

**PENGARUH VARIASI *ABRASIVE MASS FLOW RATE* DAN *CUTTING SPEED* PADA *ABRASIVE WATER JET CUTTING* TERHADAP
KEKASARAN PERMUKAAN PADA SPESIMEN *STAINLESS STEEL*
TIPE 316L**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AZHARUL MUSTAMAM
NIM. 155060201111046**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI *ABRASIVE MASS FLOW RATE* DAN *CUTTING SPEED* PADA *ABRASIVE WATER JET CUTTING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA SPESIMEN *STAINLESS STEEL* TIPE 316L

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



AZHARUL MUSTAMAM
NIM. 155060201111046

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen Pembimbing pada tanggal 22 Juli 2019

Dosen Pembimbing I

Teguh Dwi Widodo ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 201411841123 1 001

Dosen Pembimbing II

Rudianto Raharjo S.T., M.T.
NIP. 198220225 201212 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran 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 penjiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat (2) dan Pasal 70).

Malang, 25 Juli 2019

Mahasiswa,



Azharul Mustamam

NIM. 155060201111046

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 113/UN10.F07.12.21/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

AZHARUL MUSTAMAN

Dengan Judul Skripsi :

PENGARUH VARIASI ABRASIVE MASS FLOW RATE DAN CUTTING SPEED
PADA ABRASIVE WATER JET CUTTING TERHADAP PERMUKAAN PADA
SPESIMEN STAINLESS STEEL TIPE 316L

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 26 JUL 2019



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djari S. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr.Eng Mega Nur Sasongko, ST, MT
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH VARIASI ABRASIVE MASS FLOW RATE DAN CUTTING SPEED
PADA ABRASIVE WATER JET CUTTING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
PADA SPESIMEN STAINLESS STEEL TIPE 316L

Nama Mahasiswa : Azharul Mustamam
NIM : 155060201111046
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Manufaktur

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D.
Pembimbing II : Rudianto Raharjo, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met
Dosen Penguji 2 : Dr. Putu Hadi Setyarini, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

Tanggal Ujian : 10 Juli 2019
SK Penguji :1396/UN10.F07/SK/2019



Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
Ayah dan Ibu Saya Tercinta

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur penulis panjatkan kehadapan Allah SWT, Yang Maha Pengampun, Yang Maha Besar, Yang Maha Kuasa, Yang Maha Cerdas, Yang Maha Memiliki Segala Yang Ada, dan Yang Maha Memberi atas segala taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul ” Pengaruh Sod Dan Tekanan Air Pada Proses Abrasive Water Jet Terhadap Kekasaran Permukaan Pada SS316L” sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Nabi Muhammad SAW, atas ajaran Beliau mengenai perjuangan, konsistensi, tanggung jawab, kewajiban, kejujuran, amanah dan lainnya yang bermanfaat bagi penulis.
2. Bapak dan Ibu yang telah memberikan bimbingan hidup yang sangat berarti dan berguna untuk kehidupan penulis
3. Bapak Teguh Dwi Widodo ST., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Rudianto Raharjo ST., MT., selaku Dosen Pembimbing satu dan dua yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr.Eng Mega Nur Sasongko S.T., M.T., selaku KPS 1 jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono M.Sc., CSE, selaku KKDK Teknik Manufaktur jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, yang telah berkenan membantu dalam pengambilan data.
8. Bapak Djoko Sumantri, A. Md. selaku pranata Laboratorium Fenomena Dasar Mesin yang telah meminjamkan tempat dan peralatan yang ada di laboratorium guna memperlancar penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar

terciptanya karya tulis yang lebih baik. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Juni 2019

Penulis



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN | vii |
| RINGKASAN | viii |
| SUMMARY | ix |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 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 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya | 5 |
| 2.2 <i>Machining</i> | 6 |
| 2.2.1 <i>Traditional Machining</i> | 7 |
| 2.2.2 <i>Non Traditional Machining</i> | 8 |
| 2.3 <i>Abrasive Water Jet Machining</i> | 9 |
| 2.3.1 Prinsip Kerja <i>Abrasive Water Jet Machining</i> | 10 |
| 2.3.2 Bagian-Bagian <i>Abrasive Water Jet Cutter</i> | 11 |
| 2.4 Parameter pada <i>Abrasive Water Jet Machining</i> | 14 |
| 2.5 <i>Stainless Steel 316L</i> | 15 |
| 2.6 Pengukuran Kekasaran Permukaan | 15 |
| 2.6.1 Definisi Kekasaran Permukaan | 17 |
| 2.6.2 Parameter Kekasaran Permukaan | 17 |
| 2.6.3 Penulisan Kekasaran Permukaan pada Gambar Teknik | 19 |
| 2.6.4 Cara Pengukuran Kekasaran Permukaan | 20 |
| 2.7 Hipotesis | 21 |
| | |
| BAB III METODE PENELITIAN | 23 |
| 3.1 Metode Penelitian | 23 |
| 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian | 23 |
| 3.3 Variabel Penelitian | 23 |
| 3.4 Alat dan Bahan | 24 |
| 3.5 Instalasi Alat Penelitian | 28 |
| 3.6 Dimensi Benda Kerja | 28 |
| 3.7 Prosedur Penelitian | 29 |
| 3.8 Diagram Alir Penelitian | 30 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian..... 31

4.2 Grafik Hubungan antara *Abrasive Mass Flow Rate* dengan Kekasaran Permukaan..... 32

4.3 Grafik Hubungan antara *Cutting Speed* dengan Kekasaran Permukaan . 36

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 43

5.2 Saran..... 43

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

| No. | Judul | Halaman |
|-----------|--|---------|
| Tabel 2.1 | Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra | 16 |
| Tabel 4.1 | Nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan variasi <i>abrasive mass flow rate</i> 6 gram/s | 31 |
| Tabel 4.2 | Nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan variasi <i>abrasive mass flow rate</i> 9 gram/s | 31 |
| Tabel 4.3 | Nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan variasi <i>abrasive mass flow rate</i> 12 gram/s | 31 |
| Tabel 4.4 | Nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan variasi <i>abrasive mass flow rate</i> 15 gram/s | 31 |



DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Halaman |
|-------------|--|---------|
| Gambar 2.1 | Macam-macam pemesinan | 7 |
| Gambar 2.2 | Macam-macam <i>non traditional machining</i> | 9 |
| Gambar 2.3 | Dampak drop air abrasif terhadap spesimen..... | 10 |
| Gambar 2.4 | Alur proses <i>Abrasive Water Jet Cutter</i> | 11 |
| Gambar 2.5 | <i>Hydraulic pump</i> | 11 |
| Gambar 2.6 | Proses kerja pada <i>Intensifier</i> | 12 |
| Gambar 2.7 | Proses kerja <i>Intensifier 2</i> | 13 |
| Gambar 2.8 | <i>Intensifier</i> dan <i>accumulator</i> | 13 |
| Gambar 2.9 | <i>Nozzle</i> pada <i>Abrasive Water Jet Cutter</i> | 14 |
| Gambar 2.10 | <i>Catcher</i> | 14 |
| Gambar 2.11 | Kekasaran permukaan dan toleransi dari setiap proses pemesinan | 16 |
| Gambar 2.12 | Parameter kekasaran permukaan | 17 |
| Gambar 2.13 | Parameter kekasaran | 18 |
| Gambar 2.14 | Simbol penulisan kekasaran permukaan..... | 20 |
| Gambar 3.1 | Mesin <i>abrasive water jet cutting</i> | 24 |
| Gambar 3.2 | <i>Personal Computer</i> | 25 |
| Gambar 3.3 | Timbangan elektrik..... | 25 |
| Gambar 3.4 | Gelas ukur..... | 25 |
| Gambar 3.5 | Kamera digital | 26 |
| Gambar 3.6 | <i>Surface roughness tester</i> | 26 |
| Gambar 3.7 | <i>Scanning Electron Microscope</i> | 27 |
| Gambar 3.8 | Instalasi mesin <i>abrasive water jet cutting</i> | 28 |
| Gambar 3.9 | Dimensi benda kerja sebelum proses <i>cutting</i> | 28 |
| Gambar 3.10 | Dimensi benda kerja setelah proses <i>cutting</i> | 29 |
| Gambar 4.1 | Grafik Hubungan antara <i>Abrasive Mass Flow Rate</i> dengan Kekasaran Permukaan saat <i>Cutting Speed</i> 42,5 mm/s | 32 |
| Gambar 4.2 | Grafik Hubungan antara <i>Abrasive Mass Flow Rate</i> dengan Kekasaran Permukaan saat <i>Cutting Speed</i> 85 mm/s..... | 33 |
| Gambar 4.3 | Grafik Hubungan antara <i>Abrasive Mass Flow Rate</i> dengan Kekasaran Permukaan saat <i>Cutting Speed</i> 127,5 mm/s..... | 34 |
| Gambar 4.4 | Grafik Hubungan antara <i>Abrasive Mass Flow Rate</i> dengan Kekasaran Permukaan saat <i>Cutting Speed</i> 170 mm/s..... | 35 |
| Gambar 4.5 | Grafik Hubungan antara <i>Cutting Speed</i> dengan Kekasaran Permukaan saat <i>Abrasive Mass Flow Rate</i> 6 gr/s..... | 36 |
| Gambar 4.6 | Grafik Hubungan antara <i>Cutting Speed</i> dengan Kekasaran Permukaan saat <i>Abrasive Mass Flow Rate</i> 9 gr/s..... | 37 |
| Gambar 4.7 | Grafik Hubungan antara <i>Cutting Speed</i> dengan Kekasaran Permukaan saat <i>Abrasive Mass Flow Rate</i> 12 gr/s..... | 38 |
| Gambar 4.8 | Grafik Hubungan antara <i>Cutting Speed</i> dengan Kekasaran Permukaan saat <i>Abrasive Mass Flow Rate</i> 15 gr/s..... | 39 |
| Gambar 4.9 | Foto mikrostruktur hasil pemotongan dengan variasi a. <i>Abrasive mass flow rate</i> 6 gram/s dan 15 gram/s | 40 |
| Gambar 4.10 | Foto mikrostruktur hasil pemotongan dengan variasi a. <i>Cutting speed</i> 42,5 mm/min dan (b) <i>cutting speed</i> 170 mm/min | 41 |
| Gambar 4.11 | Hasil simulasi ANSYS Worbench 14.5 dengan variasi (a) <i>abrasive mass flow rate</i> 6 gram/s dan (b) 15 gram/s..... | 42 |

DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Judul | Halaman |
|------------|--|---------|
| Lampiran 1 | Lembar Data Hasil Uji Kekasaran | 44 |
| Lampiran 2 | Lembar Hasil Uji Komposisi Material Stainless Steel 316L | 92 |
| Lampiran 3 | Analisis Pemotongan <i>Stainless Steel</i> Menggunakan <i>Abrasive Water Jet Cutting</i> | 93 |



RINGKASAN

Azharul Mustamam, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2019, *Pengaruh Variasi Abrasive Mass Flow Rate dan Cutting Speed pada Abrasive Water Jet Cutting terhadap Kekasaran Permukaan pada Spesimen Stainless Steel Tipe 316L*, Dosen Pembimbing: Teguh Dwi Widodo dan Rudianto Raharjo.

Abrasive water jet cutting merupakan salah satu proses permesinan non-tradisional yang merupakan salah satu alat yang digunakan untuk membuat biomaterial dalam bidang ortopedi. Kelebihan dari proses permesinan ini adalah prosesnya yang bekerja pada suhu kamar, sehingga tidak terjadi perubahan suhu dan struktur dari material yang dikenai proses permesinan. Pada penelitian ini, material yang dipotong adalah *stainless steel* yang memiliki kelebihan berupa ketahanan terhadap korosi, sifat mampu bentuk yang baik, dan kekerasan serta ketangguhan yang baik.

Pada penelitian ini, *abrasive mass flow rate* dan *cutting speed* akan divariasikan, dan melihat hasil kekasaran permukaan yang dihasilkan. Untuk nilai *abrasive mass flow rate*, menggunakan nilai 6 gram/s, 9 gram/s, 12 gram/s dan 15 gram/s, sedangkan *cutting speed* divariasikan dengan menggunakan nilai 42,5 mm/min, 85 mm/min, 127,5 mm/min dan 170 mm/min. Sedangkan nilai tekanan yang digunakan adalah 48.000 psi, sudut nozel 90°, *stand off distance* 2 mm dan diameter nozel 0,8 mm. *Stainless steel* yang digunakan adalah tipe 316L dan memiliki ketebalan 3 mm. Dimensi akhir dari spesimen yang digunakan adalah 2 cm x 10 cm. Setelah dilakukan pemotongan, maka diukur kekasaran permukaan spesimen pada bagian atas, tengah dan bawah spesimen.

Berdasarkan hasil penelitian, semakin naiknya nilai *abrasive mass flow rate*, maka nilai kekasaran permukaan *stainless steel* tipe 316L akan semakin turun. Sedangkan apabila nilai *cutting speed* semakin naik, maka kekasaran permukaan spesimen akan semakin naik pula. Pada bagian atas spesimen hasil pemotongan, memiliki nilai kekasaran yang paling kecil jika dibandingkan dengan bagian tengah dan bawah.

Kata kunci : *abrasive water jet cutting*, *abrasive mass flow rate*, *cutting speed*, *stainless steel*, kekasaran permukaan

SUMMARY

Azharul Mustamam, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya University, July 2019, *Effect of Abrasive Mass Flow Rate and Cutting Speed on Abrasive Water Jet Cutting on Surface Roughness on 316L Stainless Steel Specimens*, Academic Supervisor: Teguh Dwi Widodo and Rudianto Raharjo.

Abrasive water jet cutting is one of the non-traditional machining processes which is one of the tools used to make biomaterials in the orthopedic field. The advantage of this machining process is that the process works at room temperature, so there is no change in temperature and structure of the material subject to the machining process. In this study, the material being cut is stainless steel which has advantages in the form of corrosion resistance, good formability, and good hardness and toughness.

In this study, abrasive mass flow rate and cutting speed will be varied, and see the results of the surface roughness produced. For the abrasive mass flow rate, use the value of 6 gram / s, 9 gram / s, 12 gram / s and 15 gram / s, while the cutting speed is varied using a value of 42.5 mm / min, 85 mm / min, 127, 5 mm / min and 170 mm / min. While the value of the pressure used is 48,000 psi, the angle of the nozzle is 90 °, the stand off distance is 2 mm and the nozzle diameter is 0.8 mm. The stainless steel used is type 316L and has a thickness of 3 mm. The final dimension of the specimen used is 2 cm x 10 cm. After cutting, the surface roughness of the specimens was measured at the top, middle and bottom of the specimen.

Based on the results of the study, the higher the value of the abrasive mass flow rate, the more the value of surface roughness of 316L stainless steel will decrease. Whereas if the value of cutting speed increases, then the surface roughness of the specimen will increase as well. At the top of the cutting specimen, it has the smallest coefficient value when compared to the middle and bottom.

Keywords: *abrasive water jet cutting, abrasive mass flow rate, cutting speed, stainless steel, surface roughness*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin majunya ilmu pengetahuan dan teknologi, berimbas pada seluruh bidang, dan salah satunya adalah bidang kesehatan, khususnya orthopedi dalam membantu penyembuhan jaringan tulang yang telah mengalami kerusakan menggunakan biomaterial. Dalam pengertiannya, biomaterial adalah material yang bertinteraksi secara langsung dengan jaringan dan cairan biologis tubuh makhluk hidup untuk mengobati, memperbaiki, atau mengganti bagian anatomi tubuh makhluk hidup atau sering disebut sebagai implan. (Rodriguez dan Gonzalez : 2009)

Bahan logam menjadi salah satu jenis biomaterial yang digunakan untuk membantu perbaikan atau penggantian jaringan tulang yang telah mengalami kerusakan. Logam lebih cocok untuk aplikasi penahan beban dibandingkan dengan bahan keramik atau polimer karena kombinasi kekuatan mekanik yang tinggi dan ketangguhan retak yang baik. (Staiger, Mark P : 2006). Dalam sebuah penelitian yang dilakukan di Amerika Serikat, ada sekitar 60% implan tulang menggunakan paduan *stainless steel*. (Chandramohan dan Marimuthu : 2010). Hal ini dikarenakan *stainless steel* memiliki ketahanan korosi, sifat mampu bentuk yang baik, dan kekerasan dan ketangguhan yang baik (J.J Ramsden, *et al* : 2007).

