

**ANALISIS PARAMETER PEMOTONGAN MATERIAL KAIN TEKSTIL
MENGUNAKAN MESIN CNC LASER CUTTING TIGA AXIS
KAPASITAS DAYA 5,5 WATT**

**PARAMETER ANALYSIS OF TEXTILE FABRIC CUTTING USING A
THREE AXIS CNC LASER CUTTING MACHINE WITH 5.5 WATT
POWER CAPACITY**

**Muhammad Ikhsan
(D022192005)**



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

**ANALISIS PARAMETER PEMOTONGAN MATERIAL KAIN TEKSTIL
MENGUNAKAN MESIN CNC LASER CUTTING TIGA AXIS
KAPASITAS DAYA 5,5 WATT**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin / Konstruksi Mesin

Disusun dan diajukan oleh

Muhammad Ikhsan

D022192005

Kepada

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK SEKOLAH
PASCASARJANA UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PARAMETER PEMOTONGAN MATERIAL KAIN TEKSTIL MENGUNAKAN MESIN CNC LASER CUTTING TIGA AXIS KAPASITAS DAYA 5,5 WATT

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD IKHSAN

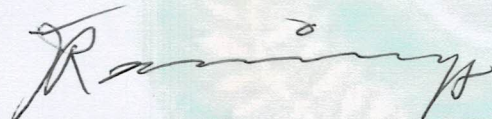
D022192005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
pada tanggal 1 Maret 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

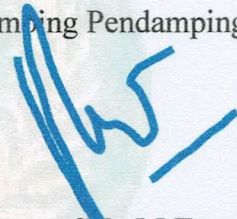
Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT
NIP. 195809211986031003



Rafiuddin Syam, S.T., M.Eng., Ph. D
NIP. 197203301995121001

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.
NIP. 197503222002121001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., MT.
NIP. 19730926 200012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Ikhsan

Nomor Induk Mahasiswa : D022192005

Program Studi : Teknik Mesin/Konstruksi Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 5 April 2022

Yang menyatakan,



(Muhammad Ikhsan)

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka Hasil Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Mesin CNC Laser Cutting	5
2.3 Karakteristik.....	18
2.4 Material Serat Kain	19
2.5 Elemen Sumber Sinar Laser.....	24
2.6 Dasar Studi Eksperimental karakteristik Pemotongan / Cutting.....	26
2.7 Metode taguchi	27
2.8 Uji ANOVA.....	28
BAB III.....	33
METODE PENELITIAN.....	33

3.1 Tempat Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan	33
3.3 Pemotongan	41
3.4 Tahapan Penelitian.....	42
3.5 Diagram Alir Penelitian	48
3.6 Jadwal Penelitian.....	49
BAB IV	50
HASIL DAN PEMABAHASAN.....	50
4.1 Hasil Uji Tarik	50
4.2 Area Hasil Pemotongan / Cutting	51
4.3 Data Hasil Pemotongan / Cutting	55
4.4 Normalisasi Data	63
4.5 Analisis Taguchi	64
4.6 Analisis Anova	66
BAB V	68
PENUTUP.....	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis- Jenis Panjang Gelombang Pada Laser Dioda Secara Umum	16
Tabel 2.2 Sifat mekanik dan fisik serat katun	22
Tabel 2.3 Data Mekanis Sutera Ulat Sutera Bersama Dengan Bahan Berserat Lainnya.....	24
Tabel 2.4 Data kekuatan tarik serat dan kandungan β -Sheet dan α -helix dari beberapa jenis serat sutra.....	24
Tabel 2.5 Sifat Dan Karakteristik Benang Wol.....	25
Tabel 2.6 Perbandingan Sifat Karakteristik serat wool	26
Tabel 2.7 Kelompok Perlakuan Analisis Variansi	33
Tabel 2.8 Pengujian Anova	34
Tabel 3.1 Alat Penelitian.....	39
Tabel 3.2 Bahan Penelitian	42
Tabel 3.3 Spesifikasi laser pemotong / cutting	45
Tabel 3.4 Karakteristik Sistem Laser Pemotong.....	46
Tabel 4.1 Deskripsi data uji tarik.....	54
Tabel 4.2 mekanikal properties kain tekstil.....	54
Tabel 4.3 Data analisis daya dan kecepatan terhadap kerf width / lebar garitan (mm).....	60
Tabel 4.4 Data analisis daya dan kecepatan terhadap Side Line Lenght (mm).....	62
Tabel 4.5 Data analisis daya dan kecepatan terhadap Diameter Circle (mm).....	63
Tabel 4.6 Data analisis daya dan kecepatan terhadap kerf width / lebar garitan (mm).....	66
Tabel 4.7 Data analisis daya dan kecepatan terhadap Side line leght (SLL) dalam satuan mm.....	67

Tabel 4.8 Data analisis Pengaruh daya dan kecepatan terhadap diameter circle (mm).	68
Tabel 4.9 Data pengukuran hasil potong kerf width / lebar garitan (mm)	72

Tabel 4.10	Data pengukuran hasil potong Side line length (mm).	73
Tabel 4.11	Data pengukuran hasil potong Diameter Circle (mm).	74
Tabel 4.13	Data faktor parameter potong	77
Tabel 4.14	Data analisis varians dari parameter potong.	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengukuran	84
Lampiran 2 Spektrum Pengukuran Material.	85
Lampiran 3 Mesin CNC laser Cutting	97

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, tuhan semesta alam atas limpahan rahmat dan karunianya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Desain dan Unjuk Kerja Mesin Laser Cutting untuk Industri Konveksi”. Salawat dan salam tetap tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW, yang telah mengantarkan kita dari arah ketidaktahuan ke arah yang benar.

Penelitian ini dibuat untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dan menjadi bagian dari studi untuk menyelesaikan tugas akhir sebagai mahasiswa program magister Universitas Hasanuddin.

Dalam menyusun tesis ini, tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini dengan tulus hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy, MT. Selaku ketua dosen pembimbing, yang telah banyak mengorbankan waktu dalam memberikan ide, saran dan kritiknya.
2. Rafiuddin Syam, ST., M.Eng. Ph.D. Selaku dosen pembimbing kedua, yang banyak memberikan banyak motivasi, kepercayaan diri dan bimbingan selama penulisan.
3. Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT, Dr. Hairul Arsyad, ST., MT, Dr. Muhammad Syahid, ST., MT. Selaku penguji yang telah memberikan kritik dan masukan dalam penulisan tesis ini.
4. keluarga tercinta, Kakek, Nenek, serta Ibu yang telah banyak mendukung kegiatan selama penelitian. Baik secara materi maupun motivasi untuk tetap semangat dalam mencari ilmu.
5. Teman teman angkatan program magister, yang selalu memberikan motivasi dalam penyusunan tesis ini.
6. Para senior yang telah membangun rasa percaya diri untuk menyusun penelitian ini.

7. Senior sekaligus sahabat dan rekan kerja, yang telah banyak membantu dalam penyusunan penelitian ini.
8. Para sahabat yang telah memotivasi untuk menyelesaikan tesis ini.

Makassar, April 2022

Penulis

Muhammad Ikhsan

ABSTRAK

Muhammad Ikhsan, Analisis Parameter Pemotongan Material Kain Tekstil Menggunakan Mesin CNC Laser Cutting Tiga Axis Kapasitas Daya 5,5 Watt, dibimbing oleh **Ahmad Yusran Aminy** dan **Rafiuddin Syam**.

Laser cutting merupakan teknologi dalam bidang optik yang memanfaatkan hasil radiasi dari intensitas cahaya untuk memotong objek material. Pada prinsipnya, sinar laser merupakan proses yang dihasilkan dari relaksasi elektron yang bergerak dengan menghasilkan bentuk cahaya koheren dan monokromatik. Dalam penelitian ini, bertujuan untuk mengkaji pengaruh parameter pemotongan laser cutting terhadap material jenis kain. Jenis kain tekstil yang digunakan yaitu kain sutra, kain wool, dan kain katun. Pemotongan laser diuji menggunakan beberapa parameter yaitu menggunakan variasi daya 2,5 watt, 3,5 watt, 4,5 watt, dan 5,5 watt. Sedangkan kecepatan potong yang digunakan yaitu 100 mm/min, 150 mm/min, dan 200 mm/min pada jarak laser head 60 mm. Kemampuan hasil pemotongan laser diukur dalam parameter respon yaitu nilai ukuran kerf width, side line length, diameter circle, persentase overcut, dan Material removal rate (MRR). Sistem gerak laser cutting dalam memotong diatur berdasarkan arah gerak mesin CNC (Computer Numerical Control). Mesin CNC sebagai arah dari tiga sumbu gerak yaitu sumbu X, Y, dan Z yang diatur berdasarkan perintah program dari komputer ke mesin. Dari eksperimen, menunjukkan bahwa kualitas hasil potong kain tekstil ditentukan dari kecepatan dan daya laser yang digunakan. Semakin tinggi kecepatan potong maka kerf width akan semakin kecil. Dan semakin besar daya laser yang digunakan maka ukuran kerf width yang dihasilkan akan semakin besar. Pada hasil overcut, dapat disimpulkan semakin kecil penggunaan daya laser dan semakin tinggi kecepatan potong maka nilai overcut akan semakin kecil.

Kata Kunci : Mesin CNC, Laser Cutting, Kain Tekstil.

ABSTRACT

Muhammad Ikhsan, Parameter Analysis of Cutting Textile Fabrics Using a Three Axis CNC Laser Cutting Machine with a Power Capacity of 5.5 Watts, supervised by **Ahmad Yusran Ami ny** and **Rafiuddin Syam**.

