

**PENGARUH *BIO CUTTING FLUID* MINYAK JARAK DAN PARAMETER
PEMOTONGAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DAN FORMASI *CHIP*
BAJA ST-45**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

BERNADUS ROMARIO ANINDITA

NIM. 0910620006-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH *BIO CUTTING FLUID* MINYAK JARAK DAN PARAMETER PEMOTONGAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DAN FORMASI *CHIP* BAJA ST-45

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
BERNADUS ROMARIO ANINDITA
NIM. 0910620006 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir., Achmad As'ad Sonief., MT
NIP. 19591128 198710 1 001

Sugiarto., ST., MT
NIP. 19690417 199512 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH *BIO CUTTING FLUID* MINYAK JARAK DAN
PARAMETER PEMOTONGAN TERHADAP KEKASARAN
PERMUKAAN DAN FORMASI *CHIP* BAJA ST-45**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :
BERNADUS ROMARIO ANINDITA
NIM. 0910620006 – 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 03 Desember 2013

Majelis Penguji

Skripsi I

Ir.Erwin Sulistyoo.,MT
NIP. 19661213 199802 1 001

Skripsi II

Ir.Tjuk Oerbandono.,M.Sc.,CSE
NIP. 19670923 199303 1 002

Skripsi III

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

Mengetahui,
An.Ketua
PJS. Sekretaris Jurusan Teknik Mesin

Purnami., ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat dan berkat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Penulis sadar bahwa selama dalam penulisan skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak.

Atas bantuan dan dorongan, baik yang berupa moril dan materiil yang diberikan maka pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi.,ST.,M.Eng selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami.,ST.,MT selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono., M.Sc., CSE selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
4. Bapak Dr. Ir. Acmad As'ad Sonief., MT selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Sugiarto., ST., MT selaku Dosen Pembimbing II yang dengan tulus dan telah banyak membantu dalam penulisan skripsi ini.
6. Ibu Femiana Gapsari., ST., MT. Selaku Kepala laboratorium Metrologi Industri yang telah mengizinkan melakukan penelitian di laboratorium Metrologi Industri
7. Bapak Dr. Eng Eko Siswanto., ST.,MT. Selaku Kepala laboratorium Proses Produksi I yang telah mengizinkan melakukan penelitian di laboratorium Proses Produksi I
8. Bapak Ir. Hastono Wijaya.,MT selaku Dosen pembimbing akademik.
9. Ayahanda Yohannes Supriyanto, Ibunda Agnes Adhi Indrawati, Nenekku Sukirman beserta Kakakku Aloysia Renata Pradipta.,ST tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan suntikan semangat selama ini.
10. Teman – teman asisten Laboratorium Mesin Pendingin, Andi Putranto, Mika Farizkaraja, Andi Pramana, Lutfi Lailunnazar, Arif Mukhlisin, Afrima Nugrahanto.
11. Teman – teman asisten Laboratorium Proses Produksi I, Agung, Chandra,

Zhena, Yanuar, Trendy, Ramdha, Hafidh, Rachmanta, Yudhistira, Alim yang telah membantu saya dalam melakukan penelitian ini.

12. Vicky Zulfikar dan Priyo Jati Wahyono selaku asisten Laboratorium Metrologi Industri yang telah membantu saya selama penelitian ini.
13. Teman-teman MESIN BRAWIJAYA 2009 yang selalu memberi hiburan selama pengerjaan Skripsi.
14. Teman-Teman KELUARGA BESAR 47 BRAWIJAYA. Yang telah memberikan hiburan selama berada di Malang.
15. drg. Felicia Chika Hanindita yang memberi dukungan pada akhir pengerjaan Skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis bersedia menerima kritik yang bersifat membangun di kemudian hari. Semoga dapat memunculkan ide-ide baru, semangat untuk mengembangkannya dan bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Desember 2013
Penulis,

Bernadus Romario Anindita

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Klasifikasi Proses Pemesinan	6
2.3 Elemen Dasar Proses Bubut.....	8
2.3.1 Proses Pemotongan Pada Mesin Bubut	10
2.3.2 Gaya Pemotongan Pada Proses Pembubutan.....	10
2.3.3 Sistem Pemotongan.....	11
2.3.4 Sudut Pemotongan	12
2.4 Kekasaran Permukaan.....	13
2.4.1 Pengertian Kekasaran Permukaan	13
2.4.2 Pengukuran Kekasaran Permukaan	14
2.4.3 Penyebab Kekasaran Permukaan	15
2.5 <i>Chip</i>	16
2.5.1 Mekanisme Terbentuknya <i>Chip</i>	16
2.5.2 Macam-Macam Bentuk <i>Chip</i>	16
2.6 <i>Cutting Fluid</i>	18
2.6.1 Pengertian dan Manfaat <i>Cutting Fluid</i>	18



2.6.2	Klasifikasi <i>Cutting Fluid</i>	18
2.6.3	Pemilihan <i>Cutting Fluid</i>	20
2.6.4	Metode Pemakaian <i>Cutting Fluid</i>	20
2.7	<i>Bio Cutting Fluid</i>	21
2.7.1	Keuntungan Pemakaian <i>Bio Cutting Fluid</i>	21
2.7.2	Sifat-Sifat <i>Bio Cutting Fluid</i>	22
2.7.3	Minyak Jarak Pagar	22
2.8	Baja	23
2.8.1	Baja ST-45	23
2.9	Pahat Karbida.....	24
2.10	Hipotesis	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Metode Penelitian	26
3.2	Tempat dan Waktu Pelaksanaan	26
3.3	Variabel Penelitian.....	26
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.4.1	Alat Penelitian.....	27
3.4.2	Bahan Penelitian	29
3.5	Prosedur Penelitian	31
3.6	Pelaksanaan Penelitian.....	32
3.7	Diagram Alir Penelitian	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data dan Analisis Hasil Penelitian Kekasaran Permukaan.....	35
4.1.1	Analisis Statistik Pada hasil pengukuran kekasaran permukaan	37
4.1.2	Grafik dan pembahasan Hasil Kekasaran Permukaan	39
4.2	Hasil dan Pembahasan Formasi <i>Chip</i>	42

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45



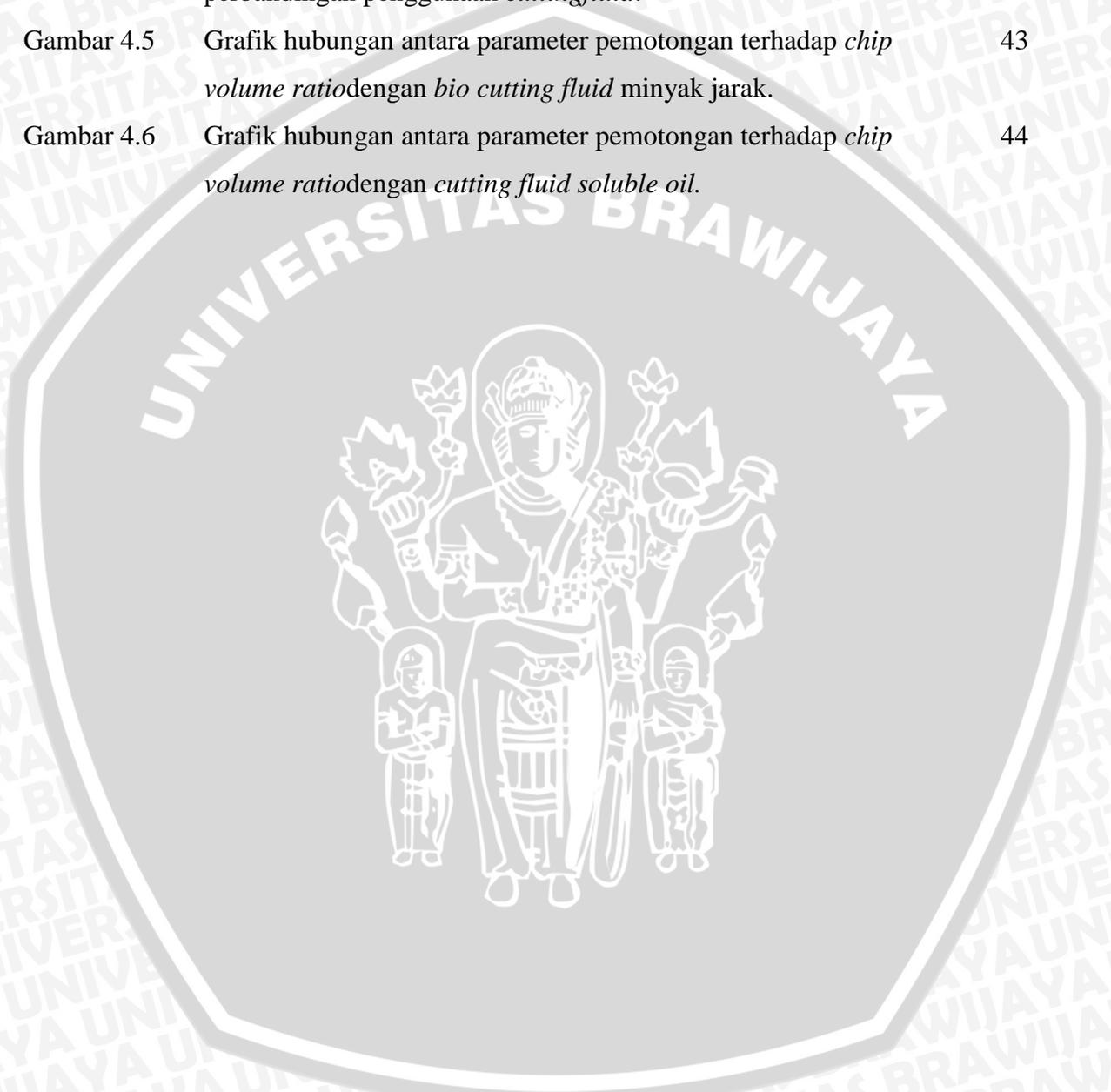
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Proses Pembubutan	6
Gambar 2.2	Proses Freis	6
Gambar 2.3	Proses Sekrap	7
Gambar 2.4	Proses Gurdi	7
Gambar 2.5	Proses Gergaji	7
Gambar 2.6	Proses Gerinda	8
Gambar 2.7	Gaya Pada Proses Pembubutan	10
Gambar 2.8	Pembubutan Orthogonal	11
Gambar 2.9	Sistem Pemotongan Miring	12
Gambar 2.10	Sudut Pemotongan pada Proses Pembubutan	12
Gambar 2.11	Macam – macam Bentuk Kekasaran	13
Gambar 2.12	Profil kekasaran pada permukaan	14
Gambar 2.13	Mekanisme Terbentuknya <i>Chip</i> Pada Proses Pembubutan	16
Gambar 2.14	<i>Continuous chip with BUE</i>	17
Gambar 2.15	<i>Discontinuous chip</i>	17
Gambar 2.16	<i>Continuous chip</i>	17
Gambar 3.1	Mesin Bubut	27
Gambar 3.2	<i>Surface Roughness Test</i>	28
Gambar 3.3	Kunci <i>chuck</i>	28
Gambar 3.4	<i>Tool Holder</i>	29
Gambar 3.5	Kamera <i>Digital</i>	29
Gambar 3.6	Baja St-45	29
Gambar 3.7	Pahat karbida	30
Gambar 3.8	Minyak jarak	30
Gambar 3.9	<i>Soluble oil</i>	31
Gambar 3.10	Spesimen Baja Sebelum Pembubutan	32
Gambar 3.11	Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 4.1	Grafik perbandingan rata-rata kekasaran permukaan	38
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada <i>depth of cut</i> 0,6mm dengan perbandingan penggunaan <i>cuttingfluid</i>	40

