari sejumlah batang yang disambung satu dengan yang lain pada ujungnya, sehingga membentuk suatu rangka kokoh (Pratama, 2021). Rangka merupakan komponen yang sangat penting dari suatu mesin CNC *plasma cutting* karena berfungsi sebagai penopang mesin, sistem penggerak dan sistem kelistrikan sehingga menjadi satu kesatuan yang membuat sebuah mesin CNC *plasma cutting* dapat memotong logam. Oleh karena itu, agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya sebuah rangka harus kuat dan kokoh sehingga mampu menopang beban dari mesin beserta kelengkapannya tanpa mengalami kerusakan ataupun perubahan bentuk.

2.2.4 Perancangan

Perancangan merupakan salah satu hal yang penting dalam membuat suatu rancang bangun yang akan di kerjakan. Adapun tujuan dari perancangan adalah untuk memberi gambaran yang jelas. Perancangan harus berguna dan mudah dipahami sehingga mudah digunakan.

Perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisis, menilai, memperbaiki dan menyusun suatu sistem, baik fisik maupun non fisik yang optimum untuk waktu yang akan datang dengan memanfaatkan informasi yang ada (Rian & Fuadytama, 2019). Pengertian perancangan lainnya 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 (Nur & Suyuti, 2017).

2.2.5 Metode perancangan menurut James H.Earle

Metode perancangan atau model perancangan merupakan proses untuk membuat sebuah produk dengan besaran dan luaran yang terdefinisi sesuai standar. Metode perancangan yang digunakan yaitu pendekatan pada perancangan James H. Earle. Metode perancangan menurut James H. Earle adalah sebagai berikut.

2.2.5.1 Identifikasi masalah (*identify*)

Identifikasi masalah adalah kegiatan mengamati atau mencari tahu suatu kebutuhan dan merupakan langkah awal ketika seorang perancang menyelesaikan

suatu masalah. Pertama yang dilakukan adalah mengenal kebutuhan selanjutnya mengusulkan kriteria rancangan.

2.2.5.2 Ide awal

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

2.2.5.3 Perbaikan ide

Perbaikan dari ide-ide rancangan awal adalah permulaan dari kreatifitas dan imajinasi yang tidak terbatas. Seorang perancang sekarang ini berkewajiban memberi pertimbangan utama pada fungsi dan kegunaanya.

2.2.5.4 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 perhatian kepada biaya, kekuatan, fungsi, dan permintaan pasar.

2.2.5.5 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 rekondisi- rekondisi desain tersebut dimulai dengan presentasi dari perancang (tim perancang). Agar mudah pelaksanaannya presentasi harus terorganisir dan juga dapat mengkomunikasikan semua kesimpulan serta rekomendasi yang ditentukan si perancang sebab hal ini sangat berarti untuk memperoleh dukungan agar proyek tersebut nantinya dapat diterapkan menjadi suatu kenyataan. Pada umunya tim membuat keputusan dari mana pembiayaan harus diperoleh. Sekalipun pengambilan keputusan dipengaruhi oleh fakta, data, analisa, yang pada akhirnya penilaian subjektif lah yang terbaik.

2.2.5.6 Implementasi

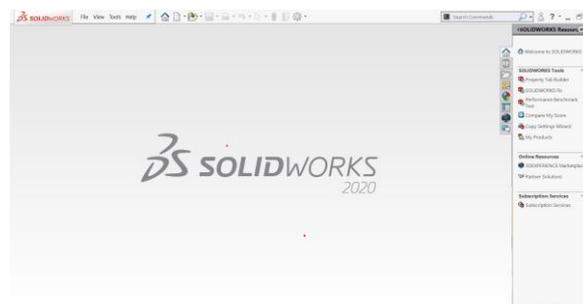
Implementasi adalah langkah terakhir dalam proses desain, dimana sebuah desain menjadi nyata. Perancang mendetailkan produk dalam gambar kerja dengan spesifikasi dan catatan fabrikasi. Metode grafik sangat penting dalam proses implementasi, karena semua produk diproses berdasarkan gambar kerja dan spesifikasinya.