Terdapat berbagai macam jenis proses permesinan yang dapat digunakan dalam membuat implan tulang yang berbahan logam, seperti *plasma cutting*, *abrasive water jet cutting*, *laser cutting* dan lain sebagainya. Dengan berbagai macam proses pemmesinan yang ada, maka perlu dilakukan pemilihan jenis pemmesinan yang akan digunakan, sesuai dengan jenis material yang digunakan, serta model atau bentuk akhir benda kerja yang diinginkan. (Hemlata : 2012)

Abrasive water jet cutting diklasifikasikan sebagai prosedur proses pemmesinan non-konvensional. *Abrasive water jet cutting* memanfaatkan air bertekanan tinggi, yang ditambahkan dengan partikel abrasif (Momber dan Kovacevic : 1998). Karakteristik yang sangat menonjol dari proses pemmesinan *abrasive water jet cutting* adalah prosesnya yang bekerja pada suhu kamar, sehingga tidak terjadi perubahan suhu dan struktur dari material yang dikenai proses pemmesinan. (Niranjan, *et al* : 2018) Pemilihan *abrasive water jet cutting* didasari dari keunggulannya dibandingkan

laser cutting yang menghasilkan panas, serta keunggulannya dibandingkan *plasma cutting* yang memerlukan waktu yang lama dalam proses produksi (Akkurt : 2014).

Pada pembuatan implan tulang, kekasaran permukaan yang dihasilkan tidak boleh melebihi dari yang diizinkan, agar tidak terjadi infeksi (Bollen : 1997). Sehingga dari penjelasan diatas, penulis akan meneliti mengenai pengaruh variasi *abrasive mass flow rate* dan *cutting speed* pada proses pemesinan *abrasive water jet* terhadap kekasaran permukaan *stainless steel 316L* yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan permasalahan yang telah disampaikan pada latar belakang, penelitian skripsi disini akan meneliti bagaimana hasil kekasaran permukaan dari pengaruh *abrasive mass flow rate* dan *traverse speed* pada *abrasive water jet cutting machine* terhadap logam *stainless steel* tipe 316L.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan tujuan penelitian yang lebih terfokuskan dan terarah, penulis memberikan batasan-batasan dalam melakukan penelitian skripsi sebagai berikut :

1. Getaran pada nozzel mesin *abrasive water jet cutting* diabaikan.
2. Tidak terjadi perubahan nilai (fluktuasi) variabel kontrol dan variabel bebas yang telah ditentukan.
3. Performa mesin *abrasive water jet cutting* dalam kondisi yang optimal.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan dari logam jenis *stainless steel* tipe 316L yang dilakukan proses pemotongan menggunakan *abrasive water jet cutting machine* dengan variasi *abrasive mass flow rate* dan *cutting speed*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, penulis berharap dapat memberikan manfaat berupa :

1. Menjadi referensi peneliti lain dalam mengembangkan proses pemotongan material menggunakan *abrasive water jet cutting machine*.
2. Menambah wawasan dalam mempelajari proses pemesinan, khususnya *abrasive water jet machining*.

3. Meningkatkan kemampuan dalam menganalisis suatu permasalahan terkait dengan nilai *abrasive mass flow rate* dan *cutting speed* yang nilainya divariasikan dalam proses pemotongan menggunakan *abrasive water jet machining*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Niranjan, *et al* (2016) dalam penelitiannya mengenai studi eksperimental pada pengaruh kedalaman pemotongan pada AZ91 paduan magnesium pada *abrasive water jet cutting*, bahwa tekanan water jet berkontribusi besar terhadap kedalaman pemotongan dari pada *traverse speed*.

Uthayakumar, *et al* (2016) dalam jurnalnya membahas tentang sifat mampu mesin dari nikel dengan paduan super. Didapatkan bahwa naiknya *traverse speed* dan tekanan *water jet* akan meningkatkan material yang terbuang (*kerf wall*). Selain itu MRR (*removal rate of material*) sangat ditentukan oleh tekanan *water jet* dan kecepatan aliran partikel abrasif. Dengan menggunakan tekanan *water jet* yang tinggi dan *traverse speed* yang optimal, maka akan didapatkan permukaan benda kerja yang baik pada material dengan paduan super.

Hajdarevic, *et al* (2014) dalam penelitiannya memvariasikan nilai *abrasive mass flow rate* dan *traverse speed* untuk memotong aluminium dengan menggunakan *abrasive water jet machine*. Dari hasil percobaan yang dilakukan, didapatkan bahwa semakin naiknya nilai *abrasive mass flow rate*, maka kekasaran permukaan hasil pemotongan pada aluminium akan semakin menurun. Sedangkan apabila nilai *traverse speed* dinaikkan, maka nilai kekasaran permukaan akan semakin menurun.

Staiger, *et al* (2006) dalam jurnalnya menjelaskan bahwa adanya kemungkinan magnesium dengan tingkat kemurnian yang tinggi dan magnesium paduan yang diberi perlakuan permukaan memiliki potensi yang tinggi untuk digunakan untuk implan tulang. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai laju korosi dari magnesium agar dapat dimanfaatkan sebagai biomaterial.

Hryniewicz, *et al* (2009) dalam jurnal menjelaskan bahwa *magneto electropolishing* memiliki dampak positif terhadap performa *stainless steel 316L*, dimana *stainless steel 316L* yang dikenai *magneto electropolishing* memiliki laju korosi yang semakin rendah.

Dagmar Klichova (2014) dalam jurnalnya meneliti kualitas paduan aluminium yang dipotong menggunakan proses pemesinan *abrasive water jet*. Dalam penelitiannya, nilai *cutting speed* divariasikan, dan hasilnya adalah semakin besar nilai *cutting speed*, maka nilai kekasaran permukaan paduan aluminium juga akan semakin meningkat (kasar).

Chen, *et al* (2003) dalam jurnalnya mempelajari tentang hubungan antara formasi goresan dan distribusi energi kinetik dari partikel abrasif pada proses pemotongan keramik alumina menggunakan *abrasive water jet machining*. Dari hasil eksperimen, didapatkan hasil bahwa formasi goresan yang terbentuk dipengaruhi oleh faktor internal (distribusi energi kinetik partikel abrasif) dan faktor eksternal (fluktuasi dari nilai parameter, getaran dari benda kerja dan juga getaran dari nozzel saat proses pemotongan sedang berlangsung).

R.N Babu dan Jegaraj (2005) telah mempelajari topografi permukaan AA6063-T6 paduan aluminium dengan memvariasikan rasio antara diameter orifice dan diameter *focusing nozzle* dalam *abrasive water jet*. Hasilnya mengindikasikan bahwa efek meningkatnya diameter orifice dan *focusing nozzle* tidak menurunkan kualitas permukaan potong terlalu besar.

Kumar, *et al* (2017) dalam jurnalnya membahas tentang nilai parameter yang optimum yang diacu berdasarkan MRR (*material removal rate*) maksimal dan kekasaran permukaan yang seminimal mungkin. Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa nilai optimal untuk *stand of distance* adalah 4,22 mm, *traverse speed* 223,38 mm/min, dan persen tungsten carbida 2,1%.9

2.2 Machining

Machining (pemesinan) adalah istilah umum yang digunakan untuk mendeskripsikan sekelompok proses yang berisi tentang proses menghilangkan sebagian material dari benda kerja dan modifikasi dari permukaan sebuah spesimen setelah spesimen tersebut telah diproduksi menggunakan berbagai macam metode, dengan tujuan untuk mendapatkan bentuk dan kualitas permukaan yang diinginkan. Berbagai macam bentuk dapat dihasilkan dengan proses *machining*, dan dapat dengan jelas dilihat pada kendaraan-kendaraan di jalan raya. Terdapat 2 jenis proses pemesinan, yaitu

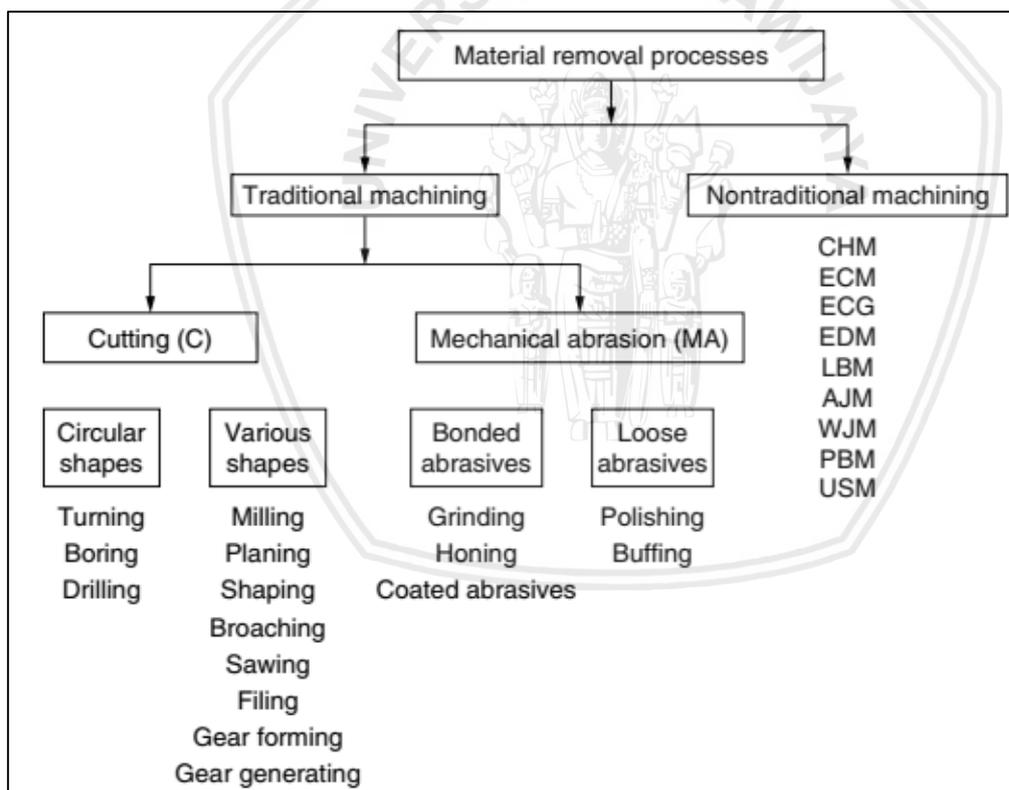
1. *Traditional machining*
2. *Non traditional machining*

2.2.1 Traditional Machining

Sesuai definisi *machining* yang telah dijelaskan diatas, adalah sebuah proses menghilangkan bagian tertentu dari benda kerja untuk diubah menjadi produk yang diinginkan. *Traditional machining* atau juga sering disebut dengan *conventional machining*, merupakan jenis pemesinan yang membutuhkan alat (*tool*) yang lebih keras dibandingkan benda kerja yang akan diproses *machining*. Alat ini harus dapat menembus benda kerja dengan kedalaman yang telah ditentukan. Selain itu, gerakan relatif *tool* dan benda kerja memiliki peran penting dalam membentuk atau menghasilkan bentuk benda kerja yang diinginkan.

Terdapat 2 klasifikasi dalam *traditional machining*, yaitu

1. *Cutting*
2. *Mechanical abrasion*



Gambar 2.1 Macam-macam pemesinan

Sumber : El Hofy (2005, p.5)

2.2.2 *Non Traditional Machining*

Proses permesinan *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 :

- a. Benda kerja yang rumit dapat dengan mudah untuk dikerjakan
- b. Dapat memproses bagian-bagian dengan proses finishing yang kompleks dengan tingkat toleransi yang tinggi
- c. Dapat memproses komponen dengan material yang rapuh yang tidak dapat menahan kekuatan dari proses mesin konvensional
- d. Dapat memproses benda kerja dengan nilai kekuatan dan kekerasan yang tinggi (lebih dari 400 HBN)
- e. Untuk memperoleh hasil yang halus tanpa meninggalkan geram yang terjadi saat proses pemotongan
- f. Dapat mengurangi nilai tegangan sisa

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

- *Electromechanical energy processes* (media pemotongan dengan energi elektromekanika):
 - *Electrochemical machining*
 - *Electrochemical deburring*
- *Mechanical energy processes* (media pemotongan dengan energi mekanik):
 - *WaterJet Cutter*
 - *Abrasive water jet cutter*
 - *Ultrasonic Machining*
- *Chemical machining*
 - *Mechanics and Chemistry of Chemical Machining*
 - *CHM processes*
- *Thermal energy processes* (media pemotongan dengan energi thermal):
 - *Electric beam machining*
 - *Electric discharge machining*
 - *ARC-cutting processes*
 - *Laser beam machining*
 - *Oxyfuel cutting processes*

| General Characteristics of Advanced Machining Processes | | |
|---|---|--|
| Process | Characteristics | Process parameters and typical material-removal rate or cutting speed |
| Chemical machining (CM) | Shallow removal on large flat or curved surfaces; blanking of thin sheets; low tooling and equipment cost; suitable for low-production runs | 0.0025–0.1 mm ³ /min. |
| Electrochemical machining (ECM) | Complex shapes with deep cavities; highest rate of material removal among other nontraditional processes; expensive tooling and equipment; high power consumption; medium-to-high production quantity | V: 5–25 DC; A: 1.5–8 A/mm ² ; 2.5–12 mm ³ /min, depending on current density |
| Electrochemical grinding (ECG) | Cutting off and sharpening hard materials, such as tungsten-carbide tools; also used as a honing process; higher removal rate than grinding | A: 1–3 A/mm ² ; typically 25 mm ³ /s per 1000 A |
| Electrical-discharge machining (EDM) | Shaping and cutting complex parts made of hard materials; some surface damage may result; also used as a grinding and cutting process; expensive tooling and equipment | V: 50–380; A: 0.1–500; typically 300 mm ³ /min |
| Wire electrical-discharge machining | Contour cutting of flat or curved surfaces; expensive equipment | Varies with material and thickness |
| Laser-beam machining (LBM) | Cutting and hole making on thin materials; heat-affected zone; does not require a vacuum; expensive equipment; consumes much energy | 0.50–7.5 m/min |
| Electron-beam machining (EBM) | Cutting and hole making on thin materials; very small holes and slots; heat-affected zone; requires a vacuum; expensive equipment | 1–2 mm ³ /min |
| Water-jet machining (WJM) | Cutting all types of nonmetallic materials; suitable for contour cutting of flexible materials; no thermal damage; noisy | Varies considerably with material |
| Abrasive water-jet machining (AWJM) | Single-layer or multilayer cutting of metallic and nonmetallic materials | Up to 7.5 m/min |
| Abrasive-jet machining (AJM) | Cutting, slotting, deburring, etching, and cleaning of metallic and nonmetallic materials; tends to round off sharp edges; can be hazardous | Varies considerably with material |

Gambar 2.2 Macam-macam *non-traditional machining*
Sumber : Kalpakjian (2009, p.761)

2.3 Abrasive Water Jet Machining

Abrasive water jet machining adalah salah satu jenis proses pemesinan, dimana prinsip kerja dalam mengikis material dilakukan dengan memanfaatkan impak dari partikel abrasif yang bercampur dengan air yang memiliki tekanan yang sangat tinggi. Benda kerja yang keras dan getas dapat dilakukan proses pemesinan menggunakan *abrasive water jet machining*. Proses pemesinan ini tidak menghasilkan panas, reaksi kimia, dan listrik, sehingga tidak merubah metalurgi dan sifat mekanik dari benda kerja.