Gambar 4.3	Grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada <i>Depth of cut</i> 0,9mm dengan perbandingan penggunaan <i>cuttingfluid</i> .	41
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada <i>Depth of cut</i> 1,2mm dengan perbandingan penggunaan <i>cuttingfluid</i> .	42
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara parameter pemotongan terhadap <i>chip volume rati</i> dengan <i>bio cutting fluid</i> minyak jarak.	43
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara parameter pemotongan terhadap <i>chip volume rati</i> dengan <i>cutting fluid soluble oil</i> .	44



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisik dari <i>Soluble Oil</i>	19
Tabel 2.2	Sifat fisik minyak jarak pagar	23
Tabel 2.3	Komposisi dan kandungan yang terdapat pada Baja ST-45	24
Tabel 2.4	<i>Mechanical Property of ST-45 Steel</i>	24
Tabel 3.1	Spesifikasi Pahat	30
Tabel 4.1	Hasil pengukuran kekasaran permukaan (<i>Ra</i>) pada pembubutan menggunakan <i>Cutting Fluid soluble oil</i> .	35
Tabel 4.2	Hasil pengukuran kekasaran permukaan (<i>Ra</i>) pada pembubutan menggunakan <i>Bio Cutting fluid</i> minyak jarak.	36
Tabel 4.3	Analisis deskriptif rerata kekasaran permukaan	36
Tabel 4.4	Tabel Hasil Uji Homogenitas	37
Tabel 4.5	Hasil Uji t tidak berpasangan	38
Tabel 4.6	Tabel Hasil Anova	38
Tabel 4.7	Hasil Uji Duncan	38



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil kekasaran permukaan pada *depth of cut* 0,6mm menggunakan *soluble oil*
- Lampiran 2 Hasil kekasaran permukaan pada *depth of cut* 0,6mm menggunakan minyak jarak
- Lampiran 3 Hasil kekasaran permukaan pada *depth of cut* 0,9mm menggunakan *soluble oil*
- Lampiran 4 Hasil kekasaran permukaan pada *depth of cut* 0,9mm menggunakan minyak jarak
- Lampiran 5 Hasil kekasaran permukaan pada *depth of cut* 1,2mm menggunakan *soluble oil*
- Lampiran 6 Hasil kekasaran permukaan pada *depth of cut* 1,2mm menggunakan minyak Jarak
- Lampiran 7 F Tabel



RINGKASAN

Bernadus Romario Anindita, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2013, *Pengaruh Bio Cutting Fluid Minyak Jarak dan Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan dan Formasi Chip Baja ST-45*, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT. dan Sugiarto, ST., MT.

Minyak jarak sudah lama dikenal sebagai bahan baku energi terbarukan yang biasa digunakan sebagai campuran dalam bio diesel. Namun seiring dengan berkembangnya teknologi minyak jarak banyak digunakan juga sebagai bahan baku pelumas. Proses pembubutan masih sering digunakan dalam teknologi industri manufaktur dan cutting fluid biasa digunakan agar mendapatkan kualitas produk yang memiliki nilai jual tinggi. Seiring dengan semakin menipisnya persediaan minyak mineral, maka penggunaan minyak jarak (*Jatropha Curcas L*) sebagai bio cutting fluid dapat mengatasi masalah ketersediaan minyak bumi yang semakin menipis. Penelitian ini ditujukan kepada kekasaran permukaan dan formasi chip yang dihasilkan guna mengetahui hubungan penggunaan minyak jarak dan parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan dan formasi chip.

Pada penelitian ini dilakukan proses pembubutan dengan mesin bubut konvensional dengan material benda kerja baja pejal St-45. Untuk parameter pemotongan dicoba divariasikan pada diameter awal benda kerja 30mm, 40mm, 50mm dan depth of cut 0,6 ; 0,9 ; 1,2. Adapun beberapa variasi yang besarnya dijaga konstan selama penelitian yaitu putaran spindle 1200rpm , feed rate 0,05mm, dan panjang pemakanan 60mm.

Dari hasil penelitian diperoleh nilai kekasaran permukaan terendah dengan menggunakan soluble oil sebesar 1,91 μm dan 1,76 μm pada bio cutting fluid minyak jarak pada diameter awal benda kerja 50mm dengan depth of cut 0,6mm. Pada formasi chip cenderung menghasilkan discontinuous chip pada depth of cut 0,9mm, 1,2mm dan pada diameter awal benda kerja 40mm, 50mm.

Kata Kunci : **bio cutting fluid, kekasaran permukaan, formasi chip**

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam meningkatkan kualitas suatu komponen mesin tidak dapat dipisahkan dengan proses permesinan dari benda kerja mulai dari bahan baku sampai menjadi komponen yang diharapkan. Salah satu proses permesinan yang juga turut berpengaruh terhadap kualitas hasil produksi adalah proses pembubutan. Pada proses pemotongan menggunakan mesin bubut, gesekan antara mata pahat potong dengan benda kerja dapat menimbulkan panas sangat tinggi. Panas yang sangat tinggi pada proses pemotongan akan berdampak negatif pada hasil akhir benda kerja maupun pahat potong yang digunakan.

Tingkat kehalusan suatu permukaan memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan pembuatannya harus dipertimbangkan terlebih dulu mengenai peralatan mesin yang mana harus digunakan untuk membuatnya serta berapa ongkos yang harus dikeluarkan. Agar proses pembuatannya tidak terjadi penyimpangan yang berarti maka karakteristik permukaan ini harus dapat dipahami oleh perencana lebih-lebih lagi oleh operator. Komunikasi karakteristik permukaan biasanya dilakukan dalam gambar teknik.

Chip adalah salah satu elemen hasil permesinan yang memiliki berbagai macam bentuk dan ukuran, tergantung pada material benda kerja, jenis proses permesinan dan kondisi pemotongan yang digunakan. Bentuk *chip* yang panjang berkesinambungan tidak dikehendaki karena mempersulit pembuangannya. Maka dari itu pembubutan yang baik biasanya menghasilkan *discontinuous chip*.

Karakteristik geometrik yang baik meliputi kekasaran permukaan dapat dicapai dengan langkah-langkah pengerjaan yang tepat, mesin perkakas yang digunakan, jenis pahat (*cutting tool*), kondisi pemotongan, dan cairan pendingin (*cutting fluid*). Setiap proses permesinan mempunyai ciri tertentu atas kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan. Karakteristik geometri memang peranan penting dalam perencanaan mesin, yaitu berhubungan dengan gesekan, keausan, pelumasan, dan tahanan kelelahan. (Rochim;2001;53)

Proses permesinan berguna untuk menghilangkan material yang tidak diinginkan dari benda kerja. Parameter permesinan yang tepat diperlukan agar proses permesinan dilakukan secara efisien dan efektif serta menghilangkan produk yang berkualitas dan berguna. Kecepatan putar *spindle*, *depth of cut*, dan pemilihan pahat adalah beberapa parameter yang ada pada proses permesinan. Pemilihan *cutting fluid* juga menentukan hasil dari proses permesinan.

Cutting fluid merupakan campuran antara bahan-bahan kimia, pelumas, dan air dengan komposisi tertentu yang diformulasikan untuk memenuhi kebutuhan industri manufaktur. *Cutting fluid* yang dipakai saat ini umumnya berbahan dasar minyak bumi (*oil based fluid*) dan bahan kimia (*chemical based fluid*). Bahan-bahan yang terdapat didalam *cutting fluid* berpotensi mencemarkan lingkungan karena bersifat tidak ramah lingkungan. Karena itu dipertimbangkan pemakaian pemakaian *cutting fluid* yang ramah lingkungan dan tidak membahayakan operator namun tetap menjamin efisiensi dan efektifitas dalam proses permesinan.

Salah satu jenis minyak nabati yang sudah diteliti dan dikaji sebagai bahan dasar pelumas adalah minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*). Minyak jarak pagar memiliki titik tuang (*pour point*) yang rendah, ketahanan beban (keausan) serta indeks viskositas yang lebih baik dibandingkan dengan *super refined mineral oil* (SRMO) yang merupakan bahan dasar pelumas. Hal tersebut memungkinkan minyak jarak pagar digunakan sebagai variasi bahan dasar pelumas. (Yanto, 2012)

Bio Cutting Fluid berbahan dasar minyak nabati termasuk minyak jarak pagar yang mempunyai indeks viskositas yang sangat tinggi dibandingkan dengan minyak mineral. Indeks viskositas merupakan pengukuran perubahan viskositas relatif terhadap perubahan temperatur antara suhu 40°C dan 100°C. Nilai indeks viskositas pelumas terbagi menjadi 3 golongan : (1) indeks viskositas rendah atau *Low Viscosity Index* (LVI) adalah pelumas yang memiliki indeks viskositas lebih rendah dari 40. (2) indeks viskositas sedang atau *Medium Viscosity Index* (MVI) adalah pelumas yang memiliki indeks viskositas antara 40 sampai dengan 80. (3) indeks viskositas tinggi atau *High Viscosity Index* (HVI) adalah pelumas yang memiliki indeks viskositas lebih besar daripada 80. Hasil pengujian indeks viskositas minyak jarak pagar sebesar 217, menunjukkan bahwa minyak jarak pagar termasuk minyak yang mempunyai indeks viskositas tinggi (HVI). (Sudrajat, 2007:9)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam skripsi ini adalah bagaimana pengaruh pemakaian minyak jarak sebagai *bio cutting fluid* dibandingkan dengan *cutting fluid* berbahan *soluble oil* dengan variasi parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan benda kerja dan formasi *chip* yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Proses permesinan yang dilakukan adalah pembubutan.
2. Mesin yang digunakan adalah mesin bubut konvensional.
3. Material benda kerja yang digunakan adalah baja ST-45.
4. Pahat bubut yang digunakan adalah pahat sisipan karbida tipe DCMT 070204-NN
5. Mesin uji kekasaran *surface test roughness*.
6. Cairan Pendingin yang digunakan adalah *bio cutting fluid* yang berasal dari ekstraksi biji tanaman jarak pagar dan *soluble oil* sebagai *cutting fluid* pembanding.
7. Parameter pemotongan yang digunakan adalah variasi diameter benda kerja dan *depth of cut*.
8. Tidak membahas keausan dan umur pahat.
9. Permasalahan difokuskan pada kekasaran permukaan benda kerja dan mengetahui formasi *chip* yang dihasilkan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui perbandingan kekasaran permukaan benda kerja pada proses pembubutan antara menggunakan *cutting fluid* berupa minyak jarak dan *cutting fluid soluble oil* dengan variasi parameter pemotongan berupa *depth of cut* dan diameter benda kerja.
2. Mengetahui formasi *chip* yang dihasilkan pada proses pembubutan antara proses permesinan menggunakan *bio cutting fluid* dan menggunakan *soluble oil* dengan variasi parameter pemotongan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh pemakaian minyak jarak dalam proses permesinan, terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada proses pembubutan.
2. Memberikan tambahan informasi mengenai perbandingan antara pemakaian minyak jarak sebagai *bio cutting fluid* dan *Soluble oil* pada proses permesinan.
3. Memberikan masukan bagi operator tentang pemilihan pelumas yang berhubungan dengan parameter pemotongan.
4. Dasar bagi penelitian selanjutnya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Rahmadiano (2007) melakukan penelitian yang membahas tentang variasi media pendingin pada proses pembubutan dan variasi *feeding*. Diperoleh bahwa media pendingin air lebih baik dibanding dengan media pendingin minyak mineral, karena air lebih mampu menyerap panas dibanding dengan minyak mineral. Sedangkan antara besarnya *feeding* dengan kekasaran permukaan berbanding lurus, semakin besar *feeding* maka semakin besar pula kekasaran permukaan benda kerja.

