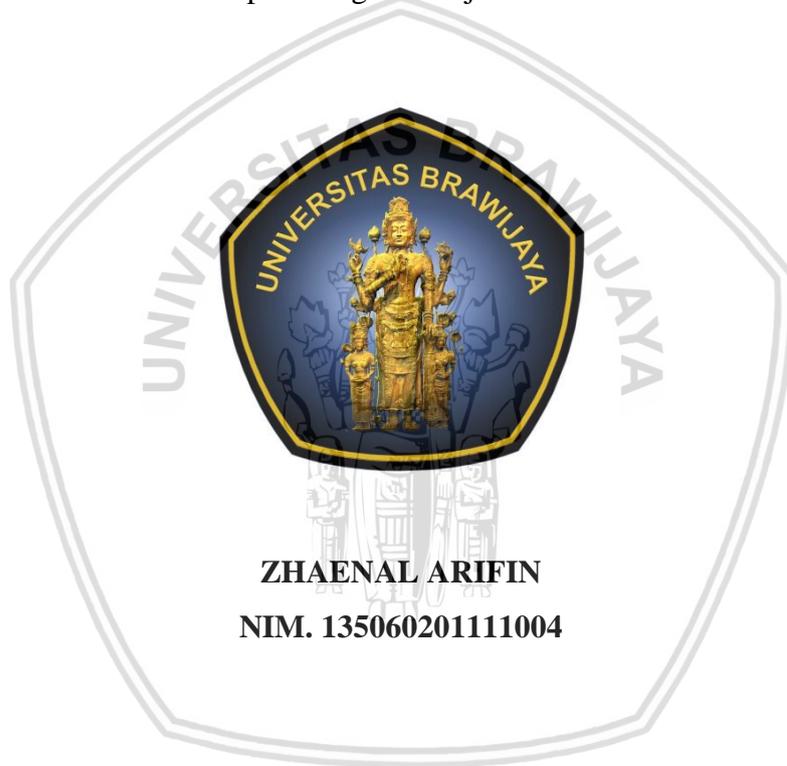


**PENGARUH VARIASI *CUTTING SPEED* TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN SUS 304 PADA PROSES *LASER CUTTING*  
MENGUNAKAN GAS N<sub>2</sub>**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ZHAENAL ARIFIN**  
**NIM. 135060201111004**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2018**

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Komponen <i>Laser Cutting</i> .....	7
Gambar 2.2	Bagian-bagian <i>Laser Cutting</i> .....	8
Gambar 2.3	Prinsip Kerja <i>Laser Cutting</i> .....	9
Gambar 2.4	Titik fokus <i>Laser Cutting</i> .....	10
Gambar 2.5	Prinsip kerja las listrik .....	13
Gambar 2.6	Prinsip kerja las gas .....	14
Gambar 2.7	Kekasaran Permukaan.....	22
Gambar 2.8	Kekasaran Rata rata Ra .....	23
Gambar 2.9	Kekasaran Permukaan Rz .....	24
Gambar 2.10	Kedalaman Total dan Kedalaman Perataan .....	24
Gambar 2.11	Ketidak Teraturan pada Profil.....	25
Gambar 3.1	Mesin <i>Laser Cutting</i> .....	28
Gambar 3.2	<i>Surface Roughness Tester</i> .....	29
Gambar 3.3	<i>Stainless Steel 304</i> .....	29
Gambar 3.4	<i>Dimensi benda kerja</i> .....	30
Gambar 4.1	Titik Pengambilan Nilai Kekasaran Vertikal.....	33
Gambar 4.2	Titik Pengambilan Nilai Kekasaran Horizontal.....	33
Gambar 4.3	Grafik Hubungan <i>Cutting Speed</i> Terhadap Kekasaran permukaan .....	37

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	3
2.2 Proses Manufaktur .....	4
2.3 <i>Non Traditional Machining</i> .....	4
2.4 <i>Laser Cutting</i> .....	5
2.4.1 Bagian-bagian Pada <i>Laser Cutting</i> .....	6
2.4.2 Prinsip Kerja Alat .....	9
2.4.3 Keuntungan dan Kerugian <i>Laser Cutting</i> .....	11
2.5 Perbedaan antara Las Listrik, Las Gas dan <i>Laser Cutting</i> .....	12
2.6 Parameter Proses Permesinan Pada <i>Laser Cutting</i> .....	15
2.7 Jenis - jenis <i>Stainless Steel</i> .....	16
2.7.1 <i>Stainless Steel 304</i> .....	20
2.8 Kekasaran Permukaan .....	21
2.8.1 Parameter Kekasaran Permukaan .....	21
2.8.2 Perbedaan Permukaan dan Profil .....	24
2.9 Hipotesis .....	25



<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	27
3.1 Metode Penelitian .....	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
3.3 Variabel Penelitian.....	27
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.5 Dimensi Benda Kerja.....	30
3.6 Prosedur Penelitian .....	30
3.7 Rancangan Penelitian.....	31
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	33
4.1 Data Hasil Pengujian .....	33
4.1.1 Data Hasil Pengujian kekasaran dengan variasi <i>Cutting Speed</i> ...	33
4.2 Analisis dan Pembahasan.....	34
4.2.1 Analisis Varian Satu Arah .....	34
4.2.2 Pembahasan .....	37
4.2.2.1 Hubungan <i>Cutting Speed</i> terhadap kekasaran permukaan ..	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	41
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

**DAFTAR TABEL**

<b>No.</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1	Perbandingan Mesin mesin Non Konvensional .....	12
Tabel 2.2	Kandungan <i>Stainless Steel</i> 304 .....	20
Tabel 2.3	Nilai Kualitas Kekasaran Permukaan (Ra) .....	21
Tabel 4.1	Data Pengujian Ra vertikal dengan variasi <i>Cutting Speed</i> .....	33
Tabel 4.2	Data Pengujian Ra horizontal dengan variasi <i>Cutting Speed</i> .....	34
Tabel 4.3	Analisis Varian Satu Arah Terhadap Kekasaran Permukaan .....	35
Tabel 4.4	Hasil Analisis Varian Satu Arah Terhadap Kekasaran Permukaan...	36
Tabel 4.5	Hasil foto makro variasi <i>cutting speed</i> dengan perbesaran 300 kali..	38
Tabel 4.6	Perbandingan hasil foto makro <i>Laser cutting</i> dengan proses permesinan lainnya .....	39



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME yang telah memberikan rahmat, berkah dan perlindungan-Nya sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Cutting Speed Terhadap Kekasaran Permukaan SUS 304 Pada Proses Laser Cutting Menggunakan Gas N<sub>2</sub>”**, yang diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan akademik dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Teguh Widodo, ST., M.Eng., Ph.D., selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE., selaku dosen pembimbing I dan telah banyak memberikan arahan, masukan, saran serta bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Bayu Satriya Wardhana, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan saran yang sangat membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.
5. Kedua orang tua tercinta, yaitu Alm.Amir Kartolo dan Ibu Kusmiati yang tanpa henti memberi support baik moral maupun materi dan kasih sayang kepada penulis sehingga penelitian ini berjalan lancar.
6. Keluarga penulis yang begitu penulis sayangi, Rival Amirul Kodri yang memberi support dan motivasi tanpa henti agar penulis tetap semangat dalam penyusunan skripsi ini.
7. Sahabat dari Mafia13, Safrian, Koko, Ali, Habeb, Arman, Rian, Balda, Doni, Ajeng, Goni yang tanpa henti terus memberikan dukungan, selalu menemani disaat apapun, selalu sabar dalam menghadapi penulis. Terimakasih atas segala yang telah diberikan
8. Partner penelitian dan sahabat dalam bertukar pikiran, Andro, Andik, Ogan, Mega, Beni, Redi, Yamin dan Bayu yang selalu menjalin komunikasi yang baik sehingga penulis bisa menyusun tulisan ini.
9. Laboratorium Metrologi Industri dan Instrumentasi,
10. Teman-Teman Mesin'13 yang sudah bersama-sama berjuang dan memberikan semangat serta motivasi kepada penulis.

11. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin yang sudah membimbing dan membentuk pola berfikir dan bersikap selama penulis menimba ilmu di Teknik Mesin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna baik dari isi maupun format penulisan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar kedepannya menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, memunculkan ide baru dan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Malang, 4 Juni 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	3
2.2 Proses Manufaktur .....	4
2.3 <i>Non Traditional Machining</i> .....	4
2.4 <i>Laser Cutting</i> .....	5
2.4.1 Bagian-bagian Pada <i>Laser Cutting</i> .....	6
2.4.2 Prinsip Kerja Alat .....	9
2.4.3 Keuntungan dan Kerugian <i>Laser Cutting</i> .....	11
2.5 Perbedaan antara Las Listrik, Las Gas dan <i>Laser Cutting</i> .....	12
2.6 Parameter Proses Permesinan Pada <i>Laser Cutting</i> .....	15
2.7 Jenis - jenis <i>Stainless Steel</i> .....	16
2.7.1 <i>Stainless Steel</i> 304 .....	20
2.8 Kekasaran Permukaan .....	21
2.8.1 Parameter Kekasaran Permukaan .....	21
2.8.2 Perbedaan Permukaan dan Profil .....	24
2.9 Hipotesis .....	25

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
3.1 Metode Penelitian .....	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	27
3.3 Variabel Penelitian.....	27
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.5 Dimensi Benda Kerja .....	30
3.6 Prosedur Penelitian .....	30
3.7 Rancangan Penelitian.....	31
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Data Hasil Pengujian.....	33
4.1.1 Data Hasil Pengujian kekasaran dengan variasi <i>Cutting Speed</i> .....	33
4.2 Analisis dan Pembahasan.....	34
4.2.1 Analisis Varian Satu Arah .....	34
4.2.2 Pembahasan .....	37
4.2.2.1 Hubungan <i>Cutting Speed</i> terhadap kekasaran permukaan .....	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

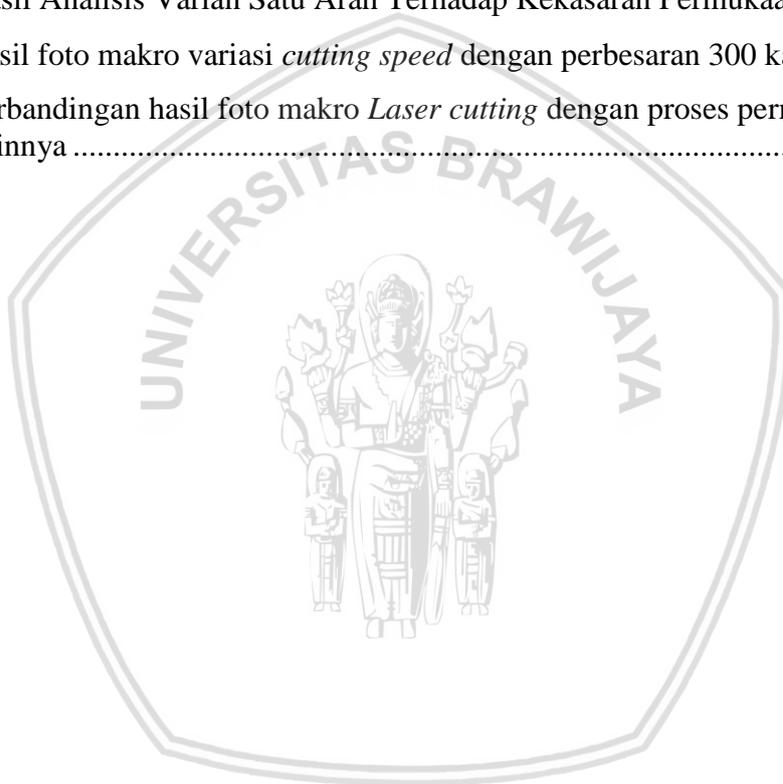
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen <i>laser cutting</i> .....	7
Gambar 2.2	Bagian-bagian <i>laser cutting</i> .....	8
Gambar 2.3	Prinsip Kerja <i>laser cutting</i> .....	9
Gambar 2.4	Titik fokus <i>laser cutting</i> .....	10
Gambar 2.5	Prinsip kerja las listrik .....	13
Gambar 2.6	Prinsip kerja las gas .....	14
Gambar 2.7	Kekasaran permukaan.....	22
Gambar 2.8	Kekasaran rata rata Ra .....	23
Gambar 2.9	Kekasaran permukaan Rz .....	24
Gambar 2.10	Kedalaman total dan kedalaman perataan.....	24
Gambar 2.11	Ketidak teraturan pada profil .....	25
Gambar 3.1	Mesin <i>laser cutting</i> .....	28
Gambar 3.2	<i>Surface roughness tester</i> .....	29
Gambar 3.3	<i>Stainless steel 304</i> .....	29
Gambar 3.4	<i>Dimensi benda kerja</i> .....	30
Gambar 4.1	Titik pengambilan nilai kekasaran vertikal.....	33
Gambar 4.2	Titik Pengambilan nilai kekasaran horizontal.....	33
Gambar 4.3	Grafik hubungan <i>cutting speed</i> terhadap kekasaran permukaan.....	37



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Mesin-mesin Non Konvensional .....	20
Tabel 2.2	Kandungan <i>Stainless Steel</i> 304.....	20
Tabel 2.3	Nilai Kualitas Kekasaran Permukaan (Ra).....	21
Tabel 4.1	Data Pengujian Ra vertikal dengan variasi <i>Cutting Speed</i> .....	33
Tabel 4.2	Data Pengujian Ra horizontal dengan variasi <i>Cutting Speed</i> .....	34
Tabel 4.3	Analisis Varian Satu Arah Terhadap Kekasaran Permukaan .....	35
Tabel 4.4	Hasil Analisis Varian Satu Arah Terhadap Kekasaran Permukaan.....	36
Tabel 4.5	Hasil foto makro variasi <i>cutting speed</i> dengan perbesaran 300 kali .....	38
Tabel 4.6	Perbandingan hasil foto makro <i>Laser cutting</i> dengan proses permesinan Lainnya .....	39



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

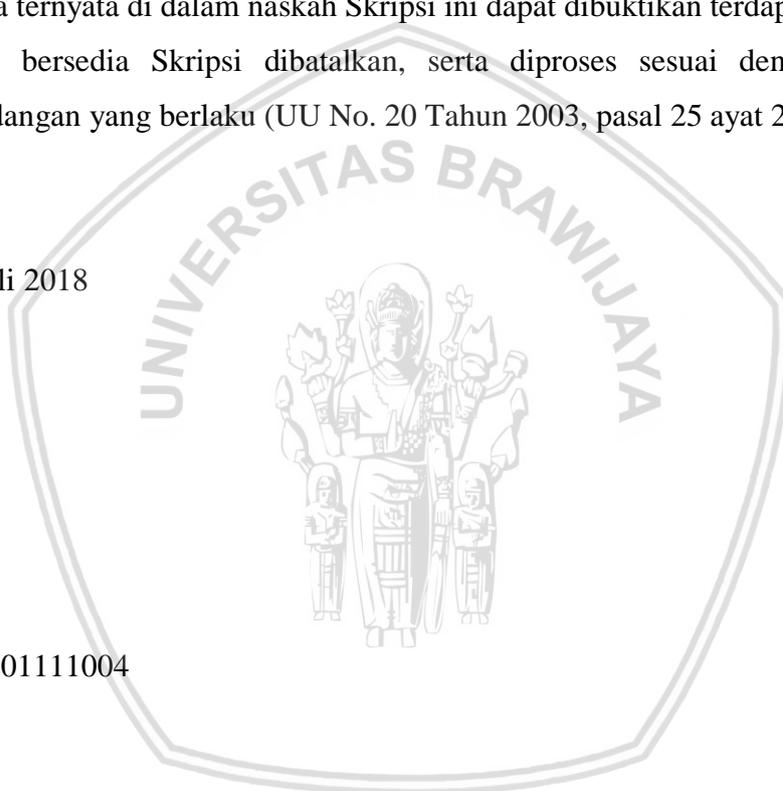
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 26 juli 2018

Mahasiswa,

Zhaenal Arifin

NIM. 135060201111004



## RINGKASAN

**Zhaenal Arifin** , Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh variasi cutting speed terhadap kekasaran permukaan SUS 304 pada proses laser cutting menggunakan gas N<sub>2</sub>*, Dosen Pembimbing: *Tjuk Oerbandono, Bayu Satriya Wardhana*.