Prinsip dasar kerja *abrasive water jet machining* sama dengan *water jet machining* dan *abrasive jet machining*. Pada *abrasive jet machining*, partikel abrasif berkecepatan tinggi dibantu dengan udara bertekanan yang melalui nozzel dengan diameter kecil, menumbuk benda kerja, sehingga terjadi aksi abrasi yang disebabkan oleh partikel abrasif.

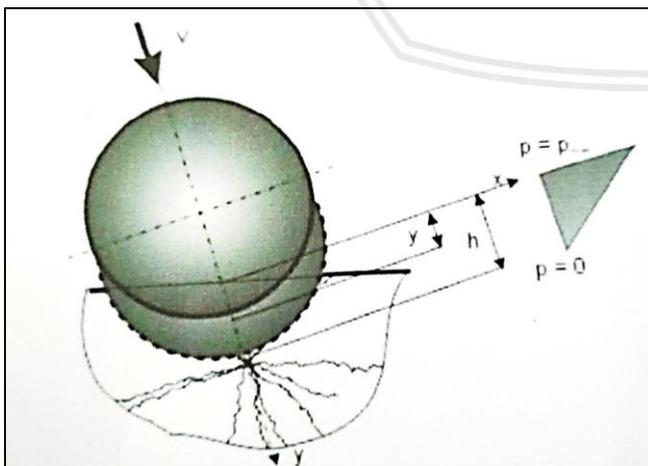
Water jet machining mengerosi benda kerja menggunakan air dengan tekanan dan kecepatan yang tinggi. Setelah *water jet machining* dipadukan dengan partikel abrasif, membuat kemampuan pemotongannya meningkat, sehingga benda kerja seperti baja dan titanium dapat dipotong. Tekanan tinggi yang dimiliki oleh air, dihasilkan dengan

menggunakan bantuan pompa hidrolik dan nozzel berdiameter kecil. Dengan menggunakan nozzel berdiameter kecil, campuran antara air dan abrasif akan terkonsentrasi menjadi gaya yang digunakan untuk memotong benda kerja.

2.3.1 Prinsip Kerja *Abrasive Water Jet Machining*

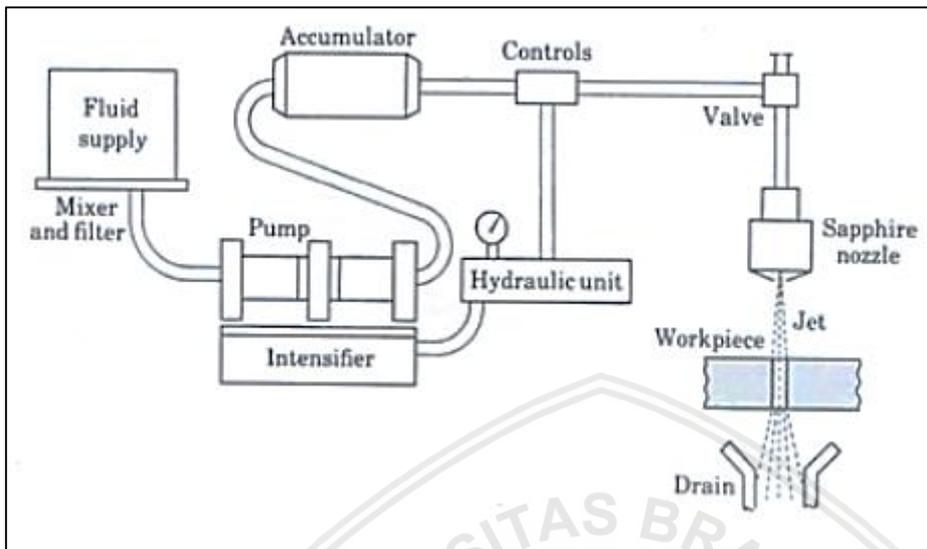
Prinsip dasar kerja *abrasive water jet machining* sama dengan *water jet machining* dan *abrasive jet machining*. Pada *abrasive jet machining*, partikel abrasif berkecepatan tinggi dibantu dengan udara bertekanan yang melalui nozzel dengan diameter kecil, menumbuk benda kerja, sehingga terjadi aksi abrasi yang disebabkan oleh partikel abrasif. *Water jet machining* mengerosi benda kerja menggunakan air dengan tekanan dan kecepatan yang tinggi. Setelah *water jet machining* dipadukan dengan partikel abrasif, membuat kemampuan pemotongannya meningkat, sehingga benda kerja seperti baja dan titanium dapat dipotong.

Abrasive water jet cutting memiliki tekanan yang sangat tinggi yang dikonversikan menjadi energi kinetik berupa kecepatan yang sangat tinggi lalu air yang mengandung abrasif tersebut melewati lubang yang sangat kecil dari ujung *nozzle*. Setelah itu air yang mengandung abrasif memotong material dengan penyemprotan kecepatan tinggi. Akhirnya energi kinetik ini akan mengikis benda kerja. Pengikisan tersebut terjadi karena momentum yang dihasilkan ketika air yang mengandung abrasif membentur spesimen dan menghasilkan impuls pada reaksi tersebut sehingga tegangan geser yang dihasilkan oleh abrasif lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen tersebut sehingga spesimen tersebut dapat terpotong. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan yang telah dilampirkan pada lampiran 3.



Gambar 2.3 Dampak drop air abrasif terhadap spesimen
Sumber : Berrima (2011, p.11)

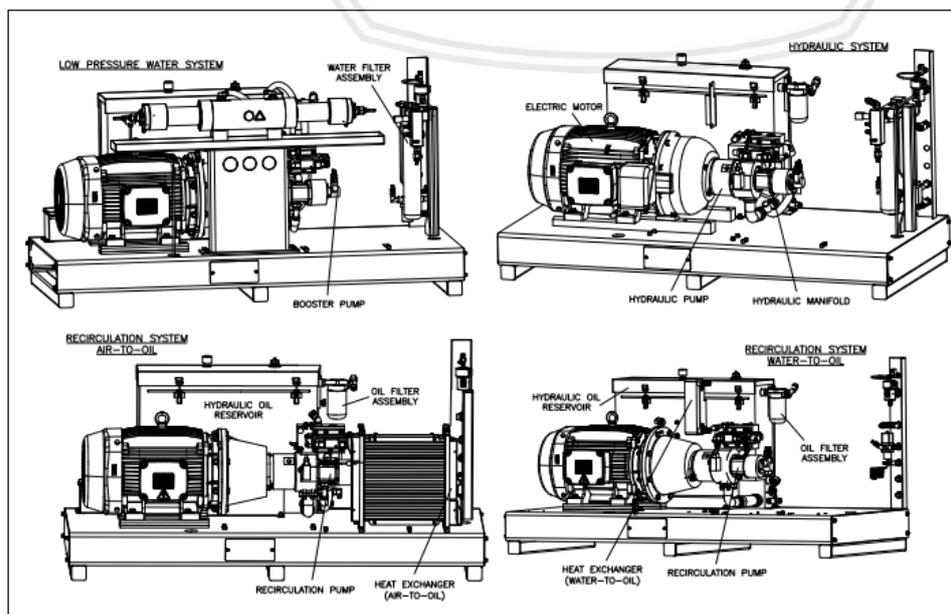
2.3.2 Bagian-Bagian Abrasive Water Jet Cutter



Gambar 2.4 Alur proses Abrasive Water Jet Cutter
Sumber : Kalpakjian (2009 p.779)

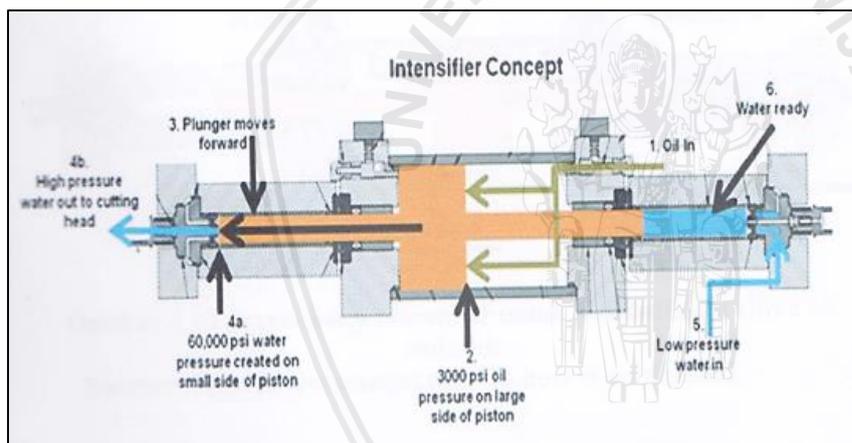
A. Hydraulic pump

Hydraulic pump yang digunakan memiliki kekuatan berkisar 30kW dengan motor listrik yang dapat menyuplai oli dengan bertekanan tinggi yaitu berkisar 117bar yang berfungsi menggerakkan *reciprocating pump* pada *intensifier*. Pompa hidrolis juga berfungsi menyalurkan air ke transmisi penyaluran air yang lain untuk menambah produktivitas pengerjaan.



Gambar 2.5 Hydraulic pump
 B. Intensifier

Intensifier adalah bagian dari alat tersebut yang menerima air bertekanan rendah berkisar 4 bar (27,5KPa) dan mengeluarkannya melewati akumulator dan meningkatkan tekanannya menjadi 3800bar (26,198 MPa). *Intensifier* mengubah energi yang dihasilkan dari fluida hidrolik tekanan rendah menjadi air bertekanan sangat tinggi. Sistem hidrolik menyediakan fluida bertekanan untuk siklus gerakan piston didalam bagian tengah *intensifier*. *Intensifier* dilengkapi pula dengan pendorong disetiap bagian piston sehingga menimbulkan tekanan di kedua arah. Pada satu bagian *intensifier* adalah inlet stroke pada bagian baliknya menghasilkan output tekanan sangat tinggi. Pada saat terjadi langkah inlet maka air memasuki silinder bertekanan tinggi melalui *check valve*. Setelah itu pendorong bergerak kearah sebaliknya dan menimbulkan air yang bertekanan sangat tinggi.

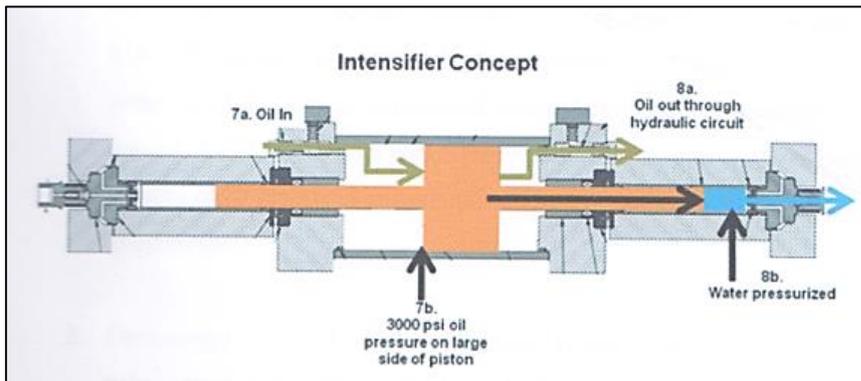


Gambar 2.6 Proses kerja pada *intensifier*
 Sumber : Berrima (2011,p11)

Proses pada intensifier dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Oli sebagian masuk ke dalam *Hydraulic Cylinder*.
2. Oli tersebut mendorong piston.
3. Plunger yang berada di depan piston bergerak searah dengan piston
4. Air bertekanan tinggi akhirnya keluar dari intensifier dengan tekanan yang tinggi melalui *check valve*.
5. Plunger bergerak sampai pada ujung stroke, sehingga silinder di bagian lainnya penuh dengan air.

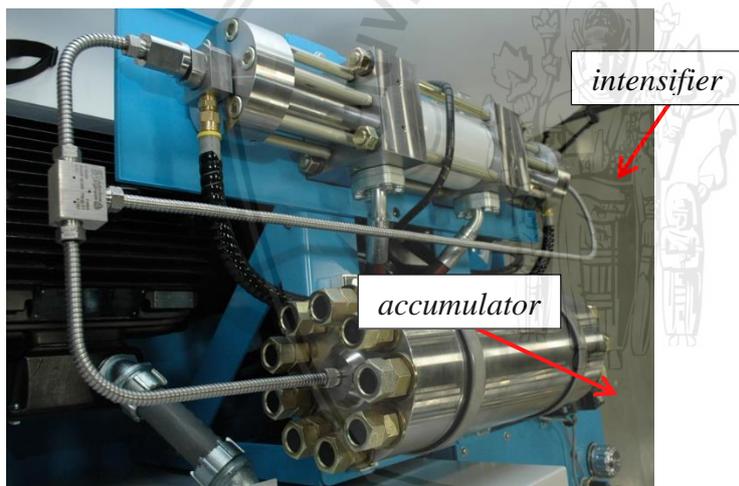
6. Katub kontrol berfungsi untuk membalikkan aliran oli sehingga berada di sisi sebelumnya dan bergerak ke arah sebaliknya.



Gambar 2.7 Proses kerja Intensifier 2
Sumber : Berrima 2011 p.17

C. Accumulator

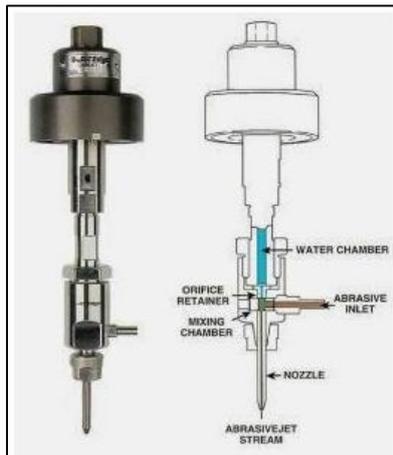
Pada *Abrasive Water Jet* ini Berfungsi untuk menjaga aliran air bertekanan tinggi dan menghilangkan tekanan fluktuatif disaat piston intensifier berubah arah.



Gambar 2.8 Intensifier dan accumulator

D. Jet Cutting Nozzle

Nozzle mengakibatkan aliran *water jet* menjadi kohern dan optimal untuk dilakukan proses pemotongan yang secara konvensional tidak dapat lakukan. nozzle terbuat dari bahan sapphire sintetik. Usia oprasi *nozzle* dapat mencapai 200 jam yang akhirnya akan rusak karena partikel kotoran yang terkumpul akibat deposit mineral pada orifice dikarenakan kekerasan erosi air. Untuk menambah umur nozzle diberikan sistem penyaringan yang memisahkan objek solid yang tidak diinginkan dengan ukuran berkisar 0,45 micrometer. Bentuk desain AWJ yang simpel menyediakan kemudahan kontrol sistem dengan dua axis XY dengan ditambahkan instalasi robotik.



Gambar 2.9 Nozzle pada Abrasive Water Jet Cutter
Sumber : Farhan (2014)

E. Catcher

Berfungsi sebagai reservoir yang mengumpulkan sisa-sisa permesinan WJM. Catcher juga berfungsi untuk mengurangi kebisingan yang ditimbulkan saat proses permesinan dari kecepatan *water jet* yang mencapai mach 3 menjadi level subsonic.



Gambar 2.10 Catcher

2.4 Parameter pada Abrasive Water Jet Machining

Pada *abrasive water jet machining*, terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk dapat menghasilkan hasil potongan yang sesuai dengan yang diinginkan.

1. *Stand of distance*, adalah jarak antara indentor alat *abrasive water jet cutter* yang berupa *nozzle* dengan benda kerja yang akan dilakukan proses cutting tersebut.
2. Tekanan air, adalah tekanan yang dihasilkan dari kerja pompa hidrolik.