Laser cutting is a technology in the field of optics that utilizes radiation from light intensity to cut material objects. In principle, laser light is a process that results from the relaxation of moving electrons by producing a coherent and monochromatic form of light. This study, aimed to examine the effect of laser cutting parameters on fabric types. The types of textiles used are silk, wool, and cotton. Laser cutting was tested using several parameters, namely using variations in the power of 2.5 watts, 3.5 watts, 4.5 watts, and 5.5 watts. While the cutting speeds used are 100 mm/min, 150 mm/min, and 200 mm/min at a laser head distance of 60 mm. The ability of laser cutting results is measured in response parameters, namely the value of kerf width, side line length, circle diameter, overcut percentage, and Material removal rate (MRR). The laser cutting motion system in cutting is regulated based on the direction of motion of the CNC (Computer Numerical Control) machine. CNC machine as the direction of the three axes of motion, namely the X, Y, and Z axes which are set based on program commands from the computer to the machine. From the experiment, it was shown that the quality of the cutting results of textile fabrics was determined by the speed and power of the laser used. The higher the cutting speed, the smaller the kerf width. And the greater the laser power used, the larger the resulting kerf width. In the overcut results, it can be concluded that the smaller the use of laser power and the higher the cutting speed, the smaller the overcut value will be.

Keywords : CNC machine, Laser Cutting, Textile Fabric.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi industri konveksi / tekstil, teknologi pemotongan dengan menggunakan mesin CNC Laser Cutting sudah banyak digunakan dan di kembangkan untuk efisiensi produksi industri pakaian. Pemotongan otomatis oleh sistem yang dikendalikan komputer menawarkan beberapa keuntungan yaitu fleksibilitas produksi yang jauh lebih besar, peningkatan kualitas pemotongan, kapasitas untuk menangani pesanan besar, sampel proses praproduksi, pesanan kecil dan menengah, penggunaan material secara ekonomi, tidak perlu menggunakan peralatan konvensional dengan mengeluarkan tenaga yang besar, kapasitas untuk memotong komponen yang bentuknya sederhana atau kompleks, dan penggunaan sistem CAD / CAM untuk merancang pola, serta penggunaan yang lebih praktis. Sehingga, memungkinkan pengguna dapat melakukan pemotongan kain dengan lebih mudah. (Vilumsone-Nemes, 2018)

Pemotongan dengan mesin laser cutting merupakan proses pemotongan yang dilakukan menggunakan teknologi laser dengan bantuan mesin CNC router sebagai gerak tiga sumbu yaitu, X, Y, dan Z. Proses pemotongan pada produksi pakaian adalah proses penting yang dilakukan untuk menghasilkan pola pakaian serta ukuran pemotongan yang telah ditentukan.

Untuk menghasilkan pemotongan yang baik, tergantung pada faktor kekuatan laser, plasma, dan fenomena destruktif yang terjadi. Dalam kasus interaksi antara sinar laser dan spesimen ketebalan dalam kisaran milimeter, akan diperkirakan ambang kepadatan energi untuk kedalaman pemakanan untuk memungkinkan terjadi interaksi. Keterbatasan/ implikasi penelitian, hasilnya memiliki implikasi dalam estimasi kualitas serta dalam peningkatan pemrosesan bahan, memberikan beberapa penjelasan pada perubahan konstanta mekanis dan optik material, serta perubahan bentuk

dari bahan, yang akan berguna untuk berbagai jenis pemodelan. (Sreckovic et al., 2015)

Penentuan kualitas potong ditentukan pada hasil potong pada kerf width (lebar garitan). Kerf width merupakan lebar celah / garitan yang disebabkan oleh jalur yang dilalui sinar radiasi laser cutting menyebabkan kenaikan suhu secara eksoterm. Sehingga, terjadi proses penyubliman pada area potong pada kain yang membentuk jalur pemotongan.

Proses pemotongan bahan kain menggunakan teknologi Mesin CNC Laser Cutting dapat mempengaruhi hasil kualitas pemotongan. hal itu dikarenakan adanya beberapa faktor seperti kecepatan, ketebalan kain, dan besar daya yang digunakan. Pemotongan didasarkan pada bentuk pola potong yang dibuat untuk kebutuhan penggunaan dalam bidang industri tekstil. Pola potong dapat berbentuk garis lurus, persegi panjang atau pun pola melingkar. Pola tersebut diukur berdasarkan variasi area pemotongan seperti pemotongan dalam bentuk garis lurus. Pola ini, diukur pada bentuk celah (kerf width) yang dihasilkan. Persegi panjang / Side line length (SLL), diukur pada bagian tepi bagian dalam objek persegi panjang. Sedangkan pola berbentuk lingkaran (diameter circle) merupakan pola yang diukur pada bagian bentuk geometri lingkaran bagian dalam dari hasil pemotongan. Selain itu, Material removal Rate (MRR) dan persentase overcut juga mempengaruhi kualitas pemotongan. Parameter ini merupakan hasil hitung dari parameter terukur yang telah dijelaskan. Sehingga, pada pengamatan interaksi antara sinar laser terhadap material kain tekstil perlu dilakukan kajian yang lebih spesifik untuk menghasilkan potongan yang baik dengan efektifitas pengeluaran biaya dapat diminimalisir.

Dengan permasalahan tersebut penulis tertarik untuk mengangkat tema penelitian dengan judul “Analisis Parameter Pemotongan Material Kain Tekstil Menggunakan Mesin CNC Laser Cutting Tiga Axis Kapasitas Daya 5,5 Watt”. Untuk melakukan kajian tentang pengaruh pemotongan sinar radiasi laser terhadap kain tekstil dan sebagai syarat menyelesaikan

studi pada program magister, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Hasannuddin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas, maka penulis merumuskan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh parameter daya, kecepatan, jarak laser head terhadap lebar garitan (kerf width), overcut, panjang garis tepi (SLL) dan Diameter circle pada uji pemotongan ?
2. Bagaimana menganalisis karakteristik hasil potong menggunakan CNC laser cutting pada kain?
3. Bagaimana menganalisis hasil nilai optimal dari uji pemotongan menggunakan CNC laser cutting?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Pengaruh parameter daya, kecepatan, jarak laser head terhadap lebar garitan (kerf width), overcut, panjang garis tepi (SLL) dan diameter circle pada uji pemotongan.
2. Menganalisis karakteristik hasil potong menggunakan CNC laser cutting pada kain.
3. Menganalisis hasil nilai optimal dari uji pemotongan terhadap material kain menggunakan CNC laser cutting.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini penulis memberikan batasan masalah pada hal-hal berikut:

1. Mesin CNC Laser Cutting yang menggunakan skala ukuran 330 x 400 x 240 mm dengan daya maksimal 5,5 watt.
2. Melakukan pengujian pada material kain sutra (*silk fabric*), kain wool (*wool fabric*), kain katun (*cotton fabric*),

3. Melakukan analisis hasil optimasi pemotongan pada *Mesin CNC Laser Cutting*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat atau kontribusi yang positif bagi pihak-pihak yang memerlukannya. Adapun manfaat penelitian yang diharapkan penulis adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi tentang hasil pemotongan mesin CNC laser cutting sebagai alat pemotong untuk material kain.
2. Dapat menjadi rujukan bagi peneliti lain sebagai pembandingan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan proses kerja mesin CNC laser Cutting.
3. Bagi akademisi: memberikan masukan, tambahan pengetahuan, untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut pada konsentrasi konstruksi mesin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Hasil Penelitian Sebelumnya

Mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) telah banyak dilakukan pengembangan dan berbagai penerapan pada proses produksi seperti pada penelitian (Da Rocha et al., 2010), menjelaskan Mesin CNC digunakan untuk pekerjaan mekanis seperti memotong, mengukir, mengebor, dan lainnya. Teknologi komputer yang digunakan untuk mengontrol, mem-parsing, dan mengeksekusi objek-objek tertentu berdasarkan perintah penggunaanya.

Laser *cutting* bekerja dengan mengarahkan *output* dari daya laser tinggi, pada material yang akan dipotong (Chen et al., 2011). Material kemudian meleleh, terbakar, menguap oleh gas, dan meninggalkan tepi dengan permukaan yang berkualitas tinggi, akibat pengaruh diberikannya gas nitrogen (Powell, Dr J., 2004). Seperti pada penelitian (Matthews & Walton, 2009) dalam penggunaan laser *cutting* pada kain kashmir. Pemrosesan laser tekstil menggunakan laser CO₂ dalam industri untuk pemotongan dan *marking*. Tekstil yang berbeda merespons proses termo-reaktif dengan cara yang berbeda. Serat alami terbakar dan serat yang diproduksi dapat menguap atau meleleh. Degradasi dapat terlihat di sepanjang tanda atau tepi potong.



Gambar 2.1 Kasmir Tenunan Polos dengan Lingkaran Potong Laser



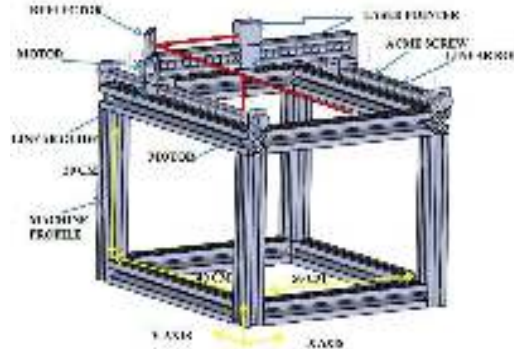
Gambar 2.2 Tepi Kasmir Potong Laser

Laser *cutting* memerlukan bantuan mesin CNC, yang selalu dilengkapi sebuah kontrol pengendali untuk membuat sebuah program yang dapat langsung dilihat pada layar monitornya. Mesin CNC dapat digunakan atau berfungsi apabila diperintahkan dengan menggunakan kode-kode tertentu, yaitu M-Code dan G-Code. Pembuatan suatu produk atau proses permesinan dengan menggunakan mesin CNC dapat dilakukan dengan membuat program manual menggunakan kode G dan M, atau penggunaan program otomatis (*Samarya et al., 2013*).