Sudradjat (2007) melakukan penelitian mengenai sifat fisik dan sifat kimia dari minyak jarak. Pada penelitian ini didapatkan bahwa sifat fisik dan kimia minyak jarak pagar, memenuhi persyaratan sebagai pelumas dasar. Karakteristik tersebut adalah : kerapatan 0,9157kg/m³; flash point 270°C; pour point 0°C; viskositas 40°C (cSt) 34,17; viskositas 100°C (cSt) 7,95; viskositas indeks 217; indeks bias 25°C 1,4655; bilangan penyabunan 96,7 mg KOH/gr dan bilangan iod 18,5 gr/100gr.

Yanto (2012), minyak nabati memiliki struktur kimia yang mirip dengan minyak mineral dalam hal kandungan karbonnya, sehingga minyak nabati dapat dijadikan sebagai bahan dasar pelumasan pada proses permesinan. Salah satu jenis minyak nabati yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan dasar pelumasan adalah minyak jarak pagar. Minyak jarak pagar diperoleh dari biji jarak pagar yang diekstrak dengan cara mekanis (pengepres-an) ataupun ekstraksi dengan pelarut seperti heksana.

Hadimi (2012) melakukan penelitian mengenai pengaruh perubahan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada proses pembubutan. pada penelitian ini digunakan material benda kerja berbahan baja jenis ST-37, dengan pahat HSS, dan cairan pendingin shell dromus. didapatkan bahwa adanya pengaruh yang signifikan pada kekasaran permukaan. dan hasil terbaik didapat pada diameter benda kerja 30mm yaitu pada 0,034µm.

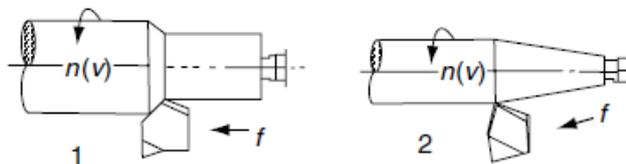
Zhou (2001) melakukan penelitian tentang proses pembubutan kering dengan menggunakan pahat karbida dengan material baja AISI 1010 dengan variasi *depth of cut* dan *feed rate* kemudian mengambil presiksi dari bentuk *chip* nya. Hasilnya didapat bahwa bentuk chip terbaik didapat antara *depth of cut* 1,12mm-1,43mm. Tetapi ini masih dalam kondisi pemotongan tanpa menggunakan *cutting fluid*.

Penelitian mengenai pemakaian *bio cutting fluid* minyak jarak, sampai saat ini masih belum dilaksanakan. Maka dari itu, penelitian ini diharapkan bisa membantu mengatasi semakin menipisnya ketersediaan minyak bumi yang digunakan sebagai bahan dasar pelumasan pada proses permesinan. Permasalahan difokuskan pada kekasaran permukaan benda kerja dan formasi *chip* dengan media *coolant* berupa *bio cutting fluid* (minyak jarak).

2.2 Klasifikasi proses pemesinan

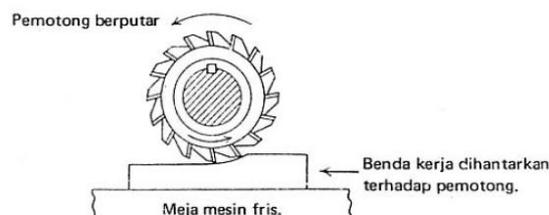
Pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja akan menghasilkan *chip* dan permukaan benda kerja secara bertahap akan terbentuk menjadi komponen yang dikehendaki. Gerak relatif pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua komponen gerakan yaitu gerak potong (*cutting movement*) dan gerak makan (*feeding movement*). Menurut jenis kombinasi gerak potong dan gerak makan maka proses permesinan dikelompokkan menjadi enam proses yang berlainan, yaitu (Rochim, 1993:5) :

1. Proses bubut (*turning*), mesin bubut mencakup segala mesin perkakas yang memproduksi bentuk yang silindris dan digunakan untuk menghasilkan benda-benda putar, membuat ulir, pengeboran dan meratakan benda putar.



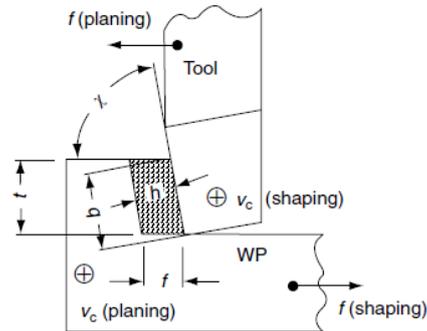
Gambar 2.1 Proses Pembubutan
Sumber : Youssef (2008 : 61)

2. Proses freis (*milling*), jenis mesin potong yang melakukan pemotongan logam dengan cutting tool bergigi banyak (*multiple tooth cutting tool*).



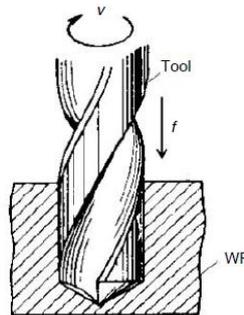
Gambar 2.2 Proses Freis
Sumber : Daryus (2009 : 1)

3. Proses sekrap (*sharping, planing*), mesin perkakas yang digunakan untuk membentuk atau meratakan permukaan benda kerja.



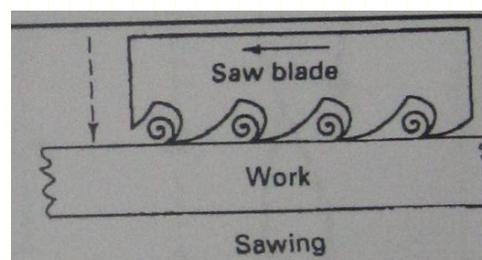
Gambar 2.3 Proses Sekrap
Sumber : Youssef (2008 : 100)

4. Proses gurdi (*drilling*), yaitu memutar pahat berupa bor yang ditusukkan pada benda kerja yang diam, sehingga diperoleh lubang dengan diameter dan kedalaman tertentu sesuai rancangan.



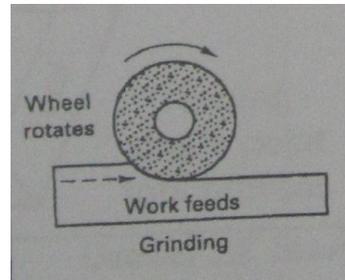
Gambar 2.4 Proses Gurdi
Sumber : Youssef (2008 : 71)

5. Proses gergaji atau parut (*sawing*), digunakan untuk memotong benda-benda dari logam maupun non logam dengan bentuk silindris maupun bentuk profil.



Gambar 2.5 Proses Gergaji
Sumber : Degarmo (2003 : 482)

6. Proses gerinda (*grinding*), yaitu penggesekan benda kerja ke pahat yang berbentuk lempengan bulat dan abrasif (permukaan kasar). Penggesekan ini terjadi dengan berputarnya pahat, sementara benda kerja dipegang oleh operator.



Gambar 2.6 Proses Gerinda
Sumber : Degarmo (2003 : 482)

2.3 Elemen dasar Proses Bubut

Bedasarkan jenis proses permesinan yang telah dijelaskan diatas maka dipilih salah satu proses permesinan (proses bubut) sebagai urutan proses yang digunakan untuk membuat suatu benda kerja. Setelah ukuran obyektif ditentukan kemudian pahat harus membuang sebagian mateial benda kerja sampai ukuran obyektif tersebut dicapai. Hal ini dapat dilaksanakan dengan cara menentukan penampang *chip* (sebelum dipotong) dan setelah berbagai aspek teknologi ditinjau, kecepatan pembuangan *chip* dapat dipilih agar waktu pemotongan bisa berjalann dengan tepat. Situasi seperti ini timbul pada setiap perencanaan proses permesinan. Sehingga dapat dikemukakan lima elemen dasar proses permesinan (Rochim, 1993:13).