Dewasa ini, *laser cutting* banyak sekali digunakan untuk berbagai aplikasi. Antara lain pada bidang industri, kedokteran, militer, optik dan berbagai aplikasi interaksi laser dengan material. Misalnya proses interaksi laser pada material *food grade* yaitu bahan logam yang digunakan untuk alat perlengkapan makanan/minuman, mesin pengolah makanan/minuman dan lain-lain. Bahan logam tersebut tidak akan mengkontaminasi atau mencemari makanan/minuman dengan zat-zat kimia logamnya, seperti perubahan warna dan rasa / bau. Laser merupakan salah satu alternatif dalam menjawab tantangan teknologi pada zaman ini yang menawarkan keuntungan yang signifikan pada metode pemotongan konvensional. Beberapa di antaranya yaitu presisi, pemrosesan kecepatan tinggi, dan biaya rendah. Pemotongan laser melibatkan dengan pengolahan bahan suhu tinggi termasuk pemanasan fasa padat, pencairan, dan penguapan. *Laser cutting* bekerja dengan mengarahkan output dari laser daya tinggi paling sering melalui optik. Laser optik dan CNC (*computer numerical control*) yang digunakan untuk mengarahkan materi atau sinar laser yang dihasilkan. Ketika laser berinteraksi dengan material, ada pelelehan (*melting*) dan penguapan (*vaporization*). Sangat diharapkan material yang di interaksikan dengan laser akan menghasilkan ablasi yang bersih dengan tingkat kerusakan minimal akibat panas, debris (bekas) atau *recast*. Dalam hal ini, maka diadakan sebuah penelitian untuk melihat interaksi laser nitrogen (N<sub>2</sub>) dengan material SUS 304. Melalui penelitian ini, diharapkan akan diketahui bagaimana interaksi Cutting Speed terhadap kekasaran permukaan pada *stainless steel 304*. Proses pemotongan menggunakan variasi Cutting Speed 20,40,60,80 dan 100 mm/min. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *cutting speed* maka kekasarannya semakin tinggi pula.

**Kata kunci** : *Laser Cutting, Cutting Speed, Kekasaran Permukaan, Stainless steel 304*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era modern sekarang ini banyak sekali kebutuhan rumah tangga salah satunya adalah alat-alat dapur yang disebut metal *food grade*. Metal *food grade* sendiri adalah bahan logam yang layak digunakan untuk alat perlengkapan makanan/minuman, mesin pengolahan makanan/minuman. Bahan Logam tersebut tidak akan memindahkan, mengkontaminasi atau mencemari makanan/minuman dengan zat-zat kimia logamnya, seperti perubahan warna dan rasa/bau.

Dalam pembuatan *food grade* dengan bahan metal kita dapat menggunakan beberapa proses permesinan. Diantaranya adalah *plasma cutting*, *water jet cutting*, *abrasive water jet cutting*, *laser cutting*. Sebelum kita menggunakan alat potong maka kita harus mengetahui dahulu bahan-bahan atau material untuk membuat alat potong tersebut.

*Laser cutting* adalah teknologi yang menggunakan laser untuk memotong bahan, dan biasanya digunakan untuk aplikasi industri manufaktur. *Laser cutting* bekerja dengan mengarahkan output dari laser daya tinggi paling sering melalui optik. Laser optik dan CNC (*computer numerical control*) yang digunakan untuk mengarahkan materi atau sinar laser yang dihasilkan. Laser cutting untuk industri 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. Energi panas yang dihasilkan oleh laser mencair, atau menguapkan bahan di daerah pengerjaan dan gas (atau campuran) seperti oksigen, CO<sub>2</sub>, nitrogen, atau helium digunakan untuk membuang bahan yang menguap yang keluar dari goresan. Energi cahaya yang diterapkan langsung tempat yang membutuhkan, meminimalkan panas zonadi sekitar area yang dipotong.. Material yang digunakan untuk bahan *food grade* adalah *stainless steel 304*. Karena *stainless steel 304* memiliki Stainless steel yang masuk dalam kategori *food grade* merupakan *stainless steel* dengan komposisi 18/8 atau 18/10. Arti kode ini menunjukkan komposisi kandungan kromium dan nikel. Kandungan kromium berfungsi untuk mengikat oksigen di permukaan SS dan melindungi bahan dari proses oksidasi yang dapat menimbulkan karat. Sementara nikel membuat SS memiliki sifat yang lebih tahan karat lagi. Semakin besar kandungan nikel semakin besar pula kemampuan bahan untuk mencegah korosi. Selain itu, kandungan nikel membuat SS lebih kokoh. Dan, kabar baiknya, ini ada di tipe 304.Seri 304 memiliki komposisi 18/8, yang artinya: kandungan kromium sebesar 18% sedangkan

kandungan nikel sebesar 8%. Komposisi ini membuat andungan nikel di SS lebih kokoh dan seri 304 lebih tahan terhadap korosi dan aman bersentuhan langsung dengan makanan/minuman. SS 304 banyak digunakan untuk industri kuliner, hotel, rumah sakit, atau tempat makan khusus bayi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang tersebut, dapat diketahui rumusan masalah yaitu bagaimanakah *surface roughness* dari pengaruh *cutting speed* N<sub>2</sub> pada *laser cutting machine* terhadap spesimen *stainless steel* tipe SUS 304.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Temperatur ruang pemotongan *laser cutting* di anggap sama setiap pemotongan.
2. Panas mesin *laser cutting* tidak mempengaruhi hasil pemotongan.

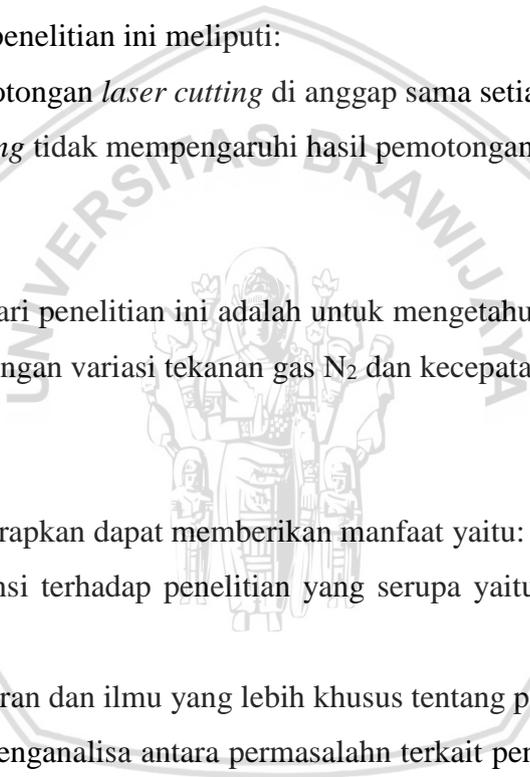
## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang di dapat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekasaran serta foto makro dari SUS 304 dengan variasi tekanan gas N<sub>2</sub> dan kecepatan laser.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Dapat dijadikan referensi terhadap penelitian yang serupa yaitu tentang pemotongan pada plat secara umum
2. Memberikan pembelajaran dan ilmu yang lebih khusus tentang pemotongan plat
3. Melatih kemampuan menganalisa antara permasalahan terkait pengaruh tekanan gas N<sub>2</sub> dan kecepatan laser pada pemotongan *laser cutting* yang mengakibatkan perubahan sifat mekanik dari spesimen



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Akkurt (2014), dengan penelitian yang berjudul "*The Effect of Cutting Proses on Surface Microstructure and Hardness of Pure and Al 6061 Aluminium Alloy*" bahwa dengan diberikannya variasi Cutting speed tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan pada hasil pemotongan benda kerja yang digunakan.

A.Stournaras (2009), dengan judul "*An investigation of quality in CO2 laser cutting of aluminum*" bahwa laser power dan *cutting speed* memiliki peran yang sangat penting dalam menghasilkan kualitas pemotongan dikarenakan kombinasi dari keduanya akan menentukan jumlah panas yang masuk ke rezim pemotongan dan sangat mempengaruhi lebar kerf dan kualitas permukaan dari suatu material.

Dagmar Klichova (2014), dengan judul "*Study of the Effect of Material Machinability on Quality of Surface Created by Abrasive Water Jet*" mempelajari kualitas dari material yang di potong dengan *Abrasive WaterJet* pada paduan aluminium. Pengukuran kekasaran dilakukan dengan optical profilometer dengan menggunakan parameter Ra, Rz, dan Rq. Kualitas kekasaran permukaan dipengaruhi oleh kecepatan pemotongan dan juga jenis materialnya. Semakin besar *cutting speed* pada proses tersebut mengakibatkan nilai kekasaran pada paduan aluminium menjadi lebih meningkat (kasar).

Rakasita R, Kurniawan B.W (2016), dengan penelitian "optimasi parameter mesin laser *cutting* terhadap kekasaran dan laju pemotongan pada sus 316l menggunakan *taguchi grey relational analysis method*" Parameter titik fokus sinar laser, tekanan gas cutting dan cutting speed memiliki kontribusi dalam mengurangi variasi dari respon kekasaran dan laju pemotongan yaitu untuk titik fokus sinar laser memiliki kontribusi 29.01% dan tekanan gas cutting memiliki kontribusi paling besar dengan 50.36%. Sedangkan cutting speed tidak memiliki kontribusi yang signifikan dalam mengurangi variasi dari respon kekasaran dan laju pemotongan.

## 2.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah proses mengubah bentuk, sifat dan penampilan bahan baku (*starting materials*) menjadi produk melalui proses fisik maupun proses kimia. Proses manufaktur membutuhkan komponen sederhana untuk diproses sehingga menjadi barang yang lebih kompleks. Contohnya komponen seperti baut, mur, plat besi dan lain-lain yang merupakan komponen dasar yang dapat dirakit dan mempunyai nilai yang lebih besar dan berguna.

Proses pemesinan adalah proses pembuatan dengan cara membuang material yang tidak diinginkan pada benda kerja sehingga diperoleh produk akhir dengan bentuk, ukuran dan *surface finish* yang diinginkan. Proses pemesinan yang biasa dilakukan di industri manufaktur adalah proses penyekrapan (*shaping*), proses penggurdian (*drilling*), proses pembubutan (*turning*), proses penyayat/frais (*milling*), proses gergaji (*sawing*), dan proses gerinda (*grinding*). Proses pemesinan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Proses pemotongan (*cutting*), yaitu proses pemesinan dengan menggunakan pisau pemotongan dengan bentuk geometri tertentu.
2. Proses abrasi (*abrasive process*), seperti proses gerinda.
3. Proses pemesinan non tradisional yaitu yang dilakukan secara elektrik

Berdasarkan energi yang digunakan, proses pemesinan nontradisional dapat dibagi atas lima kategori:

1. Pemesinan ultrasonik (*ultrasonic machining, USM*),
2. Pemotongan pancaran air (*water jet cutting, WJC*),
3. Pemotongan pancaran air abrasif (*abrasive water jet cutting, AWJC*), dan
4. Pemesinan pancaran abrasif (*abrasive jet machining, AJM*).
5. Pemesinan pancaran laser (*laser cutting machining, LCM*)

## 2.3 Non Traditional Machining

Proses pemesinan *non traditional* adalah suatu proses pemotongan atau pembentukan material menggunakan pahat berupa pahat non konvensional, berupa energi mekanik, thermal, elektrik, maupun kimia. Kelebihan dari ini adalah:

1. Benda kerja yang rumit dapat dengan mudah untuk dikerjakan
2. Dapat memproses bagian-bagian dengan proses finishing yang kompleks dengan tingkat toleransi yang tinggi

3. Dapat memproses komponen dengan material yang rapuh yang tidak dapat menahan kekuatan dari proses mesin konvensional
4. Dapat memproses benda kerja dengan nilai kekuatan dan kekerasan yang tinggi (lebih dari 400HBN)
5. Untuk memperoleh hasil yang halus tanpa meninggalkan geram yang terjadi saat proses pemotongan
6. Dapat mengurangi nilai tegangan sisa

Mesin-mesin *non traditional* disini dapat dibagi menjadi beberapa menurut energi yang dipakai (media potong benda kerja) adalah :

1. *Romechanical energy processes* (media pemotongan dengan energi elektromekanika):
  - a. *Electrochemical machining*
  - b. *Electrochemical deburring*
2. *Mechanical energy processes* (media pemotongan dengan energi mekanik):
  - a. *WaterJet Cutter*
  - b. *Abrasive water jet cutter*
  - c. *UltrasonicMachining*
3. *Chemical machining*
  - a. *Mechanics and Cemistry of Chemical Machining*
  - b. *CHM processes*
4. *Thermal energy processes* (media pemotongan dengan energi thermal):
  - a. *Electric beam machining*
  - b. *Electric discharge machining*
  - c. *ARC-cutting processes*
  - d. *Laser beam machining*
  - e. *Oxyfuel cutting processes*

## 2.4 Laser Cutting

*Laser cutting* adalah teknologi yang menggunakan laser untuk memotong bahan, dan biasanya digunakan untuk aplikasi industri manufaktur. *Laser cutting* bekerja dengan mengarahkan output dari laser daya tinggi paling sering melalui optik. Laser optik dan CNC (*computer numerical control*) yang digunakan untuk mengarahkan materi atau sinar laser yang dihasilkan. Laser cutting untuk industri 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. Energi panas yang dihasilkan oleh laser mencair, atau menguapkan bahan di daerah pengerjaan dan gas (atau campuran) seperti oksigen, CO<sub>2</sub>, nitrogen, atau helium digunakan untuk membuang

bahan yang menguap yang keluar dari goresan. Energi cahaya yang diterapkan langsung tempat yang membutuhkan, meminimalkan panas zonadi sekitar area yang dipotong. Sejarah, Pada tahun 1965, produksi mesin laser cutting pertama digunakan untuk mengebor lubang pada berlian. Mesin ini dibuat oleh Pusat Penelitian Teknik Western Electric pada tahun 1967, Inggris memelopori laser jet dibantu oksigen pemotongan untuk logam. Pada awal 1970-an, teknologi ini dimasukkan ke dalam produksi pemotong titanium untuk aplikasi ruang angkasa. Pada saat yang sama laser CO<sub>2</sub> dikembangkan untuk memotong non-logam, seperti tekstil, karena mereka diserap oleh logam.