2.2.6 Peranan komputer dalam proses perancangan

Komputer digunakan dalam proses perancangan sebuah produk baru melalui program desain, seperti *Computer Aided Design (CAD)*. Gunanya, agar produk yang diinginkan dapat dirancang secara cepat, mudah dan memiliki ketepatan tinggi. Oleh karena itu, peran komputer dalam industri dan manufaktur sangat penting sebagai alat bantu untuk merancang produk baru dengan cara yang efisien dan tepat (Purba, 2014).

2.2.7 Solidwoks

Saputra dkk (2018) *software solidworks* merupakan sebuah *software* program rancang bangun yang banyak di gunakan untuk mengerjakan desain produk, desain mesin, desain kontruksi, ataupun keperluan teknik yang lain. *Software solidworks* di lengkapi dengan *tool* yang di gunakan untuk menghitung dan analisis hasil desain seperti tegangan, regangan, maupun pengaruh suhu, dan lain-lain. *Solidworks* adalah program pemodelan berbasis fitur parametrik, maksudnya semua objek dan hubungan antar geometrik dapat di modifikasi kembali meskipun geometriknya sudah jadi tanpa perlu mengulang lagi dari awal dengan metode ini sangat memudahkan dalam proses desain suatu produk atau rancangan. Tampilan *software solidworks 2020* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



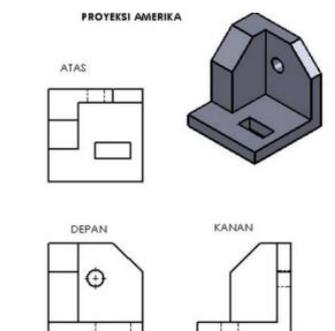
Gambar 2. 8 *Software solidworks 2020*

2.2.8 Gambar teknik

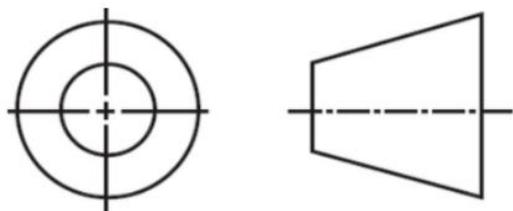
Gambar adalah sebuah alat komunikasi untuk menyatakan maksud dari seorang ahli teknik. Gambar teknik yang dibuat dengan menggunakan cara-cara, ketentuan-ketentuan, dan aturan-aturan yang telah disepakati oleh para ahli teknik. Dalam teknik mesin, ketentuan-ketentuan dan aturan-aturan tersebut berupa normalisasi atau standarisasi yang telah ditetapkan oleh ISO (*International Organization for Standardization*), sebuah badan atau lembaga internasional untuk standarisasi. Di samping ISO sebagai sebuah badan internasional (antar bangsa), di negara-negara tertentu ada yang memiliki badan standarisasi nasional yang cukup dikenal di seluruh dunia. Misalnya di Jerman ada DIN (*Deutsche Institut fur Normung*), di Belanda ada NEN (*Nederland Engineering Norm*), di Jepang ada JIS (*Japanese Industrial Standards*), dan SNI (*Standar Nasional Indonesia*) ada di Indonesia (Abryandoko, 2020). Berikut adalah tipe proyeksi :

1. Proyeksi amerika

Proyeksi amerika dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan simbol proyeksi amerika dapat dilihat pada Gambar 2.10.