2.2 Mesin CNC Laser Cutting

Mesin Computer Numerical Control (CNC) adalah suatu mesin perkakas yang pengoperasiannya dikendalikan melalui program yang diakses dengan komputer (Salam, 2014). Computer Numerical Control (CNC) yaitu sistem serbaguna yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol gerakan alat dan bagian melalui data numerik. Penerapan mesin CNC adalah untuk melakukan berbagai tugas pemmesinan dengan menggunakan G-codes. G-code adalah bahasa pemrograman terkoordinasi titik-ke-titik yang digunakan dalam mesin CNC untuk mengoperasikan perkakas dalam arah x, y dan z untuk mencapai gerakan cepat, interpolasi linier, interpolasi searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam, dll. Sistem CNC menggabungkan perangkat mesin dan non wilayah instrumen -machine. Dalam proses mesin mesin CNC umumnya digunakan untuk mesin bor press, mesin pengolah, crushing unit, laser,

mesin kerja sheet -metal press, mesin tube twisting dan sebagainya. Sedangkan proses non mesin CNC terdiri dari mesin las (bend and resistance), tape lying, dan mesin fiber twisting untuk mesin pengukur arah komposit dan pertemuan elektronik. (Ambrizal et al., 2017)



Gambar 2.3 CNC Router

Mesin CNC memiliki banyak aplikasi dalam sistem kerja. Misalnya pada penerapan sistem kerja CNC laser Cutting. CNC *Laser Cutting* merupakan singkatan dari Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, adalah sebuah teknologi yang menggunakan laser untuk memotong material dan biasanya diaplikasikan pada industri manufaktur. Laser cutting bekerja dengan cara mengarahkan laser berkekuatan tinggi untuk memotong material dan digunakan komputer untuk mengarahkannya. Biasanya dalam bentuk cahaya yang tidak dapat dilihat maupun dapat dilihat dengan mata normal. Laser Cutting dalam industri sudah dirancang untuk mengkonsentrasikan jumlah energi yang tinggi ke tempat yang kecil. Biasanya sinar Laser Cutting berdiameter sekitar 0,003-0,006 inci ketika menggunakan laser dengan panjang gelombang pendek. (dinda, 2018) Pada mesin CNC cutting memiliki beberapa komponen penting yaitu sebagai berikut. (Jayachandraiah et al., 2014):

1. Ball/ Lead Screws

Ball Screw adalah aktuator linier mekanis yang menerjemahkan gerakan rotasi menjadi gerak linier dengan sedikit gesekan. Poros berulir

menyediakan jalur heliks untuk bantalan yang bertindak sebagai screw presisi. Pada AS dapat menerapkan atau menahan beban dorong tinggi, mereka dapat melakukannya dengan gesekan internal minimum.



Gambar 2.4 *Ball/ Lead Screw*

2. Ball Bearings

Bantalan/ *bearing* adalah jenis elemen bantalan bergulir yang menggunakan bola untuk menjaga poros agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya. Tujuan dari bantalan bola adalah untuk mengurangi jumlah gesekan dan dukungan rotasi radial dan aksial.



Gambar 2.5 *Ball Bearing*

3. Shaft Coupling

Coupling Shaft adalah komponen yang digunakan untuk menghubungkan dua poros bersama di ujungnya untuk tujuan mentransmisikan daya. Kopling biasanya tidak memungkinkan pemutusan poros selama operasi, namun adapembatas torsi kopling yang dapat tergelincir atau terputus ketika beberapa batas torsi terlampaui. Tujuan utama dari kopling adalah untuk menggabungkan dua buah peralatan berputar.



Gambar 2.6 *Shaft Coupling*

4. *Stepper Motor*

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.



Gambar 2.7 *Motor Stepper*

5. *Power Supply*

Power Supply atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan Catu Daya adalah suatu alat listrik yang dapat menyediakan energi listrik untuk perangkat listrik ataupun elektronika lainnya. Pada dasarnya *Power Supply* atau Catu daya ini memerlukan sumber energi listrik yang kemudian mengubahnya menjadi energi listrik yang dibutuhkan oleh perangkat elektronika lainnya. Oleh karena itu, *Power Supply* kadang-kadang disebut juga dengan istilah *Electric Power Converter*.



Gambar 2.8 *Power Suply*

6. *Microcontroller Board*

Mikrocontroler board adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output.



Gambar 2.9 *Microcontroller Board*

7. *Laser Diode*

Pada penelitian ini, yang menjadi objek utama adalah laser dioda. komponen ini dapat menghasilkan radiasi cahaya dengan beberapa kegunaannya dalam berbagai aspek. Seperti memotong, mengukir, dan biasayanya di gunakan sebagai alat ukur, tergantung pada kebutuhan.

Laser adalah cahaya yang diperkuat dengan cara menstimulasi radiasi yang terjadi pada sebuah sumber cahaya. Secara fisika cahaya dapat diartikan sebagai pancaran energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang berasal dari sumber cahaya. Sumber cahaya adalah

benda-benda yang dapat mengeluarkan energi elektromagnetik atau disebut dengan radiasi elektromagnetik. Salah satu sumber cahaya adalah matahari, dimana matahari memancarkan radiasi elektromagnetik sehingga sampai ke bumi, radiasi tersebut juga membawa partikel-partikel kecil yang memiliki energi dan disebut photon. Cahaya memiliki beberapa karakter, ada yang disebut dengan cahaya tampak ada pula cahaya yang tidak tampak. Karakterisasi cahaya tampak dan tidak tampak bergantung pada panjang gelombang (λ) dari cahaya itu sendiri. (Wan, 2019)

Karakteristik LASER menurut beberapa ahli adalah: (Wan, 2019)

a. Koheren

Bagian lain dari Laser yang berhubungan satu sama lain dengan fasenya. Hubungan ini terjadi karena satu fase saling menguatkan dengan fase yang lain sehingga efek penguatan itu bisa memungkinkan untuk digunakan dalam teknologi hologram.

b. Monokromatik

Cahaya laser terdiri dari satu panjang gelombang yang konstan yang dihasilkan oleh emisi atom pada level energi yang sama

c. Fokus

Karena laser merupakan cahaya yang diperkuat akibat refleksi maka cahaya yang dikeluarkan bergerak lurus dan terarah pada satu titik.

Laser Diode adalah komponen semikonduktor yang dapat menghasilkan radiasi koheren yang dapat dilihat oleh mata ataupun dalam bentuk spektrum infra merah (Infrared/IR) ketika dialiri arus listrik. Yang dimaksud dengan Radiasi Koheren adalah radiasi dimana semua gelombang berasal dari satu sumber yang sama dan berada pada frekuensi dan fasa yang sama juga.

Panjang Gelombang (Wavelength) terlihat yang terbuat dari GaAs Dioda Laser pertama kali diperkenalkan oleh Nick Holonyak Jr yaitu seorang Ilmuwan yang bekerja di General Electric pada tahun 1962. Pada dasarnya, Dioda Laser hanyalah salah satu jenis perangkat ataupun teknologi yang dapat menghasilkan sinar Laser. Jenis-jenis perangkat

ataupun Teknologi lainnya yang dapat menghasilkan sinar Laser diantaranya adalah Solid-state Laser, Laser Gas, Laser Excimer dan Dye Laser.

Berdasarkan cara kerjanya, Dioda Laser dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu Injection Laser Diode (ILD) dan Optically Pumped Semiconductor Laser. Cara kerja Injection Laser Diode memiliki berbagai kemiripan dengan LED (Light Emitting Diode). Kedua-duanya dibuat berdasarkan proses dan teknologi yang hampir sama. Perbedaan utama pada Dioda Laser adalah adanya sebuah saluran atau kanal panjang yang sempit dengan ujung yang reflektif. Kanal tersebut berfungsi sebagai penuntun gelombang pada cahaya. Kanal tersebut biasanya disebut dengan Waveguide.

Pada pengoperasiannya, arus mengalir melalui persimpangan P-N (P-N Junction) dan menghasilkan cahaya seperti pada LED (Light Emitting Diode). Pancaran Fotonnya (Photon) disebabkan oleh bergabungnya kembali Elektron dan Lubang (Holes) di daerah persimpangan PN. Namun cahaya tersebut hanya dibatasi didalam waveguide (penuntun cahaya) pada Dioda Laser sendiri. Di Waveguide ini cahaya Laser direfleksikan dan kemudian diperkuat sehingga menghasilkan emisi terstimulasi sebelum dipancar keluar.(Saputro & Darwis, 2020)

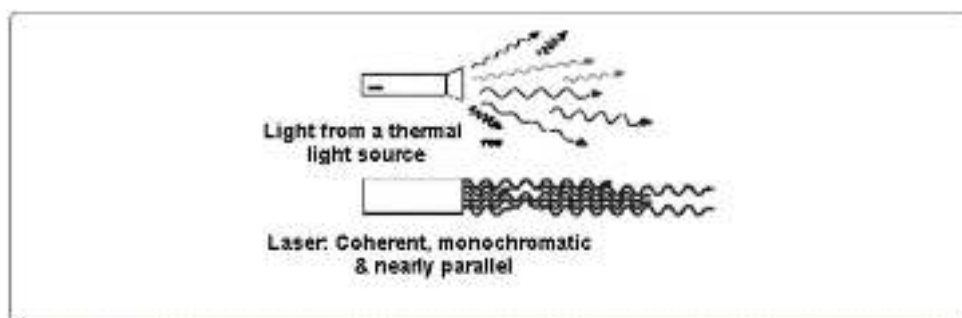


Gambar 2.10 *Laser Module*

Proses hybrid [LASER + computer numerical control (CNC) machining] digunakan untuk membuat panduan gerak linier. Laser dengan daya 20 W dan pusat permesinan CNC tiga sumbu digabungkan untuk membuat alur pelumasan skala mikro pada permukaan kontak pemandu linear selebar 5

mm yang terbuat dari bahan SCM-440H. Kecepatan fabrikasi ablasi ditingkatkan hingga 1.000 mm / menit (atau 16,7 mm / s) dengan kualitas ablasi yang bagus tanpa keausan alat. Nilai rata-rata ukuran pola alur pelumasan diukur dengan lebar antara 40 dan 80 μm dan antara 150 dan 275 μm secara mendalam dengan pengulangan pulsa laser 25 kHz. Perangkat optik yang dirancang khusus cukup kompak untuk dipasang pada mesin CNC. Itu dipasang pada spindel CNC dan terbukti cukup fleksibel untuk mengirimkan sinar laser ke benda kerja. Kualitas ablasi skala mikro dari permukaan memiliki kualitas yang cukup untuk diadopsi pada sebagian besar aplikasi yang berhubungan dengan gerakan linier. (Shin et al., 2010).