3. *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.
4. *Abrasive mass flow rate*, adalah banyaknya partikel abrasif yang keluar tiap satuan waktu.

2.5 *Stainless Steel 316L*

Stainless steel adalah jenis baja yang ditambahkan sekitar 12% kromium, sehingga *stainless steel* memiliki ketahanan terhadap korosi atmosfer yang baik. Hal ini dikarenakan dengan penambahan kromium, akan membentuk sebuah *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi). Lapisan pelindung anti karat ini berasal dari proses oksidasi oksigen terhadap kromium yang terjadi secara spontan membentuk Cr_2O_3 , sehingga besi (*ferrous*) tidak mengalami korosi.

Terdapat beberapa jenis *stainless steel*, dan diantaranya adalah *stainless steel 316L*, yang merupakan versi rendah dari *stainless steel 316*. Yang membedakan dari kedua jenis baja tersebut adalah kandungan karbon, dimana *stainless steel 316* memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi, sehingga memiliki kekuatan yang lebih tinggi. *Stainless steel 316L* termasuk kedalam *stainless steel austenitic*. Hal ini dikarenakan kandungan material dalam *stainless steel 316L* dapat menstabilkan *austenite* pada suhu ruang. *Stainless steel 316L* dikategorikan sebagai *food grade metal*, dimana logam tersebut aman digunakan untuk alat perlengkapan makanan/minuman, mesin pengolahan makanan/minuman dan lain-lain.

2.6 Pengukuran Kekasaran Permukaan

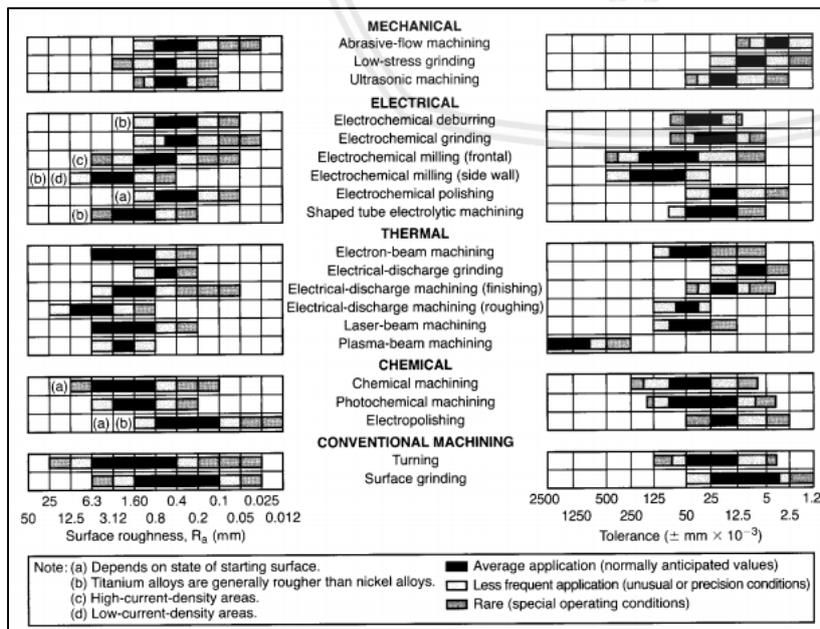
Kekasaran permukaan merupakan salah satu karakteristik dari kualitas dari suatu produk yang dihasilkan dari suatu rangkaian proses produksi. Tingkat kehalusan menjadi salah satu karakteristik yang memegang peranan penting, terutama apabila berkaitan dengan gesekan pelumasan, keausan, tahana terhadap kelelahan dan sebagainya. Setiap proses pemesinan akan menghasilkan kekasaran permukaan pada material yang dikenai proses pemesinan itu sendiri. Proses pemesinan satu dengan yang lainnya dapat menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang berbeda-beda. Di dunia industri, dengan memilih jenis proses pemesinan, maka dapat dicapai nilai kekasaran permukaan yang diinginkan. Klasifikasi kekasaran permukaan hasil pemesinan menurut ISO, dibagi menjadi 12 bagian, dimana setiap bagian atau kelas memiliki nilai yang berbeda-beda, dimana N1 sebagai nilai kekasaran permukaan terendah memiliki nilai $R_a 0,025 \mu\text{m}$ dan N12 yang tertinggi memiliki nilai $R_a 50 \mu\text{m}$.

Menurut Hemlata, dalam jurnalnya yang berjudul *“Implant Surface Modification: A review”* menyatakan bahwa implan dari biomaterial yang ideal memiliki nilai kekasaran permukaan Ra 1 sampai 1,5 μm . Hal ini dikarenakan implan akan mengalami kontak langsung dengan organ tubuh yang lain, yang apabila memiliki nilai kekasaran permukaan yang terlalu rendah, dapat mengakibatkan dislokasi implan, sedangkan apabila nilai kekasaran permukaan terlalu tinggi, maka dapat memicu kerusakan jaringan organ tubuh yang lain.

Tabel 2.1
Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra

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

Sumber : Munadi (1980, p. 230)



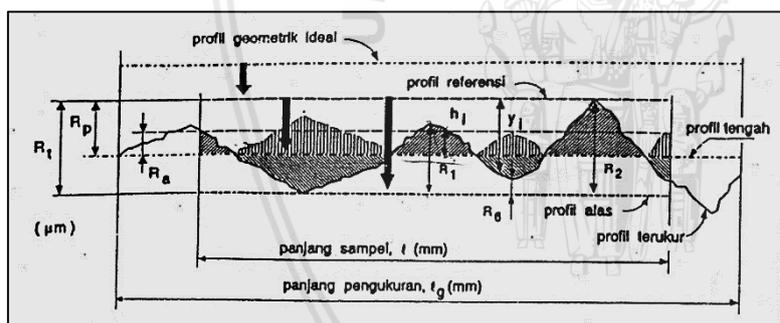
Gambar 2.11 Kekasaran permukaan dan toleransi dari setiap proses pemesinan
Sumber : Kalpakjian (2009, p.764)

2.6.1 Definisi Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan, dalam ISO 1302 – 1978 memiliki definisi sebagai penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil. Definisi digunakan untuk menentukan harga dari rata-rata kekasaran permukaan. Sedangkan menurut S.K Choudhury, kekasaran permukaan adalah ukuran dari ketidakraturan mikro jarak kehalusan pada tekstur permukaan yang terdiri dari tiga komponen, yaitu kekasaran, rata-rata dan bentuk.

2.6.2 Parameter Kekasaran Permukaan

Dalam melakukan pembacaan profil suatu permukaan, sensor/peraba (*stylus*) alat ukur digerakkan melintasi lintasan berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan. Panjang lintasan tersebut disebut dengan panjang pengukuran (*traversing length; l_g*). Nilai kekasaran permukaan didapat ketika sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti, yang nantinya data tersebut akan diolah secara elektronik berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Panjang lintasan yang dilalui oleh jarum peraba disebut panjang sampel (*sampling length; l*).



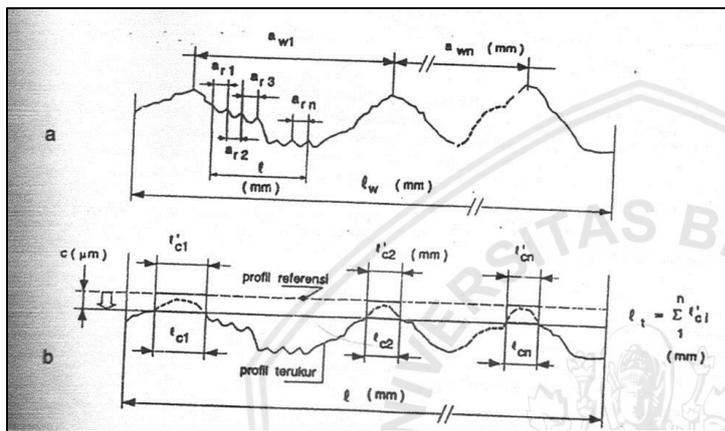
Gambar 2.12 Parameter kekasaran permukaan

Sumber : Rochim (1980, p.56)

1. Profil geometrik ideal (*geometrically ideal profile*), adalah profil permukaan sempurna
2. Profil terukur (*measured profile*), merupakan profil permukaan yang diukur
3. Profil referensi/acuan/puncak (*reference profile*), adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisis ketidakraturan konfigurasi permukaan.
4. Profil akar/alas (*root profile*), yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
5. Profil tengah (*center profile*), adalah profil referensi yang digeser ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sedemikian rupa

sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah di atas profil tengah sampai ke profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah-daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur.

Berdasarkan profil-profil yang telah dijelaskan diatas, maka didapatkan definisi beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah memanjang/mendatar. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu :



Gambar 2.13 Parameter kekasaran
 Sumber : Rochim (1980, p.57)

1. Kekasaran total (*peak to valley height / total height*); R_t (μm), adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
2. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness / peak to mean line*); R_p (μm), adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.

$$R_p = \frac{1}{l} \int_0^l y_l dx \dots \dots \dots (2 - 1)$$

3. Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index / center line average CLA*); R_a (μm), adalah harga rata-rata aritmetik bagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |h_l| dx \dots \dots \dots (2 - 2)$$

4. Kekasaran rata-rata kuadrat (*root mean square height*); R_g (μm), adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_g = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l hi^2 dx} \dots \dots \dots (2 - 3)$$

5. Kekasaran total rata-rata; R_z (μm), merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

$$R_z = \Sigma(R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 - \dots - R_{10})/5 \dots \dots \dots (2 - 4)$$

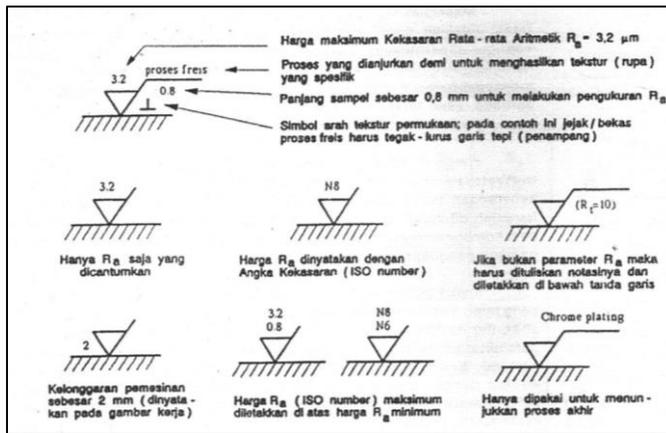
Untuk dimensi dengan arah mendatar, terdapat 3 jenis, yaitu :

1. Lebar gelombang (*waviness width*); A_w (mm), adalah rata-rata aritmetik bagi semua jarak a_{wi} diantara dua buah puncak gelombang
2. Lebar kekasaran (*roughness width*); A_r (mm), adalah rata-rata aritmetik bagi semua jarak a_{wi} di antara dua puncak kekasaran profil terukur yang berdekatan pada suatu panjang sampel l .
3. Panjang penahan (*bearing length*); l_t (mm), adalah profil referensi digeserkan ke bawah sejauh c (dalam μm) akan memotong profil terukur sepanjang $l_{c1}, l_{c2}, \dots, l_{cn}$.
4. Bagian panjang penahan (*bearing length fraction*); t_p (mm), adalah hasil bagi panjang penahan terhadap panjang sampelnya.

$$t_p = \frac{l_t}{l} 100\% \dots \dots \dots (2 - 5)$$

2.6.3 Penulisan Kekasaran Permukaan pada Gambar Teknik

Dalam menuliskan kekasaran permukaan suatu spesimen, dipakai beberapa simbol yang digunakan untuk menerangkan spesifikasi dari spesimen tersebut. Secara umum, lambang yang digunakan adalah segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan yang bersangkutan. Terdapat beberapa angka dan tanda serta keterangan yang digunakan untuk menuliskan spesifikasi sebuah spesimen.



Gambar 2.14 Simbol penulisan kekasaran permukaan
Sumber : Rochim (1980, p.62)

2.6.4 Cara Pengukuran Kekasaran Permukaan

Terdapat 2 cara untuk mengukur kekasaran permukaan suatu benda kerja, yaitu :

1. Pengukuran Kekasaran Permukaan secara Tidak Langsung

a. Pemeriksaan Kekasaran Permukaan dengan Cara Meraba (*Touch Inspection*)

Dalam menentukan kekasaran permukaan suatu benda kerja, maka kita perlu mempersiapkan alat permukaan standar (*surface finish comparator*). Pemeriksaan dilakukan dengan meraba permukaan benda kerja menggunakan jari, lalu dibandingkan dengan *surface finish comparator*. Setelah itu, menentukan bagian mana antara permukaan benda kerja dan *surface finish comparator* yang dirasa tingkat kehalusannya sama, maka nilainya dapat diketahui dengan melihat nilai yang terdapat pada *surface finish comparator*.

b. Pemeriksaan Kekasaran Permukaan dengan Mikroskop (*Microscopic Inspection*)

Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan mikroskop, dimana permukaan benda kerja dilihat menggunakan mikroskop, lalu dibandingkan dengan pembanding (*surface finish comparator*).

c. Pemeriksaan Kekasaran Permukaan dengan Foto (*Surface Photograph*)

Pengukuran dengan cara ini adalah dengan mengambil gambar permukaan yang akan diperiksa kekasaran permukaannya. Kemudian foto permukaan tersebut diperbesar dengan perbesaran yang berbeda-beda. Perbesaran yang diambil adalah perbesaran secara vertikal. Dengan membandingkan hasil perbesaran foto permukaan yang berbeda-beda ini maka dapat dianalisis ketidakrataan dari permukaan yang diperiksa.

d. Pemeriksaan Kekasaran Permukaan dengan Peralatan Kekasaran Secara Mekanik (*Mechanical Roughness Instrument*)

Mechanical roughness instrument bekerja dengan sistem mekanik, dimana dalam membaca kekasaran permukaan, plat peraba pada *mechanical roughness instrument* akan tetap lurus dan bisa melengkung tergantung pada tingkat kekasaran permukaan dan sudut kemiringan dalam menekan peraba pada permukaan ukur. Apabila sudut kemiringan di bawah sudut kritisnya maka plat peraba akan dengan mudah meluncur di atas permukaan dalam keadaan tetap lurus. Apabila sudut kemiringannya diperbesar maka peraba akan melengkung. Pada saat peraba mulai melengkung, maka terdapat sudut kritis antara plat peraba dengan permukaan. Semakin halus permukaan, maka semakin besar pula sudut kritisnya.