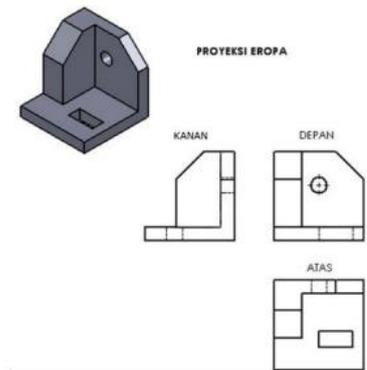
Gambar 2. 9 Proyeksi amerika (Purwadi, 2023)



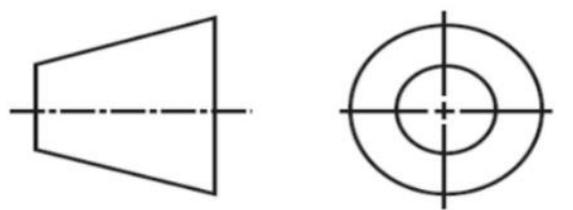
Gambar 2. 10 Simbol proyeksi amerika (Purwadi, 2023)

2. Proyeksi eropa

Proyeksi eropa dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan simbol proyeksi eropa dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 11 Proyeksi eropa (Purwadi, 2023)

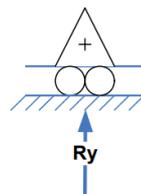


Gambar 2. 12 Simbol proyeksi eropa (Purwadi, 2023)

2.2.9 Statika

Statika adalah ilmu yang mempelajari tentang keseimbangan bahan terhadap gaya dan beban yang bekerja pada bahan tersebut. Hal ini juga dapat merujuk pada perubahan bentuk atau posisi suatu benda yang disebabkan oleh gaya atau beban yang diterapkan pada benda tersebut. Dalam ilmu statika terdapat 3 jenis tumpuan yang digunakan untuk menentukan jenis peletakan yang digunakan dalam menahan beban pada struktur. Beban yang ditahan oleh setiap peletakan adalah sebagai berikut:

1. Tumpuan roll

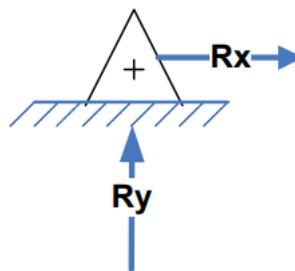


Gambar 2. 13 Tumpuan roll (Purna, 2007)

Keterangan :

- A. Dapat memberikan reaksi berupa gaya vertikal ($R_y = F_y$)
- B. Tidak dapat menerima gaya horisontal (F_x).
- C. Tidak dapat menerima momen
- D. Jika diberi gaya horisontal, akan bergerak atau menggelinding karena sifat roll.

2. Tumpuan sendi (engsel)

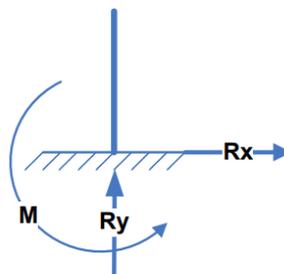


Gambar 2. 14 Tumpuan sendi (Purna, 2007)

Keterangan :

- A. Mampu menerima 2 reaksi gaya :
 - Gaya vertikal (F_y)
 - Gaya horisontal (F_x)
- B. Tidak dapat menerima momen (M).
- C. Jika diberi beban momen, karena sifat sendi, maka akan berputar.

3. Tumpuan jepit



Gambar 2. 15 Tumpuan jepit (Purna, 2007)

Keterangan :

- A. Dapat menerima semua reaksi:
 - Gaya vertikal (F_y)

- Gaya horizontal (F_x)
- Momen (M)

B. dijepit berarti dianggap tidak ada gerakan sama sekali.

2.2.10 Mekanika

Ilmu yang mempelajari dan meramalkan kondisi benda diam atau bergerak akibat pengaruh gaya yang bereaksi pada benda tersebut (Purna, 2007). Mekanika benda tegar dibagi menjadi dua yaitu :

1. Statika : mempelajari benda dalam keadaan diam.
2. Dinamika : mempelajari benda dalam keadaan bergerak.

Prinsip dasar mekanika ada 5 hukum utama yaitu :

1. Hukum parallelogram

Dua buah gaya yang bereaksi pada suatu partikel, dapat digantikan dengan satu gaya (gaya resultan) yang diperoleh dengan menggambarkan diagonal jajaran genjang dengan sisi kedua gaya tersebut (Purna, 2007).