1. Kecepatan potong (*cutting speed*), adalah kemampuan mata pahat untuk bergerak memotong mulai dari titik awal pemotongan hingga selesai. Untuk menghitung kecepatan potong digunakan persamaan :

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \quad (2-1) \text{ (Rochim ; 13)}$$

Dengan :

D = diameter benda kerja (mm)

N = putaran spindle/benda kerja (rev/min)

2. Kedalaman potong (*depth of cut*) adalah kedalaman mata potong pahat yang menembus benda kerja.

Kedalaman pemotongan juga ditulis dengan simbol “a”. Untuk menghitung kedalaman pemotongan, digunakan persamaan :

$$d = \frac{d_0 - d_m}{2} \quad (2-2) \text{ (Rochim ; 13)}$$

Dengan :

d_0 = diameter mula benda kerja

d_m = diameter akhir benda kerja

3. Kecepatan makan (*feeding speed*) adalah kecepatan pergerakan pahat sepanjang bidang potong. Untuk menghitung kecepatan pemakanan digunakan persamaan :

$$v_f = f \cdot n \text{ (mm/min)} \quad (2-3) \text{ (Rochim ; 13)}$$

dengan :

f = feed motion (mm/rev)

n = putaran spindle / benda kerja (rev/min)

4. Waktu pemotongan (*cutting time*) adalah waktu yang dibutuhkan pada proses pemotongan mulai awal hingga akhir. Untuk menghitung waktu pemotongan digunakan persamaan :

$$t_c = l_t / v_f \quad (2-4) \text{ (Rochim ; 13)}$$

dengan :

l_t = panjang permesinan (mm)

v_f = kecepatan pemotongan (mm/min)

5. Kecepatan penghasil *chip* (*metal removal*) adalah volume dari benda kerja yang dipotong. Untuk menghitung kecepatan pembuangan *chip* digunakan persamaan :

$$Z = A \cdot v \text{ (cm}^3 \text{/min)} \quad (2-5) \text{ (Rochim ; 13)}$$

dengan :

A = penampang *chip* sebelum terpotong (mm²)

v = kecepatan potong (mm/min)

Sedangkan untuk mengetahui penampang *chip* sebelum terpotong digunakan persamaan :

$$A = f \cdot a = b \cdot h \text{ (mm}^2\text{)} \quad (2-6) \text{ (Rochim ; 13)}$$

Elemen proses permesinan tersebut dapat dihitung berdasarkan dimensi benda kerja, pahat serta besaran dari mesin perkakas. Besaran mesin perkakas yang dapat diatur bermacam-macam tergantung dari jenis mesin perkakas, sehingga rumus yang dipakai untuk menghitung setiap elemen proses permesinan dapat berlainan.

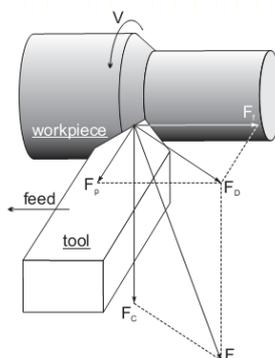
2.3.1 Proses Pemotongan Pada Mesin Bubut

Mesin bubut merupakan mesin yang digunakan untuk pengurangan benda kerja, dimana benda kerja digerakan rotasi pada sumbunya, sedang pahat dapat digerakkan horizontal sepanjang sumbu benda kerja yang gerakan itu relatif satu sama lainnya. Kerja yang dapat dilakukan mesin bubut antara lain meliputi perataan permukaan suatu benda kerja yang berbentk silinder, pembuatan ulir, pemotongan, dan pengeboran.

Mekanisme mesin bubut secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut : benda kerja yang berbentuk silindris dipasang pada pencekam (*chuck*) yang terletak di ujung poros utama (*spindle*). Saat benda kerja berputar dengan kecepatan putar yang dapat diatur, secara bersamaan pahat yang diletakkan pada dudukan dapat bergerak translasi dengan kecepatan tertentu, sehingga pada saat inilah terjadi kontak antara ujung mata pahat dengan benda kerja. Kedudukan pahat terhadap benda kerja dapat diatur sedemikian rupa sehingga kedalaman pemakanan pahat terhadap benda kerja dapat diperkirakan. Maka dari itu, sebelumnya kita harus mengetahui hubungan secara teoritis antara kedalaman potong getaran yang terjadi pada saat proses pembubutan, dan kekasaran permukaan.

2.3.2 Gaya Pemotongan Pada Proses Pembubutan

Gaya pemotongan merupakan gaya yang muncul pada waktu pemotongan benda kerja. Gaya pemotongan merupakan perlawanan yang dilakukan oleh benda kerja terhadap pahat potong yang melakukan pemotongan (Schonmetz, et al., 1990: 22). Gaya yang terjadi pada proses pemotongan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.7 Gaya Pada Proses Pembubutan
Sumber : Marinov (2010 ; 72)

1. Gaya yang ditinjau dari proses deformasi material

F_s : gaya geser yang mendeformasikan material pada bidang geser

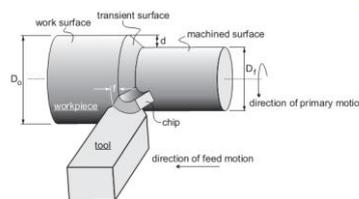
- F_{sn} : gaya normal pada bidang geser
- Gaya yang dapat diketahui arah dan besarnya
 - F_v : gaya potong, searah dengan kecepatan potong
 - F_f : gaya makan, searah dengan kecepatan makan
 - Gaya yang bereaksi pada bidang *chip*
 - F_γ : gaya gesek pada bidang *chip*
 - $F_{\gamma n}$: gaya normal pada bidang *chip*

2.3.3 Sistem Pemotongan

Secara garis besar sistem pemotongan dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu :

- Sistem Pemotongan tegak (*orthogonal cutting system*)

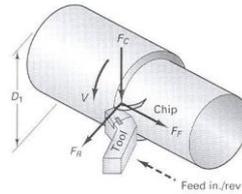
Sistem pemotongan orthogonal terjadi bila sudut potong utama (*principal cutting edge*) $k_r = 90^\circ$ dan sudut inklinasi $\lambda = 0^\circ$. Dimana mata potongnya tegak lurus dengan arah pemakanan, tidak ada kelengkungan dari *chip* dan seluruh bagian *chip* memiliki kecepatan aliran yang sama.



Gambar 2.8 Pembubutan Orthogonal
Sumber : Marinov (2010 ; 93)

- Sistem Pemotongan Miring (*Oblique Cutting System*)

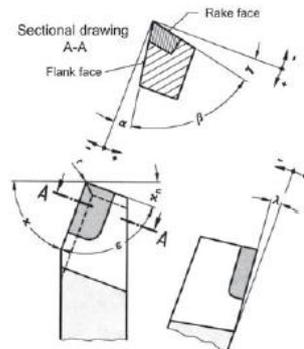
Sistem pemotongan miring terjadi bila sudut potong utama $k_r = <90^\circ$ dan sudut inklinasi $\lambda \neq 0^\circ$. Sehingga karena adanya inklinasi, *chip-chip* yang dihasilkan membuat sudut-sudut tertentu terhadap sumbu kerja, *chip-chip* tidak mengalir disepanjang permukaan tegak lurus sisi pemotongan, tetapi mengikuti jejak yang membuat sudut terhadap normal yaitu sudut aliran *chip* (*chip flow angle*). Hal ini menyebabkan bidang kontak antara *chip* dengan bidang pahat menjadi lebih luas, sehingga mempercepat laju pembuangan panas dan temperatur pahat menjadi tidak terlalu tinggi



Gambar 2.9 Sistem pemotongan miring
Sumber : Tschatsch (2013 ;10)

2.3.4 Sudut pemotongan

Optimasi proses permesinan dapat dicapai dengan memilih atau menentukan sudut-sudut pahat yang sesuai dengan proses pemotongan yang dilakukan. Sudut-sudut pahat terdiri atas sudut bebas orthogonal, sudut geram orthogonal, sudut miring, sudut potong utama.



Gambar 2.10 Sudut pemotongan pada proses pembubutan
Sumber : Tschatsch (2011 ; 8)

1. Sudut bebas orthogonal

Sudut bebas berfungsi untuk mengurangi gesekan antara bidang utama dengan bidang transien dari benda kerja agar tidak menimbulkan kenaikan temperature dan keausan tepi pahat

2. Sudut geram orthogonal

Proses pembentukan geram dipengaruhi oleh sudut miring. Jika sudut miring berharga sama dengan nol maka arah aliran geram tegak lurus mata potong. Dengan adanya sudut miring makan panjang kontak antara pahat dengan benda kerja menjadi lebih diperpanjang dan energy pemotongan spesifik tidak berubah sampai sudut miring mencapai 20° . Temperatur bidang kontak mencapai harga minimum bila sudut miring berharga lebih dari 5° untuk proses penghalusan dan kurang dari 5° untuk proses pengkasaran. Untuk memperkuat pahat serta menurunkan efek gaya kejut ini maka sudut miring kurang dari 20° dapat digunakan.

3. Sudut potong utama

Peranan sudut potong utama yaitu untuk menentukan lebar dan tebal geram sebelum terpotong, menentukan panjang mata potong yang aktif atau panjang kontak antara geram dengan bidang pahat dan menentukan besarnya gaya radial.

4. Sudut potong bantu

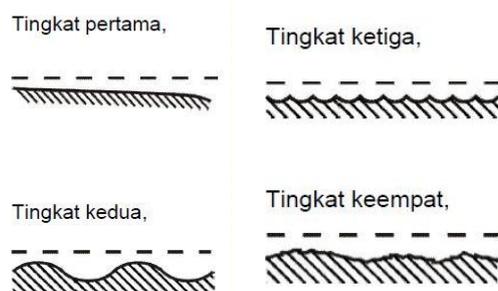
Sudut potong bantu dapat dipilih untuk memperkuat ujung pahat dan kehalusan produk. Sudut potong bantu yang kecil akan memperkuat ujung pahat dan kekasaran permukaan dapat menurun.

2.4 Kekasaran Permukaan

2.4.1. Pengertian Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) merupakan ketidakraturan konfigurasi suatu permukaan beban kerja yang bisa berupa goresan atau kawah kecil pada suatu permukaan ditinjau dari profilnya. Konfigurasi ialah batas yang memisahkan benda padat dan sekelilingnya. Ketidakraturan konfigurasi dari suatu permukaan dapat diuraikan menjadi beberapa tingkatan, yaitu (Sudji, 1998;225)

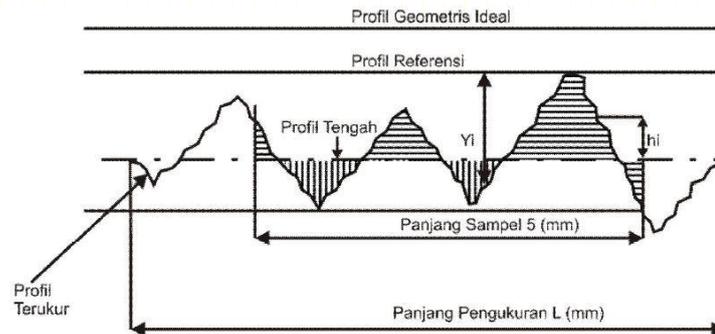
1. Ketidakraturan geometris yang berupa kesalahan bentuk (*form error*) disebabkan oleh adanya lenturan yang terjadi pada perkakas atau benda kerja dan kesalahan posisi pada waktu pencekaman/pemegangan benda kerja.
2. Ketidakraturan permukaan berupa alur (*grooves*), disebabkan oleh adanya getaran sebagai jejak/ bekas dari pemotongan pahat (bentuk ujung pahat atau gerak pemakan).
3. Ketidakraturan permukaan yang menyerupai gelombang (*waviness*), disebabkan oleh terjadinya getaran sewaktu proses pemotongan berlangsung.
4. Ketidakraturan berupa serpihan (*falkes*), disebabkan oleh proses pembentukan *chip* yang sedang berlangsung.