Sinar laser (Gbr. 1) yang dipancarkan dari laser memiliki empat karakteristik dasar: Intensitas, Koherensi, Monokromatisitas, dan Kolimasi (Fokus), yang membedakannya dari cahaya alami. Sinar laser memiliki konsentrasi energi tinggi untuk per satuan luas sinarnya. Sinar laser bisa memiliki intensitas yang sangat tinggi dengan diameter sinar 1–2 mm dan daya keluaran dari beberapa miliwatt (mW).



Gambar. 2.11 Perbedaan antara sinar biasa dan sinar laser

Semua laser tidak bertenaga meskipun dalam cahaya dengan intensitas tinggi karena intensitas diperkirakan dari keluaran / area daya.

Dari Gambar. 1 dapat diamati bahwa cahaya biasa (dari sumber panas) tidak ko-heren, yaitu gelombang cahaya dihasilkan pada waktu yang berbeda akan merambat ke semua arah yang memungkinkan bergerak

secara acak. Sementara, sinar laser seperti yang ditunjukkan pada gambar memiliki gelombang berada dalam fase koheren saat mereka merambat. Cahaya biasa terdiri dari semua warna di wilayah yang terlihat, tetapi sinar laser terdiri dari satu warna atau monokromatik. Sifat koheren selain monokromatisitas menghasilkan laser yang sangat terkolimasi (sinar yang sejajar). Karena semua gelombang merambat dalam fase yang sama dalam garis paralel, hampir tidak ada perbedaan seperti yang diamati pada cahaya. (Nayak & Padhye, 2016)

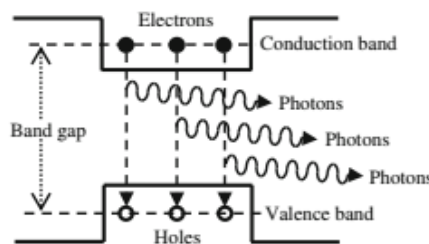
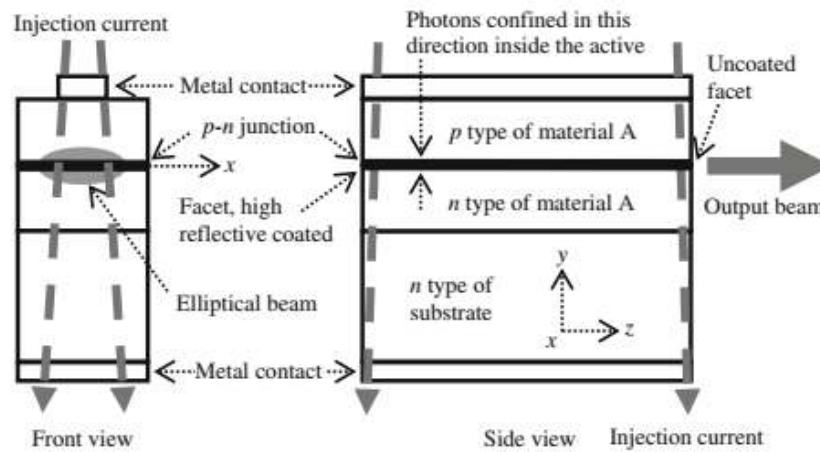
Untuk produksi sinar laser, bahan penguat dirangsang dengan muatan listrik dalam wadah tertutup. Sejumlah cermin parsial membantu dalam beberapa refleksi internal yang menghasilkan koherensi dan keluaran daya yang diinginkan. Cermin atau perangkat optik lainnya membantu memfokuskan laser ke lensa, yang kemudian memantulkan laser ke zona kerja. Untuk memungkinkan tindakan pemotongan dengan laser menjauh dari tepi, itu harus ditusuk sebelum pemotongan laser menggunakan sinar laser dengan daya tinggi.

a) Homojungsi sinar laser

Sinar dioda laser dihasilkan di dalam lapisan aktif. Dioda laser paling awal memiliki homojungsi tipe-p-n sebagai lapisan aktif. Sambungan p-n terbuat dari bahan yang sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. Lapisan aktif memiliki ketebalan submikron.

Ketika arus listrik diinjeksikan melalui p-n junction, elektron yang berada pada pita konduksi dan bagian lubang berada pada pita valensi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. Ada celah energi antara kedua pita. Elektron pada tingkat energi yang lebih tinggi dapat bergabung kembali dengan lubang pada tingkat energi yang lebih rendah dan memancarkan foton. Foton terutama dibatasi di dalam lapisan aktif dan hanya dapat berjalan di dalam lapisan aktif dalam arah z ditunjukkan pada Gambar 2.12. Saat sinar laser keluar,

beberapa foton diserap oleh bahan lapisan aktif yang menjadi mekanisme hilangnya sinar laser.



Gambar. 2.12 Perbedaan antara sinar biasa dan sinar laser

Beberapa foton yang terinduksi, akan menghasilkan lebih banyak elektron. Sedangkan, rekombinasi lubang menghasilkan lebih banyak foton di dalam lapisan aktif. Ini adalah mekanisme penguatan laser. Bagian sisi dari lapisan aktif ini dilapisi dengan pantulan tinggi untuk memberikan pantulan $> 99\%$. Sedangkan, sisi lapisan aktif lainnya tidak memiliki lapisan dengan reflektifitas alami sekitar 30-40%. Ketika foton berada di sisi yang tidak dilapisi, sebagian dari foton ditransmisikan melalui bagian faset dan menjadi sinar laser output, ini adalah mekanisme hilangnya sinar laser lainnya. Bagian foton yang tersisa dipantulkan oleh faset, bergerak mundur di dalam lapisan aktif, dan menginduksi lebih banyak elektron dan

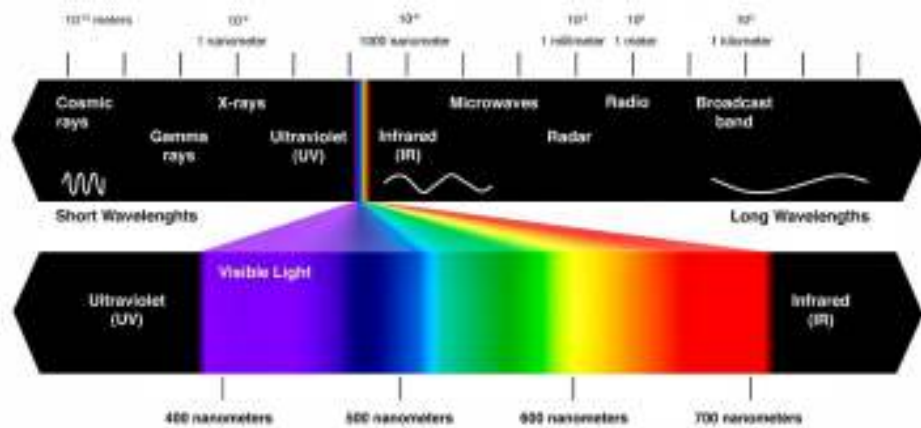
rekombinasi lubang, sehingga menghasilkan lebih banyak emisi foton. Proses ini akan berlanjut bila memiliki cukup elektron dan suplai lubang. Banyaknya besaran penguatan sebanding dengan suplai elektron dan hole atau besaran arus injeksi.

Meskipun dioda laser homojunction tidak lagi diproduksi, struktur homojunction masih memadai untuk digunakan untuk menggambarkan prinsip kerja dioda laser.

b) Panjang Gelombang

Panjang gelombang dioda laser berkisar dari ultraviolet hingga inframerah. Opsi lebar panjang gelombang adalah salah satu keunggulan utama dioda laser dibandingkan jenis laser lainnya. Karena toleransi pembuatan, dioda laser biasanya memiliki toleransi panjang gelombang ± 5 nm atau lebih. (Sun, 2015a)

Dari beberapa eksperimen dapat dilihat hasil spektrum gelombang cahaya seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 2.13 Spektrum gelombang elektromagnetik

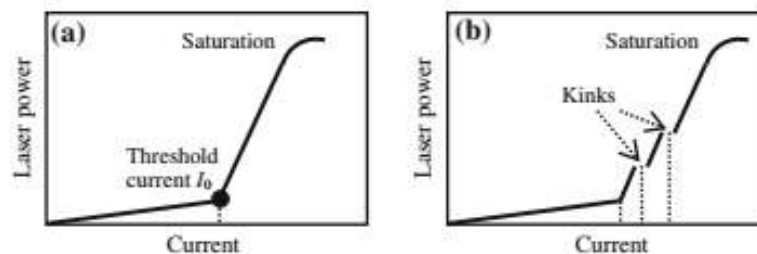
Beberapa panjang gelombang dioda laser yang umum digunakan dapat dilihat di bawah ini:

Tabel 2.1 Jenis- Jenis Panjang Gelombang Pada Laser Dioda Secara Umum

375 nm	405 nm	445 nm	473 nm	485 nm	510 nm	635 nm
640 nm	657 nm	670 nm	760 nm	785 nm	808 nm	848 nm
980 nm	1.064 nm	1.310 nm	1.480 nm	1.512 nm	1.550 nm	1.625 nm
1.654 nm	1.877 nm	2.004 nm	2.330 nm	2.680 nm	3.030 nm	3.330 nm

c) Power (Daya)

Dioda laser dapat mengeluarkan daya laser gelombang kontinu (CW) mulai dari beberapa mW untuk dioda laser mode transversal tunggal hingga beberapa kW untuk tumpukan dioda laser. Kurva arus injeksi daya versus listrik tipikal terlihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.14a, kurva ini disebut kurva $L \sim I$. Efisiensi lereng didefinisikan sebagai



Gambar 2.14 bentuk grafik tegangan terhadap daya laser

$$\eta = \frac{P}{I - I_0} \quad (1.5)$$

di mana P adalah daya laser, I dan I_0 adalah arus operasi dan ambang, masing-masing. Ketika arus di bawah ambang batas, dioda laser hanya memiliki emisi spontan; yaitu, cahaya yang lemah dan menyebar dengan panjang gelombang yang sama dengan sinar laser. Intensitas emisi spontan perlahan meningkat seiring dengan peningkatan arus. Di ambang batas, keuntungan penguat sama

dengan jumlah semua kerugian. Ketika arus injeksi berada di atas ambang batas, dioda laser memulai penguat, daya laser meningkat dengan cepat saat arus dinaikkan. Saat arus terus meningkat, kemiringan kurva akan berkurang secara bertahap; daya laser mencapai tingkat jenuhnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.14a.