*Laser cutting* bekerja dengan mengarahkan output dari daya laser tinggi, pada material yang akan dipotong. Material kemudian meleleh, terbakar, menguap oleh gas, dan meninggalkan tepi dengan permukaan yang berkualitas tinggi, akibat pengaruh diberikannya gas nitrogen. Laser CO<sub>2</sub> merupakan laser yang memancarkan cahaya monokromatik dan koheren, radiasi laser inframerah dengan panjang gelombang 10,6  $\mu\text{m}$ . Media laser aktif dalam laser CO<sub>2</sub> adalah campuran CO<sub>2</sub> 4,5 %, N<sub>2</sub> 13,5% dan He 82%

Ini adalah 3 Jenis dari *Laser Cutting* itu sendiri, yaitu:

1. CO<sub>2</sub> laser, untuk jenis ini lebih cocok untuk memotong, mengebor, dan memahat suatu baham material. Jika anda ingin memotong, memahat, menggravir, dsb. Anda sangat disarankan untuk menggunakan yang jenis CO<sub>2</sub>.
2. Neodymium (Nd), jenis ini biasanya digunakan untuk mengebor dengan menggunakan energi yang besar, namun membutuhkan ketukan yang minim sekali.
3. Neodymium yttrium-Aluminum-Garnet (Nd-YAG), digunakan untuk pemotongan, pengeboran, pengukiran yang membutuhkan energi yang sangat sangat besar.

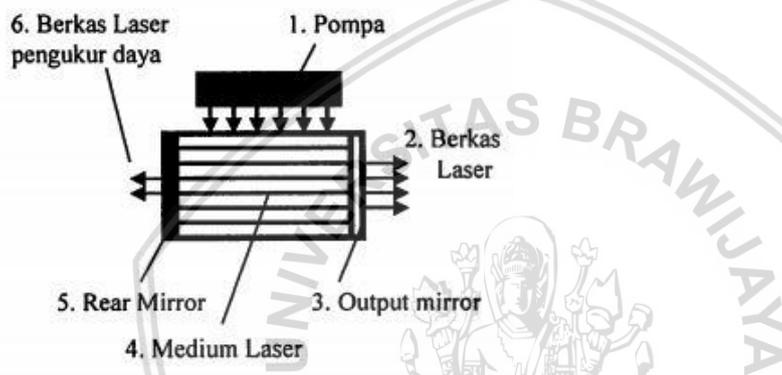
#### **2.4.1 Bagian-Bagian pada *Laser Cutting***

Laser (*Light Amplification hy Stimulated Emission of Radiation*) adalah suatu sumber radiasi yang memancarkan karakteristik sinar radiasi elektromagnetik diantara panjang gelombang ultraviolet dan infrared. Tidak semua laser memancarkan radiasi yang dapat dilihat oleh mata manusia (batas penglihatan manusia antara 400-750 urn). Laser mempunyai komponen-komponen yang memungkinkan terbentuknya suatu sinar laser, yaitu

1. Medium Laser Medium laser adalah suatu material dalam bentuk atom-atom, molekul molekul, atau ion-ion yang dibangkitkan dengan suatu energi sehingga dapat memancarkan suatu sinar laser. Medium laser dari laser C02 adalah campuran gas antara gas N<sub>2</sub>, C02, dan He. Gas CO<sub>2</sub> bcrfungsi sebagai medium laser aklif, gas N<sub>2</sub> dibutuhkan

sebagai pembangkit energi atom CO<sub>2</sub>, sedangkan gas He digunakan untuk pengeluaran panas/pendingin.

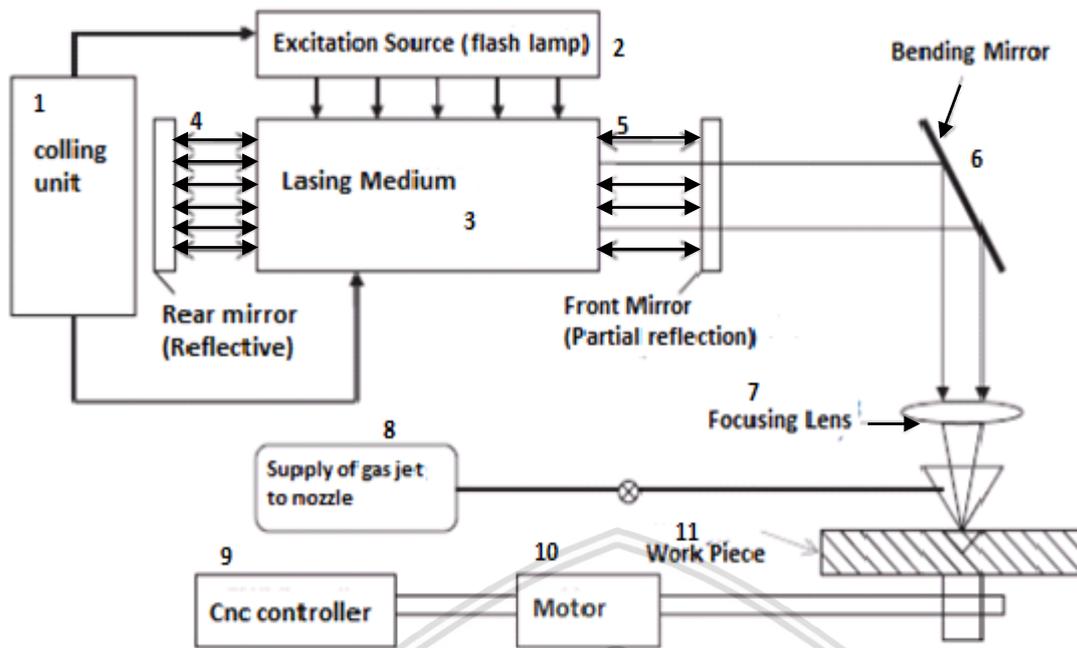
2. Sistem pompa Pompa sebagai sumber energi dari sinar laser, yang berfungsi untuk membangkitkan atom-atom ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menggunakan frekuensi yang tinggi sekitar (13,56 MHz).
3. *Resonator* merupakan tempat terbentuknya sinar laser. Pada *resonator* ini medium laser diletakan diantara dua buah cermin, yaitu *rear mirror* dan *output mirror*. Susunan kedua cermin mempunyai kemampuan untuk memastikan gelombang sinar dipancarkan dalam arah yang benar. Pada *rear mirror* sinar laser dipantulkan, sedangkan pada *ouput mirror* 40-50% dari sinar laser itu akan dipancarkan keluar dari *resonator*.



Gambar 2.1 Komponen laser cutting  
Sumber: A. Stournaras. (2009)

Laser dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelas berdasarkan medium yang digunakan untuk menghasilkan berkas sinar. Bahan ini bisa berbentuk padat, cair, gas dan semi konduktor. Jenis-jenis laser, yaitu:

1. Solid state laser adalah jenis laser yang dihasilkan karena pantulan dari warna yang dihasilkan oleh kristal, salah satunya adalah laser ruby.
2. Dye laser adalah sejenis laser yang terbuat dari cairan berwarna yang akan menghasilkan berkas laser jika diberi energi oleh kilau lampu atau laser lainnya.
3. Gas laser adalah jenis laser dengan medium gas campuran. Diantaranya adalah laser HeNe, laser Ar dan laser CO<sub>2</sub>.
4. Semi *conductor* atau Diode laser umumnya berukuran kecil dan biasa terdapat pada perangkat elektronik seperti VCD, printer, atau alat komunikasi.

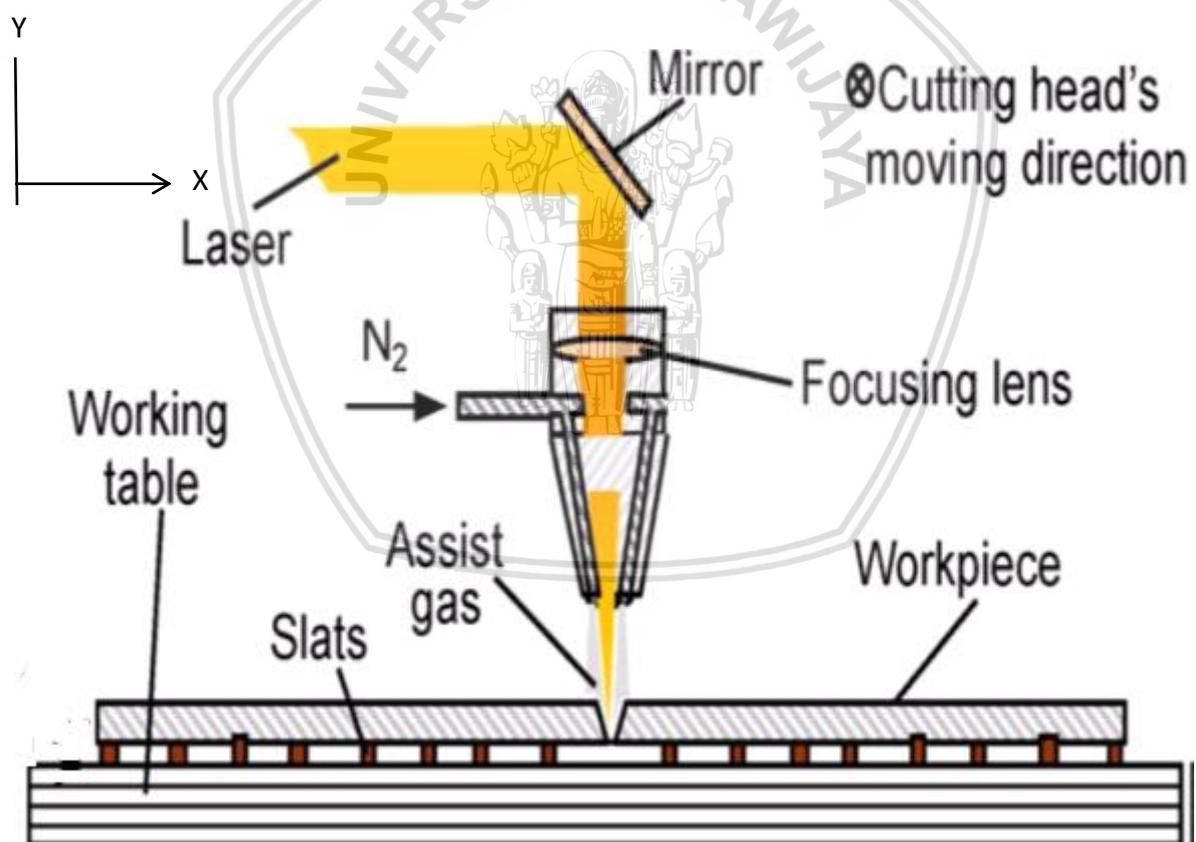


Gambar 2.2 Bagian bagian laser beam machining  
Sumber: Dubay & Yadava (2007)

1. *Coling Unit*: alat untuk mendinginkan lasing medium karena di lasing midium media untuk menghasilkan laser.
2. *Flash Lamp*: *flash tube* atau lampu flash digunakan untuk memberikan energi yang diperlukan ke atom untuk merangsang elektron mereka.
3. *Lasing Medium*: media yang mengandung sejumlah besar atom. Atom media digunakan untuk menghasilkan laser.
4. *Rear Mirror*: cermin untuk refleksi disimpan di satu ujung dan fungsinya untuk memantulkan sinar laser agar tidak keluar dari lasing medium.
5. *Front Mirror*: cermin refleksi berada di depan *lasing medium* fungsinya untuk memantulkan sinar laser dan juga meneruskan sinar laser.
6. *Bending Mirror*: cermin yang berfungsi untuk memantulkan sinar laser dan meneruskannya ke *nozzle*.
7. *Focusing Lens*: lensa yang berfungsi untuk memusatkan sinar laser.
8. *Supply Gas Nozzle*: berfungsi untuk menyimpan gas dan dari *supply gas nozzle* di teruskan ke *nozzle*.
9. *CNC Controller*: Berfungsi untuk mengontrol mesin laser *cutting*.
10. *Motor*: Berfungsi untuk menggerakkan bagian bagian mesin *laser cutting*.
11. *Work Piece*: Berfungsi sebagai tumpuan atau untuk meletakkan spesimen.

### 2.4.2 Prinsip Kerja Alat

*Laser cutting* dapat dibandingkan dengan memotong dengan miniatur obor yang dikendalikan oleh komputer. *Laser cutting* untuk industri 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. Energi panas yang dihasilkan oleh laser mencair, atau menguapkan bahan di daerah pengerjaan dan gas atau campuran seperti oksigen, CO<sub>2</sub>, nitrogen, atau helium digunakan untuk membuang bahan yang menguap yang keluar dari goresan. Energi cahaya yang diterapkan langsung tempat yang membutuhkan, meminalisir panas pada zona yang di potong. *Laser cutting* bekerja dengan mengarahkan output dari laser dengan daya tinggi, oleh komputer, pada bahan yang akan dipotong. Bahan akan mencair, terbakar, menguap, atau tertiuap oleh jet gas, meninggalkan tepi dengan *finishing* permukaan yang berkualitas tinggi.



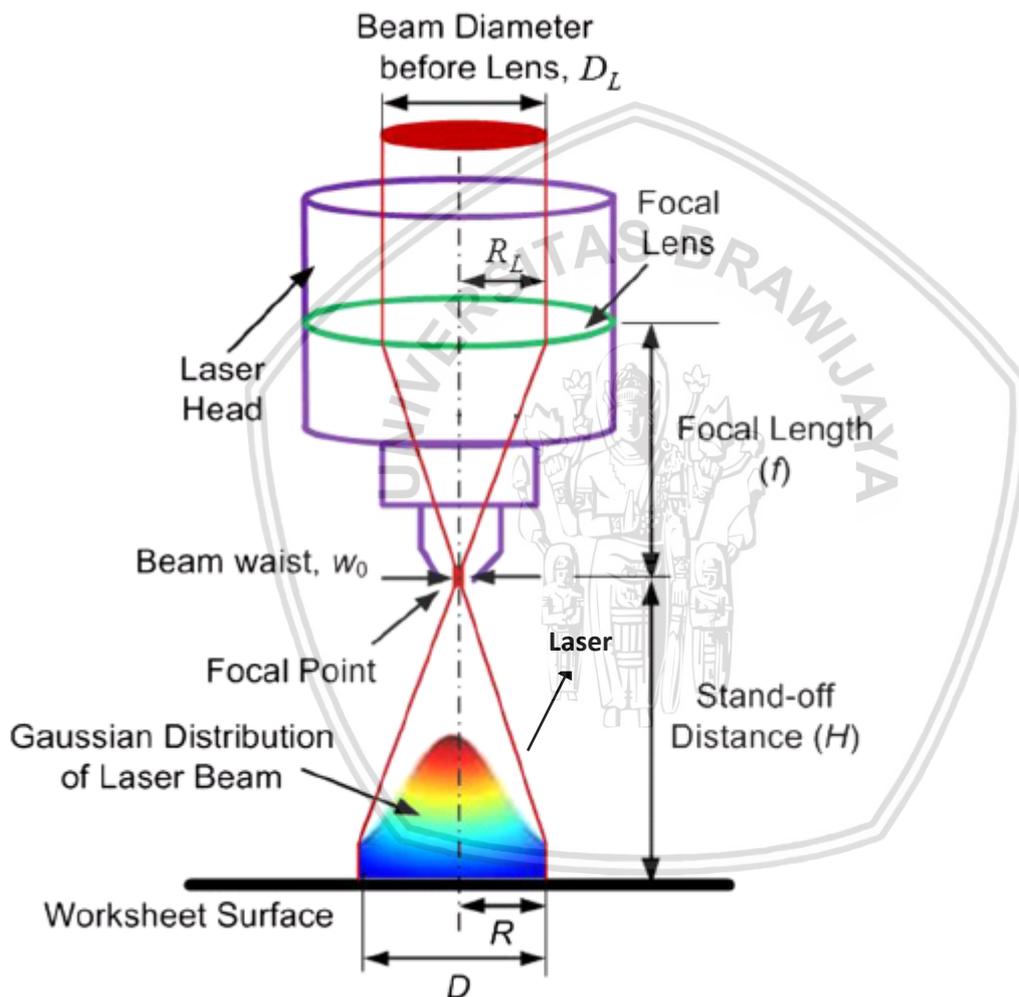
Gambar 2.3 Prinsip kerja laser cutting

Sumber: A. Stournaras (2009:3)

Pembangkit sinar laser dilakukan dengan cara menstimulasi bahan penguat oleh pelepasan listrik atau lampu dalam wadah tertutup. Ketika bahan penguat distimulasi, sinar direfleksikan secara internal oleh cermin parsial, sampai mencapai energi yang cukup untuk

keluar sebagai aliran cahaya koheren monokromatik. Cermin atau serat optic biasanya digunakan untuk mengarahkan cahaya koheren ke sebuah lensa, yang memfokuskan cahaya di zona kerja. Bagian tersempit dari sinar yang terfokus umumnya kurang dari 0,0125 inci (0,3175 mm) dalam diameter.