Gambar 2.11 : Macam-macam bentuk kekasaran
Sumber : Sudji (1998 : 225)

2.4.2. Pengukuran kekasaran permukaan

Pada pengukuran benda kerja, ada jarum peraba dari alat ukur yang harus dijalankan searah dengan lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang sudah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut panjang pengukuran (*transversing length*) bagian dari panjang pengukuran dimana dilakukan analisis dari profil permukaan yang disebut dengan panjang sampel (*sample length*).



Gambar 2.12 Profil kekasaran pada permukaan
Sumber : Sudji (1998 : 227)

Dalam pengukuran kekasaran permukaan suatu material dikenal beberapa istilah penting, yaitu :

1. Profil geometris ideal (*geometrically ideal profile*) yaitu profil permukaan yang dapat berupa garis lurus, lingkaran atau garis lengkung.
2. Profil terukur (*measured profile*) yaitu profil permukaan material/benda kerja yang akan diukur.
3. Profil referensi (*reference profile*) yaitu profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisis ketidakraturan konfigurasi permukaan.
4. Profil tengah (*center profile*) merupakan nama yang diberikan untuk profil referensi yang digeserkan ke bawah sehingga jumlah luas daerah atas profil tengah sampai ke profil terukur sama dengan jumlah luas daerah bawah profil tengah sampai ke profil terukur.
5. Profil dasar (*root profile*) yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah menyinggung titik terendah profil terukur.

Bedasarkan profil-profil yang diterangkan diatas maka dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah mendatar. pada dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter yaitu :

1. Kekasaran total (R_t) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.

2. Kekasaran perataan (R_p) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik (R_a) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |h_1| dx \quad (2-7) \text{ (Sudji ; 2010)}$$

4. Kekasaran rata – rata kuadratik (R_q) adalah akar dari jarak kuadrat rata – rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h^2 dx} \quad (2-8) \text{ (Sudji ; 2010)}$$

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

$$R_z = \sum \frac{[R_1+R_2+\dots+R_5-R_6-\dots-R_{10}]}{5} \quad (2-9) \text{ (Sudji ; 2010)}$$

2.4.3 Penyebab Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan akhir yang dihasilkan dari operasi permesinan bisa dibedakan menjadi dua efek yaitu kekasaran permukaan ideal dan kekasaran permukaan natural (Boothroyd, 1983:133). Kekasaran permukaan ideal disebabkan oleh geometri dari pahat potong dan pemakanan. Hasil kekasaran permukaan kemungkinan terbaik dapat diperoleh dengan bentuk pahat yang ditentukan dan pemakanan (*feeding*). Hal itu dapat dicapai jika *built up edge* dan ketidaktepatan pergerakan alat-alat mesin dihilangkan sepenuhnya (Boothroyd, 1983 : 134)

Kekasaran permukaan natural disebabkan oleh ketidakteraturan dalam operasi pemotongan. Biasanya kekasaran permukaan natural mempunyai proporsi lebih banyak dalam kekasaran yang terjadi. Salah satu faktor utama kontribusi dalam kekasaran permukaan natural adalah terjadinya *built up edge*. *Built up edge* dapat secara terus menerus terbentuk dan patah, partikel patahan akan terbawa di bawah permukaan *chip* dan di permukaan benda kerja yang baru. Dengan begitu *chip* yang terbentuk akan lebih besar, maka permukaan yang lebih kasar akan dihasilkan. Dengan mengurangi gesekan antara *chip* dan pahat juga menghilangkan atau mengurangi *built up edge* dari permukaan (Boothroyd, 1983:138). Faktor lain yang mempengaruhi kekasaran permukaan natural dalam prakteknya adalah :

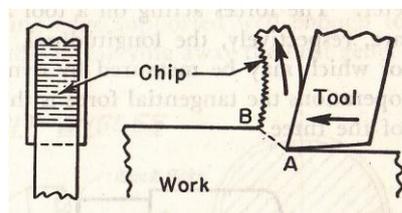
1. Ketidaktepatan pergerakan alat-alat mesin.
2. Ketidakteraturan dalam mekanisme pemakanan.

3. Kerusakan permukaan yang diakibatkan oleh *chip*.
4. Cacat struktur pada material yang dipakai.

2.5 *Chip*

2.5.1 Mekanisme Terbentuknya *Chip*

Pada mulanya bahwa *chip* terbentuk karena adanya retak rambut (*micro crack*) yang timbul pada benda kerja tepat di ujung pahat pada saat pemotongan dimulai. Dengan bertambahnya tekanan pahat, retak tersebut menjalar ke depan sehingga terbentuklah *chip*. Namun seiring bertambahnya banyak penelitian tentang pemotongan logam khususnya tentang mekanisme pembentukan *chip*, maka anggapan ini sudah ditinggalkan. Logam yang pada umumnya bersifat ulet (*ductile*), apabila mendapat tekanan akan timbul tegangan di daerah sekitar konsentrasi gaya penekanan dari mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja tersebut mempunyai orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (*shearing stress*) yang maksimum. Apabila tegangan geser ini melebihi kekuatan logam yang bersangkutan maka akan terjadi deformasi plastis (perubahan bentuk) yang menggeser dan memutuskan material logam (benda kerja) di ujung pahat pada suatu bidang geser (*shear plane*).

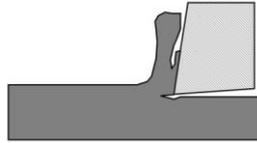


Gambar 2.13 Mekanisme Terbentuknya *Chip* Pada Proses Pembubutan
Sumber : Begeman (1960 ; 351)

2.5.2 Macam-macam Bentuk *Chip*

Chip yang terbentuk pada proses pemotongan logam dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu :

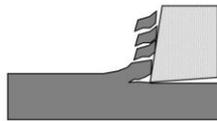
1. *Continuous chip* dengan BUE (*built up edge*), *chip* jenis ini terjadi pada kecepatan pemotongan yang rendah, gesekan antara *chip* dan pahat yang terjadi sangat besar sehingga mengakibatkan *chip* menempel dan “seolah – olah dilas” pada muka pahat.



Gambar 2.14 *Continuous chip with BUE*
Sumber : Kalhori (2001 ; 11)

2. *Discontinuous chip*, tipe dari *chip* ini biasanya dihasilkan dari proses permesinan dengan material getas. *Chip* yang terbentuk secara terbagi-bagi, dalam kondisi ini *chip* yang terbentuk terbagi disebut *chip* terputus-putus. (Boothroyd, 1983:65)

Ketika material getas seperti besi cor dipotong, pembentukan material mudah patah dan *chip* yang dihasilkan adalah terputus-putus. Dalam kasus material yang getas didapatkan hasil kekasaran permukaan yang rendah atau jelek mengurangi umur alat. Kedalaman potong yang tinggi, kecepatan potong rendah dan sudut potong yang kecil banyak dipakai untuk memotong *chip* terputus-putus.



Gambar 2.15 *Discontinuous chip*
Sumber : Kalhori (2001 ; 11)

3. *Continuous chip*, tipe dari dari *chip* ini umumnya dihasilkan dari material yang ulet, seperti besi tempa, baja sedang, tembaga, dan aluminium. Deformasi plastis banyak dihasilkan dan semakin panjang *chip* yang terbentuk jika material tersebut ulet. Tipe *chip* ini sangat diinginkan karena proses pemotongan yang stabil dan umumnya menghasilkan permukaan yang baik. Di sisi lain *chip* ini susah dikendalikan dan dibuang. Gulungan *chip* yang terbentuk melingkar pada benda kerja dan pahat, juga mungkin dapat melukai operator jika *chip* tersebut putus. Selain itu *chip* ini lebih lama bersentuhan dengan permukaan pahat yang mengakibatkan panas merambat pada pahat.



Gambar 2.16 *Continuous chip*
Sumber : Kalhori (2001 ; 11)

2.6 *Cutting Fluid*

2.6.1 Pengertian dan manfaat *Cutting Fluid*

Cutting fluid adalah campuran antara bahan-bahan kimia, pelumas, dan air dengan komposisi tertentu yang diformulasikan untuk memenuhi kebutuhan industri manufaktur.

Manfaat pemakaian *cutting fluid* adalah :

1. Meningkatkan umur pahat

Pemakaian *cutting fluid* akan menurunkan gesekan yang terjadi antara pahat potong dan benda kerja sehingga akan mencegah pahat mengalami keausan dan meningkatkan umur pahat.

2. Mempermudah pemrosesan benda kerja

Pemakaian *cutting fluid* akan mempermudah pemrosesan benda kerja karena suhu benda kerja menjadi lebih rendah ketika dilakukan proses pemesinan.

3. Meningkatkan efisiensi proses pemesinan

Pemakaian *cutting fluid* akan menurunkan konsumsi daya yang dibutuhkan dalam proses pemesinan sehingga efisiensi proses pemesinan meningkat.

4. Meningkatkan kualitas produk

Pemakaian *cutting fluid* akan mengurangi deformasi dan menurunkan gesekan yang terjadi antara pahat potong dan benda kerja sehingga akan menurunkan kekasaran permukaan dan meningkatkan akurasi pemotongan.

2.6.2 Klasifikasi *Cutting Fluid*

Berdasarkan bahan dasar pembuatannya, *cutting fluid* dikategorikan menjadi dua, yaitu *cutting fluid* berbahan dasar minyak dan *cutting fluid* berbahan dasar zat kimia. *Cutting fluid* berbahan dasar minyak (*oil based fluids*) digolongkan menjadi dua yaitu *soluble oil* dan *straight oil*. *Cutting fluid* berbahan dasar zat kimia (*chemical based fluids*) digolongkan menjadi dua, yaitu cairan sintesis (*synthetic fluid*) dan minyak semisintesis (*semi-synthetic fluids*).

1. *Soluble oil*

Soluble oil adalah *cutting fluid* yang terbuat dari hasil pengolahan minyak bumi atau minyak nabati ditambahkan aditif-aditif yang diemulsikan dengan air sehingga partikel minyak tersebar secara merata dan stabil didalam air. *Soluble oil* digunakan secara luas dalam proses permesinan. Keuntungan pemakaian *soluble oil* adalah sifat pendinginan dan pelumasan yang baik, perlindungan karat yang baik.

Sedangkan kekurangannya adalah terjadi penguapan atau pengabutan yang mengotori lingkungan kerja dan menurunkan derajat kesehatan kerja, munculnya bakteri.

Tabel 2.1 Sifat Fisik dari *Soluble Oil*

Sifat (<i>Properties</i>)	Nilai (<i>value</i>)
Kerapatan (<i>Density</i>), kg/m ³	917
Titik nyala (<i>Flash Point</i>), °C	177
Titik tuang (<i>Pour Point</i>), °C	-20
Indeks viskositas (<i>Viscosity index</i>)	162

Sumber : *Conoco product catalog*

2. *Straight oil*

Straight oil adalah cairan pemotongan yang terbuat dari hasil pengolahan minyak bumi atau minyak nabati ditambahkan aditif-aditif tanpa memiliki kandungan air. Keuntungan pemakaian *straight oil* adalah pelumasan sangat baik, perlindungan terhadap korosi, dan mudah dalam pemeliharannya. Sedangkan kekurangannya adalah mudah terbakar, menghasilkan kabut dan asap, terbatasnya pemakaian pada kecepatan potong yang rendah.