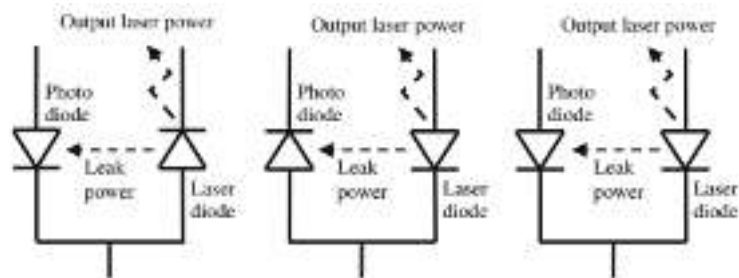
Penggunaan dioda laser harus secara perlahan meningkatkan arus hingga daya laser mencapai level yang ditentukan oleh lembar data untuk menghindari overdrive dioda laser. Sepersekian detik dari overdriving dapat meledakkan sebagian atau seluruhnya dioda laser. Level arus ambang adalah dari puluhan hingga ratusan mA untuk berbagai jenis dioda laser.

Terkadang, kurva $L \sim I$ mengalami penyusutan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14b. Kinks adalah fenomena lompatan mode longitudinal, karena perubahan arus akan mengubah panjang optik rongga laser dan suhu, dan menyebabkan mode hopping atau kink. Untuk aplikasi CW, arus laser harus disesuaikan jauh dari titik ketegaran. Untuk aplikasi yang dimodulasi, gesekan saat ini pada kisaran yang mungkin menutupi titik-titik ketegaran, kemudian ketegaran dapat mempengaruhi aplikasi. Beberapa dioda laser dijamin bebas kusut dalam rentang operasi yang ditentukan.

d) Electrical Properties

Dioda laser dapat digerakkan oleh sumber daya DC sekitar 12 V atau lebih tinggi seperti baterai. Lembar data dioda laser harus menentukan tegangan sumber daya. Efisiensi konversi energi listrik ke laser dari dioda laser ditentukan oleh Persamaan. (1,5) dan berada dalam kisaran 0,5 mW / mA. Sirkuit internal dioda laser dapat sedikit berbeda untuk berbagai jenis dioda laser. Gambar 2.15. menunjukkan tiga sirkuit internal tipikal dalam kaleng dioda laser. Fotodioda di sirkuit internal secara fisik dipasang di belakang sisi

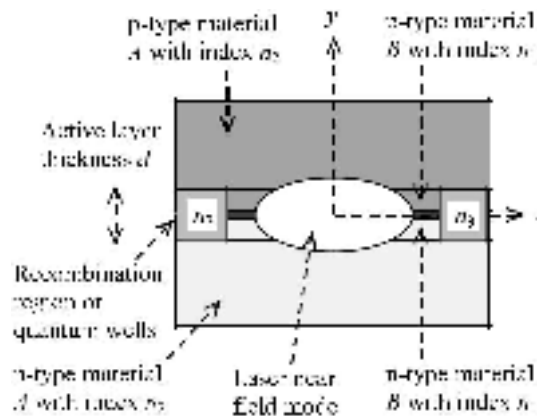
belakang lapisan aktif dioda laser untuk mengambil daya laser kecil yang bocor melalui sisi belakang yang dilapisi pantulan tinggi. Arus keluaran fotodiode sebanding dengan daya laser dan digunakan sebagai umpan balik dalam loop sirkuit untuk menstabilkan daya laser. Perlu dicatat bahwa modul dioda laser tidak dapat dioperasikan secara bersamaan pada mode stabil daya dan mode stabil saat ini tanpa kontrol suhu. Karena pada level arus konstan, temperatur perubahan akan mengubah daya laser, atau pada tingkat daya konstan, perubahan suhu membutuhkan arus yang berbeda. Stabilisasi daya adalah salah satu fungsi dasar modul dioda laser. Pengguna dioda laser harus memeriksa lembar data untuk menemukan bagaimana rangkaian internal terhubung ke pin paket. Sirkuit yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. hanya memadai untuk operasi dioda laser DC. (Sun, 2015a)



Gambar 2.15 Internal Circuit dioda laser

2.3. Karakteristik

Ketebalan lapisan aktif $d \approx 0,1 \mu\text{m}$, lebar lapisan aktif $w \approx 3,6 \mu\text{m}$, indeks bias bahan lapisan aktif adalah $n_1 \approx 3,5$, indeks bias bahan di luar lapisan aktif ke berikan kurungan arah y adalah $n_2 \approx 3,4$, indeks bias material untuk memberikan kurungan arah x adalah $n_3 \approx 3,49$, dan panjang gelombangnya adalah $\lambda \approx 1 \mu\text{m}$. (Sun, 2015b).



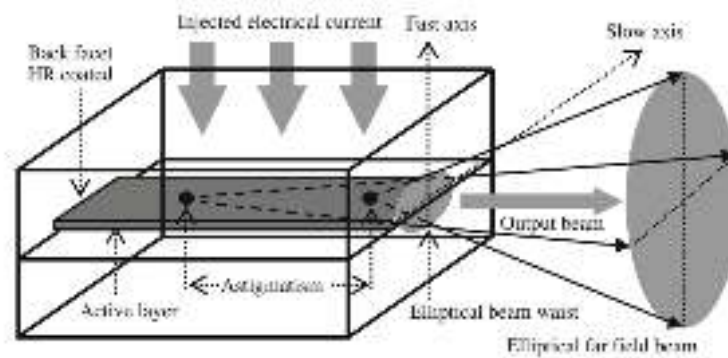
Gambar 2.16 Skema struktur lapisan aktif dan mode medan dekat dioda laser mode spasial tunggal.

2.3.1. Sinar Dioda Laser Mode Transversal Tunggal

2.3.1.1. Elliptical Beams / balok

Ketika dioda laser dioperasikan, sebagian dari bidang laser akan memancarkan melalui salah satu bagian dari lapisan aktif menjadi sinar laser yang dipancarkan. Karena lapisan aktif dioda laser memiliki penampang berbentuk persegi panjang dan bagian bidang laser akan keluar melalui lapisan aktif karena adanya lapisan dinding yang memiliki bentuk seperti elips, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.17. Ukuran pancaran dari emisi yaitu sekitar satu mikron ke arah vertikal ke lapisan aktif dan beberapa mikron ke arah horizontal ke lapisan aktif. Rasio beam elips biasanya terdiri dari 1: 2 sampai 1: 4. Divergensi beams medan jauh juga berbeda pada vertikal dan arah horizontal dengan rasio tipikal 2 : 1 – 4 : 1. Karena divergensi berkas lebih besar pada arah vertikal, maka arah ini sering disebut dengan arah “sumbu cepat”. Kemudian, arah horizontal disebut arah “sumbu lambat”, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Saat balok merambat, ukuran balok dalam arah sumbu cepat akan melebihi ukuran balok / beams pada arah sumbu lambat, karena perbedaan balok lebih besar pada arah sumbu cepat. Bentuk balok akan menjadi elips vertikal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Berkas berbentuk elips merupakan salah satu karakteristik dioda laser yang tidak diinginkan. Balok pada arah sumbu cepat akan melebihi ukuran balok pada arah sumbu

lambat, karena divergensi balok lebih besar dari arah sumbu cepat. Bentuk balok akan menjadi elips vertikal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.17.



Gambar 2.17 Dioda laser memiliki lapisan aktif yang tipis. Sinar laser yang dipancarkan yang ditampilkan adalah berbentuk bulat panjang, sangat berbeda, dan astigmatik.

Sinar dioda laser yang terpolarisasi linier memiliki rasio polarisasi yang tinggi mulai dari sekitar 50 : 1 hingga sekitar 100: 1 pada dioda laser mode TE tunggal, dan sekitar 30 : 1 untuk dioda laser mode multi-TE garis lebar. Polarisasi berada pada arah sumbu lambat. Rasio polarisasi tinggi dari sinar dioda laser dapat menguntungkan atau merugikan, tergantung pada jenis aplikasinya. Sebagai perbandingan, kebanyakan Dia - Sinar laser Ne terpolarisasi secara acak. (Sun, 2015a)

2.4 Material Serat Kain

2.4.1 Katun textile (Cotton Fabric)

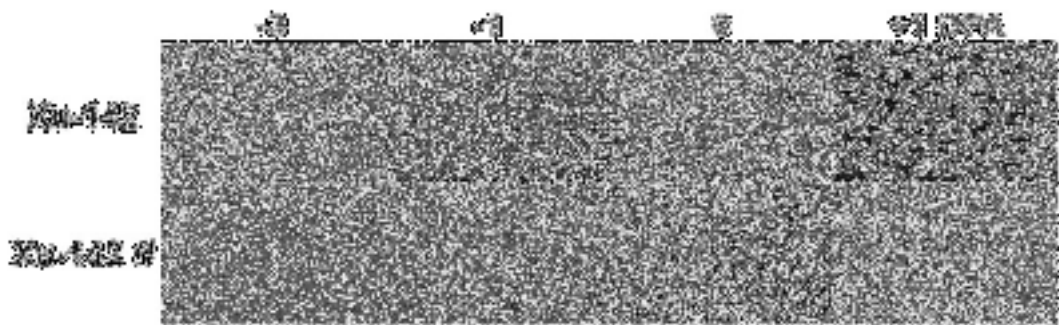
Kain katun merupakan kain dengan jenis serat yang berasal dari tanaman serat katun atau kapas. Tanaman katun merupakan salah satu tanaman serat tekstil alami yang sangat penting, peranan penting dalam penggunaan baik dalam bidang pertanian maupun dalam bidang manufaktur. Serat katun memiliki beberapa kategori kelompok yaitu berdasarkan panjang stapel (panjang rata-rata serat yang membentuk sampel atau bal kapas) dan bentuk tampilannya.