*Focusability* sinar laser diilustrasikan pada Gambar 2.4 di mana kedalaman fokus (Panjang *Rayleigh*) menunjukkan parameter yang menentukan ukuran spot terfokus. Kedalaman Fokus juga bergantung pada parameter yang sama seperti diameter titik fokus umumnya Ukuran titik kecil dikaitkan dengan fokus singkat.



Gambar 2.4 Titik fokus laser beam

Sumber: Jhon well (1993)

Keterangan Gambar 2.4:

$D_L$  : Diameter sinar laser (mm)

$R_L$  : Jari – Jari sinar laser (mm)

$f$  : Jarak dari lensa ke *output nozzle* (mm)

$w_0$  : Diameter lubang *output* pada *nozzle* (mm)

$D$  : Diameter laser *output* (mm)

- R : jari jari laser *output* (mm)  
 H : Jarak *nozzle* ke benda kerja (mm)

### 2.4.3 Keuntungan dan Kerugian *Laser Cutting*

Kelebihan laser:

1. Terkonsentrasi pada cahaya  
 Singkatnya, laser yang sangat terkonsentrasi seberkas cahaya, dalam panjang gelombang tertentu. Demikian juga seperti dengan semua cahaya laser dapat dikendalikan dan diarahkan dengan menggunakan cermin dan lensa. Juga laser, menjadi bahwa sebenarnya cahaya, berjalan pada kecepatan cahaya.
2. Dapat dipakai dalam berbagai intensitas  
 Laser muncul dalam berbagai intensitas, tergantung pada jumlah energi yang digunakan untuk menciptakannya. Dengan demikian, laser tenaga rendah biasanya digunakan dalam terang menunjukkan dan untuk hal-hal seperti pistol pemandangan yang sangat aman untuk memusatkan perhatian pada tangan. Namun, laser bertenaga tinggi akan cepat memotong kanan melalui tangan seseorang.
3. Pemotongan bertenaga tinggi  
 Satu dari banyak menggunakan laser bertenaga tinggi adalah pemotongan. Alasan yang laser membuat alat pemotong yang baik banyak. Pertama, mereka tidak menghasilkan debu seperti pemotong standar lainnya, jadi yang besar untuk memotong di steril, lingkungan kerja bebas debu.
4. Tidak ada gesekan  
 Laser juga bekerja sangat baik untuk memotong permukaan yang berkontur akan sebaliknya sangat sulit untuk dipotong dengan pemotongan standar perangkat. Pemotong laser juga tidak menciptakan gesekan dan tidak memerlukan minyak pelumas. Tidak ada gesekan berarti bahwa tidak ada panas yang dihasilkan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada panas panas memotong sensitif situasi.
5. Material yang hilang sangat sedikit  
 Pemotong laser juga sangat tepat pemotong yang menghilangkan materi yang sangat sedikit. Dalam banyak situasi manufaktur laser cutter pemotong adalah pilihan karena alasan ini. Pemotong laser juga telah berkembang menjadi instrumen bedah yang dapat dimasukkan ke dalam lubang yang sangat kecil untuk membuat diam-diam operasi pemotongan halus.

### Kekurangan Mesin Laser *Cutting*:

1. Mesin ini adalah mengonsumsi daya yang tinggi. Efisiensi dari *Laser Cutting* ini bisa berkisar dari 5% sampai 15%. Konsumsi daya dan efisiensi dari laser sendiri tentu akan bervariasi tergantung pada daya keluaran.
2. Jumlah daya yang diperlukan laser *cutting*, yang dikenal sebagai masukan panas, untuk pekerjaan tertentu tergantung pada panas material, proses yang digunakan, ketebalan dan tingkat pemotongan yang diinginkan.
3. Efek samping penggunaan laser yang sering dilaporkan adalah munculnya rasa panas setelah dilakukan penyinaran. Hal ini disebabkan karena paparan sinar laser yang terserap ke jaringan tubuh akan diubah menjadi energi panas sehingga timbul perasaan panas.

Tabel 2.1

Perbandingan Mesin-Mesin Non Konvensional

<i>Comparission factor</i>	<i>Abrasive water jet</i>	<i>Laser cutting</i>	<i>Plasma cutting</i>	<i>Underwater plasma</i>	<i>Wire EDM</i>	<i>Milling cutting</i>
<i>Material Thickness</i>	A	C	B	B	A	B
<i>Cutting quality</i>	A	A	C	B	A	B
<i>Latern speed</i>	B	A	B	B	B	B
<i>Heat affected zone (HAZ)</i>	A	D	B	B	B	B
<i>Sensitive cutting</i>	A	A	D	C	C	B
<i>Secondary process</i>	A	A	B	B	B	B
<i>Chipformation</i>	B	C	B	B	B	B
<i>Production flexibility</i>	A	B	C	C	A	B
<i>Overrral process time</i>	B	B	C	C	B	A
<i>Multi purpose use</i>	A	D	D	D	B	B

A:Excellent, B:good, C:acceptable, D:unacceptable

Sumber: Akkurt (2014:305)

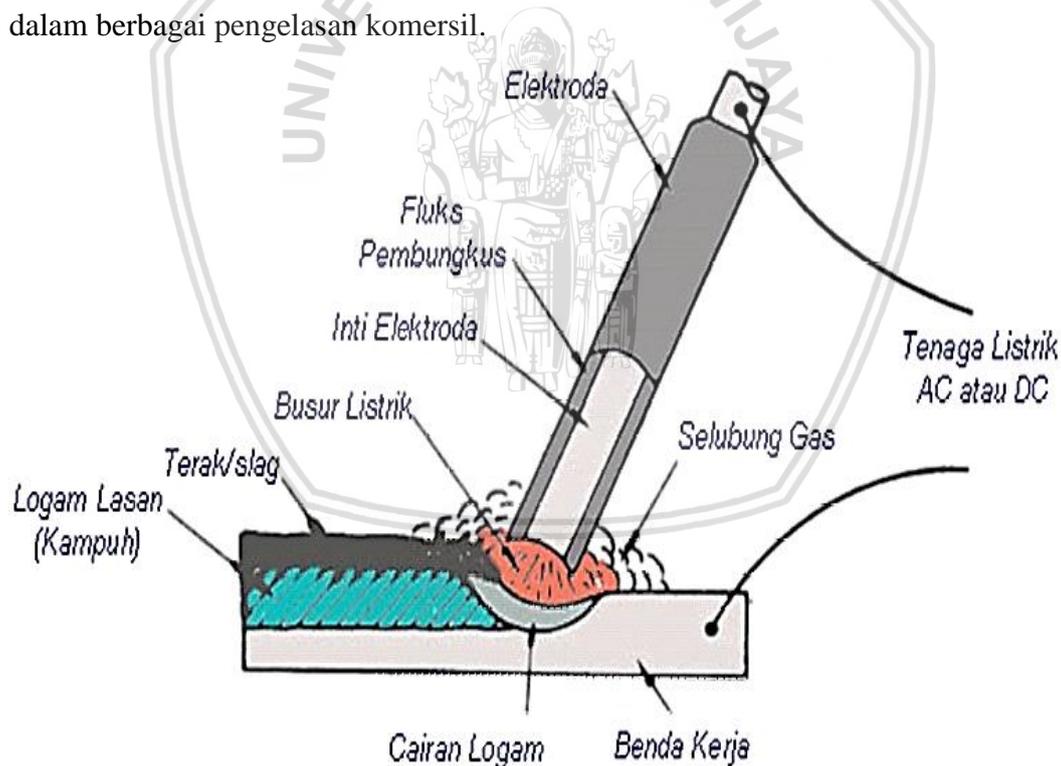
## 2.5 Perbedaan Antara Las Listrik, Las Gas dan Laser *Cutting*

### 1. Las Listrik

Las busur listrik adalah salah satu cara menyambung logam dengan jalan menggunakan nyala busur listrik yang diarahkan ke permukaan logam yang akan disambung. Pada bagian yang terkena busur listrik tersebut akan mencair, demikian juga elektroda yang menghasilkan busur listrik akan mencair pada ujungnya dan merambat terussampai habis. Logam cair dari elektroda dan dari sebagian benda yang akan disambung tercampur dan mengisi celah dari kedua logam yang akan disambung, kemudian membeku dan tersambunglah kedua logam tersebut. Mesin las busur listrik dapat mengalirkan arus listrik cukup besar tetapi dengan tegangan yang aman (kurang dari 45

volt). Busur listrik yang terjadi akan menimbulkan energi panas yang cukup tinggi sehingga akan mudah mencairkan logam yang terkena. Pada las busur, sambungan terjadi oleh panas yang ditimbulkan oleh busur listrik yang terjadi antara benda kerja dan elektroda. Elektroda atau logam pengisi dipanaskan sampai mencair dan diendapkan pada sambungan sehingga terjadi sambungan las.

Mula-mula terjadi kontak antara elektroda dan benda kerja sehingga terjadi aliran arus, kemudian dengan memisahkan penghantar timbullah busur. Energi listrik diubah menjadi energi panas dalam busur dan suhu dapat mencapai  $5500^{\circ}\text{C}$ . Ada tiga jenis elektroda logam, yaitu elektroda polos, elektroda fluks dan elektroda berlapis tebal. Elektroda polos terbatas penggunaannya, antara lain untuk besi tempa dan baja lunak. Biasanya digunakan polaritas langsung. Mutu pengelasan dapat ditingkatkan dengan memberikan lapisan fluks yang tipis pada kawat las. Fluks membantu melarutkan dan mencegah terbentuknya oksida-oksida yang tidak diinginkan. Tetapi kawat las berlapis merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam berbagai pengelasan komersil.



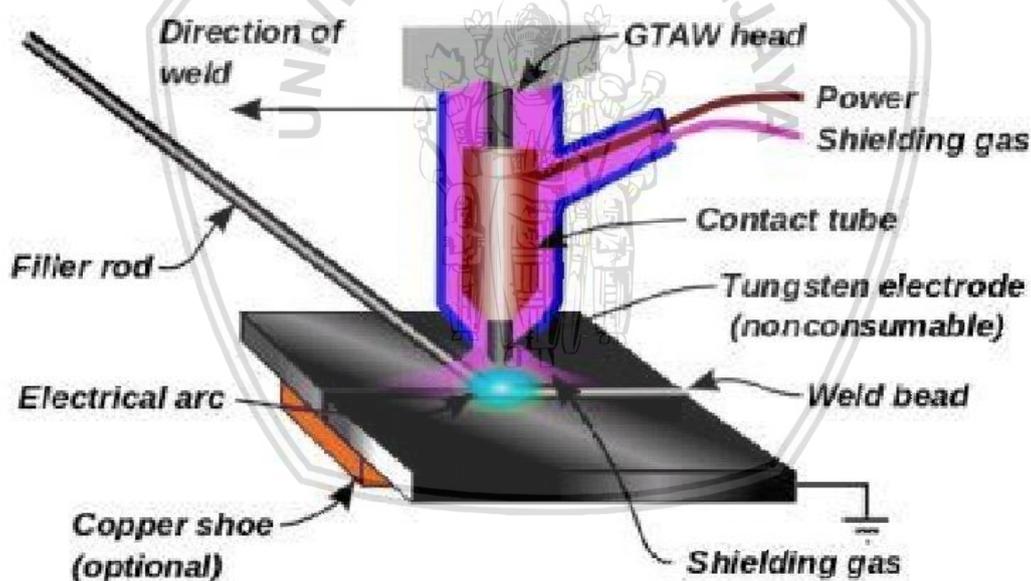
Gambar 2.5 Prinsip kerja las listrik  
Sumber: Sukaini (2013)

## 2. Las gas asetilin

Pengelasan dengan oksasi-asetilin adalah proses pengelasan secara manual dengan pemanasan permukaan logam yang akan dilas atau disambung sampai mencair oleh nyala gasasetilin melalui pembakaran  $\text{C}_2\text{H}_2$  dengan gas  $\text{O}_2$  dengan atau tanpa logam

pengisi. Proses penyambungan dapat dilakukan dengan tekanan (ditekan), sangat tinggi sehingga dapat mencairkan logam. Pengelasan dengan gas dilakukan dengan membakar bahan bakar gas yang dicampur dengan oksigen ( $O_2$ ) sehingga menimbulkan nyala api dengan suhu tinggi ( $3000^\circ$ ) yang mampu mencairkan logam induk dan logam pengisinya. Jenis bahan bakar gas yang digunakan asetilen, propan atau hidrogen, sehingga cara pengelasan ini dinamakan las oksasi-asetilen atau dikenal dengan nama las karbit. Nyala asetilen diperoleh dari nyala gas campuran oksigen dan asetilen yang digunakan untuk memanaskan logam sampai mencapai titik cair logam induk. Pengelasan dapat dilakukan dengan atau tanpa logam pengisi.

Oksigen diperoleh dari proses elektrolisa atau proses pencairan udara. Oksigen komersil umumnya berasal dari proses pencairan udara dimana oksigen dipisahkan dari nitrogen. Oksigen ini disimpan dalam silinder baja pada tekanan 14 MPa. Gas asetilen ( $C_2H_2$ ) dihasilkan dari reaksi kalsium karbida dengan air. Gelembung-gelembung gas naik dan endapan yang terjadi adalah kapur tohor.



Gambar 2.6 Prinsip kerja las gas  
Sumber: Sukaini (2013)

### 3. Laser Cutting

*Laser cutting* adalah teknologi yang menggunakan laser untuk memotong bahan, dan biasanya digunakan untuk aplikasi industri manufaktur. *Laser cutting* bekerja dengan mengarahkan output dari laser daya tinggi paling sering melalui optik. Laser optik dan *computer numerical control* (CNC) yang digunakan untuk mengarahkan materi atau sinar laser yang dihasilkan. *Laser cutting* untuk industri 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. Energi panas yang dihasilkan oleh laser mencair, atau menguapkan bahan di daerah pengerjaan dan gas (atau campuran) seperti oksigen, CO<sub>2</sub>, nitrogen, atau helium digunakan untuk membuang bahan yang menguap yang keluar dari goresan. Energi cahaya yang diterapkan langsung tempat yang membutuhkan, meminimalkan panas zonadi sekitar area yang dipotong.