3. Minyak sintetis

Minyak pelumas sintetis dibuat dari proses pencampuran minyak pelumas dasar yang berasal dari bahan sintetis (bukan dari minyak bumi) ditambah dengan bahan aditif. Bahan aditif yang ditambahkan berfungsi untuk mengurangi gesekan dan melincinkan, meningkatkan viskositas, menambah indeks viskositas, menghambat korosi dan oksidasi dari reaktan atau kontaminan

4. Minyak semi sintetis

Minyak semi sintesis adalah cairan pemotongan yang terbuat dari bahan-bahan kimia yang terdiri dari bahan kimia pelumas, pencegah korosi, dan aditif lain serta mengandung minyak. Minyak semi sintesis dapat diemulsikan dengan air. Keuntungannya adalah pengendalian terhadap bakteri, tidak mudah terbakar, tidak beracun, perlindungan terhadap korosi, dan menghasilkan kabut dan busa yang lebih sedikit. Kekurangannya adalah membentuk residu, berkabut dan berbusa, infeksi pada kulit.

2.6.3 Pemilihan *Cutting Fluid*

Pemilihan *cutting fluid* harus memperhatikan sifat-sifat yang dimiliki *cutting fluid* tersebut. Sifat-sifat yang harus dimiliki *cutting fluid* adalah :

1. Perlindungan terhadap korosi

Cutting fluid harus memiliki sifat mencegah dan melindungi mesin, benda kerja, dan pahat potong dari terjadinya korosi. *Cutting fluid* juga harus tidak menimbulkan korosi.

2. Transparan

Cutting fluid harus transparan agar memudahkan pengamatan dan pengawasan pada saat dilakukan proses permesinan.

3. Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida yang didasari oleh terjadinya tegangan geser dalam fluida tersebut. Viskositas rendah memungkinkan kotoran-kotoran dibersihkan dari fluida sehingga meningkatkan kualitas produk dan memperpanjang masa pakai *cutting fluid*.

4. Tidak mengandung racun

Cutting fluid tidak boleh mengandung racun (*toxic*) karena bisa membahayakan kesehatan pekerja dan mencemarkan lingkungan.

5. Tidak mudah terbakar

Cutting fluid harus memiliki titik ledak (*flash point*) dan titik bakar (*fire point*) yang tinggi agar tidak mudah terbakar.

6. Tidak mudah menguap.

2.6.4 Metode Pemakaian *Cutting fluid*

Metode pemakaian *cutting fluid* pada proses permesinan (Rochim, 1994: 446) :

1. Manual

Pemakaian *cutting fluid* secara manual adalah operator yang melakukan penyiraman *cutting fluid* ke pahat dan benda kerja.

2. Pembanjiran

Pemakaian *cutting fluid* secara pembanjiran adalah dengan memakai suatu saluran untuk menyiramkan cairan pemotongan ke benda kerja dan pahat.

3. *Coolant fed tooling*

Pemakaian *cutting fluid* secara *coolant fed tooling* adalah dengan memakai suatu saluran yang ada didalam pahat potong untuk menyiramkan *cutting fluid* ke benda kerja dan pahat.

4. *Mist application*

Pemakaian *cutting fluid* secara *mist application* adalah dengan cara dikabutkan terlebih dahulu, kemudian disemprotkan ke benda kerja dan pahat.

2.7 *Bio Cutting Fluid*

Bio Cutting Fluid adalah minyak pelumas yang berbahan dasar dari tumbuh-tumbuhan dan hewani. Minyak ini digunakan dalam berbagai aplikasi. Misalnya, penggunaan minyak pendingin berbahan dasar *Bio Cutting Fluid* dalam proses pembuatan roda gigi persneling kendaraan bermotor. Selain itu dapat dijadikan sebagai bahan tambahan untuk bahan bakar mesin diesel atau biasa disebut bio solar.

Bio Cutting Fluid juga mengandung campuran antara lemak triglycerida, lemak-lemak diglycerida, lemak monoglycerida, asam lemak, dan komposisi tertentu. Unsur-unsur lain yang terdapat dalam minyak nabati adalah alkohol, tokol, hidrokarbon, dan vitamin. Minyak nabati yang terdapat di pasaran saat ini adalah minyak kedelai, minyak jarak, minyak kelapa sawit, minyak jagung, dan minyak bunga matahari. Minyak nabati telah digunakan sebagai cairan pendingi pada pembuatan baja lembaran panas. Sedangkan pada industri manufaktur, minyak nabati digunakan sebagai *cutting fluid* pada proses permesinan.

2.7.1 **Keuntungan Pemakaian *Bio Cutting Fluid***

Penggunaan *Bio Cutting Fluid* pada proses permesinan memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah :

1. Meningkatkan derajat keselamatan dan kesehatan kerja

Pemakaian *Bio Cutting Fluid* dalam proses permesinan akan meningkatkan derajat kesehatan dan keselamatan kerja pada proses permesinan. Hal ini terjadi karena karena penguapan pada minyak akibat dari pemanasan yang terjadi pada proses permesinan tidak sebesar penguapan pada minyak mineral. Selain itu nilai titik ledak dan titik bakar minyak nabati juga lebih tinggi daripada minyak mineral sehingga mengurangi resiko terjadinya kebakaran pada proses permesinan.

2. Bersifat ramah lingkungan

Bio Cutting Fluid lebih bersifat ramah lingkungan dibandingkan dengan *cutting fluid* berbahan dasar minyak mineral.

3. Pelumas yang baik

Bio Cutting Fluid merupakan pelumas yang mudah mengalir dari bagian material dengan suhu rendah ke bagian benda kerja dengan suhu yang lebih tinggi karena kekentalan minyak menurun seiring dengan kenaikan suhu.

4. Tidak menimbulkan korosi

Minyak yang berasal dari tumbuh –tumbuhan tidak menimbulkan korosi pada benda kerja dan pahat potong. *Bio Cutting Fluid* tidak mengandung bahan pengkorosi.

5. Bersifat stabil

Minyak ini mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi. Minyak nabati tidak akan berubah sifatnya dalam jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan minyak mineral.

2.7.2 Sifat-Sifat *Bio Cutting Fluid*

Sifat-sifat pokok *bio cutting fluid* adalah :

1. Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida yang didasari oleh terjadinya tegangan geser dalam fluida tersebut.

2. Titik tuang

Titik tuang adalah suatu suhu terendah dimana minyak bumi dan produknya masih dapat dituang atau mengalir apabila didinginkan dalam kondisi tertentu.

3. Titik bakar

Titik bakar (*fire point*) adalah suatu suhu dimana minyak akan mulai terbakar ketika dipanaskan

2.7.3 Minyak Jarak Pagar

Dewasa ini Jarak pagar (*Jatropha curcas L*) mulai banyak dikembangkan sebagai bahan baku energi alternatif. Tanaman ini mulanya berasal dari Amerika tengah, mulai banyak ditanam di Indonesia semenjak tahun 1932. Jarak pagar berupa pohon kecil atau perdu, umurnya dapat mencapai 50 tahun, tinggi tanaman 1,5-5 meter. Minyak jarak juga memiliki titik nyala api yang tinggi sehingga tidak menimbulkan

nyala api pada proses pembubutan bertempratur tinggi. Minyak jarak juga memiliki keunggulan lain seperti berikut :

1. Merupakan salah satu tanaman penghasil energi yang ramah lingkungan, dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga terjamin keberlanjutannya (*sustainability*).
2. Tidak termasuk dalam kategori minyak makan (*non edible oil*), sehingga tidak bersaing dengan minyak makan.
3. Relatif tahan kekeringan.

Tabel 2.2 Sifat fisik minyak jarak pagar

Sifat (<i>Properties</i>)	Nilai (<i>value</i>)
Kerapatan (<i>Density</i>), kg/m ³	0,9157
Titik nyala (<i>Flash Point</i>), °C	270
Titik tuang (<i>Pour Point</i>), °C	0
Indeks viskositas (<i>Viscosity index</i>)	217

Sumber : Sudradjat (2010)

2.8 Baja

Baja adalah sebuah paduan besi karbon dan unsur-unsur lain yang kadar karbonnya jarang melebihi 0,2%. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian, dan penempaan. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam dunia teknik. Klasifikasinya mengikuti standart SAE (*Society of Automotive Engineer*) dan AISI (*America Iron and Steel Institute*). Kelebihan baja diantaranya : memiliki kekuatan yang tinggi, memiliki titik lebur yang tinggi, mudah membentuk logam dan untuk bahan las yang baik. Sedangkan kekurangan baja dibandingkan dengan logam yang lain yaitu : mudah berkarat, memiliki berat jenis yang tinggi.

2.8.1 Baja ST-45

Baja ST-45 termasuk baja karbon menengah dengan kadar karbon kurang dari 0,2% . Baja karbon menengah mempunyai struktur BCC. Selain itu baja ST-45 mempunyai sifat mekanik khas yaitu :

- Memiliki sifat ulet yang cukup baik
- Memiliki mampu tempa yang baik
- Mampu dikerjakan di semua mesin perkakas

Baja ST-45 dapat dikeraskan tergantung kadar karbon didalamnya dan mempunyai kekerasan serta ketahanan aus permukaan yang cukup tinggi. Sehingga dapat digunakan sebagai rangka kendaraan, mur, baut, pipa, tangki dan lain-lain yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang cukup tinggi.

Tabel 2.3 Komposisi dan kandungan yang terdapat pada Baja ST-45

Komposisi	Kandungan
C (%)	$\leq 0,21$
Mn (%)	0,3 - 0,6
S	0,015
Si	0,15 - 0,36
P	$\leq 0,050$

Sumber : *Bebon china steel product catalog*

Tabel 2.4 *Mechanical Property of ST-45 Steel*

Tensile Strength (Mpa)	440-570
Yield Strength (Mpa)	≥ 255
BHN (Brinell Hardness Number)	155

Sumber : *Bebon china steel product catalog*

2.9 Pahat Karbida

Jenis karbida yang disemen (*cemented carbide*) ditemukan pada tahun 1923 (KRUPP WIDIA). Ini merupakan bahan pahat yang dibuat dengan cara *sintering* serbuk karbida (nitrida, oksigen) dengan bahan pengikat *cobalt* (Co) dan dengan cara *carburizing* masing-masing bahan dasar *Tungsten* (Wolfram, W) Tintinium (Ti), Tantanium (Ta) kemudian digiling (*ball mill*) dan disaring. Salah satu campuran serbuk karbida tersebut kemudian dicampur dengan bahan pengikat (Co) dan dicetak tekan dengan memakai bahan pelumas (lilin). Setelah itu dilakukan proses *presintering* (1000°C pemanasan mula untuk menguap bahan pelumas) dan kemudian *sintering*

(1600°C) sehingga bentuk keping (sisipan) sebagai hasil proses cetak tekan akan menyusut menjadi sekitar 80% dari volume semula.