2. Hukum transmisibilitas gaya

Kondisi keseimbangan atau gerak suatu benda tegar tidak akan berubah jika gaya yang bereaksi pada suatu titik diganti dengan gaya lain yang sama besar dan arahnya tapi bereaksi pada titik berbeda, asal masih dalam garis aksi yang sama. Dikenal dengan hukum garis gaya (Purna, 2007).

3. Hukum I Newton

Bila resultan gaya yang bekerja pada suatu partikel sama dengan nol (tidak ada gaya), maka partikel diam akan tetap diam dan atau partikel bergerak akan tetap bergerak dengan kecepatan konstan. Dikenal dengan hukum kelembaman (Purna, 2007).

4. Hukum II Newton

Bila resultan gaya yang bekerja pada suatu partikel tidak sama dengan nol partikel tersebut akan memperoleh percepatan sebanding dengan besarnya gaya resultan dan dalam arah yang sama dengan arah gaya resultan tersebut (Purna, 2007).

5. Hukum III Newton

Gaya aksi dan reaksi antara benda yang berhubungan mempunyai besar dan garis aksi yang sama, tetapi arahnya berlawanan (Purna, 2007).

2.2.11 Momen inersia

Momen inersia adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi pada porosnya, momen inersia juga disebut sebagai besaran pada gerak rotasi yang analog dengan massa pada gerak translasi (Chusni dkk., 2018).

2.2.12 Proses produksi

Produksi adalah proses pengubahan bahan baku menjadi barang jadi atau juga sebagai menambah nilai pada suatu produk (barang dan jasa) agar bisa memenuhi kebutuhan masyarakat. Pengertian lain dari proses produksi adalah suatu kegiatan yang menggabungkan berbagai faktor produksi yang ada dalam upaya menciptakan suatu produk, baik itu barang atau jasa yang memiliki manfaat bagi konsumen. Adapun beberapa tujuan proses produksi adalah untuk menghasilkan suatu produk berupa barang atau jasa (Arwini, 2021).

A. Proses pemotongan

Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk dari logam (komponen mesin perkakas) dengan cara memotong, selain itu proses pemotongan logam merupakan kegiatan terbesar yang dilakukan pada industri manufaktur, proses ini mampu menghasilkan komponen komponen yang memiliki bentuk yang kompleks dengan akurasi geometri dan dimensi yang tinggi (Husni dkk, 2019).

B. Proses pengelasan (*welding*)

Proses pengelasan dilakukan untuk menyatukan bagian-bagian rangka. Berdasarkan cara kerjanya, pengelasan dapat dibagi menjadi tiga kelas utama, yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian (Wiryosumarto, 1979).

1. Pengelasan cair adalah salah satu cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan menggunakan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar (Wiryosumarto, 1979).

2. Pengelasan tekan adalah suatu metode pengelasan di mana sambungan dipanaskan terlebih dahulu dan kemudian ditekan secara kuat sehingga terjadi penyatuannya (Wiryosumarto, 1979).
3. Pematrian adalah suatu metode pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan menggunakan paduan logam dengan titik cair rendah. Dalam metode ini, logam induk tidak mencair (Wiryosumarto, 1979).

C. Proses bending

Proses bending merupakan pembentukan logam yang umumnya menggunakan lembaran plat atau batang baik dari bahan logam *ferro* maupun logam *non ferro* dengan cara ditebuk, dimana pada proses bending ini terjadi pemuluran atau peregangan pada sumbu bidang netral sepanjang daerah bending dan menghasilkan garis bending yang lurus (Suyuti dkk., 2020). Mesin bending dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Mesin bending

D. Proses gerinda

Proses gerinda adalah proses pemotongan atau penghalusan permukaan benda kerja menggunakan roda gerinda yang terbuat dari bahan *abrasive* yang digerakkan oleh mesin gerinda. Mesin gerinda adalah sebuah mesin perkakas yang digunakan untuk mengasah atau memotong benda kerja dengan tujuan tertentu. Prinsip kerja. Mesin gerinda melibatkan batu gerinda yang berputar dan bersentuhan dengan benda kerja sehingga terjadi pengikisan, penajaman, pengasahan, atau pemotongan pada benda kerja (Widarto, 2008). Mesin gerinda dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Mesin gerinda