## 2.6 Parameter Proses Permesinan pada *Laser Cutting*

Parameter yang dapat digunakan untuk proses permesinan pada alat *laser cutting* adalah:

### 1. Gas yang di gunakan

Gas nitrogen adalah gas pilihan untuk memotong baja tahan karat, baja paduan tinggi, aluminium dan paduan nikel dan membutuhkan tekanan gas yang lebih tinggi untuk menghilangkan cairan lelehan bahan dari keret. Tekanan gas yang tinggi memberikan kekuatan mekanis ekstra untuk meniup keluar dari bahan cair dari keret yang dipotong. Bila pemotongan nitrogen bertekanan tinggi digunakan untuk memotong baja tahan karat, ia menghasilkan tepi bebas oksida yang terang, namun kecepatan pemrosesannya lebih rendah daripada pemotongan oksigen dibantu. Masalah utama yang terkait dengan pemotongan gas inert adalah pembentukan burr bahan resolidified di bagian bawah keret. Pemotongan bebas Burr kondisi dicapai dengan optimalisasi parameter pengolahan utama; nosel diameter, posisi fokus dan tekanan gas. Tekanan nitrogen terletak pada kisaran 10-20 bar dan kebutuhan tekanan meningkat dengan meningkatnya ketebalan material. Gas nitrogen kemurnian harus di atas 99,8%.

### 2. *Cutting speed*

*Cutting speed* adalah seberapa panjang sebuah mesin melakukan pemotongan di dalam waktu tertentu. Semakin besar nilai cutting speed tersebut maka area pemakanan yang dilakukan akan semakin besar dalam satuan waktu. Yang mengakibatkan kepresisian dan kualitas yang dihasilkan akan semakin buruk.

## 2.7 Jenis-Jenis *Stainless Steel*

*Stainless steel* merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% krom berdasar beratnya. *Stainless steel* memiliki sifat tidak mudah terkorosi sebagaimana logam baja yang lain. *Stainless steel* berbeda dari baja biasa dari kandungan kromnya. Baja karbon akan terkorosi ketika diekspos pada udara yang lembab. Besi oksida yang terbentuk bersifat aktif dan akan mempercepat korosi dengan adanya pembentukan oksida besi yang lebih

banyak lagi. *Stainless steel* memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut.

Untuk memperoleh ketahanan yang tinggi terhadap oksidasi biasanya dilakukan dengan menambahkan krom sebanyak 13 hingga 26 persen. Lapisan pasif *chromium (III) oxide* ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) yang terbentuk merupakan lapisan yang sangat tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak akan mengganggu penampilan dari stainless steel itu sendiri. Dari sifatnya yang tahan terhadap air dan udara ini, stainless steel tidak memerlukan suatu perlindungan logam yang khusus karena lapisan pasif tipis ini akan cepat terbentuk kembali ketika mengalami suatu goresan. Peristiwa ini biasa disebut dengan pasivasi, yang dapat dijumpai pula pada logam lain misalnya aluminium dan titanium.

Ada berbagai macam jenis dari *stainless steel*. Ketika nikel ditambahkan sebagai campuran, maka stainless steel akan berkurang kegetasannya pada suhu rendah. Apabila diinginkan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, maka dibutuhkan penambahan karbon. Sejumlah unsur mangan juga telah digunakan sebagai campuran dalam stainless steel. *Stainless steel* juga dapat dibedakan berdasarkan struktur kristalnya menjadi: *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, *precipitation-hardening stainless steel*, dan *duplex stainless steel*.

#### 1. *Austenitic Stainless Steel*

*Austenitic stainless steel* memiliki paduan yang cukup untuk menstabilkan *austenite* pada suhu ruang. Baja ini bersifat non *ferromagnetic*. Baja tahan karat *austenitic* memiliki sifat mampu bentuk dan keuletan pada suhu rendah yang sangat baik. Selain itu baja tahan karat *austenitic* juga memiliki sifat mampu las dan ketahanan karat yang sangat baik. Baja tahan karat jenis ini sangat cocok diterapkan pada sistem dengan suhu tinggi.

##### a. *Type 304*

Paling umum dari type 304 adalah mengandung sekitar 18 % kromium dan 8 % nikel. Hal ini digunakan untuk peralatan pengolahan kimia, industri makanan, susu, dan minuman, untuk penukar panas, dan untuk bahan kimia ringan.

##### b. *Type 316*

Berisi 16% sampai 18% kromium dan 11% sampai 14% nikel. Hal ini juga molibdenum ditambahkan dengan nikel dan krom dari 304. molibdenum ini digunakan sebagai pengontrol. *Type 316* digunakan dalam proses kimia, industri

pulp dan kertas , makanan dan minuman pengolahan dan dispensing dan dalam lingkungan yang lebih korosif . Molibdenum harus minimal harus 2%.

c. *Type 317*

Berisi persentase yang lebih tinggi dari molibdenum dari 316 untuk lingkungan yang sangat korosif. Ini harus memiliki minimal 3% " moly ". Hal ini sering digunakan dalam tumpukan yang berisi *scrubber*.

d. *Type 317L*

Membatasi kadar karbon maksimum 0.030%. dan silikon menjadi 0,75% max untuk tambahan ketahanan korosi .

e. *Type 317LM*

Mebutuhkan isi molibdenum min 4,00%.

f. *Type 317LMN*

Mebutuhkan isi molibdenum min.4,00% dan nitrogen 0,15%.

g. *Type 321, Type 347*

Jenis ini telah dikembangkan untuk ketahanan korosi untuk paparan intermiten titanium.

h. *Type 347*

Dibuat dengan penambahan tantalum/columbium. *Type* ini terutama digunakan dalam industri pesawat terbang.

2. *Martensitic Stainless Steel*

*Martensitic stainless steel* dikembangkan untuk memberikan sekelompok paduan stainless yang akan tahan korosi dan hardenable oleh perlakuan panas Tingkatan martensit yang baja kromium lurus yang tidak mengandung nikel. Mereka magnet dan dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. *martensitic stainless steel* terutama digunakan di mana kekerasan, diperlukan kekuatan, dan pememakai resistensi.

a. *Type 410*

Basic Group martensit, yang berisi paduan terendah dari tiga dasar baja tahan karat (304, 430, dan 410). Biaya rendah, kegunaan umum, *heat treatable stainless steel*. Digunakan secara luas di mana korosi tidak parah( udara, air, beberapa bahan kimia, dan makanan berasam). Aplikasi untuk bagian bagian yang sangat menekankan sehingga membutuhkan kombinasi kekuatan dan ketahanan korosi seperti pengencang.

b. *Type 410S*

Mengandung karbon lebih rendah dari tipe 410, menawarkan perbaikan *weldability* tapi *hardenability* lebih rendah. Jenis 410S adalah korosi tujuan umum dan tahan panas baja kromium yang direkomendasikan untuk aplikasi tahan korosi.

c. *Type 414*

Ditambahkan Nikel (2%) untuk meningkatkan ketahanan korosi. Aplikasi yang umum termasuk *spring* dan *cuttlery*.

d. *Type 416*

Berisi tambahan fosfor dan sulfur untuk meningkatkan *machinability*. Aplikasi yang umum termasuk bagian-bagian sekrup mesin.

e. *Type 420*

Berisi peningkatan karbon untuk meningkatkan sifat mekanik. Aplikasi yang umum termasuk instrumen bedah.

f. *Type 431*

Berisi peningkatan kromium untuk ketahanan korosi yang lebih besar dan sifat mekanik yang baik. Aplikasi yang umum termasuk bagian kekuatan tinggi seperti katup dan pompa.

g. *Type 440*

Kenaikan lebih lanjut kromium dan karbon untuk meningkatkan ketangguhan dan ketahanan korosi. Aplikasi yang umum termasuk instrumen.

3. *Ferritic Stainless Steel*

*Ferritic stainless steel* telah dikembangkan untuk kelompok stainless steel yang tahan terhadap korosi dan oksidasi, sementara sangat tahan terhadap *stress corrosion cracking*. Baja ini bersifat magnetis tetapi tidak dapat dikeraskan atau diperkuat. Sebagai kelompok, stainless steel lebih tahan korosi dari pada grade martensit, tetapi secara umumnya lebih rendah dari pada *grade austenitic*. Seperti *grade martensit*, ini adalah *Chromium straight steel* tanpa nikel. Mereka digunakan untuk garis hiasan dekoratif, wastafel, dan aplikasi otomotif, khususnya sistem pembuangan.

a. *Type 430*

*Basic tipe feritik*, dengan ketahanan korosi sedikit kurang dari *Type 304*. Jenis ini menggabungkan resistensi yang tinggi terhadap korosif seperti asam nitrat, gas sulfur, dan banyak organik dan asam makanan.

b. *Type 405*

Memiliki kromium rendah dan menambahkan aluminium untuk mencegah pengerasan ketika didinginkan dari tinggi suhu. Aplikasi yang umum termasuk penukar panas.

c. *Type 409*

Berisi kadar krom terendah dari semua baja tahan karat dan juga yang paling mahal. Awalnya dirancang untuk muffler stock dan juga digunakan untuk bagian eksterior lingkungan yang tidak kritis korosifnya.

d. *Type 434*

Memiliki, ditambahkan molibdenum untuk meningkatkan ketahanan korosi . Aplikasi yang umum termasuk untuk otomotif dan pengencang .

e. *Type 436*

Type 436 columbium telah ditambahkan untuk korosi dan tahan panas . Aplikasi yang umum termasuk bagian bagian ditarik .

f. *Type 442*

Memiliki peningkatan kromium untuk meningkatkan ketahanan terhadap scaling. Aplikasi yang umum termasuk tungku dan pemanas bagian.

g. *Type 446*

Berisi lebih kromium ditambahkan untuk lebih meningkatkan korosi dan ketahanan scaling pada. Terutama baik untuk ketahanan oksidasi dalam atmosfer bersulfat.

4. *Duplex Stainless Steel*

Baja tahan karat *duplex* merupakan baja dengan paduan chromium, nickel, dan molybdenum yang memiliki campuran (*duplex*) struktur mikro dengan persentase *ferrite* dan *austenite* hampir sama (keduanya sekitar 50%). Sifat tahan karat dari baja tahan karat *duplex* mirip dengan baja tahan karat *austenitic*. Baja tahan karat *duplex* memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada baja tahan karat *austenitic*. Selain itu, baja tahan karat *duplex* juga memiliki ketahanan retak akibat karat yang lebih baik daripada baja tahan karat *austenitic*. Sifat lain dari baja tahan karat *duplex* antara lain lebih ulet serta memiliki sifat mampu bentuk dan mampu las yang lebih baik.

5. *Precipitation hardening stainless steel*

*Precipitation hardening stainless steel* merupakan baja tahan karat yang memiliki kekuatan dan keuletan tinggi melalui penambahan aluminium, titanium, niobium, tantalum, vanadium, atau nitrogen. Pada baja tahan karat jenis ini, pengendapan terbentuk selama proses perlakuan panas. Struktur mikro yang terbentuk pada

*Precipitation hardening stainless steel* bisa *martensitic* maupun *austenitic* tergantung dari komposisi dan proses pembuatannya.

### 2.7.1 *Stainles Steel 304*

*Stainless steel* adalah baja tahan karat yang mengandung sekitar 18,5% Kromium. Fungsi kromium tersebut untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Komposisi ini akan membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang berasal dari proses oksidasi oksigen terhadap Krom yang terjadi secara spontan. Lapisan tersebut berfungsi untuk menghindari terjadinya oksidasi pada besi (*Ferrous*). *Stainless Steel 304* sendiri adalah jenis stainless steel yang termasuk golongan *stainless steel austeniic*. Disebut *Stainless steel austenitic* karena kandungan materialnya cukup untuk dapat menstabilkan *austenite* pada suhu ruang. Golongan ini memiliki sifat *non magnetic*. Salah satu dari golongan tersebut adalah dengan tipe 304. Tipe ini memiliki keunggulan yaitu mampu tahan karat dan mampu las karena memiliki kandungan carbon yang rendah. Kandungan karbon yang dimiliki oleh 304 adalah berkisar 0,08%. SS304 sendiri dapat dikategorikan sebagai *Food Grade metal*. Artinya adalah *stainless steel* tersebut layak digunakan untuk alat perlengkapan makanan/minuman, mesin pengolah makanan/minuman dan lain-lain. Bahan Logam tersebut tidak akan memindahkan, mengkontaminasi atau mencemari makanan/minuman dengan zat-zat kimia logamnya, seperti perubahan warna dan rasa/bau. *Stainless steel 304* memiliki spesifikasi AMS5513, ASTM A 240, ASTM A 66.

Tabel 2.2

Kandungan *Stainless Steel 304*

Unsur Paduan	Tipe 304 (%)
Karbon	0,08 maks.
Mangan	2,00 maks.
Fosfor	0,045 maks
Sulfur	0,030 maks.
Silikon	0,75 maks.
Kromium	18,00 – 20,00
Nikel	8,00 – 12,00

Sumber: Sriwidharto (1996)

### 2.8 Kekasaran Permukaan

Menurut ISO 1302 - 1978 yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga dari rata-rata kekasaran permukaan. Dalam dunia industri, kebutuhan yang diinginkan masing-masing perusahaan berbeda,sesuai dengan kebutuhan yang

diinginkan. Nilai kekasaran permukaan sendiri memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda. Dimana menurut ISO, nilai kualitas kekasaran permukaan dapat diklasifikasikan dari yang paling kecil adalah N1 dengan nilai kekasaran permukaan (Ra) 0,025 $\mu\text{m}$  hingga nilai tertinggi adalah N12 dengan nilai kekasaran permukaan (Ra) 50 $\mu\text{m}$ .