Hot hardness karbida yang disemen hanya akan menurun bila terjadi pelunakan elemen pengikat. Semakin besar prosentase pengikat CO, maka kekerasannya menurun dan sebaliknya keuletannya membaik. Modulus elastisitasnya sangat tinggi demikian pula berat jenisnya. Koefisien muainya setengah kali koefisien muai baja dan konduktifitas panasnya sekitar 2 atau 3 kali konduktifitas panas HSS. Adapun 3 jenis utama pahat karbida, yaitu (Taufiq Rochim, 1993 : 147)

1. Karbida *tungsten* (WC +Co), yang merupakan jenis pahat karbida untuk memotong besi tuang (*cast iron cutting grade*)
2. Karbida *Tungsten* paduan (WC – TiC +Co ; WC – TaC – TiC + Co ; WC-TaC + Co ; WC – TiC + TiN +Co ; TiC +Ni + Mo)
3. Karbida lapis (*coated cemented carbides*), merupakan jenis karbida *tungsten* yang dilapis (satu atau beberapa lapisan karbida, nitrida, atau oksida lain yang lebih rapuh tetapi *hot hardnessnya* tinggi)

2.10 Hipotesis

1. Proses pembubutan yang baik harus memerlukan adanya *cutting fluid* sebagai media pendingin. Pemilihan minyak jarak sebagai *bio cutting fluid* didasarkan dari salah satu sifat fisik minyak jarak yang memiliki titik nyala lebih tinggi dan memiliki mampu pelumasan yang baik dibandingkan dengan *soluble oil* yang selama ini banyak digunakan dalam proses pembubutan pada umumnya. Dapat diduga bahwa penggunaan *Bio cutting fluid* minyak jarak ditambah dengan pemilihan parameter pemotongan yang tepat, mampu menurunkan kekasaran permukaan benda kerja pada proses pembubutan.
2. Formasi chip yang biasa dihasilkan pada proses pembubutan adalah *discontinuous chip*. Pada kondisi pemotongan menggunakan minyak jarak dan pemilihan parameter pemotongan yang tepat akan menghasilkan formasi *chip* yang terputus-putus.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui perbandingan kekasaran permukaan dan formasi *chip* terbaik yang ditimbulkan oleh hasil antara pembubutan menggunakan *cutting fluid* berupa minyak jarak dan *soluble oil* dengan variasi parameter pemotongan.

3.2. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di :

- Laboratorium Proses Produksi 1 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Oktober 2013 – selesai.
- Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Oktober 2013 – selesai.

3.3. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*) :

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

- Kondisi Pemotongan, yaitu pemotongan menggunakan *cutting fluid* berbahan dasar minyak jarak dan pemotongan menggunakan *cutting fluid* berbahan dasar *soluble oil*.
- *Depth of cut* : 0,6mm ; 0,9mm ; 1,2mm
- Diameter Benda kerja : 30mm, 40mm, 50mm

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*):

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan dalam penelitian ini. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

- Kekasaran permukaan benda kerja
- Formasi *Chip* yang dihasilkan.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian berlangsung. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :

- Putaran Spindle : 1200 (Rpm)
- Kecepatan pemakanan (f) : 0,05 (mm/rev)
- Panjang pemakanan (l_f) : 60 (mm)
- Sudut potong (*Rake angle*) : 3°
- Sudut bebas orthogonal : 12°
- Sudut geram orthogonal : 7°
- Sudut miring : 6°

3.4. Alat dan bahan penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

1. Mesin Bubut

Adalah alat untuk melakukan proses pembubutan terhadap benda kerja, dengan spesifikasi.



Gambar 3.1 : Mesin Bubut
Sumber : Krissbow catalog update

Spesifikasi :

Merk	: Krisbow
Model	: KW15-485
<i>Max. Length Work Piece</i>	: 310mm
<i>Max. Swing Over Cross Slide</i>	: 180mm
<i>Range of Spindle Speeds</i>	: 65 ~ 1810rpm

2. SURFACE ROUGHNESS TEST

Digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran pada permukaan benda kerja yang telah diberikan proses pemesinan.



Gambar 3.2 : *Surface Roughness Test*
Sumber : Dokumentasi pribadi

Spesifikasi Surface Roughness test:

Tipe : Mitutoyo
Model : Jepang
Daya : Mitutoyo Surfest 301.

3. Kunci *chuck*

Digunakan Untuk mengencangkan benda kerja yang ada pada *chuck*.



Gambar 3.3 Kunci *chuck*
Sumber : Dokumentasi pribadi

4. Tool Holder

Digunakan untuk memegang pahat yang akan diletakkan pada *toolpost*.



Gambar 3.4 Tool Holder
Sumber : Dokumentasi pribadi

5. Kamera Digital.

Digunakan untuk mengambil gambar dari chip yang dihasilkan pada proses pembubutan.



Gambar 3.5 Kamera Digital
Sumber : Dokumentasi pribadi

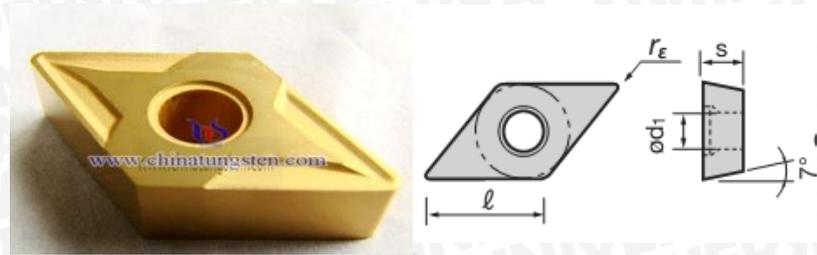
3.4.2 Bahan Penelitian

1. Baja St-45



Gambar 3.6 Baja St-45
Sumber : Dokumentasi pribadi

2. Pahat karbida



Gambar 3.7 Pahat karbida
Sumber : *Tungaloy catalog update*

Tabel 3.1 Spesifikasi Pahat

D	<i>Rhombic Shape 55° (nose angle degree)</i>			
C	<i>Relief Angle 7°</i>			
M	<i>Accuracy</i>	<i>Tolerance (mm)</i>		
		<i>Corner Height (mm)</i> ± 0,08~0,18	<i>Thickness (s)</i> ± 0,13	<i>I.C dia</i> ± 0,05~0,13
T	<i>Groove And Hole</i>	<i>Partly Cylindrical hole, single side 40° ~ 60° Counter sink</i>	<i>Single Sided Chipbreaker</i>	
07	<i>Cutting edge length (7,8mm)</i>			
02	<i>Thickness (2,38mm)</i>			
04	<i>Corner Radius (0,4mm)</i>			

3. Minyak Jarak (*Jatropha curcas*)



Gambar 3.8 Minyak jarak
Sumber : Dokumentasi Pribadi

4. Soluble oil



Gambar 3.9 Soluble oil
Sumber : Dokumentasi pribadi

3.5. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk menemukan landasan mempelajari hal-hal yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan sehingga dapat menguatkan dalam pengambilan hipotesa serta memperjelas hasil penelitian.

2. Persiapan bahan dan alat

Persiapan bahan dan alat meliputi pemotongan baja ST-45 menjadi spesimen uji dengan ukuran diameter (D) = 30mm, 40mm, dan 50mm dengan masing masing panjang 100mm Kemudian mempersiapkan *bio cutting fluid* minyak jarak dan *soluble oil* yang akan digunakan sebagai *cutting fluid*.

3. Proses permesinan

Proses permesinan yang dilakukan adalah pembubutan. Proses pertama pemesian dengan parameter putaran mesin 910Rpm, dengan memakai kedalaman pemotongan (0,5mm), (0,9mm), (1,2mm) kecepatan pemakanan 0,05mm/rev dan panjang pemakanan 60mm. Proses kedua permesinan dengan pembubutan dengan menggunakan *soluble oil* dan parameter pemotongan sama seperti pembubutan dengan *cutting fluid* minyak jarak

4. Perancangan instalasi

Perancangan instalasi dimulai dengan penjepitan spesimen oleh *chuck* dengan menyenterkan dengan *tool post*, penuangan *cutting fluid* pada tangki penyimpanan *cutting fluid*, dan pahat carbida pada lengan *tool post*.

5. Pengujian dan pengambilan data

Pengujian dilakukan pada mesin bubut konvensional, kemudian data yang diambil dalam penelitian adalah kekasaran permukaan dari spesimennya dan dimensi *chip* yang dihasilkan.

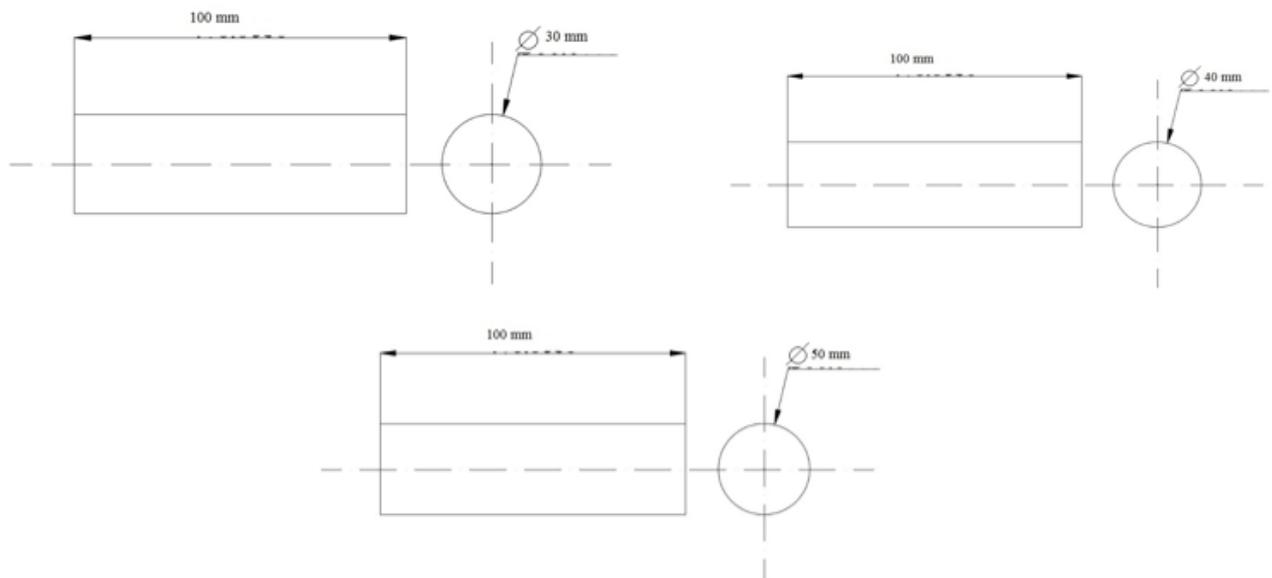
6. Analisa

Analisa pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin penguji kekasaran permukaan dan mengamati formasi *chip* terbaik yang dihasilkan kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, dan gambar.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan menurut langkah-langkah sebagai berikut :