1. Long-Staple Cotton adalah tipe serat halus dan berkilau dengan panjang stapel tipikal sekitar 30 hingga 40 mm, dan termasuk jenis kualitas tertinggi, seperti kapas Sea Island, Egyptian, dan Pima. Karena kesulitan dalam budidaya dan produksinya yang terbatas, kapas long-staple biasanya memiliki harga yang mahal. Namun penggunaan biasanya digunakan untuk kain halus, benang, dan bahan kaus kaki.
2. Medium-staple cotton, seperti American Upland, dengan panjang stapel sekitar 25 hingga 33 mm. Kapas medium-staple merupakan tipe serat yang sering ditemui di pasaran. Hampir sekitar 90% dari produksi dunia saat ini dari serat kapas mentah. Serat ini banyak digunakan untuk pakaian, perabot rumah tangga, dan produk industri.
3. Short staple cotton adalah kapas dengan bentuk struktur yang kasar, dengan panjang berkisar antara 10 hingga 25 mm, biasanya tipe serat ini dijadikan bahan pakaian. Namun, tipe serat ini tidak memiliki kualitas yang baik dalam produksi pakaian.

Bentuk warna katun biasanya yang umumnya adalah pure white dan dirty grey. Namun, kualitas kapas standar mengklasifikasikan warna menjadi warna putih, light spotted, spotted, tinged, yellow stained, and abu muda. Serat katun yang berkualitas biasanya memiliki berat yang ringan dan berwarna pure white (Yu, 2015).

Ada banyak sifat fisik yang mempengaruhi kualitas Serat Katun. Sifat-sifat ini, misalnya, panjang, kekuatan, warna, mikronaire, kehalusan, dan kematangan, semuanya harus diukur untuk tujuan yang berbeda dalam penelitian dan aplikasi industri. Memang, kualitas kapas berarti banyak hal yang berbeda tergantung di mana dalam rantai pasokan seseorang berada. Misalnya, berbagai parameter kualitas serat memiliki tingkat kepentingan yang berbeda tergantung pada produk yang diproduksi dan penggunaan akhir selanjutnya. Salah satu titik kritis untuk mengevaluasi sifat serat kapas

adalah klasifikasi kapas. Klasifikasi kapas adalah proses penetapan nilai untuk memungkinkan pasar menilai serat ginned dengan benar, memfasilitasi perdagangan kapas. Klasifikasi berfokus pada sifat kapas tradisional dari warna, panjang, kekuatan, micronaire, dan konten non-serat (yaitu, sampah). Ada banyak parameter tambahan yang dapat diukur dan digunakan untuk memahami sampel serta katun; ini termasuk distribusi sifat rata-rata curah yang diukur dalam klasifikasi, kematangan dan kehalusan serat, sifat tarik serat tunggal, serat kusut, dan kandungan serat pendek. (Delhom et al., 2018)



Gambar 2.18 Scanning Electron Micrograph (SEM) dari *Cotton Fabric textile*

Pada dasarnya setiap jenis serat alami dan buatan. Masing masing memiliki bentuk dan karakteristik yang berbeda. Pada penjelasan dibawah ini menunjukkan sifat karakteristik dari jenis serat katun, kenaf dan polyester. Untuk memahami lebih lanjut dapat dilihat pada tabel 2.2. berikut ini (Ben Mlik et al., 2016) :

Tabel 2.2 Sifat mekanik dan fisik serat katun.

Fiber	Cotton	Kenaf	Polyester
Tenacity (cN/Tex)	25	16.4	68
Diameter (μm)	10	64	14

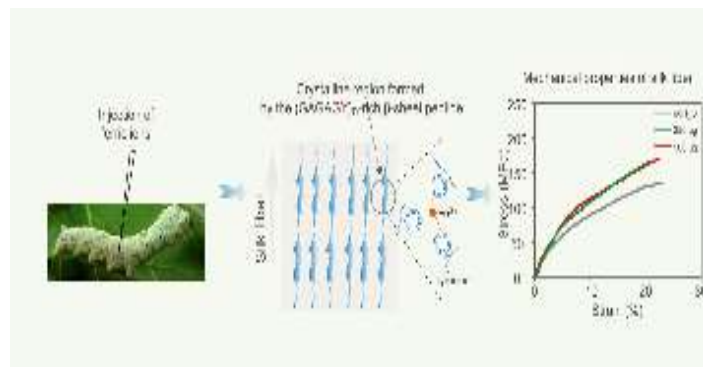
Mean length (mm)	28	37	48
Density (Dhakal et al., 2007)	1.5	1.2	1.38
E (GPa) (Bledzki & Gassan, 1999)	5.5 – 12.6	53	4

2.4.2 Silk Textile / Silk Fabric

Serat sutera, yang dibuat/ dipintal oleh ulat sutera, adalah bahan yang banyak digunakan untuk tekstil, medis, militer dan aplikasi lainnya karena bahannya yang melimpah dan sifat mekanik yang baik seperti ketangguhan dan perpanjangan. Namun, tekanan dan kekakuan serat ulat sutera tidak sebanding dengan serat sintetis atau sutera alami lainnya seperti sutera laba-laba (Fu et al., 2009).

Cacat pada kinerja mekanis sutera sehingga membatasi penggunaan sutera di area kinerja tinggi. Studi untuk meningkatkan sifat mechanical sutera sangat aktif dan berbagai metode telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir (Liu et al., 2018).

Serat fibroin sutera (*B. mori*) yang diproduksi secara alami memiliki kekuatan tarik tertinggi 300–740 Mpa (Cunniff et al., 1994; Shao & Vollrath, 2002; Sirichaisit et al., 2003). Ia juga memiliki tegangan putus yang besar dan ketangguhan yang tinggi melebihi serat sintetis seperti Kevlar. Properti mekanik terdaftar di Tabel 2.1 bersama dengan serat alami dan sintetis lainnya.



Gambar 2.19 Struktur serat sutera

Tabel 2.3 Data Mekanis Sutra Ulat Sutra Bersama Dengan Bahan Berserat Lainnya

Bahan	Modulus Young (GPa)	Kekuatan tarik (MPa)	Memutus ketegangan (Perpanjangan) (%)	Ketangguhan (MJ m ⁻³)
Serat sutra ulat sutra (Bombyx mori)	10–17	300-740	4–26	70–78
lembar kristalit (Bombyx mori)	16–18	-	-	-
lembar kristalit (Bombyx mori)	22.6	-	-	-
Sutra laba-laba (Nephila clavipes)	10.9	875	16.7	-
Sutra laba-laba (Nephila edulis)	-	1300	38	200
Sutra laba-laba (Araneus)	10	1100	27	160

Pada serat sutra wild terdiri dari β -Sheet dan α -helix ataupun sebaliknya. Namun, dari kandungan tersebut memiliki nilai yang berbeda. Sutra wild memiliki kandungan β -Sheet sekitar 14% hingga 23% sedangkan kandungan α -helix umumnya antara 10% dan 9%.(Fang et al., 2016).

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh (Fang et al., 2016). Dihasilkan bentuk kekuatan tarik serat sutra seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.4 Data kekuatan tarik serat dan kandungan β -Sheet dan α -helix dari beberapa jenis serat sutra.

Sample	Modulus, GPa	Stress, GPa	Strain, %	Breaking energy, MJ/m ²	β -Sheet, %	α -Helix, %	Random coil, %
B. mori white	9.6±0.6	0.69±0.02	38.5±0.4	1847±32	-	-	-
B. mori yellow	8.7±0.4	0.61±0.03	43.8±3.9	176±28	-	-	-
Nariva ricini	6.7±0.3	0.55±0.02	47.3±6.1	196±24	7.0±2.0	10.3±0.3	66.9±1.1
Anticarsa ananensis	4.5±0.3	0.49±0.02	55.0±5.3	148±16	19.9±2.0	15.5±1.2	61.5±2.2
Anticarsa ananensis	1.9±0.2	0.38±0.01	83.8±1.1	79±28	13.7±0.7	13.8±0.8	71.3±1.3

2.4.3 Wool Fabric

Serat wol memiliki struktur hierarki yang kompleks, yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 3.5. Seperti yang telah disebutkan, protein belerang rendah dapat membentuk struktur heliks yang berkumpul menjadi filamen perantara seperti batang (mikrofibril). (Bunsell, 2018)



Gambar 2.20 Scanning Electron Micrograph (SEM) dari serat, menunjukkan sel kutikula yang saling membungkus.