2.2.13 Kriteria pemilihan material

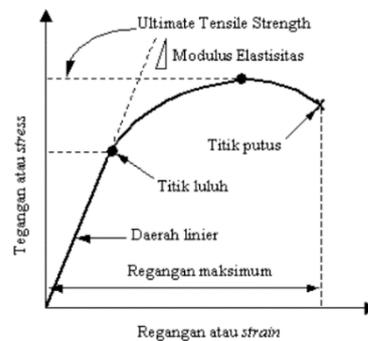
Material merupakan faktor krusial dalam perancangan bagian mekanis karena mempengaruhi kekuatan, kekakuan, dan ketahanan aus. Dalam proses desain, pemilihan material merupakan langkah awal yang penting. Dalam pemilihan material tersebut terdapat banyak jenis material dan sulit untuk memilih sesuai dengan aplikasinya. Menurut Suprpto (2021), pemilihan material pada pembuatan suatu alat harus didasari dengan pemahaman suatu material. Karena setiap material memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda tergantung pada elemen penyusun material tersebut. Dengan dilakukan pemilihan material yang tepat dan sesuai kebutuhan maka dapat menghasilkan alat tepat guna dan proses produksi suatu alat (Yaqin & dkk, 2021). Namun dalam proses produksi suatu material dapat berubah sifat dan karakteristiknya yang disebabkan oleh beberapa faktor yaitu: pemanasan, tipe cetakan, pengelasan, pembebanan yang berlebihan dan bentuk struktur yang tidak baik. Karena itu setiap negara memiliki standarisasinya masing-masing salah satunya (*Japan Industrial Standard*) JIS.

Terdapat berbagai aspek penting dalam pemilihan material salah satunya dengan menyesuaikan *mechanical properties* suatu material dengan kebutuhan alat yang akan dibuat. Adapun aspek penting pada suatu material yaitu:

a. *Yield strength*

Kekuatan luluh atau *yield strength* menurut Anggry (2021), diartikan sebagai tegangan pengaruh permanen pada suatu material atau struktur bisa disebut dengan *deformasi plastis*. Dengan kata lain jika material menerima tegangan dibawah nilai luluh maka material tersebut dapat kembali ke bentuk semula atau disebut juga dengan *deformasi elastis*. Namun sebaliknya jika material menerima tegangan di atas nilai luluh maka material tersebut akan patah atau rusak. Untuk

menentukan kekuatan luluh pada diagram tegangan-regangan akan ditandai pada set permanen seperti Gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Kurva hubungan tegangan-regangan (Kholil, 2019)

b. *Ultimate tensile strength*

Ultimate tensile strength menurut Mott (2004) merupakan nilai *stress* maksimum yang dapat diterima pada suatu material saat proses ditarik sebelum terjadi patah atau rusak pada struktur material. Nilai kekuatan tarik maksimal diketahui sebagai titik tertinggi dalam diagram tegangan – regangan seperti pada Gambar 2.18.

c. *Modulus young*

Modulus young menurut Anggry (2021) merupakan parameter mekanik yang digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu material dapat merespon tegangan yang terjadi baik tekanan ataupun tarik yang terjadi. Artinya *modulus young* merupakan suatu patokan kekuatan material terhadap seberapa cepat material tersebut merespon terhadap tegangan yang terjadi sebelum mengalami deformasi permanen.

d. *Density*

Density menurut Mott (2004) mengartikan *density* sebagai jumlah massa pada suatu obyek persatuan volume dan dinyatakan dalam satuan massa per volume bahan. Dengan kata lain *density* merupakan seberapa padat suatu obyek atau material tersebut. Jika nilai *density* material tinggi maka menunjukkan bahwa material memiliki lebih banyak massa dalam volume yang sama.