2. Pemeriksaan Kekasaran Permukaan secara Langsung

a. Pemeriksaan Kekasaran Permukaan dengan Profilometer

Sistem kerja profilometer memiliki prinsip yang sama dengan *gramophone*. Saat *stylus* bergerak pada sebuah permukaan benda kerja, maka perubahan gerakan *stylus* dibaca oleh amplimeter. Hasil dari pembacaan amplimeter merupakan angka tinggi rata-rata dari kekasaran permukaan benda kerja.

b. Alat Ukur Permukaan *Tomlinson Surface Meter*

c. Alat Ukur Permukaan *Taylor-Hobson Talysurf*

2.7 Hipotesis

Berdasarkan kajian pustaka yang telah dijelaskan sebelumnya, semakin tinggi nilai *abrasive mass flow rate* maka nilai kekasaran permukaan *stainless steel 316L* akan semakin turun. Hal ini dikarenakan semakin banyak partikel abrasif yang bercampur dengan air, maka energi kinetik yang timbul akan semakin besar. Ini menyebabkan gaya pemotongan yang dihasilkan juga akan semakin besar, sehingga permukaan akan semakin halus. Sedangkan apabila nilai *cutting speed* semakin tinggi, maka nilai kekasaran permukaan *stainless steel 316L* akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan gaya yang mengenai benda kerja tidak bekerja secara maksimal.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, digunakan metode eksperimental. Maksud dari metode ini adalah melakukan pengamatan saat mencari data sebab dan akibat dalam suatu proses melalui eksperimen, sehingga dapat diketahui nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan dari variasi yang telah ditentukan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat : 1. PT. Surya Jaya Perkasa Surabaya
2. Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Mesin Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya Malang

Waktu : Maret - Mei 2019

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya divariasikan oleh penulis, dimana nilai dari variabel tersebut telah ditentukan sebelumnya dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. *Abrasive mass flow rate* : 6, 9, 12, 15 gram/detik
- b. *Cutting speed* : 42.5, 85, 127.5, 170 mm/menit

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya muncul karena adanya pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah kekasaran permukaan (*surface roughness*)

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya telah ditentukan sebelumnya dan selalu konstan. Variabel terkontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

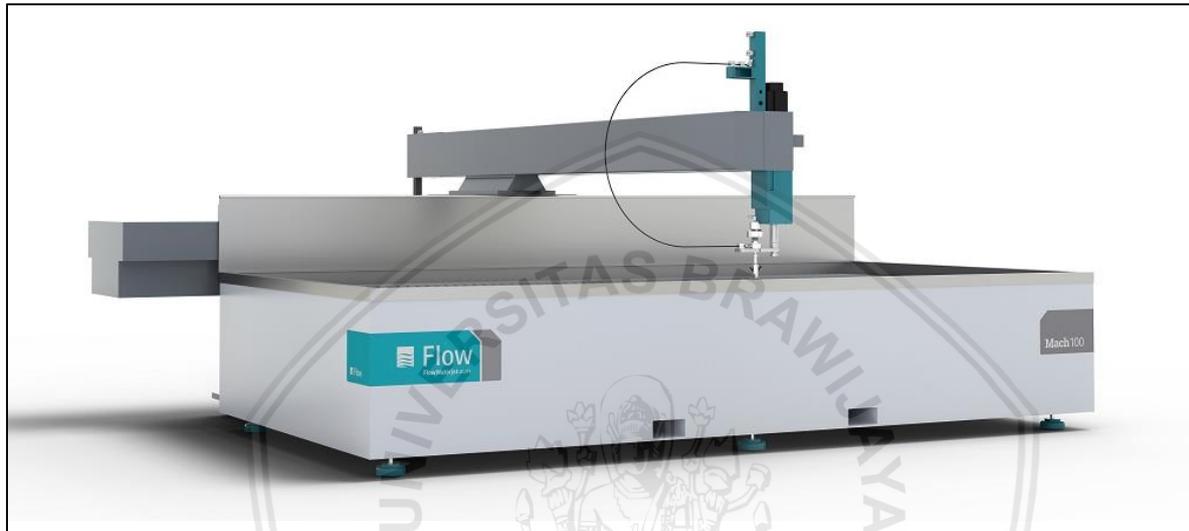
- a. Tekanan : 48.000 psi
- b. Diameter nozel : 0,8 mm

- c. *Stand of distance* : 2 mm
- d. Sudut nozel : 90°

3.4 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah :

1. Mesin *Abrasive Water Jet Cutting*



Gambar 3.1 Mesin *abrasive water jet cutting*

Spesifikasi alat :

- Merk : Flow
- Model : Mach 2B
- *Load Rating* : 400 kg /m²
- *Linear Accuracy* : +/- 0.13 mm/m
- *Repeatability* : +/- 0.0635 mm
- *Operating pressure* : 60.000 psi

2. *Personal Computer*

Personal computer digunakan untuk penyusunan laporan, mengolah data dan desain benda kerja.



Gambar 3.2 Personal Computer

Spesifikasi :

Merk : ASUS
 Tipe : X455LJ
 Prosesor : Intel(R) Core(TM) i5-5200U
 RAM : 4096 Mb
 VGA : Nvidia GeForce 920m

3. Timbangan Elektrik

Timbangan elektrik digunakan untuk mengukur massa partikel abrasif, yang nantinya akan dibagi dengan satuan waktu, sehingga diketahui nilai *abrasive mass flow rate*.



Gambar 3.3 Timbangan elektrik

Spesifikasi :

Merk : Generic
 Model : SF400

4. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk wadah partikel abrasif yang akan ditimbang massanya menggunakan timbangan elektrik.



Gambar 3.4 Gelas Ukur

5. Surface Roughness Tester

Surface roughness tester digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja.



Gambar 3.6 Surface roughness tester

Spesifikasi :

- Merk : Mitutoyo
- Model : SJ 210

6. Scanning Electron Microscope (SEM)

Alat ini digunakan untuk menganalisis struktur material dengan menggunakan gelombang elektron untuk memperoleh perbesaran yang sangat teliti.



Gambar 3.7 Scanning Electron Microscope

Bahan yang digunakan adalah

1. *Stainless Steel* tipe 316L, dengan spesifikasi :

a. Komposisi kimia :

- *Carbon* : 0,03 %
- *Manganese* : 2%
- *Cromium* : 16 - 18%
- *Nikel* : 10 - 14%
- *Molybdenum* : 2 - 3%
- *Phosporus* : 0,045%
- *Sulfur* : 0,03%
- *Silicon* : 0,75%
- *Nitrogen* : 0,10 %

b. Sifat Fisik

- *Density* : 8,03 g/cm³
- *Melting Range* : 1390-1440°C
- *Modulus of Elasticity in Tension* : 200 GPa
- *Modulus of Shear* : 82 Gpa

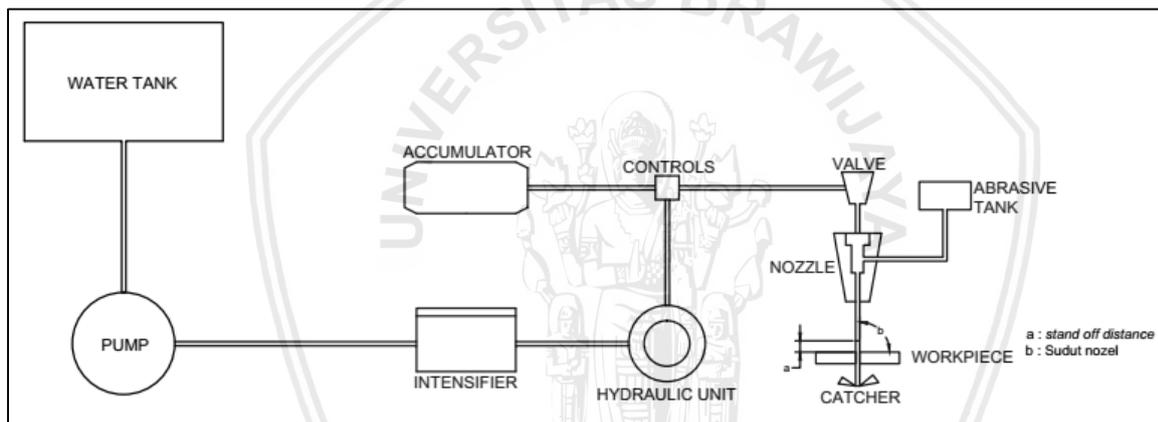
- *Thermal Conductivity* : 14,6 W/m.K
- *Specific heat* : 450-485 J/kg°K

c. Sifat Mekanik

- *Yield Strength 0,2% Offset* : 170 MPa
- *Ultimate Tensile Strength* : 485 MPa
- *Percent Elongation in 51 mm* : 40%
- *Hardness Maximum* : 217 (Brinell)

(Sumber : United Performance Metals)

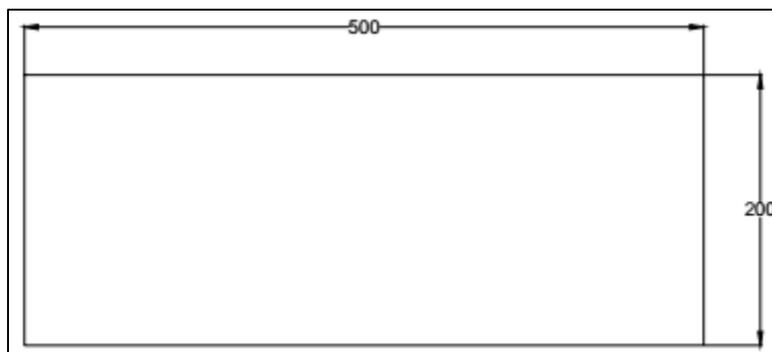
3.5 Instalasi Alat Penelitian



Gambar 3.8 Instalasi mesin abrasive water jet cutting

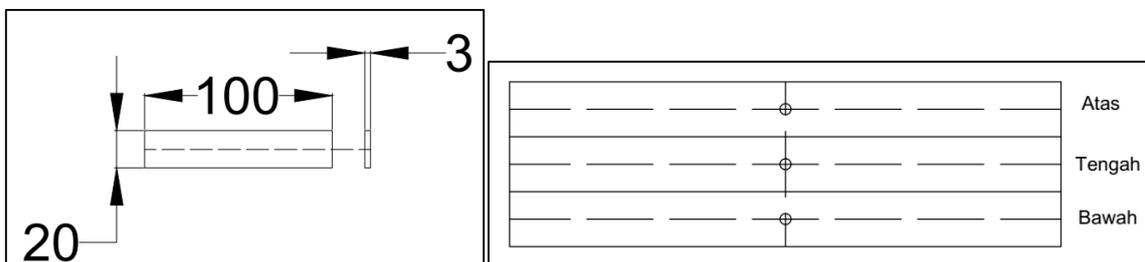
3.6 Dimensi Benda Kerja

- a. Dimensi benda kerja sebelum dilakukan proses pemotongan menggunakan mesin abrasive water jet cutting



Gambar 3.9 Dimensi benda kerja sebelum proses cutting

- b. Dimensi benda kerja setelah dilakukan proses pemotongan menggunakan mesin *abrasive water jet cutting*



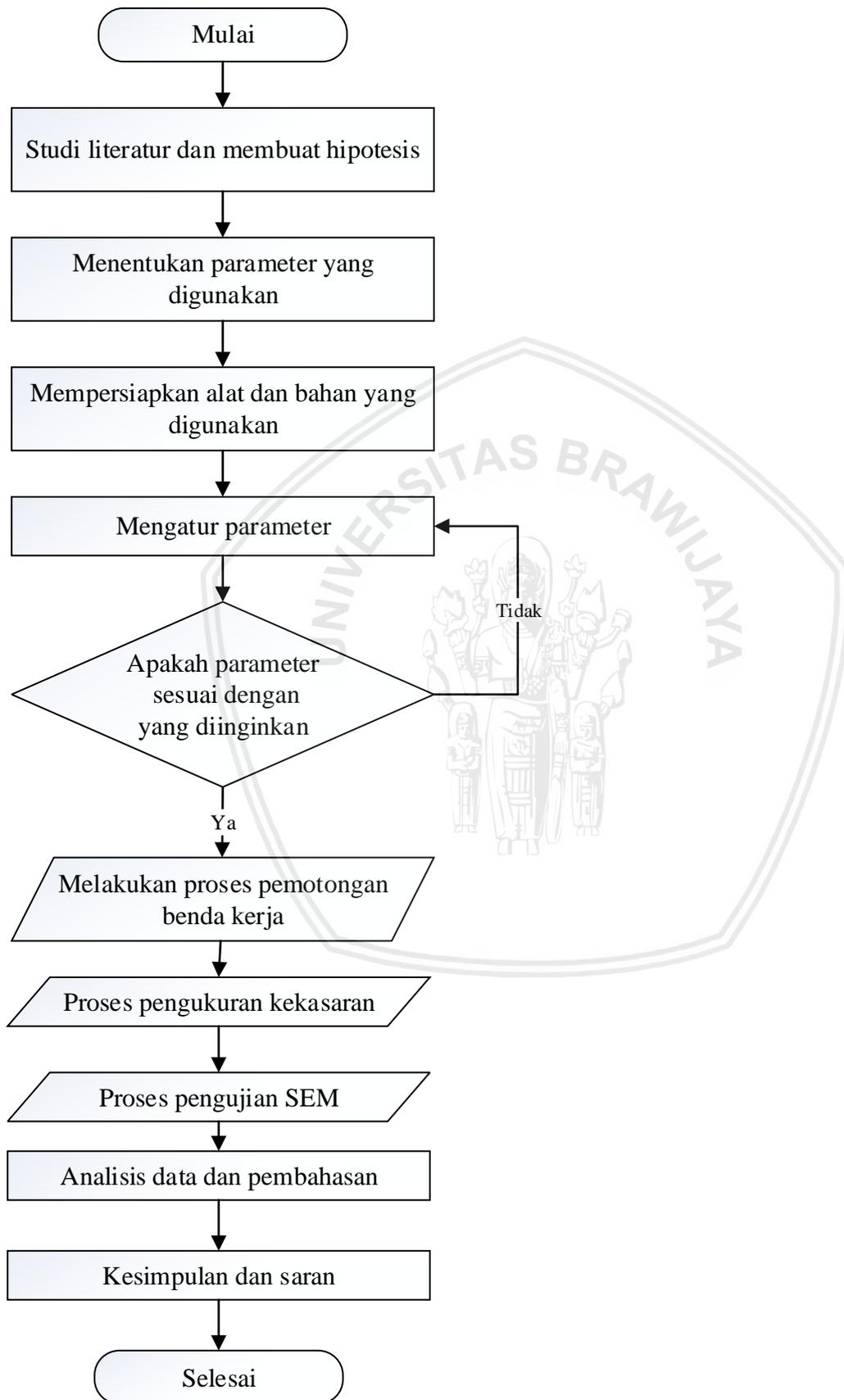
Gambar 3.10 Dimensi benda kerja setelah proses pemotongan dan titik pengukuran kekasaran permukaan

3.7 Prosedur Penelitian

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan penelitian :

1. Memotong benda kerja *stainless steel* 316L dengan ukuran 50 x 40 cm
2. Memberi tanda pada benda kerja bagian yang akan dilakukan pemotongan
3. Menyalakan mesin *abrasive water jet cutting*
4. Mensetting *abrasive mass flow rate* pada nilai 6 gram/detik
5. Mensetting *cutting speed* 42.5 mm/min
6. Melakukan pemotongan benda kerja
7. Menandai spesimen yang telah dipotong, sesuai dengan parameter yang digunakan.
8. Mengulangi langkah kerja ke 6, dan 7 dengan nilai *cutting speed* yang berbeda : 85, 127.5 dan 170 mm/min
9. Mengulangi langkah 5, 6, 7, dan 8 dengan nilai *abrasive mass flow rate* yang berbeda, yaitu sebagai berikut : 9, 12, dan 15 gram/detik
10. Melakukan pengukuran kekasaran permukaan setiap benda kerja menggunakan *surface roughness tester*
11. Melakukan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)
12. Melakukan analisis data dan pembahasan sesuai dengan kajian pustaka sebagai keluaran penelitian
13. Menarik kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan

3.8 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pemotongan *stainless steel* tipe 316L, spesimen diukur nilai kekasaran permukaannya menggunakan *surface roughness tester*. Berikut adalah hasil pengukuran kekasaran permukaan yang telah dilakukan

Tabel 4.1

Nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan variasi *abrasive mass flow rate* 6 gram/s

| Bagian | <i>Cutting Speed</i> (mm/min) | | | |
|--------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | 43 | 85 | 128 | 170 |
| Atas | 2,146 | 2,545 | 2,714 | 3,176 |
| Tengah | 2,409 | 3,012 | 3,4 | 3,785 |
| Bawah | 3,148 | 3,628 | 3,933 | 4,994 |

Tabel 4.2

Nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan variasi *abrasive mass flow rate* 9 gram/s

| Bagian | <i>Cutting Speed</i> (mm/min) | | | |
|--------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | 43 | 85 | 128 | 170 |
| Atas | 2,063 | 2,418 | 2,661 | 3,045 |
| Tengah | 2,318 | 3,002 | 3,396 | 3,608 |
| Bawah | 2,635 | 3,575 | 3,891 | 4,7 |