Tabel 2.3  
Tabel Nilai Kualitas Kekasaran Permukaan (Ra)

Kelas Kekasaran	Harga Ra ( $\mu\text{m}$ )	Toleransi ( $\mu\text{m}$ ) (+50% & - 25%)	Panjang sampel (mm)
N1	0,025	0,02 – 0,04	0,08
N2	0,05	0,04 – 0,08	0,25
N3	0,1	0,08 – 0,15	
N4	0,2	0,15 – 0,3	
N5	0,4	0,3 – 0,6	0,8
N6	0,8	0,6 – 1,2	
N7	1,6	1,2 – 2,4	
N8	3,2	2,4 – 4,8	2,5
N9	6,3	4,8 – 9,6	
N10	12,5	9,6 – 18,75	
N11	25	18,5 – 37,5	8
N12	50	37,5 – 75,0	

Sumber: Munadi (1980:230)

### 2.8.1 Parameter Kekasaran Permukaan

Ada 3 parameter yang digunakan untuk menentukan kekasaran permukaan, yakni:

1. Ra adalah penyimpangan rata-rata dari garis rata-rata profil.

Kekasaran Rata-rata Aritmetis (*Mean Roughness Index/Center Line Average, CLA*), merupakan harga-harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l h_i \cdot dx \quad (\mu\text{m}) \quad (2-1)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980:56)

$$R_a = \frac{1}{l} [h_i \cdot x]_0^l \quad (\mu\text{m}) \quad (2-2)$$

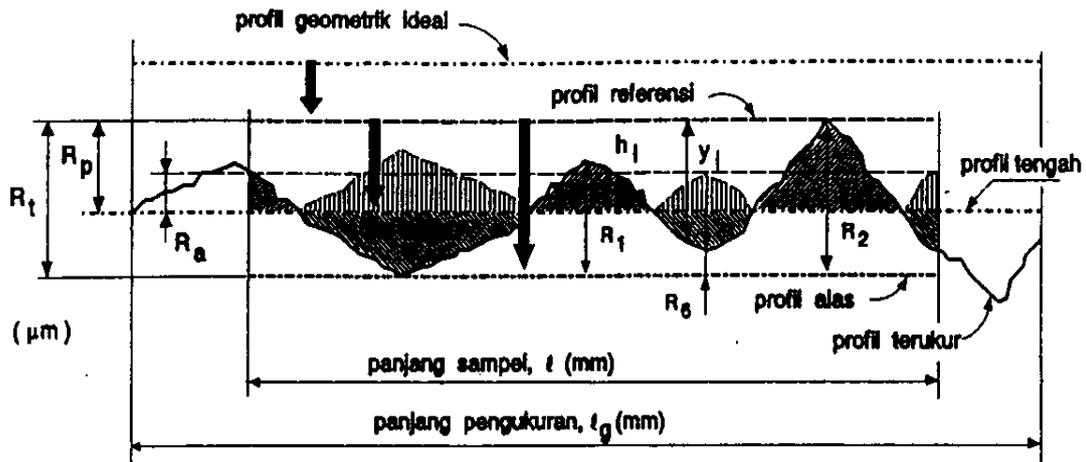
Sumber : Taufiq rochim (1980:56)

$$R_a = \frac{1}{l} h_i \cdot l - \frac{1}{l} h_i \cdot 0 \quad (\mu\text{m}) \quad (2-3)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980:56)

$$R_a = \frac{h_i l}{l} \quad (\mu\text{m}) \quad (2-4)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980:56)



Gambar 2.7 Kekasaran permukaan ( $R_a$ )

Sumber: Taufiq rochim (1980:56)

Ada beberapa cara untuk menentukan kekasaran rata-rata ( $R_a$ ) dapat pula dilakukan secara grafis. Adapun caranya adalah:

- Pertama, gambar sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X – X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam.
- Kedua, ambilah beberapa sampel panjang pengukuran sepanjang L yang dapat memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama.
- Ketiga, ambilah luasan daerah A di bawah kurva dengan menggunakan metode ordinat. Dengan demikian diperoleh jarak garis *center* C – C terhadap garis X – X secara tegak lurus yang besarnya adalah:

$$H_m = \frac{\text{daerah A}}{L} \quad (2-5)$$

Sumber: Munadi (1980:229)

- Keempat, sekarang diperoleh garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah di atas ( $P_1 + P_2 + P_3 + \dots$  dan seterusnya) dan luasan daerah di bawah ( $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$  dan seterusnya). Dengan demikian maka  $R_a$  dapat ditentukan besarnya yaitu.

$$R_a = \frac{\text{Luas daerah P} + \text{Luas daerah Q}}{L} \times \frac{1000}{V_v} \quad (\mu\text{m}) \quad (2-6)$$

Sumber: Munadi (1980:229)

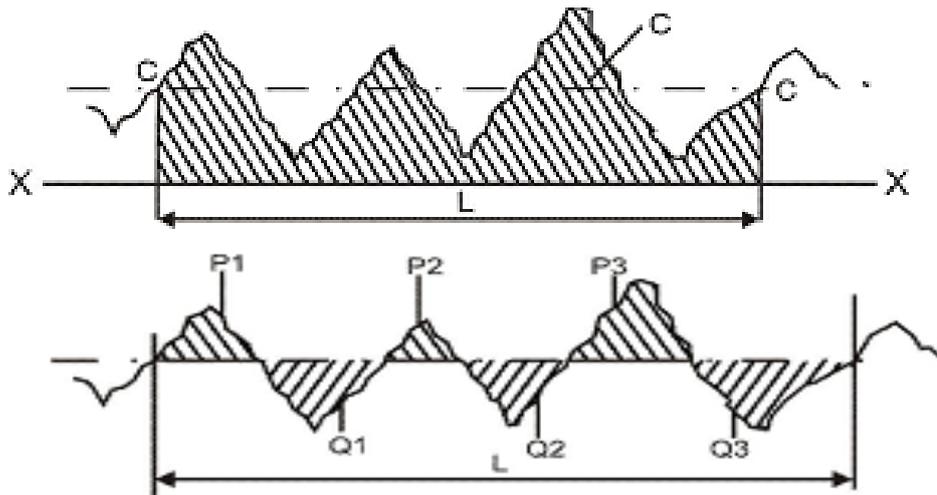
Dengan:

$V_v$  = Perbesaran vertikal. Luas P dan Q dalam (mm)

L = Panjang sampel pengukuran dalam (mm)

Berdasarkan pada rumus di atas maka perhitungan  $R_a$  ditunjukkan pada Gambar

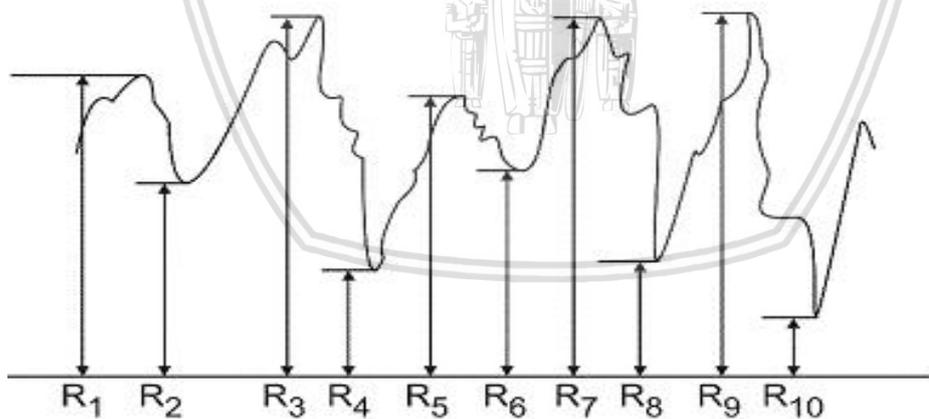
2.8.



Gambar 2.8 Kekasaran rata-rata, Ra  
Sumber: Munadi (1980:229)

2. Rz adalah ketidak rataan ketinggian pada sepuluh titik.

Rz sebetulnya hampir sama dengan kekasaran rata-rata aritmetis Ra, tetapi cara menentukan Rz adalah lebih mudah daripada menentukan Ra. Gambar 2.8. menunjukkan cara menentukan Rz. Sampel pengukuran diambil sejumlah profil yang memuat, misalnya 10 daerah yaitu 5 daerah puncak dan 5 daerah lembah. Kemudian buat garis lurus horizontal di bawah profil permukaan. Tarik garis tegak lurus dari masing-masing ujung puncak dan lembah ke garis horizontal. Dengan cara ini maka diperoleh harga Rz yang besarnya di tunjukkan Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kekasaran permukaan Rz  
Sumber: Munadi (1980,p229)

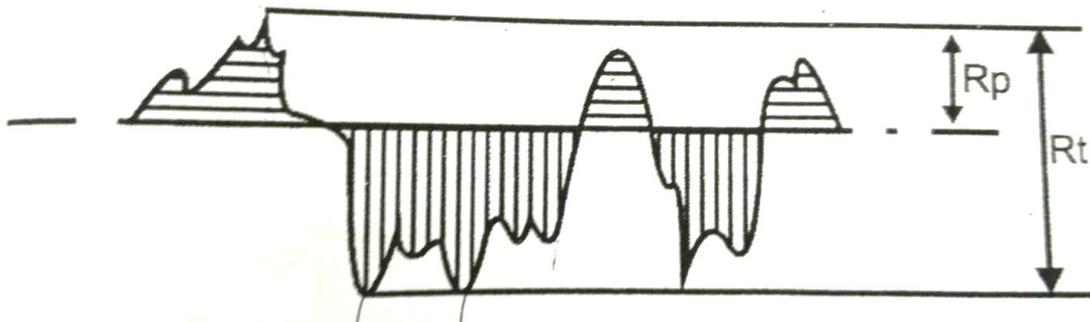
Rumus ini menjelaskan pada Gambar 2.10.

$$Rz = \frac{1}{5}(R1+R3+R5+R7+R9+Pa) - \frac{1}{5}(R2+R4+R6+R8+R1) \times \frac{1000}{Vv} \quad (2-7)$$

Sumber: Munadi (1980:229)

3. Kekasaran perataan (Rp) merupakan jarak rata-rata antara garis referensi dengan garis terukur.

4.  $R_t$ , kedalaman total (*Peak to Valley*) adalah besar jarak dari profil referensi hingga profil dasar dengan satuan  $\mu\text{m}$ .

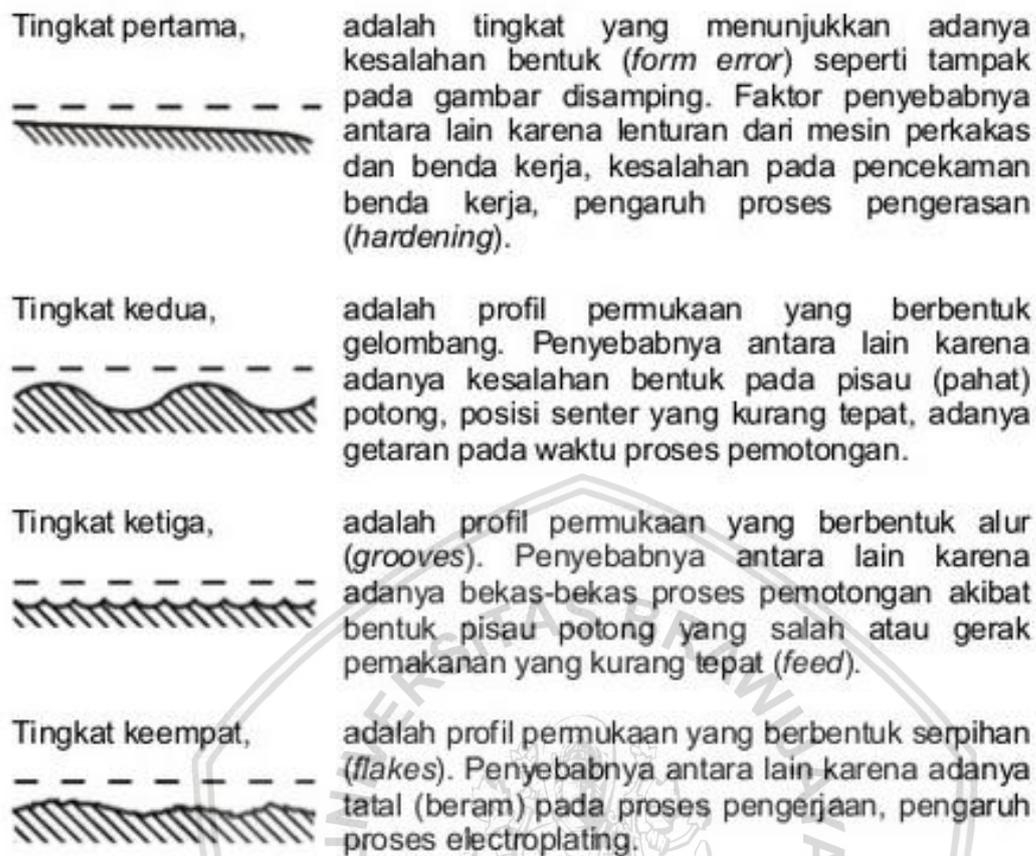


Gambar 2.10 Kedalaman total dan kedalaman perataan  
Sumber: Munadi (1980:227)

### 2.8.2 Perbedaan Permukaan dan Profil

Permukaan adalah suatu titik yang membatasi antara sebuah benda padat dengan lingkungan sekitarnya (Munadi, 1980:223). Apabila dilihat dengan skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan produk juga termasuk karakteristik geometrik yang tergolong dengan golongan mikrogeometrik. Permukaan produk yang membentuk rupa dapat disebut golongan makrogeometrik. Sebagai contohnya adalah: poros, sisi, lubang, dan sebagainya.

Sedangkan profil adalah sebuah garis tiruan permukaan yang meng-simulasikan keadaan permukaan bidang dari benda kerja tersebut ketika dipotong secara normal atau serong (Munadi, 1980:224). Karena dalam pembuatan benda kerja dapat terjadi penyimpangan maka pada permukaan geometri ideal tidak dapat dibuat. Didunia kerja, perancang tersebut akan menuliskan syarat permukaan pada gambar teknik. Suatu keadaan permukaan yang diberi syarat pada gambar teknik disebut permukaan nominal (*nominal surface*). Macam-macam contoh dari bentuk profil adalah pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tabel ketidak teraturan pada profil  
Sumber: Munadi (1980:225)

## 2.9 Hipotesis

Hipotesis adalah semakin besar nilai *cutting speed* tersebut maka nilai kekasaran yang didapat akan semakin tinggi. Kekasaran yang rendah atau buruk berdampak pada kualitas dan kepresisian.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode yang Digunakan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode ini yaitu melakukan pengamatan dalam mencari data sebab dan akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui nilai kekasaran hasil proses pemotongan dari variasi yang di gunakan.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada waktu bulan September 2017 di Surabaya hingga selesai.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang tidak terpengaruh oleh variabel lain. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah. *cutting sped*: 20, 40, 60, 80, 100 mm/min

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kekasaran dan foto makro.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan dalam penelitian.

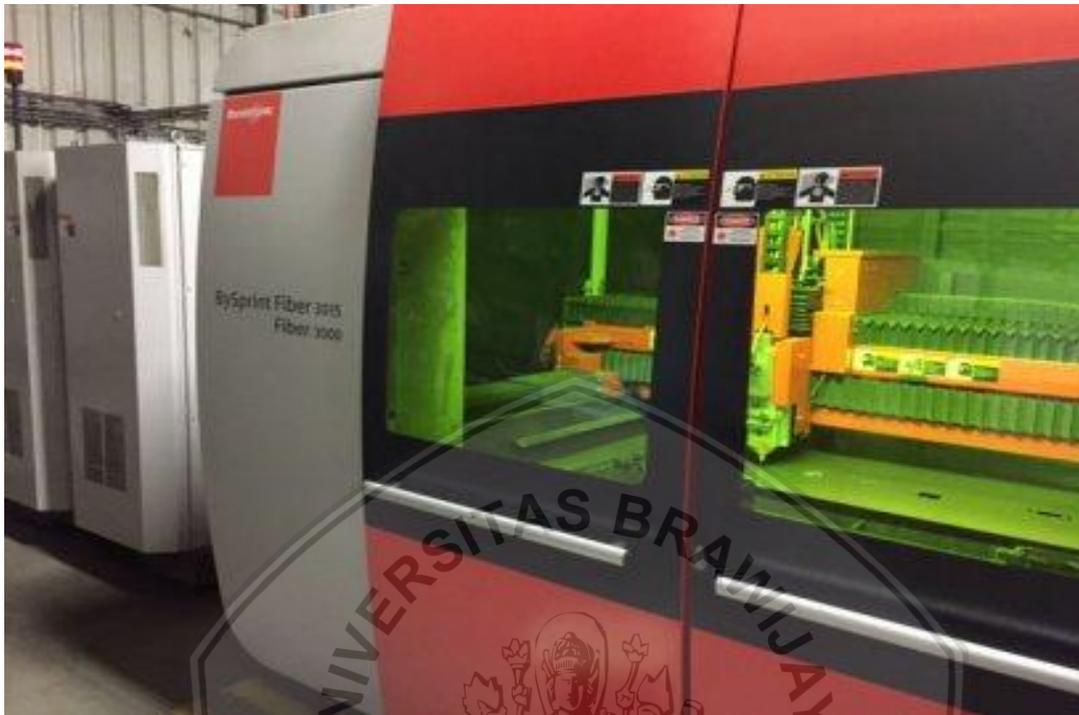
Variabel terkontrol yang digunakan yaitu:

- a. Diameter *nozzle* : 2,0 mm
- b. Sudut *nozzle* : 90°
- c. Gas : Nitrogen
- d. Tekanan : 15 bar

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat – alat yang digunakan:

#### 1. Spesifikasi Mesin *Laser Cutting*



Gambar 3.1 Mesin laser cutting

Mesin diatas mempunyai spesifikasi sebagai berikut.