2.2.14 Besi *hollow*

Hollow merupakan jenis profil logam yang memberikan fleksibilitas besar, terdiri dari rasio kekuatan terhadap berat yang sangat baik, memberikan efisiensi, dan terjangkau. *Hollow* memiliki desain yang ringan, mudah digunakan dan dirawat, ekonomis, dan lain-lain. Dari sudut pandang kekuatan, *hollow* dapat menangani tekanan dan merupakan solusi ideal untuk menahan beban struktural (Khanna, 2022). Selain itu, bahan ini juga memiliki ketahanan terhadap rayap, dan binatang pengerat. Bahan baja *hollow* terbuat dari material yang kuat dan kokoh, memungkinkan penggunaannya dalam jangka waktu yang lama. Karena itu, baja *hollow* memiliki daya tahan dan umur pakai yang lebih lama. Besi *hollow* dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2. 19 Besi hollow (Minto dkk, 2020)

2.2.15 Data *mechanical properties*

Data *mechanical* merupakan spesifikasi data dari material yang memberikan informasi karakteristik material pada setiap bagian yang akan dimanfaatkan sebagai data dalam menjalankan perhitungan serta analisis simulasi dengan menggunakan perangkat lunak FEA. Data *mechanical properties* yang digunakan adalah *galvanized steel* untuk pembuatan rangka meja yang termasuk kedalam jenis material baja karbon rendah. Material ini memiliki kandungan komposisi kimia Fe 99,41%, S 0,0008%, C 0,091%, Ni 0,033%, Si 0,009%, Cr 0,030%, Mn 0,254%, Mo 0,010%, P 0,028%, Cu 0,027%, Al 0,033%. Spesifikasi dari material *galvanized steel* untuk menjalankan simulasi perhitungan dengan perangkat lunak FEA dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Spesifikasi bahan *galvanized steel*

Spesifikasi	Keterangan
<i>Density</i>	7870 Kg/m ³
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	356,9 N/mm ²
<i>Yield Strength</i>	204 N/mm ²
<i>Poisson Ratio</i>	0,3

2.2.16 *Finite Element Analysis (FEA)*

Metode elemen hingga atau *Finite Element Analysis* adalah prosedur yang dapat diterapkan guna mendapatkan solusi untuk berbagai masalah rekayasa. Elemen hingga dapat diartikan sebagai representasi numerik dari sistem fisik pada pemodelan bagian atau *parts*, material, dan proses yang ada didalamnya untuk mendapatkan solusi dari permasalahan yang ada (Moaveni, 2011). *Finite Element Method* (FEM) adalah prosedur numeris yang dipakai dalam menyelesaikan permasalahan di bidang rekayasa, seperti menganalisis tegangan pada rangka. Metode ini digunakan untuk menyelesaikan masalah rekayasa yang tidak bisa diselesaikan secara nyata (Suprpto dan Wibawa, 2021).

Metode Finite Element Analysis (FEA) adalah suatu pendekatan pemecahan berbagai masalah struktur fisik dengan membagi elemen struktur menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya terbatas (Oktavianus dkk., 2022). Elemen-elemen ini dihubungkan satu sama lain dengan titik node sehingga dapat menghitung reaksi akibat pembebanan pada kondisi batas. Semakin kecil jumlah node yang dihasilkan maka akan semakin dekat dengan kondisi asli saat dilakukan proses simulasi. Untuk menemukan solusi masalah, analisis dilakukan dengan metode elemen hingga pada mekanika benda padat yang menghasilkan solusi seperti tegangan, regangan, *defleksi*, dan umur *fatigue*. FEA memiliki keunggulan dalam hal pengurangan waktu dan biaya.

Sampai saat ini, metode elemen hingga telah terbukti cukup berhasil untuk memeriksa konsentrasi atau distribusi tegangan dan *displacement* pada geometri tertentu. Regangan (*strain*) adalah perbandingan perubahan panjang awal akibat gaya dengan arah sejajar perubahan panjang material. Proses analisis biasanya

menggunakan metode elemen hingga, yang terdiri dari tiga fase: *pre-processing*, *solution*, dan *post-processing*. Salah satu keuntungan menggunakan metode ini adalah menyederhanakan, mempercepat, dan mengurangi biaya analisis objek. Secara garis besar elemen yang terdapat dalam *solidworks simulation* terbagi menjadi tiga macam diantaranya elemen *beam*, *shell*, dan elemen *solid*.