Tabel 4.3

Nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan variasi *abrasive mass flow rate* 12 gram/s

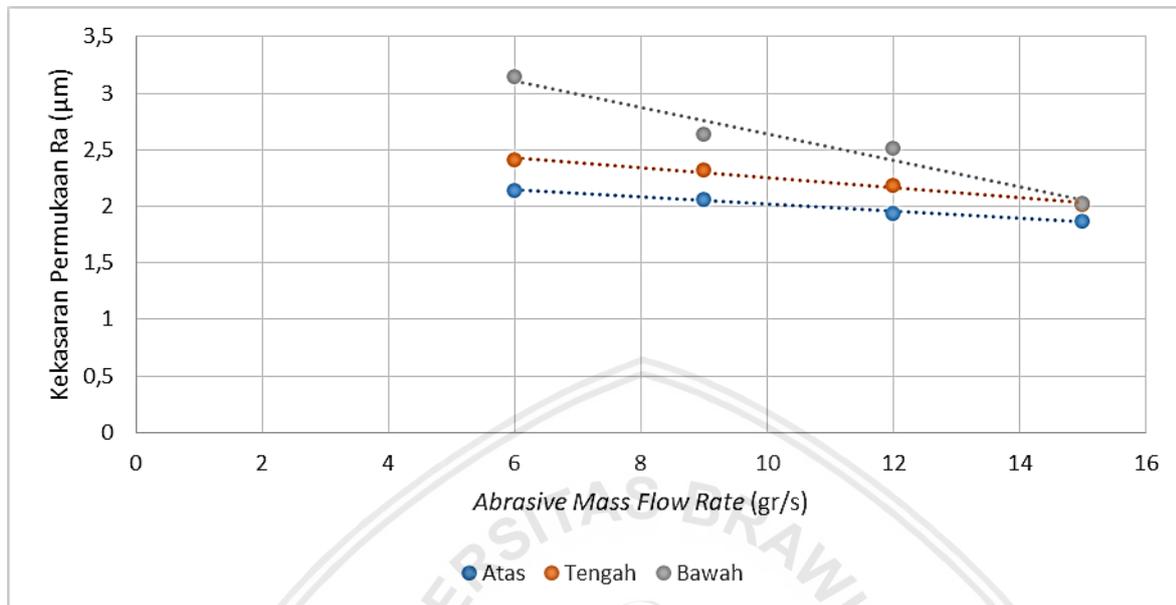
| Bagian | <i>Cutting Speed</i> (mm/min) | | | |
|--------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | 43 | 85 | 128 | 170 |
| Atas | 1,941 | 2,345 | 2,659 | 2,741 |
| Tengah | 2,184 | 2,74 | 3,278 | 3,521 |
| Bawah | 2,517 | 3,503 | 3,709 | 4,683 |

Tabel 4.4

Nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan variasi *abrasive mass flow rate* 15 gram/s

| Bagian | <i>Cutting Speed</i> (mm/min) | | | |
|--------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | 43 | 85 | 128 | 170 |
| Atas | 1,873 | 2,344 | 2,644 | 2,736 |
| Tengah | 2,016 | 2,703 | 3,117 | 3,515 |
| Bawah | 2,03 | 3,478 | 3,702 | 3,952 |

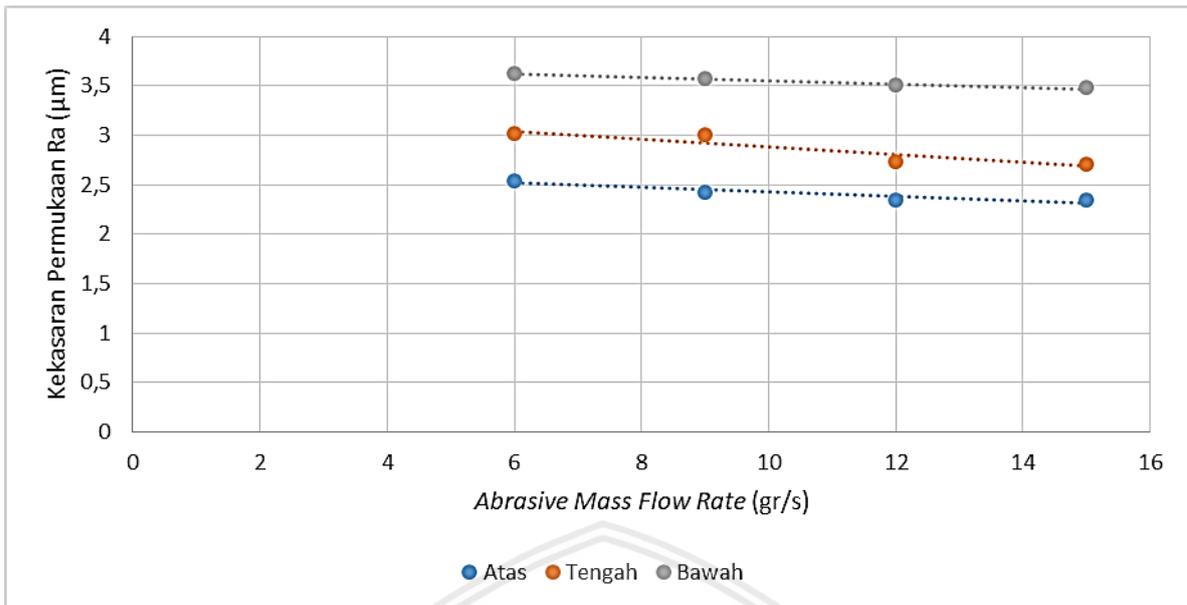
4.2 Grafik Hubungan antara *Abrasive Mass Flow Rate* dengan Kekasaran Permukaan



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara *Abrasive Mass Flow Rate* dengan Kekasaran Permukaan saat *Cutting Speed* 42,5 mm/min

Gambar diatas adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara massa alir partikel abrasif (*abrasive mass flow rate*) dengan kekasaran permukaan *stainless steel* 316L. Pada grafik diatas, nilai variasi massa alir partikel abrasif yang digunakan adalah 6 gr/s, 9 gr/s, 12 gr/s, dan 15 gr/s dan *cutting speed* 42,5 mm/min . Untuk sumbu x, mewakili nilai *abrasive mass flow rate* dan sumbu y menunjukkan nilai kekasaran permukaan Ra (μm).

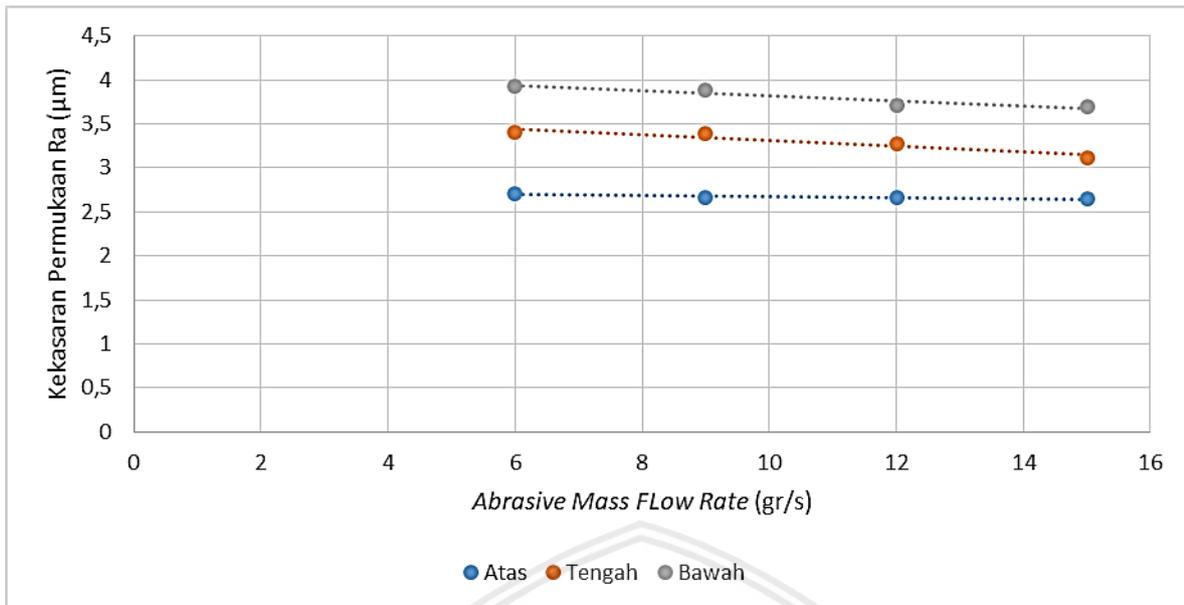
Pada grafik diatas, saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 6 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,146 μm , bagian tengah 2,409 μm , dan bagian bawah 3,148 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 9 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,063 μm , bagian tengah 2,318 μm , dan bagian bawah 2,635 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 12 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 1,941 μm , bagian tengah 2,184 μm , dan bagian bawah 2,517 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 15 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 1,873 μm , bagian tengah 2,016 μm , dan bagian bawah 2,03 μm .



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara *Abrasive Mass Flow Rate* dengan Kekasaran Permukaan saat *Cutting Speed* 85 mm/min

Gambar diatas adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara massa alir partikel abrasif (*abrasive mass flow rate*) dengan kekasaran permukaan *stainless steel* 316L. Pada grafik diatas, nilai variasi massa alir partikel abrasif yang digunakan adalah 6 gr/s, 9 gr/s, 12 gr/s, dan 15 gr/s dan *cutting speed* 85 mm/min . Untuk sumbu x, mewakili nilai *abrasive mass flow rate* dan sumbu y menunjukkan nilai kekasaran permukaan Ra (μm).

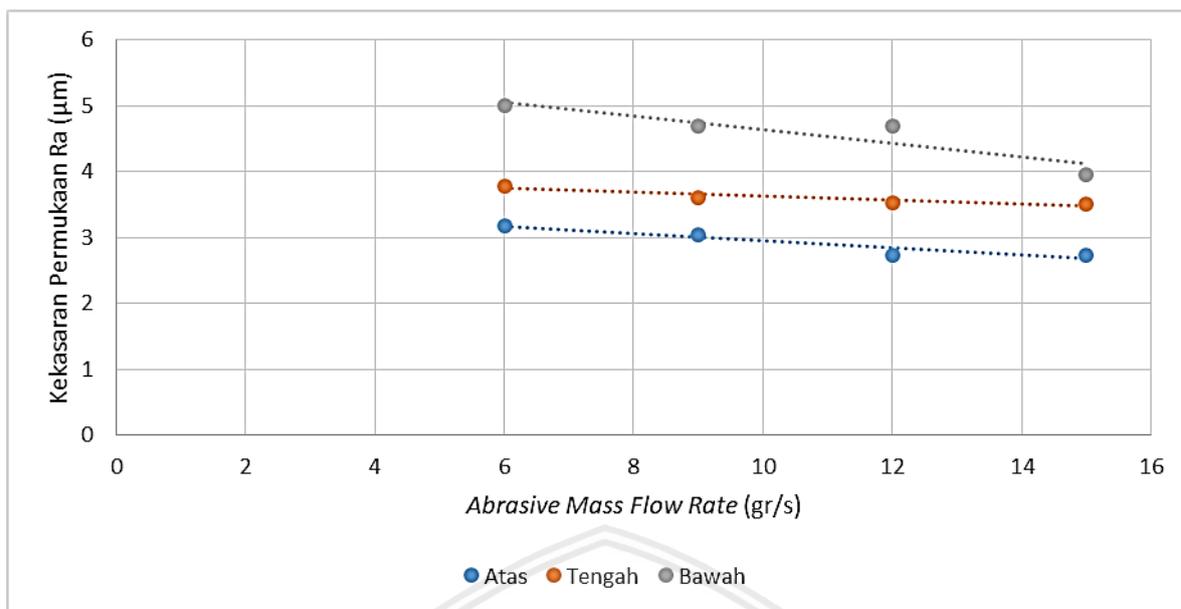
Pada grafik diatas, saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 6 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,545 μm , bagian tengah 3,012 μm , dan bagian bawah 3,628 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 9 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,418 μm , bagian tengah 3,002 μm , dan bagian bawah 3,575 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 12 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,345 μm , bagian tengah 2,74 μm , dan bagian bawah 3,503 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 15 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,344 μm , bagian tengah 2,703 μm , dan bagian bawah 3,478 μm .



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara *Abrasive Mass Flow Rate* dengan Kekasaran Permukaan saat *Cutting Speed* 127,5 mm/min

Gambar diatas adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara massa alir partikel abrasif (*abrasive mass flow rate*) dengan kekasaran permukaan *stainless steel* 316L. Pada grafik diatas, nilai variasi massa alir partikel abrasif yang digunakan adalah 6 gr/s, 9 gr/s, 12 gr/s, dan 15 gr/s dan *cutting speed* 127,5 mm/min . Untuk sumbu x, mewakili nilai *abrasive mass flow rate* dan sumbu y menunjukkan nilai kekasaran permukaan Ra (μm).

Pada grafik diatas, saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 6 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,714 μm , bagian tengah 3,4 μm , dan bagian bawah 3,933 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 9 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,661 μm , bagian tengah 3,396 μm , dan bagian bawah 3,891 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 12 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,659 μm , bagian tengah 3,278 μm , dan bagian bawah 3,709 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 15 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,644 μm , bagian tengah 3,117 μm , dan bagian bawah 3,702 μm .



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara *Abrasive Mass Flow Rate* dengan Kekasaran Permukaan saat *Cutting Speed* 170 mm/min

Gambar diatas adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara massa alir partikel abrasif (*abrasive mass flow rate*) dengan kekasaran permukaan *stainless steel* 316L. Pada grafik diatas, nilai variasi massa alir partikel abrasif yang digunakan adalah 6 gr/s, 9 gr/s, 12 gr/s, dan 15 gr/s dan *cutting speed* 170 mm/min . Untuk sumbu x, mewakili nilai *abrasive mass flow rate* dan sumbu y menunjukkan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) Ra (μm).

Pada grafik diatas, saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 6 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 3,176 μm , bagian tengah 3,785 μm , dan bagian bawah 4,994 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 9 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 3,045 μm , bagian tengah 3,608 μm , dan bagian bawah 4,7 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 12 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,741 μm , bagian tengah 3,521 μm , dan bagian bawah 4,683 μm . Saat nilai *abrasive mas flow rate* sebesar 15 gr/s, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,736 μm , bagian tengah 3,515 μm , dan bagian bawah 3,952 μm .