- a. Model : EAGLE3015
- b. Cutting area : 3000x1500 mm
- c. Laser power : 1000 W
- d. Serial number : FE572-SP
- e. Production date : November 2014

#### 2. *Surface roughness tester*

Digunakan untuk menguji kekasaran permukaan yang terjadi.

Spesifikasi:



Gambar 3.2 Surface roughness tester

Mesin diatas mempunyai spesifikasi sebagai berikut.

- a. Merk : Mitutoyo
  - b. Jenis : Roughness Tester
  - c. Model: SJ 1410
3. Spesifikasi Benda Kerja *Stainless Steel 304*

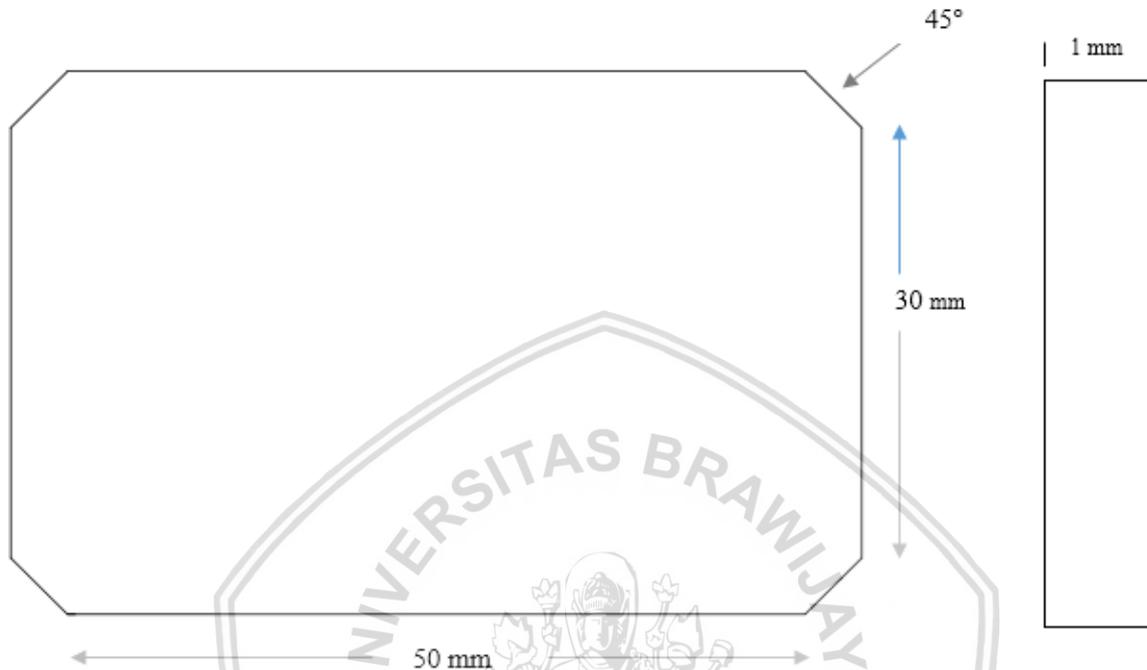


Gambar 3.3 Stainless steel

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| a. UTS                                 | : 558 MPa                 |
| b. <i>Hardness rockwell</i>            | : B79                     |
| c. <i>Density</i>                      | : 7,99 g/cm <sup>3</sup>  |
| d. <i>Specific heat (0-100°C)</i>      | : 0,50 KJ/kg.K            |
| e. <i>Thermal conductivity (100°C)</i> | : 16,2 W/m.K              |
| f. Modulus elastisitas                 | : 193x10 <sup>3</sup> Mpa |

- g. Komposisi: Carbon: (0,03 %), Manganese:( 2%), Phosporus: (0,045%), Sulfur: (0,03%), Silicon: (0,75%), Nitrogen: (0,10 %)

### 3.5 Dimensi Benda Kerja



Gambar 3.4 Demensi benda kerja

### 3.6 Prosedur Penelitian

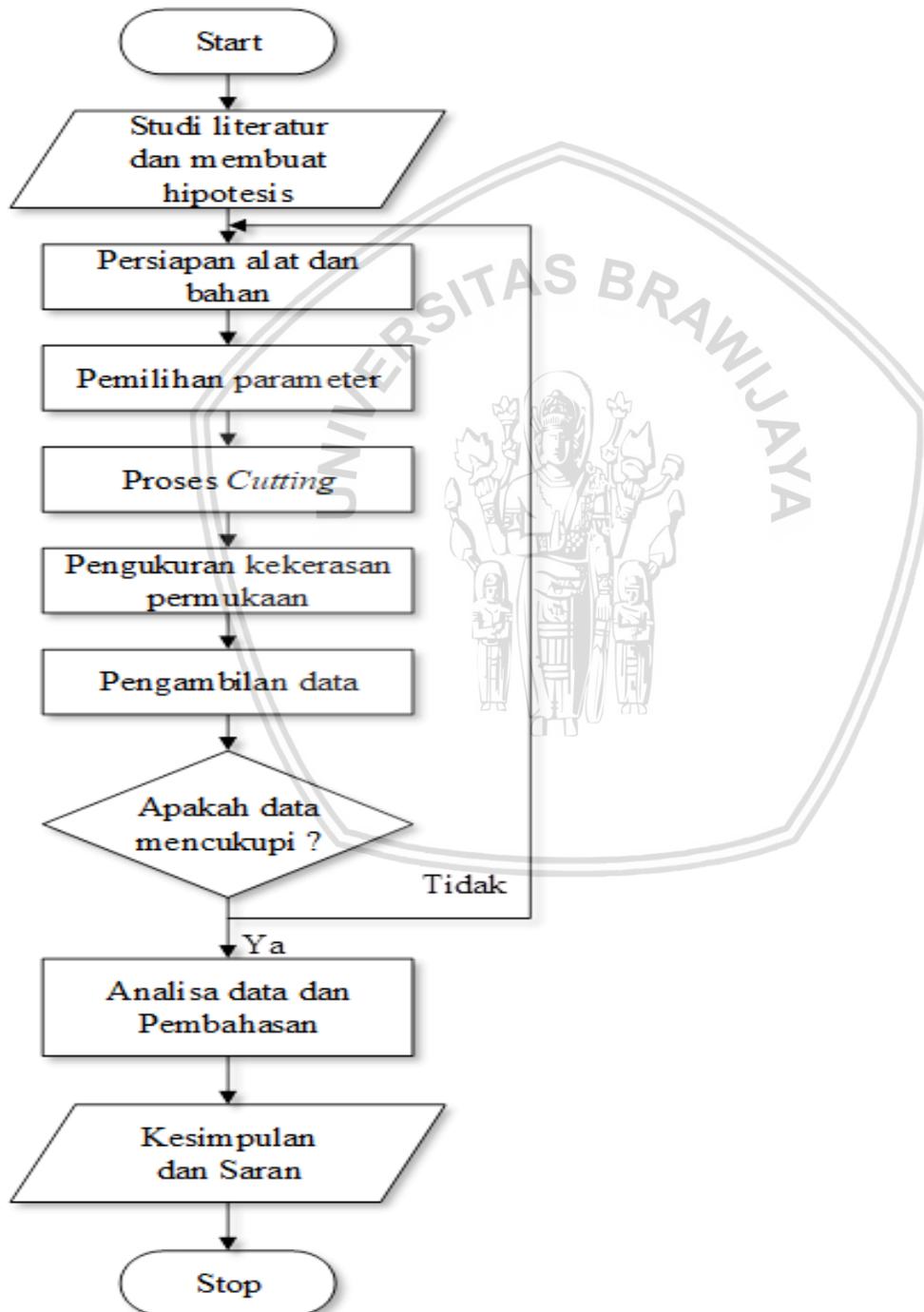
Pada penelitian ini, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menyiapkan benda kerja yaitu *Stainless Steel 304* dengan dimensi 1 x 1 m.
2. Menyiapkan mesin *Laser Cutting*.
3. Melakukan proses pemotongan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan berdasarkan variabel yang digunakan.
4. Melakukan penandaan terhadap benda yang telah selesai dilakukan pemotongan.
5. Dengan variabel yang telah ditentukan *Cutting Sped*: 20, 40, 60, 80, 100 mm.
6. Lakukan pengukuran kekerasan permukaan pada tiap spesimen dengan metode *Surface rounace tester*.
7. Analisa dan pengolahan data serta pembahasan secara statistik dan kajian pustaka sebagai hasil penelitian.
8. Memberikan kesimpulan terhadap hasil penelitian yang didapat.

### 3.7 Rancangan Penelitian

Pengolahan data dengan menggunakan model regresi tunggal yang dimaksud untuk menjelaskan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dengan tujuan menjawab hipotesis. Data yang diperoleh dari pengukuran dimensi diubah menjadi grafik dan dilakukan pembahasan.

### 3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

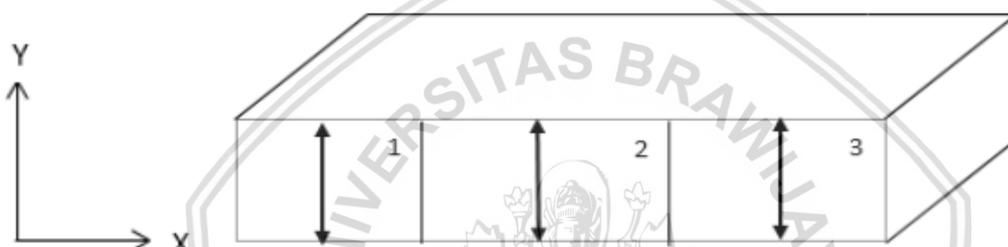


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian kekasaran dengan variasi *Cutting Speed*

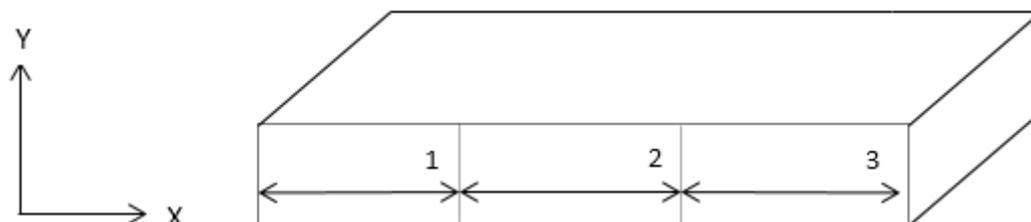
Setelah dilakukan proses pemotongan dengan mesin *Laser Cutting* maka dilakukan pengujian kekasaran dengan cara pengambilan data secara vertikal dan horizontal. di Laboratorium Metrologi Industri di Jurusan Mesin Universitas Brawijaya. Dari hasil pengujian kekasaran dengan variasi *cutting speed* 20 - 100 mm/min pada mesin *Laser Cutting* di dapat data kekasaran sebagai berikut.



Gambar 4.1 Titik pengambilan nilai kekasaran secara vertikal

Tabel 4.1  
Data Pengujian Ra Vertikal Dengan Variasi *Cutting Speed*

Cutting Speed (mm/menit)	Ra Vertikal ( $\mu\text{m}$ )			$\Sigma$ ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
	Pengulangan				
	1	2	3		
20	1.622	1.860	1.658	5.140	1.713
40	1.867	1.921	1.619	5.407	1.802
60	1.717	1.978	1.910	5.605	1.868
80	1.723	1.962	2.098	5.783	1.928
100	2.017	2.185	2.106	6.308	2.103



Gambar 4.2 Titik Pengambilan Nilai Kekasaran secara Horizontal



Tabel 4.2

Data Pengujian Ra Horizontal Dengan Variasi *Cutting Speed*

Cutting Speed (mm/menit)	Ra horizontal ( $\mu\text{m}$ )			$\Sigma$ ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
	Pengulangan				
	1	2	3		
20	1.934	1.617	1.694	5.245	1.748
40	1.985	1.659	1.787	5.431	1.810
60	1.77	1.814	1.873	5.457	1.890
80	2.031	1.991	2.011	6.033	2.011
100	2.123	2.361	2.139	6.623	2.208

## 4.2 Analisis dan Pembahasan

### 4.2.1 Analisis Varian Satu Arah

Dari data kekasaran yang diperoleh, dilakukan analisis varian satu arah. Dalam analisis varian satu arah tanpa interaksi terdapat dua hipotesis yang digunakan yaitu apakah ada perbedaan rata-rata antar kategori baik kategori berdasarkan baris maupun kolom. Pengolahan data analisis varian dilakukan dengan bantuan *Data Analysis Tools* pada program *Microsoft Excel*. Apabila nilai  $F_{\text{hitung}}$  yang di peroleh lebih kecil dari  $F_{\text{tabel}}$  berarti faktor yang diuji tidak signifikan terhadap hasil uji. Namun apabila nilai  $F_{\text{hitung}}$  yang di peroleh lebih besar daripada  $F_{\text{tabel}}$  berarti faktor yang diuji memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil uji.

#### 1. Hipotesis anova (kecepatan) terhadap Kekasaran Permukaan

$H_0: \mu^*1 = \mu^*2 = \mu^*3 = \dots = \mu^*k$ , Tidak ada pengaruh yang signifikan antara rata-rata hitung dari kategori kolom

$H_1: \mu^*1 \neq \mu^*2 \neq \mu^*3 \neq \dots \neq \mu^*k$ , Ada pengaruh yang signifikan antara rata-rata hitung Dari kategori kekasaran permukaan.