A. Elemen *beam* (1 dimensi)

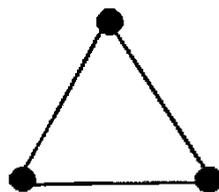
Elemen ini terdiri dari dua nodal (titik) dan satu penghubung, setiap nodal memiliki enam derajat kebebasan (*degree of freedom*) yaitu 3 translasi dan 3 rotasi yang memungkinkan untuk melihat gaya reaksi (*reaction force*) dan momen reaksi (*momen reaction*), contoh untuk penggunaan elemen ini untuk rangka struktur yang memiliki penampang profil yang sama. Bentuk *element beam* dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2. 20 *Beam element*

B. *Element shell* (2 dimensi)

Elemen ini terdiri dari tiga nodal (titik) dan dua penghubung, setiap nodal memiliki enam derajat kebebasan (*degree of freedom*) yaitu 3 translasi dan 3 rotasi yang memungkinkan untuk melihat gaya reaksi (*reaction force*) dan momen reaksi (*momen reaction*), contoh untuk penggunaan elemen ini untuk plat dengan ketebalan tertentu. Bentuk *element shell* dapat dilihat pada Gambar 2.21.

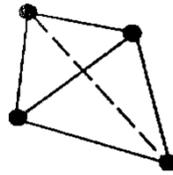


Gambar 2. 21 *Element shell*

C. *Element solid* (3 dimensi)

Elemen ini terdiri dari empat nodal (titik) dan enam penghubung, setiap nodal memiliki enam derajat kebebasan (*degree of freedom*) yaitu 3 translasi dan 3 rotasi yang memungkinkan untuk melihat gaya reaksi (*reaction force*) dan momen reaksi (*momen reaction*), contoh untuk penggunaan elemen ini adalah semua

geometri yang memiliki bentukan yang kompleks. Bentuk *element solid* dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 *Element solid*

2.2.17 Simulasi *solidworks*

Solidworks adalah *software* simulasi yang memungkinkan setiap perancang dan insinyur untuk melakukan simulasi struktural pada bagian atau rakitan sebuah struktur dengan analisis elemen hingga (Sasmito, 2018). *Solidworks* dilengkapi dengan *tools* yang digunakan untuk menghitung dan analisis hasil desain seperti tegangan, regangan, maupun pengaruh suhu, angin, dan lain-lain. *Solidworks* menyediakan solusi terpadu untuk menyederhanakan dan memudahkan proses desain dan analisis sebuah struktur. Solusi terpadu bahwa semua proses dikerjakan oleh satu mesin dan satu perangkat lunak, sehingga transfer data dari satu desain perangkat lunak ke perangkat lunak yang lain tidak diperlukan. Dengan proses tersebut, hilangnya data atau informasi dapat dihindari dan waktu untuk proses analisis juga menjadi lebih singkat. Analisis struktur dalam *solidwroks* diantaranya yaitu:

a. *Stress analysis*

Stress analysis merupakan salah satu alat pengujian struktur pada *solidworks* yang dilakukan dengan menerapkan konsep *Finite Element Analysis* (FEA). Cara kerjanya adalah dengan memecah suatu objek struktur yang akan diuji menjadi elemen– elemen berhingga yang saling terhubung satu sama lain yang akan dikelola dengan perhitungan khusus oleh perangkat lunak, sehingga menghasilkan hasil yang lebih akurat.

b. *Frame analysis*

Selain *stress analysis*, pada *solidworks* juga terdapat alat pengujian struktur yang lain, yaitu *frame analysis*. Konsep dari pengujian ini adalah dengan menerapkan ilmu mekanika teknik yaitu berkaitan dengan struktur, *beam*, dan

frame. Input data beban dan tumpuan, sedangkan outputnya diagram tegangan, regangan dan *displacement*.