Pada penelitian ini digunakan jenis benang di pasaran yakni benang wol. Karakterisasi meliputi kekuatan benang, elongasi, tenacity dan modulus Young. Berdasarkan hasil uji tarik didapatkan nilai kekuatan, elongasi dan tencity dari benang. Nilai kekuatan benang wol berkisar 1269,09 gram-1551,32 gram. Dari kurva hasil uji tarik dapat diestimasi nilai modulus

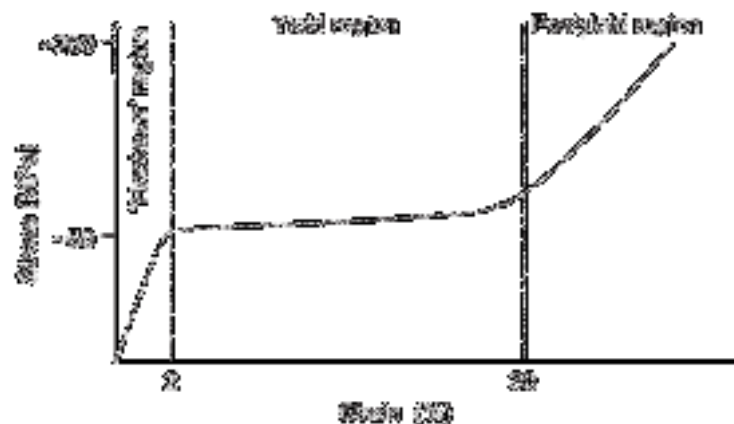
Young dari benang wol yang ada di pasaran yaitu 295 MPa-439 MPa. (Rahmayanti et al., 2019)

Tabel 2.5 Sifat Dan Karakteristik Benang Wol

Sifat	Karakteristik
Tampilan Mikroskopis	Berkerut
Panjangnya	Sifat Stapel, Hingga 40 cm
Warna	Umumnya putih krem
Kilauan	Tinggi
Kekuatan	Tinggi
Elastisitas	Baik
Ketahanan	Tinggi
Daya Serap Air	Awalnya Cenderung menolak, tetapi daya serap air baik
Panas	Mengeras pada suhu 100° C/212° F, terurai pada suhu yang lebih tinggi
Sifat Mudah terbakar	Hangus pada suhu 204° C/ 400° F, akan gosong

Sumber : (Nasution et al., 2018)

Kurva regangan dan tegangan serat wool, yang menunjukkan sifat mekanis dari wool, ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Style kurva stress strain untuk wol, menunjukkan daerah Hookean, hasil dan postyield (sumbu x telah terdistorsi)

untuk menunjukkan daerah Hookean dengan lebih jelas).

Kekuatan jenis serat wool diantara serat lainnya memiliki kekuatan tarik dengan range dari 120 – 174 MPa. Dengan elongasi 25 – 35 % dan perpanjangan 2340 – 3420 MPa. Dari hasil ini dapat dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan oleh (Kim et al., 2015) :

Tabel 2.6 Perbandingan Sifat Karakteristik serat wool

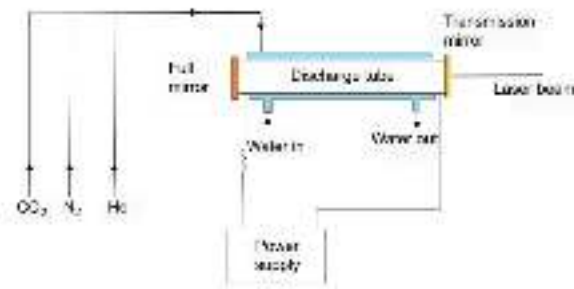
Fiber	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's modulus (Mpa)
Wool	120 - 174	25 - 35	2340 - 3420
Flex	300 - 900	2.7 - 3.2	24000
Jute	342 - 672	1.7 - 1.8	43800
Sisal	444 - 552	2.0 - 2.5	-
Ramie	348 - 816	3.6 - 3.8	53400

2.5 Elemen Sumber Sinar Laser

2.5.1 Elemen sumber sinar laser

Beberapa komponen sumber sinar laser menghasilkan sinar laser. Mereka adalah media aktif laser, sumber energi, resonator optik, dan sistem pendingin (lihat Gambar 10.1).

Media aktif / penguatan / laser - Media aktif laser adalah gas yang mengirimkan sebagian energi emisi berupa radiasi laser. Sinar laser biasanya di hasilkan dari dioda laser dan CO₂ laser yang terdiri dari tiga gas komponen yaitu: karbondioksida (CO₂), nitrogen (N₂), dan helium (He) dengan perbandingan 1: 2: 3 (pusat aktifnya adalah molekul karbondioksida karena laser akan dicapai karena molekul ini). Tiga gas dicampur dalam tabung pembuangan tertutup.



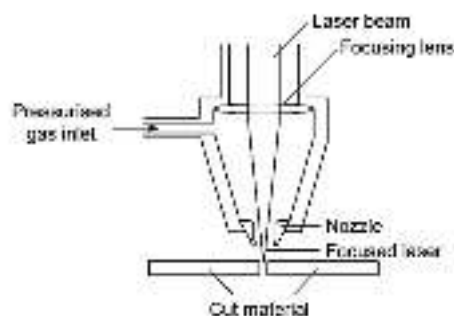
Gambar 2.22 Skema komponen laser cutting

2.5.2 Cutting head (processing head)

Bagian utama dari kepala pemotongan adalah lensa pemfokusan dan nosel pemotong. Dengan bantuan lensa, sinar laser difokuskan ke permukaan material untuk pemotongan atau pengukiran.

2.5.3 Lensa Fokus

Sinar laser yang hampir sejajar, yang dihasilkan oleh beberapa cermin eksternal, digabungkan dengan lensa khusus yang dipasang di kepala pemotongan laser. Sinar laser difokuskan dengan tepat sehingga bentuk titik fokus bulat sempurna dan berpusat di nosel. Lensa menciptakan diameter berkas sinar yang lebih kecil untuk mengurangi penyimpangan bola dan limbah berkas saat memotong dan untuk meningkatkan kerapatan daya pada permukaan material yang dipotong.



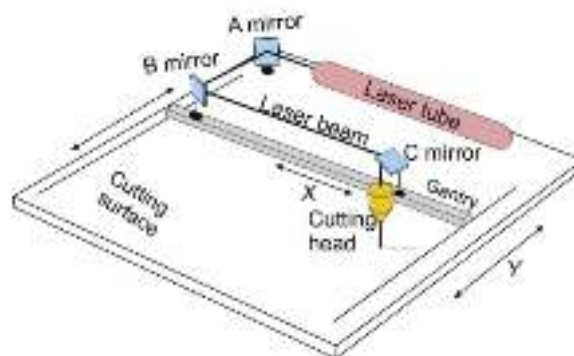
Gambar 2.23 Kepala / Head pemotong laser

2.5.4 Sistem tool laser cutting

Ada dua sistem dasar untuk memandu alat pemotongan laser, sistem gantry dan sistem galvanometer (galvo).

2.5.5 System gantry laser cutting

Sistem pemotongan laser gantry (linier, alas datar) bekerja mirip dengan pemotong pisau. Perangkat pemotongan laser dipasang pada gantry yang bergerak di sepanjang serangkaian trek (lihat Gambar 10.3). Perangkat pemotongan ini didukung oleh beberapa motor servo yang menggerakkan kepala pemotongan laser ke arah X, Y ataupun Z. Gerakan sumbu Z dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan panjang fokus perubahan kepala pemotongan. Sinar difokuskan melalui lensa ke benda kerja. Desain grafis (gambar CAD) dari komponen yang diproses dan dimuat ke dalam perangkat lunak kontrol sistem laser. Perangkat lunak kontrol kemudian mengarahkan perangkat pemotongan di area kerja dalam gerakan linier dalam mode vektor atau raster (lihat Bagian 10.2.2.3)(Vilumsone-Nemes, 2018)



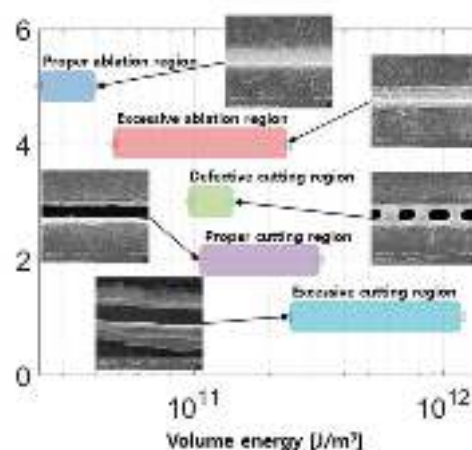
Gambar 2.24 Gantry System pada mesin sebagai penggerak pemotongan

Pemotongan menggunakan laser cutting merupakan teknik pemotongan dengan memanfaatkan radiasi panas yang dipancarkan dengan panjang gelombang tertentu untuk menghasilkan garitan potong pada material yang membuat objek terpisah dari bagiannya. Pada proses pemotongan terdapat beberapa parameter penting yang mempengaruhi

hasil potongan yaitu tekanan, fokus cahaya laser, panjang gelombang, penggunaan daya dan kecepatan potong. Kualitas pemotongan tergantung pada kombinasi parameter proses seperti daya laser, jenis dan tekanan, kecepatan pemotongan, ketebalan lembaran, frekuensi dan komposisi kimia yang digunakan (Gadallah & Abdu, 2015).

2.6 Dasar Studi Eksperimental karakteristik Pemotongan / Cutting

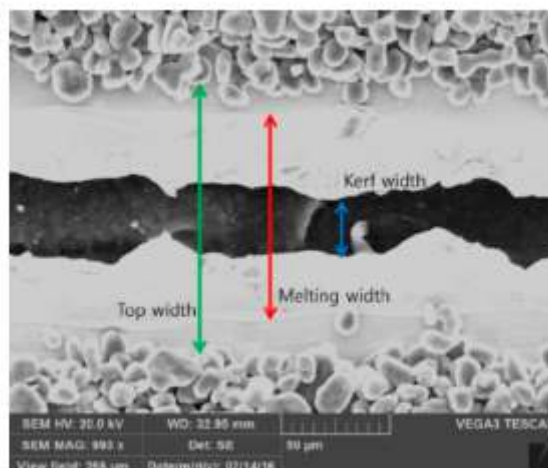
Dalam studi eksperimental, terdapat beberapa tipe pemotongan pada laser cutting yaitu sublimasi, melting, dan burning. Sublimasi pada proses cutting merupakan proses penguapan material diakibatkan oleh intensitas radiasi laser yang tinggi pada area pemotongan. Selain proses sublimasi pada area potong, sinar laser juga dapat melakukan peleburan atau pencairan pada area potong diakibatkan oleh tekanan gas pada laser cutting. Proses peleburan ini disebut melting (peleburan). Sedangkan area potong yang mengalami proses pembakaran disebut proses burning. Proses burning merupakan proses radiasi dari sinar laser memberikan efek kenaikan suhu. Sehingga, terbakar secara eksoterm dengan gas reaktif (misalnya, oksigen), dan terak dihapus dari area pemotongan oleh gas tambahan. (Badoniya, 2018).