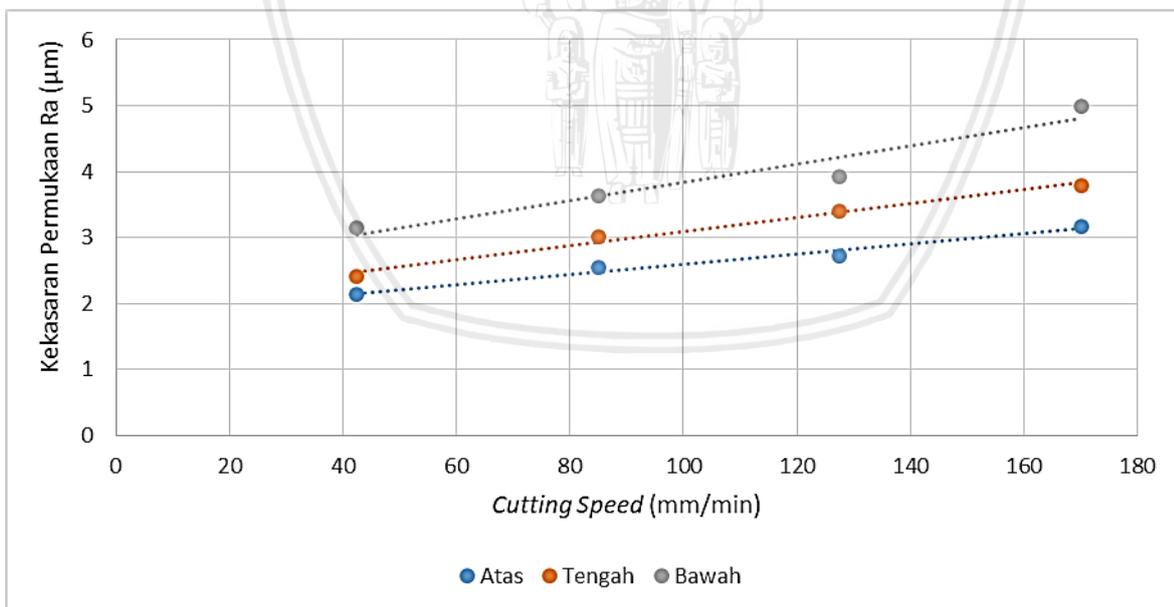
Dari ke empat grafik yang telah dipaparkan diatas, seiring dengan kenaikan nilai *abrasive mass flow rate* maka kekasaran permukaan (*surface roughness*) *stainless steel* tipe 316L akan semakin turun. Hal ini dikarenakan semakin tinggi nilai *abrasive mass flow rate* maka akan meningkatkan energi kinetik dari jet air. Kenaikan energi kinetik diakibatkan oleh semakin banyaknya penetrasi partikel abrasif ke dalam zona pemotongan. Sehingga

energi yang digunakan untuk memotong spesimen akan semakin besar dan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) *stainless steel* tipe 316L akan kecil. Hal ini dapat dijelaskan dengan rumus energi kinetik, dimana nilai energi kinetik berbanding lurus terhadap massa. Apabila nilai massa naik, maka energi kinetik yang dihasilkan juga akan semakin besar.

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \dots\dots\dots(4 - 1)$$

Pada grafik di atas, nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada bagian bawah spesimen lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada bagian atas spesimen. Hal ini dikarenakan energi kinetik yang sudah dipakai untuk memotong bagian atas terlebih dahulu, sehingga saat sampai pada bagian bawah, energi kinetik yang dihasilkan dari campuran air dan partikel abrasif akan semakin berkurang, sehingga nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) akan semakin besar pada bagian bawah spesimen *stainless steel* tipe 316L.

4.3 Grafik Hubungan antara *Cutting Speed* dengan Kekasaran Permukaan

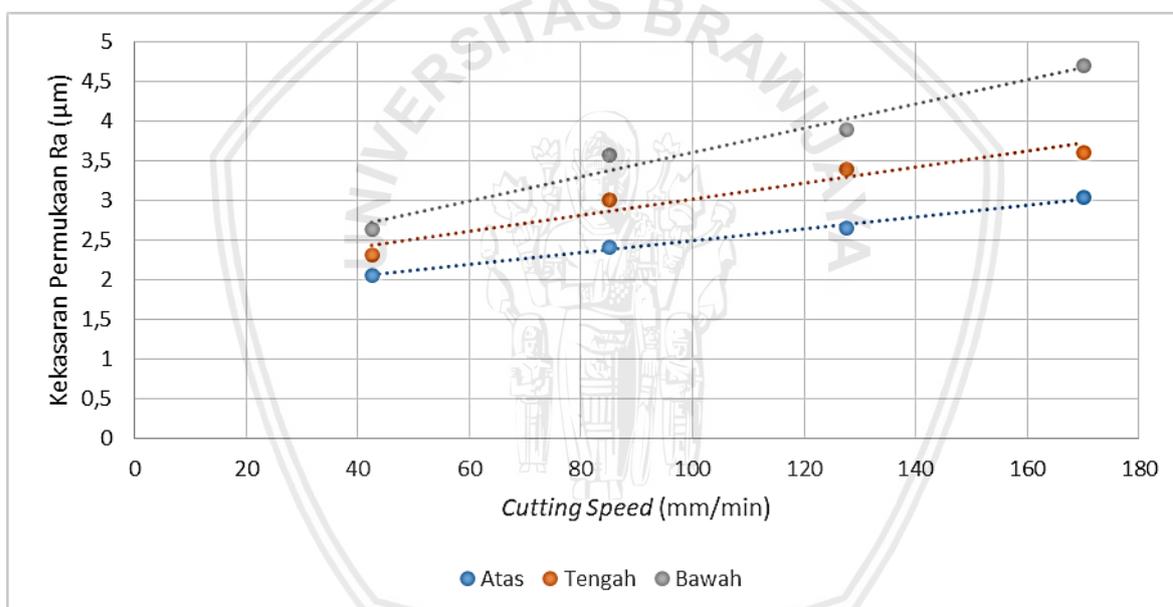


Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara *Cutting Speed* dengan Kekasaran Permukaan saat *Abrasive Mass Flow Rate* 6 gr/s

Gambar diatas adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara *cutting speed* (kecepatan pemotongan) dengan kekasaran permukaan *stainless steel* 316L. Pada grafik diatas, nilai variasi *cutting speed* yang digunakan adalah 42,5 mm/min, 85 mm/min, 127,5

mm/min, dan 170 mm/min dan *abrasive mass flow rate* 6 gr/s . Untuk sumbu x, mewakili nilai *cutting speed* dan sumbu y menunjukkan nilai kekasaran permukaan Ra (μm).

Pada grafik diatas, saat nilai *cutting speed* sebesar 42,5 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,146 μm , bagian tengah 2,409 μm , dan bagian bawah 3,148 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 85 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,545 μm , bagian tengah 3,012 μm , dan bagian bawah 3,628 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 127,5 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,714 μm , bagian tengah 3,4 μm , dan bagian bawah 3,933 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 170 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 3,176 μm , bagian tengah 3,785 μm , dan bagian bawah 4,994 μm .

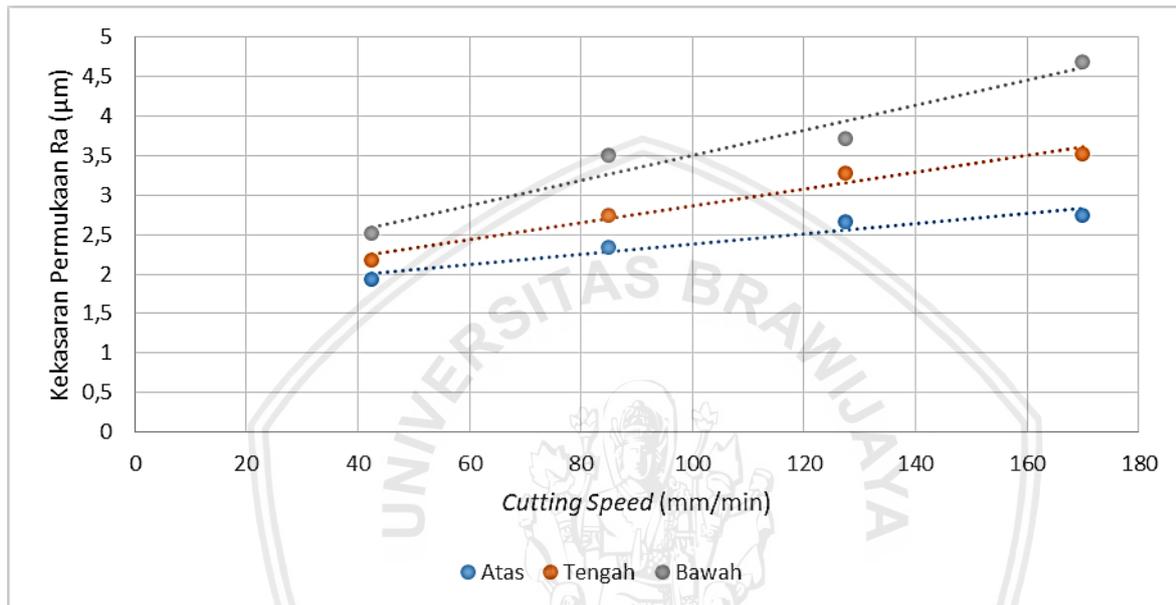


Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara *Cutting Speed* dengan Kekasaran Permukaan saat *Abrasive Mass Flow Rate* 9 gr/s

Gambar diatas adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara *cutting speed* (kecepatan pemotongan) dengan kekasaran permukaan *stainless steel* 316L. Pada grafik diatas, nilai variasi *cutting speed* yang digunakan adalah 42,5 mm/min, 85 mm/min, 127,5 mm/min, dan 170 mm/min dan *abrasive mass flow rate* 9 gr/s . Untuk sumbu x, mewakili nilai *cutting speed* dan sumbu y menunjukkan nilai kekasaran permukaan Ra (μm).

Pada grafik diatas, saat nilai *cutting speed* sebesar 42,5 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,063 μm , bagian tengah 2,318 μm , dan bagian bawah 2,635 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 85 mm/min, nilai kekasaran

permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,418 μm , bagian tengah 3,002 μm , dan bagian bawah 3,575 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 127,5 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,661 μm , bagian tengah 3,396 μm , dan bagian bawah 3,891 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 170 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 3,045 μm , bagian tengah 3,608 μm , dan bagian bawah 4,7 μm .

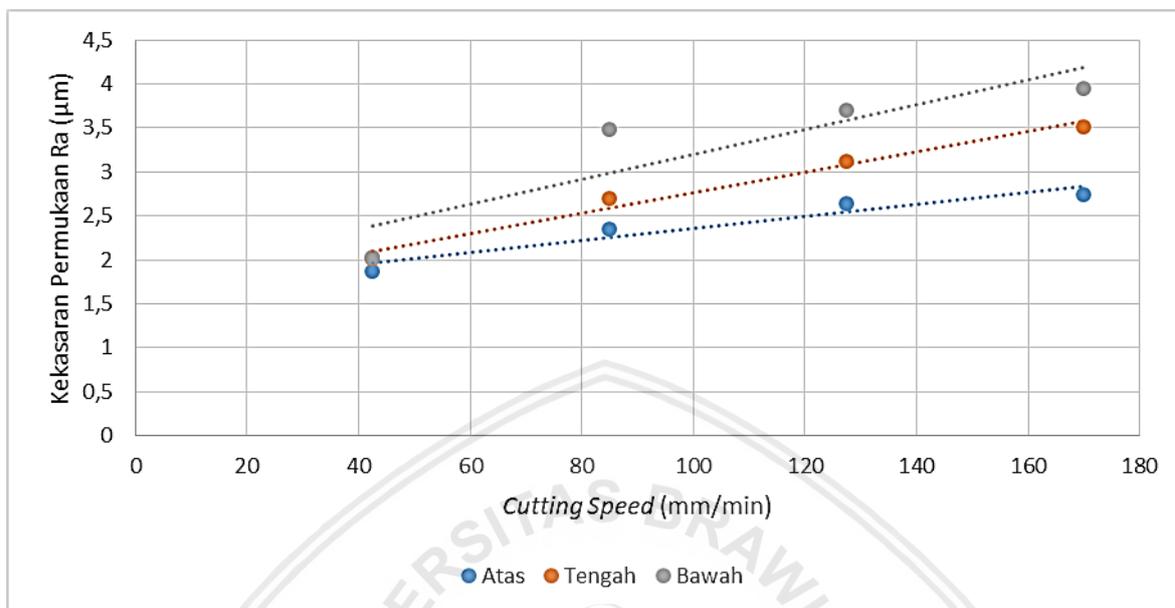


Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara *Cutting Speed* dengan Kekasaran Permukaan saat *Abrasive Mass Flow Rate* 12 gr/s

Gambar diatas adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara *cutting speed* (kecepatan pemotongan) dengan kekasaran permukaan *stainless steel* 316L. Pada grafik diatas, nilai variasi *cutting speed* yang digunakan adalah 42,5 mm/min, 85 mm/min, 127,5 mm/min, dan 170 mm/min dan *abrasive mass flow rate* 12 gr/s . Untuk sumbu x, mewakili nilai *cutting speed* dan sumbu y menunjukkan nilai kekasaran permukaan Ra (μm).

Pada grafik diatas, saat nilai *cutting speed* sebesar 42,5 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 1,941 μm , bagian tengah 2,184 μm , dan bagian bawah 2,517 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 85 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,345 μm , bagian tengah 2,74 μm , dan bagian bawah 3,503 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 127,5 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,659 μm , bagian tengah 3,278 μm , dan bagian bawah 3,709 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 170 mm/min, nilai kekasaran

permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,741 μm , bagian tengah 3,521 μm , dan bagian bawah 4,683 μm .



Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara *Cutting Speed* dengan Kekasaran Permukaan saat *Abrasive Mass Flow Rate* 15 gr/s

Gambar diatas adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara *cutting speed* (kecepatan pemotongan) dengan kekasaran permukaan *stainless steel* 316L. Pada grafik diatas, nilai variasi *cutting speed* yang digunakan adalah 42,5 mm/min, 85 mm/min, 127,5 mm/min, dan 170 mm/min dan *abrasive mass flow rate* 15 gr/s . Untuk sumbu x, mewakili nilai *cutting speed* dan sumbu y menunjukkan nilai kekasaran permukaan Ra (μm).

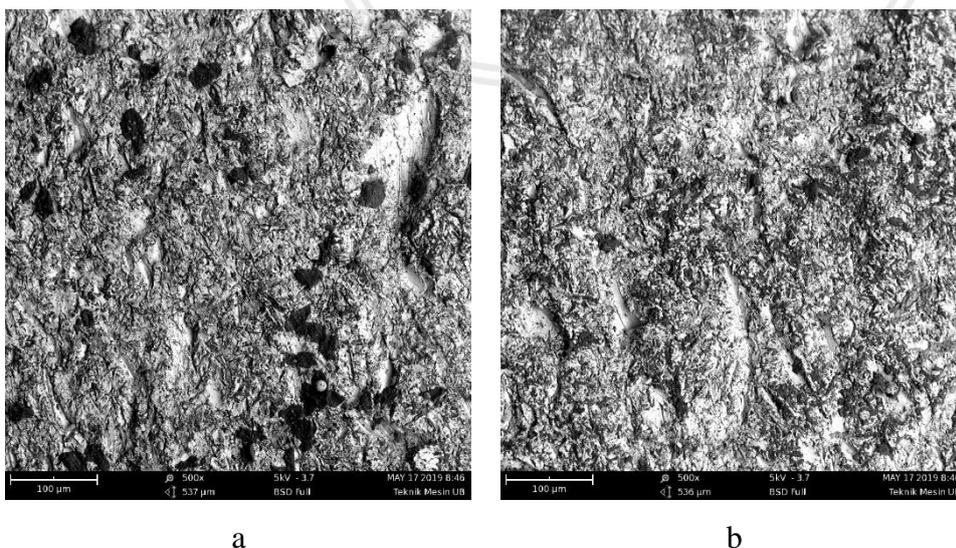
Pada grafik diatas, saat nilai *cutting speed* sebesar 42,5 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 1,873 μm , bagian tengah 2,016 μm , dan bagian bawah 2,03 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 85 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,344 μm , bagian tengah 2,703 μm , dan bagian bawah 3,478 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 127,5 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,644 μm , bagian tengah 3,117 μm , dan bagian bawah 3,702 μm . Saat nilai *cutting speed* sebesar 170 mm/min, nilai kekasaran permukaan *stainless steel* 316L pada bagian atas 2,736 μm , bagian tengah 3,515 μm , dan bagian bawah 3,952 μm .