Dalam simulasi *solidworks* memiliki beberapa *analysis systems* yang dapat digunakan diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. *Static*, simulasi ini digunakan ketika beban diterapkan pada struktur secara statis. Simulasi ini memungkinkan untuk memperoleh parameter seperti deformasi dan tegangan yang ada di struktur akibat beban yang diterapkan.
- b. *Frequency*, dimanfaatkan untuk menciptakan frekuensi natural pada sebuah struktur yang dimiliki telah didesain.
- c. *Design study*, dimanfaatkan untuk mengoptimalkan produk dari analisis.
- d. *Buckling*, digunakan untuk menganalisis beban kritis untuk bengkok.
- e. *Fatigue*, digunakan untuk menganalisis umur produk akibat beban berulang.
- f. *Submodeling*, digunakan untuk memperjelas hasil analisis.

2.2.18 Kekuatan rangka

a. Tegangan (*stress*)

Nilai tegangan, yang diukur sebagai besarnya gaya (F) yang terjadi pada luas penampang (A), berbanding lurus dengan gaya dan berbanding terbalik dengan luas penampang. Tegangan terjadi karena adanya tekanan, ketegangan, lentur, dan reaksi. Nilai tegangan yang terjadi perlu diperhatikan dalam merancang suatu konstruksi mesin ataupun alat, nilai tegangan ini guna menentukan apakah material telah mengalami luluh atau gagal.

b. Regangan (*strain*)

Regangan yaitu seberapa besar pertambahan panjang di bagi panjang awal. Regangan menurut Hibbeler (1994) dibagi menjadi dua jenis regangan utama yaitu regangan normal dan regangan *shear*. Regangan normal adalah perubahan bentuk suatu benda pada arah tegak lurus terhadap permukaan saat diberi beban. Regangan ini dapat diukur sebagai perubahan panjang relatif terhadap panjang asli. Sedangkan regangan *shear* adalah bentuk perubahan sudut relatif antara dua garis yang semula tegak lurus satu sama lain yang diakibatkan oleh tegangan geser.

c. Deformasi

Deformasi menurut Hibbeler (1994) merupakan perubahan bentuk pada suatu benda karena terjadi pergeseran dari suatu elemen. Pergeseran ini terjadi pada suatu batang atau *beam* yang mengalami defleksi dan hasil pergerakan dari suatu objek, dan tidak terdistorsi. Perubahan model simulasi sebagai adanya pembebanan saat beroperasi dikenal sebagai deformasi.

d. *Displacement*

Menurut Hibbeler (1994), menyatakan bahwa hukum hooke adalah konsep yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan pada benda padat linear elastis. Menurut hukum hooke, menjelaskan *modulus young* merupakan bilangan konstan, karena selama gaya yang berkerja pada benda elastis tidak melampaui batas dari elastisitasnya, maka perbandingan antara tegangan dan regangan adalah konstan. Perbandingan antara perubahan panjang suatu benda dan panjang awalnya karena penerapan gaya sejajar dengan arah perubahan tersebut akan mengakibatkan regangan yang menghasilkan *displacement* dalam material tersebut.

e. Faktor keamanan

Factor of safety (FS) merupakan faktor keamanan yang digunakan untuk melakukan evaluasi suatu perencanaan elemen mesin sehingga dapat terjamin keamanannya. Untuk menentukan faktor keamanan suatu struktur yang akan dirancang dapat menggunakan aturan berikut:

1. Bahan ulet

- a. Nilai 1,25 hingga 2,0 untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
- b. Nilai 2,0 hingga 2,5 untuk perancangan elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
- c. Nilai 2,5 hingga 4,0 untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

- d. Nilai 4,0 atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi bahan, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.
2. Bahan getas
- a. Nilai 3,0 hingga 4,0 untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
 - b. Nilai 4,0 hingga 8,0 untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.