Tabel 4.3

Analisis Varian Satu Arah ( *Cutting Speed* ) Terhadap Kekasaran Permukaan

Groups	Count	Sum	Average	Variance
20	3	5.14	1.71333333	0.0164573
40	3	5.407	1.80233333	0.0259373
60	3	4.8248	1.60826667	0.1356744
80	3	5.783	1.92766667	0.0360403
100	3	6.308	2.10266667	0.0070643

$\alpha = 0.05$ ;

$df_{\text{between}} = k - 1 = (5-1) = 4$

$df_{\text{within}} = N - k = (15 - 5) = 10$

$df_{\text{total}} = 4 + 10 = 14$

$$F_{\text{tabel}} = 3,48$$

- a. Rata – rata Tiap Variasi (  $\bar{x}'$  )

$$\bar{x}'_1 = 1,713$$

$$\bar{x}'_2 = 1,802$$

$$\bar{x}'_3 = 1,868$$

$$\bar{x}'_4 = 1,868$$

$$\bar{x}'_5 = 2,103$$

- b. Rata – rata Total (  $\bar{x}''$  )

$$\bar{x}'' = \frac{G}{N}$$

$$= 28,24 / 15$$

$$= 1,89$$

- c. *Sum of Square Total* (  $SS_{\text{total}}$  )

$$SS_{\text{total}} = \sum (x - \bar{x}'')^2$$

$$= (x_1 - \bar{x}'')^2 + (x_2 - \bar{x}'')^2 + (x_3 - \bar{x}'')^2 + (x_4 - \bar{x}'')^2 + (x_5 - \bar{x}'')^2 + (x_6 - \bar{x}'')^2 \\ + (x_7 - \bar{x}'')^2 + (x_8 - \bar{x}'')^2 + (x_9 - \bar{x}'')^2 + (x_{10} - \bar{x}'')^2 + (x_{11} - \bar{x}'')^2 + (x_{12} - \bar{x}'')^2 \\ + (x_{13} - \bar{x}'')^2 + (x_{14} - \bar{x}'')^2 + (x_{15} - \bar{x}'')^2$$

$$= (0,071 + 0,009 + 0,079 + 0,0052 + 0,009 + 0,073 + 0,0299 + 0,0077 + 0,004 \\ + 0,027 + 0,0052 + 0,432 + 0,016 + 0,087 + 0,046)$$

$$= 0,9639$$

- d. *Sum of Square Within* (  $SS_{\text{within}}$  )

$$SS_{\text{within}} = \sum (x - \bar{x}')^2$$

$$= (x_1 - \bar{x}')^2 + (x_2 - \bar{x}')^2 + (x_3 - \bar{x}')^2 + (x_4 - \bar{x}')^2 + (x_5 - \bar{x}')^2 + (x_6 - \bar{x}')^2 + (x_7 \\ - \bar{x}')^2 + (x_8 - \bar{x}')^2 + (x_9 - \bar{x}')^2 + (x_{10} - \bar{x}')^2 + (x_{11} - \bar{x}')^2 + (x_{12} - \bar{x}')^2 + (x_{13} \\ - \bar{x}')^2 + (x_{14} - \bar{x}')^2 + (x_{15} - \bar{x}')^2$$

$$= (0,0073 + 0,021 + 0,003 + 0,042 + 0,012 + 0,033 + 0,024 + 0,45 + 0,0017 + \\ 0,042 + 0,0014 + 0,0289 + 0,0073 + 0,0067 + 0,096)$$

$$= 0,647$$

- e. *Sum of Square Between* (  $SS_{\text{between}}$  )

$$SS_{\text{between}} = SS_{\text{total}} - SS_{\text{within}}$$

$$= 0,963 - 0,648$$

$$= 0,316$$

f. *Mean Square Between* (  $MS_{between}$  )

$$\begin{aligned} MS_{between} &= SS_{between} / df_{between} \\ &= 0,316 / 4 \\ &= 0,078 \end{aligned}$$

g. *Mean Square Within* (  $MS_{within}$  )

$$\begin{aligned} MS_{within} &= SS_{within} / df_{within} \\ &= 0,641 / 10 \\ &= 0,0641 \end{aligned}$$

h. F Hitung ( F )

$$\begin{aligned} F &= MS_{between} / MS_{within} \\ &= 0,079 / 0,0641 \\ &= 1,232 \end{aligned}$$

Tabel 4.4

Hasil Analisis Varian Satu Arah ( *Cutting Speed* ) terhadap Kekasaran Permukaan

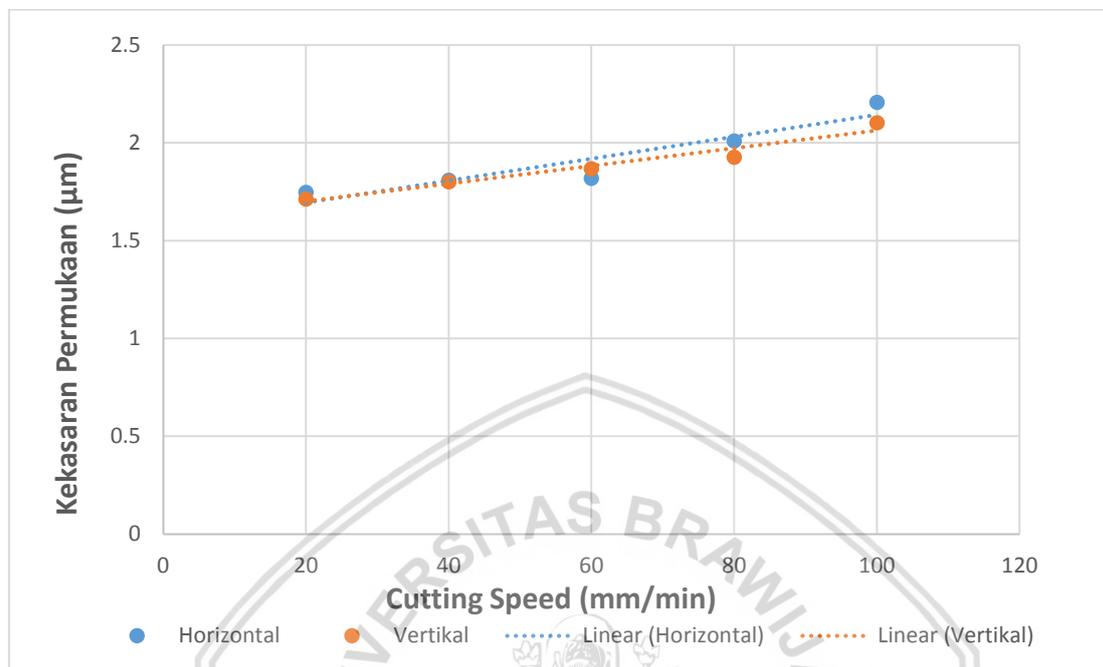
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<i>Between Groups</i>	0.442273	4	0.11056836	2.4995814	0.109414	3.47805
<i>Within Groups</i>	0.442347	10	0.04423475			
<b>Total</b>	<b>0.884621</b>	<b>14</b>				

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa:

- a.  $F_{hitung} < F_{tabel}$  ; maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, berarti faktor baris yaitu *Cutting Speed* berpengaruh tetapi tidak signifikan terhadap kekasaran permukaan *stainless steel 304*.

## 4.2.2 Pembahasan

### 4.2.2.1 Hubungan Pengaruh *Cutting Speed* terhadap Kekasaran Permukaan



Gambar 4.3 Grafik hubungan *Cutting Speed* terhadap kekasaran permukaan

Pada Gambar 4.3 hubungan *Cutting Speed* terhadap kekasaran permukaan menjelaskan tentang hubungan antara kecepatan pemotongan (*cutting speed*) terhadap nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan ketika proses pemotongan dengan menggunakan *Laser cutting*. Dengan variasi *cutting speed* yang saya berikan antara 20 – 100 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang terus mengalami peningkatan. Dari *cutting speed* 20mm memiliki nilai Ra secara vertikal adalah 1,730  $\mu\text{m}$  lalu mengalami kenaikan di *Cutting speed* 40mm dengan nilai Ra secara vertikal adalah 1,802  $\mu\text{m}$ . Dan ketika nilai *cutting speed* di perbesar hingga 100 mm, nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan yang dihasilkan pun akan ikut naik pula dengan nilai Ra secara vertikal 2,103  $\mu\text{m}$ .

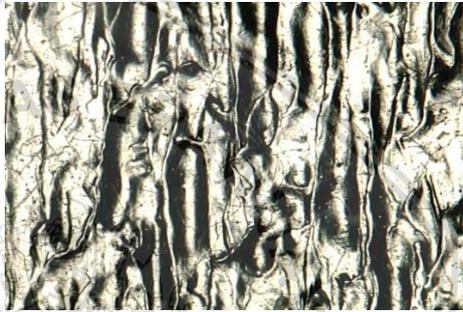
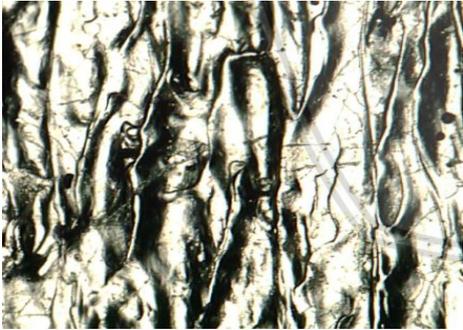
Dalam proses *laser cutting*, semakin cepat *cutting speed* mengakibatkan waktu untuk memotong semakin singkat sehingga energi panas laser yang menumbuk bidang kerja tidak maksimal, serta gas pada *laser cutting* yang menumbuk bidang kerja semakin tidak rata seiring bertambahnya *cutting speed*.

Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai dari kekasaran permukaan Ra horizontal cenderung lebih tinggi dari pada nilai kekasaran permukaan Ra vertikal. Penyebab dari nilai kekasaran permukaan Ra vertikal lebih rendah adalah karena arah pengukuran kekasaran permukaan yang sejajar dengan arah pemotongan pada benda kerja tersebut. Dimana *laser cutting* memotong benda kerja dari arah atas kebawah. Sehingga hasil dari kekasaran

permukaan secara vertikal lebih rendah dibandingkan dengan kekasaran permukaan secara horizontal. Kekasaran permukaan secara horizontal dapat memiliki nilai yang lebih tinggi karena pemotongan tersebut yang menggerus dari atas, dengan terus berjalannya indenter untuk memakan mengakibatkan pemotongan tersebut menjadi bergaris-garis yang kurang sempurna dan mempengaruhi nilai kekasaran.

Apabila dilihat dari foto makro terlihat bahwa semakin besar *cutting speed* yang diberikan menghasilkan bekas pemotongan seperti berikut.

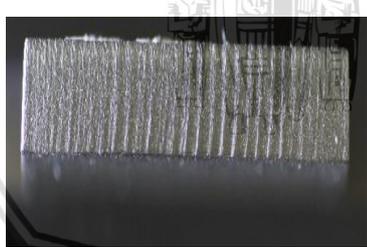
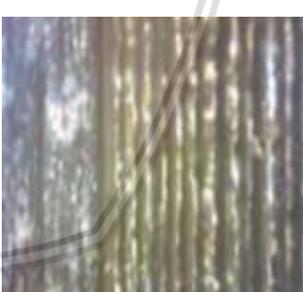
Tabel 4.5  
Hasil Foto Makro Variasi *Cutting Speed* Dengan Perbesaran 300 Kali

Diameter <i>Nozzle</i> 2,0 mm <i>Cutting speed</i> 20 mm/m Tekanan : 15 bar	Diameter <i>Nozzle</i> 2,0 mm <i>Cutting speed</i> 40mm/min Tekanan : 15 bar
	
Diameter <i>Nozzle</i> 2,0 mm <i>Cutting speed</i> 60mm/min Tekanan : 15 bar	Diameter <i>Nozzle</i> 2,0 mm <i>Cutting speed</i> 80mm/min Tekanan : 15 bar
	
Diameter <i>Nozzle</i> 2,0 mm <i>Cutting speed</i> 100mm/min Tekanan : 15 bar	



Pada Tabel 4.3 tersebut dapat dilihat bahwa hasil pemotongan plat dengan kenaikan *cutting speed* maka akan mengalami perubahan tetapi tidak signifikan. Dikarenakan pada proses *laser cutting* menggunakan panas atau thermal sehingga dilihat dari foto makro mengalami perubahan tetapi tidak signifikan. Pada *cutting speed* dengan kecepatan 20 mm/min dan 40 mm/min, terlihat bahwa area hasil pemotongan masih terlihat halus. Namun pada *cutting speed* kecepatan 60 mm/min dan 80 mm/min sudah mulai muncul pemotongan yang kurang sempurna yaitu terdapat seperti timbul motif garis dan lembah yang terdapat pada hasil permukaan pemotongan. Hingga pada *cutting speed* 100 mm/min timbul motif bergaris dan lembah yang semakin dalam pada hasil pemotongan karena pemotongan yang kurang sempurna yang menghasilkan hasil pemotongan menjadi terlihat bergaris-garis dan bergelombang.

Tabel 4.6  
Perbandingan Hasil Foto Makro *Laser Cutting* Dengan Proses Permesinan Lainnya

<i>Laser cutting</i> variasi <i>cutting speed</i> 100 mm/min	<i>abrasive water jet cutting</i> variasi <i>cutting speed</i> 100 mm/min	<i>Milling cutting</i> variasi <i>Cutting speed</i> 100 mm/min
		

Pada Tabel 4.4 tersebut dapat dilihat perbandingan foto makro *laser cutting* dengan *abrasive water jet cutting* dan *milling cutting*. Terlihat sangat jelas perbandingan antara *laser cutting* dengan *abrasive water jet cutting* dan *milling cutting*. Terlihat pada proses *laser cutting* tampak seperti lelehan pada hasil potongan *stainless steel* yang di sebabkan oleh panas pada laser. Sedangkan *abrasive water jet cutting* tampak jelas alur guritan yang terbentuk yang di sebabkan pengikisan air yang bertekanan tinggi. Dan pada proses *milling cutting* terlihat garis garis yang jarak antar garis berdekatan yang di sebabkan oleh pahat

pada proses permesinan. Jadi jika dibandingkan dengan *abrasive water jet cutting* dan *milling cutting* dengan *cutting speed* yang sama maka sangat jelas perbedaannya.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dengan variasi *cutting speed* yang digunakan didapatkan kesimpulan bahwa semakin cepat *cutting speed* mengakibatkan waktu untuk memotong semakin singkat sehingga energi panas laser yang menumbuk bidang kerja tidak maksimal, serta gas pada *laser cutting* yang menumbuk bidang kerja semakin tidak rata seiring bertambahnya *cutting speed*. Hal ini yang mengakibatkan pemotongan kurang maksimal yang menyebabkan nilai kekasaran permukaan semakin tinggi. Pada grafik terterlihat bahwa nilai dari kekasaran permukaan memiliki nilai yang semakin lama semakin lebih tinggi karena pemotongan tersebut yang mengkikis dari arah vertikal pada pemotongannya dan jika dilihat dari foto makro tidak terlihat perubahan yang signifikan. Dikarenakan pada proses *laser cutting* menggunakan panas atau thermal sehingga dilihat dari foto makro mengalami perubahan tetapi tidak signifikan dan jika di bandingkan dengan *abrasive water jet cutting* dan *milling cutting* tampak jelas perbedaannya

### 5.2 Saran

1. Untuk PT Surya Jaya Perkasa lebih diperhatikan mengenai keselamatan dalam bekerja
2. Perlu adanya penelitian yang lebih lanjut mengenai *Laser Cutting* karena masih banyak parameter yang dapat digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Stournaras. (2009). *An investigation of quality in CO2 laser cutting of aluminum*. Patras : University of Patras.
- Adnan Akkurt. 2015. The Effect of Cutting Process on Surface Microstructure and Hardness of pure and Al 6061 Aluminium Alloy. Ankara : Gazi University.
- Bekir Yilbas. (2016). *Laser cutting of various materials: Kerf width size analysis and life cycle assessment of cutting process*. Dhahran : King Fahd University
- Dagmar Klichova, 2014 dengan judul "*Study of the Effect of Material Machinability on Quality of Surface Created by Abrasive Water Jet*"
- John Powell (1993). *CO2 Laser Cutting*. Nottingham : Engineering Academy of St. Petersburg.
- Rakasita R, Kurniawan B.W,2016 dengan penelitian "optimasi parameter mesin laser cutting terhadap kekasaran dan laju pemotongan pada sus 316l menggunakan taguchi grey relational analysis method".
- Serope Kalpakjian. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology*. Chicago: Illinois Institute of Technology.
- Sudji Munadi. (1980). *Dasar-Dasar Metrologi Industri*. Jakarta : Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan
- Taufiq Rochim (1980) *Teori dan Dasar Teknologi Proses Permesinan*
- Wise Tool. (2002). *Surface Roughness and Finished*. [www.wisetool.com/surfacefinish.htm](http://www.wisetool.com/surfacefinish.htm) , diakses 2 Oktober 2017. Pukul 22.00 WIB