Dari ke empat grafik di atas, semakin tinggi nilai *cutting speed*, dari 42,5 mm/min, 85 mm/min, 127,5 mm/min dan 170 mm/min, maka nilai kekasaran permukaan spesimen (*surface roughness*) *stainless steel* tipe 316L akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan jika

nilai *cutting speed* semakin tinggi, waktu interaksi antara campuran air dan partikel abrasif dari *abrasive water jet cutter* dengan permukaan spesimen *stainless steel* tipe 316L lebih singkat. Jumlah campuran partikel abrasif dan air yang memengaruhi spesimen *stainless steel* tipe 316L lebih rendah, sehingga menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih tinggi. Sedangkan ketika *cutting speed* semakin rendah, maka interaksi antara jet dari campuran partikel abrasif dan air dengan spesimen akan meningkat, sehingga kekasaran permukaan (*surface roughness*) akan semakin turun dan akan menyebabkan pada hasil pemotongannya lebih baik. Saat *cutting speed* tinggi, waktu yang digunakan untuk pemotongan lebih singkat, sehingga energi kinetik akan semakin berkurang dalam melakukan penetrasi ke permukaan potong spesimen *stainless steel* tipe 316L, sehingga menyebabkan permukaan spesimen menjadi lebih kasar.

Pada grafik di atas, nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada bagian bawah spesimen lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada bagian atas spesimen. Hal ini dikarenakan energi kinetik yang sudah dipakai untuk memotong bagian atas terlebih dahulu, sehingga saat sampai pada bagian bawah, energi kinetik yang dihasilkan dari campuran air dan partikel abrasif akan semakin berkurang, sehingga nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) akan semakin besar pada bagian bawah spesimen *stainless steel* tipe 316L.

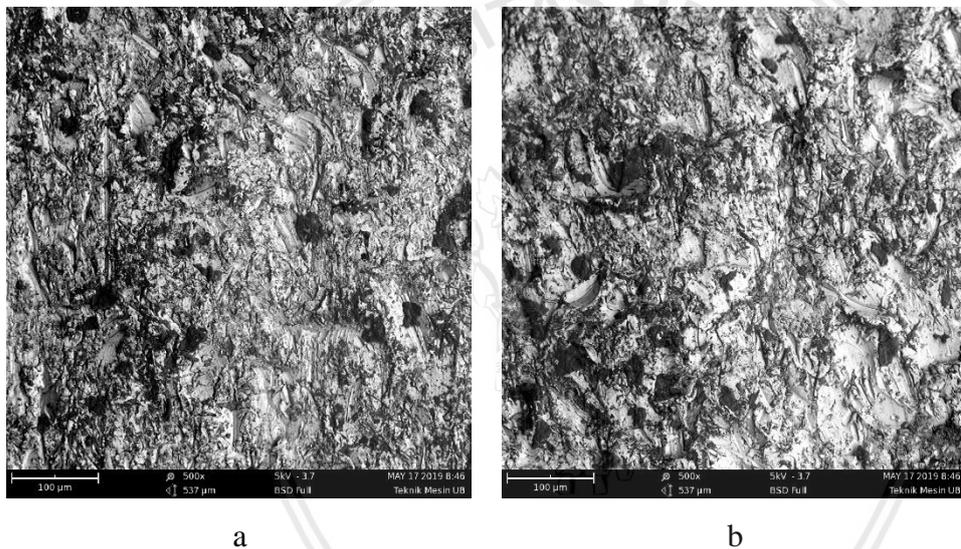
Apabila dilihat dari mikrostruktur spesimen setelah dilakukan pemotongan menggunakan SEM (*scanning electron microscope*), maka didapatkan gambar sebagai berikut :



Gambar 4.9 Foto mikrostruktur hasil pemotongan dengan variasi (a) *Abrasive mass flow rate* 9 gram/s dan (b) 12 gram/s

Pada kedua gambar di atas, dapat dilihat bahwa pada gambar a, memiliki foto mikrostruktur yang lebih kasar jika dibandingkan dengan pada gambar b. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi nilai *abrasive mass flow rate*, maka nilai kekasaran permukaan akan semakin menurun (halus).

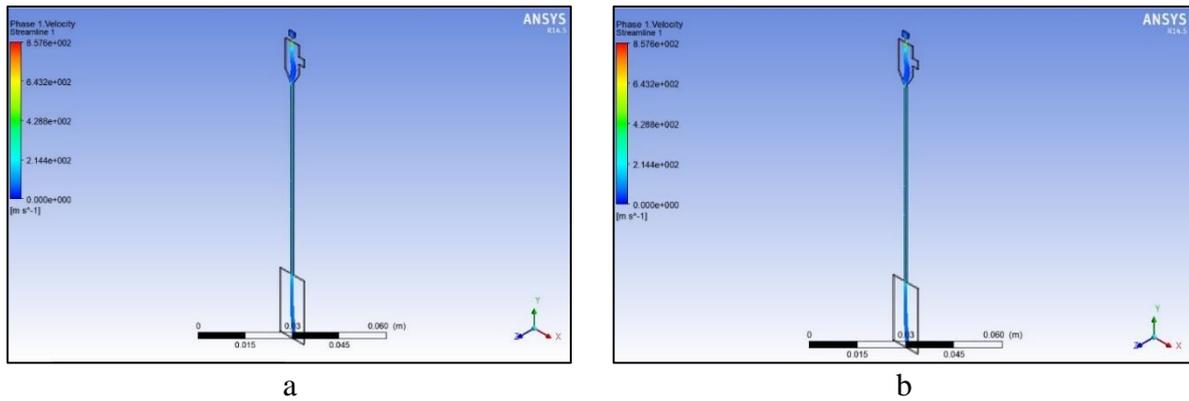
Semakin tinggi nilai *abrasive mass flow rate*, maka akan semakin banyak partikel abrasif yang akan bertumbukan dengan permukaan potong spesimen. Partikel abrasif yang menumbuk ini, akan semakin banyak mengerosi permukaan spesimen, sehingga bentuk topografi berupa puncak akan semakin rendah ketinggiannya. Apabila diukur menggunakan kekasaran permukaan Ra, yang mengambil 5 puncak tertinggi dan 5 lembah terendah, maka spesimen yang dipotong menggunakan nilai *abrasive mass flow rate* tertinggi akan memiliki nilai Ra yang paling rendah.



Gambar 4.10 Foto mikrostruktur hasil pemotongan dengan variasi (a) *Cutting speed* 42,5 mm/min dan (b) *cutting speed* 170 mm/min

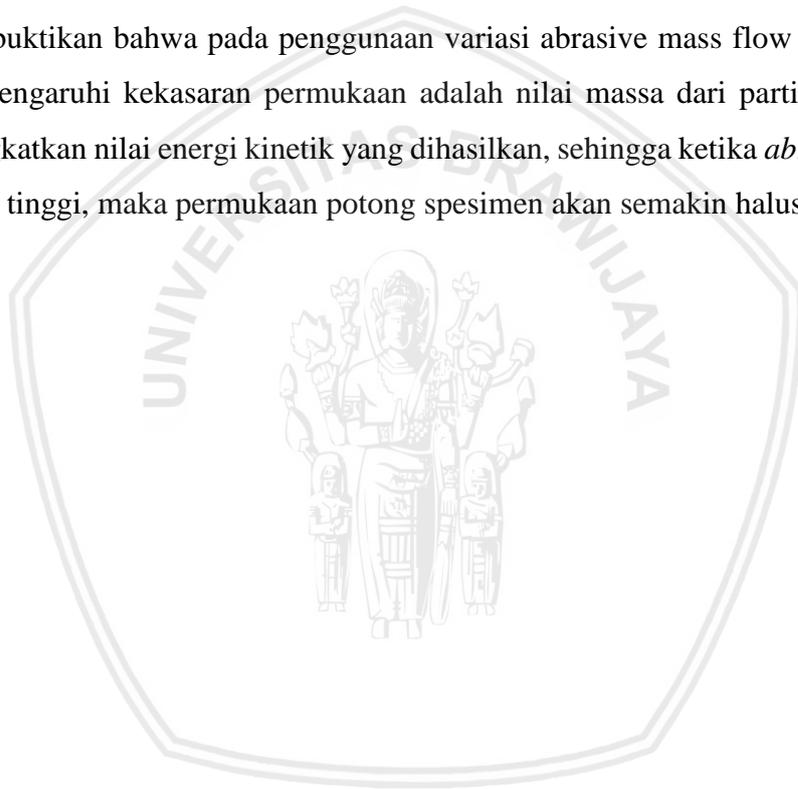
Pada gambar di atas, dapat dilihat topografi dari gambar (a) memiliki permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan pada gambar (b). Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi nilai *cutting speed*, maka nilai kekasaran permukaan akan semakin tinggi (kasar).

Saat nilai *abrasive mass flow rate* divariasikan, dengan nilai tekanan yang konstan pada mesin *abrasive water jet cutting*, tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap kecepatan aliran campuran antara air dan partikel abrasif. Hal ini dibuktikan dengan melakukan simulasi yang dijalankan pada aplikasi ANSYS Workbench 14.5.



Gambar 4.11 Hasil simulasi ANSYS Workbench 14.5 dengan variasi (a) *abrasive mass flow rate* 6 gram/s dan (b) 15 gram/s

Hal ini membuktikan bahwa pada penggunaan variasi *abrasive mass flow rate*, faktor utama yang memengaruhi kekasaran permukaan adalah nilai massa dari partikel abrasif, yang akan meningkatkan nilai energi kinetik yang dihasilkan, sehingga ketika *abrasive mass flow rate* semakin tinggi, maka permukaan potong spesimen akan semakin halus.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan studi literatur, penelitian eksperimental dan analisis terhadap hasil penelitian, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi nilai *abrasive mass flow rate* maka kekasaran permukaan spesimen *stainless steel* tipe 316L akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai *abrasive mass flow rate*, maka energi kinetik dari jet campuran air dan partikel abrasif akan semakin besar.
2. Semakin tinggi nilai *cutting speed* maka nilai kekasaran permukaan spesimen *stainless steel* tipe 316L akan semakin naik. Hal ini dikarenakan semakin besar *cutting speed*, maka waktu interaksi antara jet campuran air dan partikel abrasif dari *abrasive water jet cutter* dengan permukaan spesimen lebih singkat.
3. Kekasaran permukaan pada bagian atas spesimen *stainless steel* tipe 316L lebih rendah dibandingkan dengan bagian tengah dan bawah. Hal ini dikarenakan energi kinetik yang sudah dipakai untuk memotong bagian atas terlebih dahulu, sehingga saat sampai pada bagian bawah, energi kinetik yang dihasilkan dari campuran air dan partikel abrasif akan semakin berkurang.

5.2 Saran

1. Masih terdapat parameter yang masih dapat mempengaruhi kekasaran permukaan spesimen, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.
2. Terdapat batasan-batasan dalam melakukan penelitian, sehingga perlu dilakukan studi pengaruh dari batasan-batasan tersebut terhadap kualitas hasil pemesinan menggunakan *abrasive water jet machine*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aich, Ushasta, dkk. (2013). *State of the Art – Review on Abrasive Water Jet Machining Process*. International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E), Vol. 7, No. 7, P. 1471 – 1494
- Aich, Ushasta, dkk. (2014). *Abrasive Water Jet Cutting of Borosilicate Glass*. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014), Procedia Materials Science 6 (2014), P. 775 – 785
- Akkurt, Adnan. (2015). *The Effect of Cutting Process on Surface Microstructure and Hardness of pure and Al 6061 Aluminium Alloy*. Ankara : Gazi University.
- Berrima, Septian G. (2011). Pengaruh Jarak Pancaran pada Proses Water Jet Cutter terhadap Lebar Kerf Pada Hasil Pemotongan Produksi Graphite Gasket. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- C.A, Niranjan, dkk. (2018). *An Experimental Study on Depth of Cut of AZ91 Magnesium Alloy in Abrasive Water Jet Cutting*. International Conference on Advanced Materials and Applications (ICAMA 2016), Proceedings 5 (2018), P. 2884 – 2890
- Chandramohan, D., dkk. (2010). *Contribution of Biomaterials to Orthopaedics as Bone Implants – A Review*. International Journal of Materials Science, Vol. 5, No. 3, P. 1 - 20
- Chen, F.L., dkk. (2001). *The Effect of Cutting Jet Variation on Surface Striation Formation in Abrasive Water Jet Cutting*. Journal of Materials Processing Technology 135 (2003), P. 1-5
- Choudhury, SK, dkk. (2016). *Finish Machining of Hardened Steel*. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.
- El-Hofy, Hassan. (2005). *Advanced Machining Processes Nontraditional and Hybrid Machining Processes*. United States: The McGraw-Hill Companies
- Farhan, Deny. (2014). *Water Jet*. <http://denyfarhanptm.blogspot.co.id/2014/05/water-jet.html>, diakses 8 maret 2019.
- Garg, Hemlata, dkk. (2012). *Implant Surface Modifications: A Review*. Journal of Clinical and Diagnostic Research, Vol. 6, No. 2, P. 319 - 324
- Hajdarevic, Derzija Begic, dkk. (2015). *Experimental Study on Surface Roughness in Abrasive Water Jet Cutting*. 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation (DAAAM 2014), Procedia Engineering 100 (2015), P. 394 – 399
- Hale, Patrick. (2012). *Multi-Modelling of Abrasive Waterjet Machining*. Ontario. McMaster University Mechanical Engineering
- Kalpajian, Serope & Schmid, Steven. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology*. Chicago : Pearson

- repository.ub.ac.id
- Kumar, K. Ravi, dkk. (2017). *Characterization and Optimization of Abrasive Water Jet Machining Parameters of Alumunium/Tungsten Carbide Composite*. Measurement, P. 1 – 22
- Li, Maojun, dkk. (2019). *Effects Of Processing Parameters On Kerf Characteristics And Surface Integrity Following Abrasive Waterjet Slotting Of Ti6Al4V/CFRP Stacks*. Journal of Manufacturing Processes. P. 82-95.
- Momber, A.W., Kovacevic, R. (1998). *Principles of Abrasive Water Jet Machining*, Springer-Verlag London Limited, Great Britain.
- Munadi, Sudji. (1980). *Dasar-Dasar Metrologi Industri*. Jakarta : Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan
- Mutavgjc, Veselko, dkk. (2011). *Experimental Investigation of Surface Roughness Obtained By Abrasive Water Jet Machining*. 15th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” (TMT 2011), Prague, Czech Republic, 12-18 September 2011, P. 1 – 4
- Patel, Rajesh K dan Srinivas, S. (2017). *Abrasive Water Jet Turning of Aluminum-silicon Carbide Metal Matrix Composites*. India : Proceedings of 10th International Conference on Precision , Meso, Micro and Nano Engineering (COPEN 10), Indian Institute of Technology Madras.
- Ramsden J.J, dkk. (2007). *The Design and Manufacturing of Biomedical Surfaces*. Annals of the CIRP, Vol. 56, No. 2, P. 687 - 711
- Selvan, M. Chithirai Pon, dkk. (2012). *Effects of Process Parameters on Surface Roughness in Abrasive Waterjet Cutting of Alumunium*. Front. Mech. Eng. 2012, 7(4), P. 439-444
- Shukla, Mukul. (2013). *Abrasive Water Jet Milling*. Nontraditional Machining Processes, P. 1 – 27
- Staiger, Mark P., dkk. (2005). *Magnesium and Its Alloys as Orthopedic Biomaterials: A Review*. Biomaterials 27 (2006), P. 1728 – 1734
- Supriya, dkk. (2018). *Machinability Studies on Stainless Steel by Abrasive Water Jet Review*. International Conference on Advanced Materials and Applications (ICAMA 2016), Proceedings 5 (2018), P. 2871 – 2876
- Uthayakumar, M, dkk. (2016). *Machinability of Nickel-Based Superalloy by Abrasive Water Jet Machining*. Materials and Manufacturing Processes, 31, P. 1733 – 1739
- Venugopal, S, dkk. (2018). *CFD Simulation and Analysis of Abrasive Fluid Jet Machining*. International Journal of Advance Engineering and Research Development, Vol. 5.
- Yoda, Itaru, dkk. (2014). *Effect of Surface Roughness of Biomaterials on Staphylococcus Epidermidis Adhesio*. BMC Microbiology, P. 1 – 7
- 