Gambar 2.25 Area potong yang dihasilkan dari sinar laser cutting

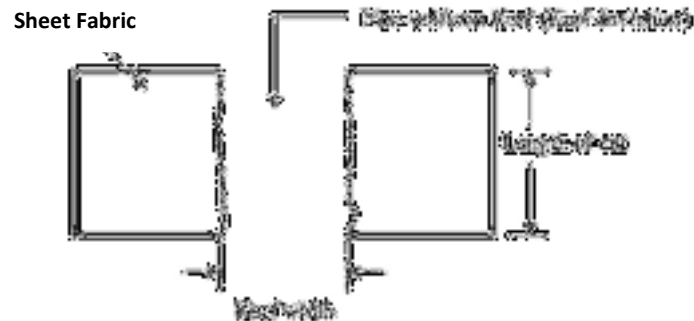
Area potong yang dihasilkan pada pemotongan memiliki beberapa kategori wilayah yang biasa terjadi pada hasil potongan yaitu area proper ablation region, excessive ablation region, defective cutting region, proper cutting region, excessive cutting region.

Pada proses penyubliman, area yang habis akibat radiasi sinar laser di sebut dengan kerf width (lebar garitan). Area kerf width diukur menggunakan microscope dengan perbesaran tertentu. Area tersebut memiliki bagian yang terdiri dari lebar kerf, melting area dan top width. Karakteristik kualitas lebar garitan juga disebut sebagai area karakteristik geometris potongan. Area ini diukur pada bagian celah yang dihasilkan dari hasil pemotongan (Lee & Suk, 2020).



Gambar 2.26 Area Lebar Potongan dari hasil potong laser cutting.

Area kerf width ini merupakan area yang paling penting dalam potongan karena keberhasilan potongan bergantung pada struktur geometri yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran kerf width. Maka, hasil potong juga akan semakin baik. Namun, tingkat keberhasilan kerf width pemotongan di ukur berdasarkan objek yang terpotong dan menghasilkan lebar potongan di area pola yang dilalui oleh jalur sinar radiasi laser cutting. Berikut ini menjelaskan area potong lebar garitan / kerf width pada hasil potongan laser cutting (Gadallah & Abdu, 2015) :



Gambar 2.27 Skema Garitan Potongan Laser.

Sedangkan bagian pengukuran pemotongan side line length (SLL) merupakan area yang membentuk persegi panjang. Area ini di ukur pada bagian tepi dalam dan bagian yang lurus dari hasil pemotongan (Yusoff et al., 2010).

Material Removal Rate (MRR) adalah jumlah penghapusan massa benda dalam satu – satuan waktu. MRR dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$MRR = Tb \times Vs \times KW \quad (1)$$

Dimana :

MRR : Material Removal Rate

Tb : Tebal Benda Kerja

Vs : Kecepatan Pemotongan

KW : Kerf Width

Proses permesinan pada CNC laser cutting memiliki efek dalam pemotongan yaitu overcut. Overcut adalah penyimpangan ukuran dari pemotongan akibat proses peleburan disebabkan pembakaran pada area cutting. Overcut ini dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini :

$$Poc = \frac{Du - Da}{Da} \quad (2)$$

Dimana :

Poc = Persentase Overcut

Du = Dimensi Terukur

Da = Dimensi Aktual

2.7 Uji Anova

Analisis variansi adalah metode statistik untuk menganalisis efek satu atau lebih variabel independen berskala kategorik, yang dinamakan 'faktor', terhadap variabel dependennya, yaitu responsnya yang berskala kontinu. (Harlan, 2018)

Analisis variansi 1-arah (*oneway analysis of variance; oneway ANOVA*) adalah analisis statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan antar lebih daripada dua kelompok nilai numerik dengan 1 variabel independen (perlakuan; faktor). Misalkan dimiliki k kelompok nilai numerik, masing-masing berasal dari populasi dengan rerata $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$, maka hipotesis yang diuji pada analisis variansi adalah:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

yang menyatakan bahwa tidak ada efek faktor terhadap respons,

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ untuk paling sedikit 1 pasangan nilai } (i ; j)$$

atau: $H_1 : \text{Tidak semua } \mu_i = \mu_j$

yang menyatakan bahwa ada efek faktor terhadap respons.

Layout penyajian data untuk analisis variansi 1-arah adalah:

Tabel 2.7. Kelompok Perlakuan

	1	2	...	k
y_{11}	y_{12}	...	y_{1k}	
y_{21}	y_{22}		y_{2k}	
...	
y_{n1}	y_{n2}		y_{nk}	
\bar{y}_1	\bar{y}_2		\bar{y}_k	

y_{ij} : Respons responden ke- j pada kelompok ke- i ; $i = 1,2,\dots, k$; $j = 1,2,\dots,n_i$

\bar{y}_i : Rerata respons kelompok perlakuan ke- i

Hasil perhitungan analisis variansi 1-arah biasanya dirangkum dalam sebuah tabel ANOVA, yang *layout*-nya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.8 Pengujian Anova

Sumber variasi	Jumlah kuadrat	Derajat kebebasan	Rerata kuadrat	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	JKP	$k - 1$	$RKP = \frac{JKP}{k-1}$	$F_{hitung} = \frac{RKP}{RKG}$	$F_{(k-1)(n-k)\alpha}$
Galat	JKG	$(n - k)$	$RKG = \frac{JKG}{n-k}$		
Total	JKT	$n - 1$			

JKP : Jumlah kuadrat perlakuan (*Treatment sum of squares*; $SSTr$)

JKG : Jumlah kuadrat galat (*Error sum of squares*; SSE)

JKT : Jumlah kuadrat total (*Total sum of squares*; $SSTo$)

RKP : Rerata kuadrat perlakuan (*Treatment mean of square*; $MSTr$)

RKG : Rerata kuadrat galat (*Error mean of square*; MSE)

Analisis varian (ANOVA) adalah teknik pemeriksaan eksperimen atau efek observasi. Yang menjadi dasar untuk melakukan ANOVA adalah verifikasi

asumsi mengenai homogenitas varians dan distribusi normal variabel ini. (Niedoba & Pięta, 2016)

Uji ANOVA digunakan untuk mengetahui apakah ada perbedaan rata-rata tiga atau lebih populasi. (Widarjono, 2019)

Ada dua uji ANOVA

- yaitu uji ANOVA satu arah (*One way classification*)
- Uji ANOVA dua arah (*Two way classification*)

Asumsi Uji ANOVA:

- Populasi yang diteliti mempunyai distribusi normal
- Sampel independen dan dipilih secara random Populasi yang mana sampel akan kita ambil mempunyai varian yang sama

2.8.1 Uji ANOVA satu arah

Uji ANOVA satu arah digunakan untuk menganalisis apakah terjadi perbedaan rata-rata yang disebabkan oleh satu faktor saja.

Perbedaan rata-rata populasi yaitu variasi total (*total variation*) terdiri dari

- variasi disebabkan perbedaan antar grup (*among groups*) atau variasi perlakuan (*treatment variation*)
- variasi disebabkan perbedaan di dalam grup (*within groups*) atau kesalahan eksperimen (*experimental error*) atau variasi acak (*random variation*).

$$TSS = SST + SSE$$

$$TSS = \text{total sum of squares}$$

$$SST = \text{sum of squares Treatment}$$

$$SSE = \text{Sum of Squares Error}$$

$$TSS = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_G)^2$$

$$\bar{X}_G = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}$$

X_{ij} = observasi ke i di dalam group j

\bar{X}_G = rata – rata seluruh observasi

k = jumlah group

n = jumlah observasi

$$SST = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_j - \bar{X}_G)^2$$

$$SSE = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

\bar{X}_j = rata – rata observasi grup j

2.8.2 Analisis ANOVA dua arah

ANOVA dua arah membandingkan perbedaan rata-rata antara kelompok yang telah dibagi pada dua variabel independen yang selanjutnya disebut faktor. Anda perlu memiliki dua variabel independent berskala data kategorik dan satu variabel terikat berskala data kuantitatif. Anova merupakan singkatan dari analysis of varian adalah salah satu uji komparatif yang digunakan untuk menguji perbedaan mean (rata-rata) data lebih dari dua kelompok.

Analisis ANOVA dua arah ini kita menguji rata-rata perbedan dari dua perlakuan (treatment) yang berbeda.

- Pertama menguji apakah ada perbedaan rata-rata karena *treatment effect*
- Kedua menguji apakah ada perbedaan rata-rata karena *Blocking effect*

Pada kasus penjualan di Yogya Chicken

- *treatment variation* adalah perbedaan penjualan karena lokasi (kolom)
- *Blocking treatment* kita adalah perbedaan penjualan karena hari (baris)

Variasi di dalam ANOVA dua

$$TSS = SST + SSB + SSE$$

$$TSS = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^b (X_{ij} - \bar{X}_G)^2$$

X_{ij} = observasi ke i group j

\bar{X}_G = rata – rata seluruh observasi

k, b = jumlah group dan blok

$$SST = \sum_{j=1}^k b(\bar{X}_j - \bar{X}_G)^2$$

$$SSB = \sum_{j=1}^b k(\bar{X}_j - \bar{X}_G)^2$$

$$SSE = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^b (X_{ij} - \bar{X}_{.j} - \bar{X}_i + \bar{X}_G)^2$$