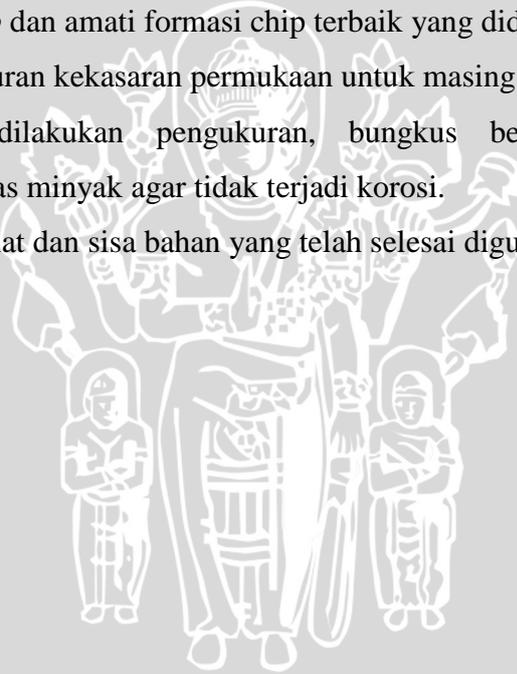
1. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.
2. Siapkan spesimen baja silinder ST 45 dengan dimensi diameter (D) :30mm, 40mm, dan 50mm masing – masing memiliki panjang (L) :100mm.



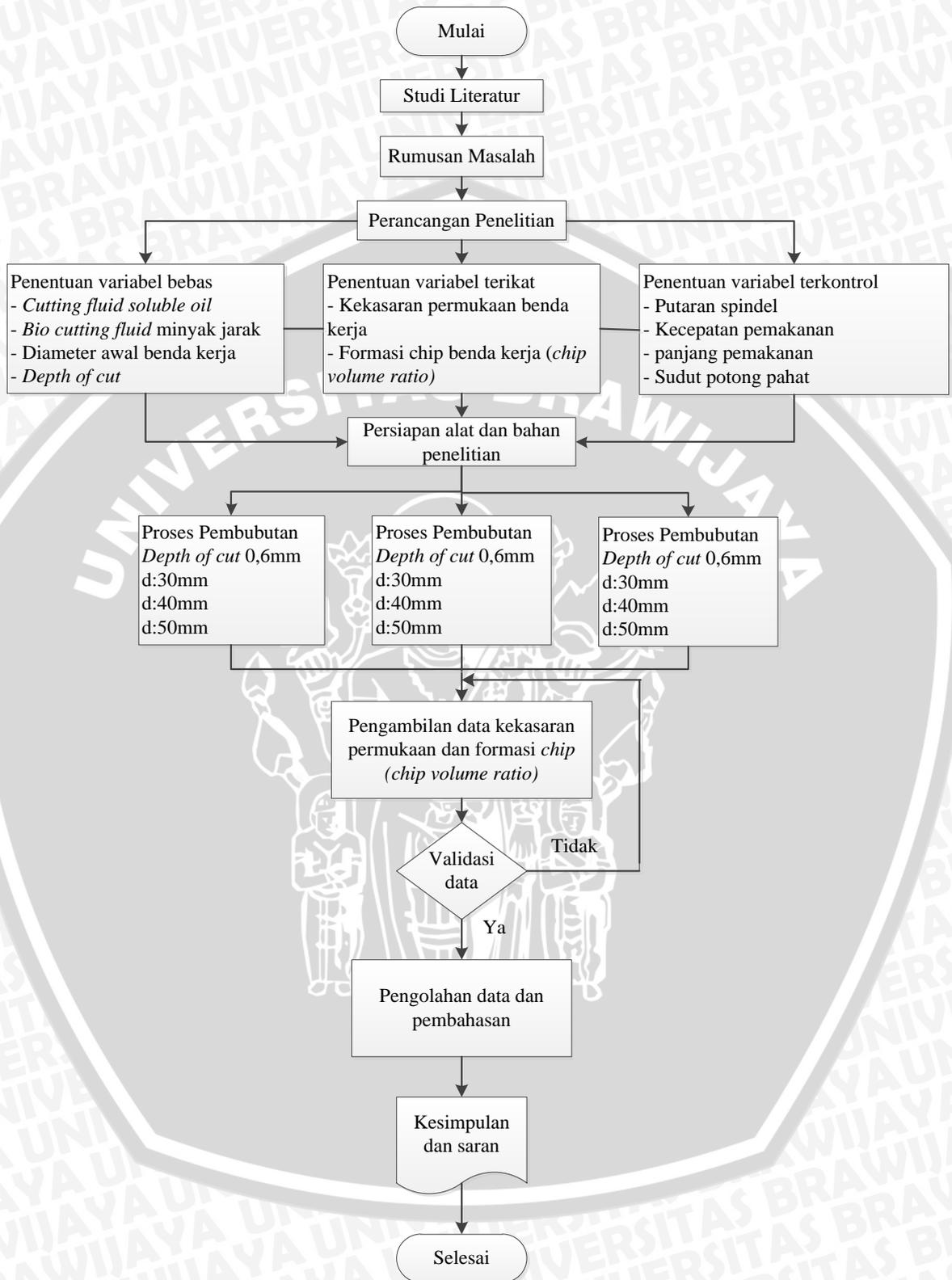
Gambar 3.10 Spesimen Baja Sebelum Pembubutan

3. Pembuatan lubang kepala lepas (*tailstock*) mesin bubut pada ujung benda kerja.
4. Menyiapkan instalasi permesinan yaitu penuangan *cutting fluid* berupa minyak jarak kedalam tangki penyimpanan *cutting fluid* pada mesin bubut, pemasangan pahat pada tool holder, dan pemasangan benda kerja pada *chuck*.

5. Dilakukan proses pemotongan memanjang dengan variasi parameter pemotongan menggunakan *cutting fluid* berupa minyak jarak dan mengamati formasi *chip* yang dihasilkan.
6. Lepas benda kerja dari *chuck* dan lakukan pemasangan benda kerja yang baru.
7. Kosongkan tangki penyimpanan *cutting fluid* dan ganti dengan menggunakan *soluble oil*.
8. Dilakukan proses pemotongan memanjang dengan variasi parameter pemotongan dengan menggunakan *cutting fluid* berupa *soluble oil* dan mengamati formasi *chip* yang dihasilkan.
9. Lepas benda kerja dari *chuck*.
10. Kumpulkan *chip* yang dihasilkan pada proses permesinan dan pisahkan *chip* untuk masing-masing kondisi pemotongan.
11. Ambil gambar *chip* dan amati formasi chip terbaik yang didapat.
12. Dilakukan pengukuran kekasaran permukaan untuk masing masing spesimen.
13. Setelah selesai dilakukan pengukuran, bungkus benda kerja dengan menggunakan kertas minyak agar tidak terjadi korosi.
14. Rapikan kembali alat dan sisa bahan yang telah selesai digunakan.



3.7 Diagram alir Penelitian



Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Analisis Hasil Penelitian Kekasaran Permukaan

Berdasarkan data kekasaran permukaan pada variasi diameter benda kerja dan *depth of cut* dengan putaran spindle dan kecepatan pemakanan yang konstan. Maka dilakukan pengambilan data pada masing – masing benda kerja.

Dari hasil pengujian dengan menggunakan *surface roughness test* didapatkan nilai kekasaran benda kerja dengan menggunakan *bio cutting fluid* minyak jarak dan *soluble oil*. Data dapat dilihat pada tabel dibawah berikut :

Tabel 4.1 Hasil pengukuran kekasaran permukaan (*Ra*) pada pembubutan menggunakan *Cutting Fluid soluble oil*.

Diameter awal benda kerja (mm)	Depth of cut (mm)	Cutting Fluid soluble oil			
		Jarak pengukuran dari awal pemakanan (μm)		Σ (μm)	Nilai rata – rata (μm)
		3 cm	5cm		
30	0.6	2.01	2.12	4.13	2.065
	0.9	2.12	2.19	4.31	2.155
	1.2	2.17	2.21	4.38	2.19
Σ		6.3	6.52	12.82	6.41
Rata rata		2.1	2.17	4.27	2.13
40	0.6	1.73	1.79	3.52	1.76
	0.9	1.84	1.91	3.75	1.875
	1.2	1.85	1.96	3.81	1.905
Σ		5.42	5.66	11.08	5.54
Rata rata		1.80	1.88	3.69	1.84
50	0.6	1.62	1.65	3.27	1.635
	0.9	1.77	1.82	3.59	1.795
	1.2	1.84	1.94	3.78	1.89
Σ		5.23	5.41	10.64	5.32
Rata rata		1.74	1.80	3.54	1.77

Tabel 4.2 Hasil pengukuran kekasaran permukaan (Ra) pada pembubutan menggunakan *Bio Cutting fluid* minyak jarak.

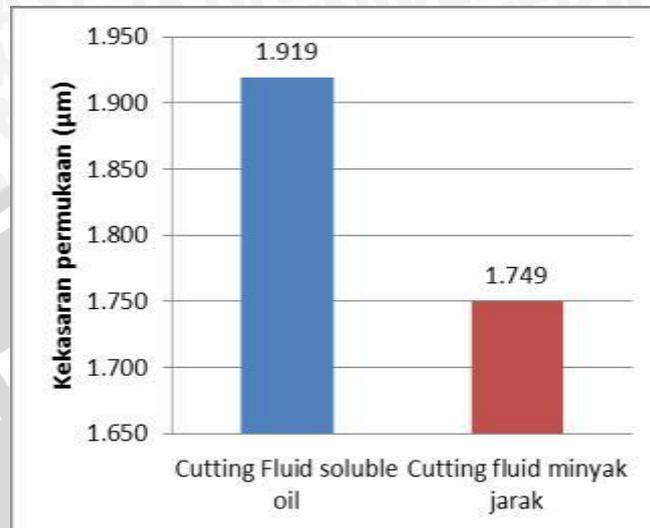
Diameter awal benda kerja (mm)	Depth of cut (mm)	<i>Bio Cutting fluid</i> minyak jarak			
		Jarak pengukuran dari awal pemakanan (μm)		Σ	Nilai rata - rata
		3cm	5cm		
30	0.6	1.82	1.94	3.76	1.88
	0.9	1.89	1.95	3.84	1.92
	1.2	1.94	1.98	3.92	1.96
Σ		5.65	5.87	11.52	5.76
Rata rata		1.88	1.95	3.84	1.92
40	0.6	1.52	1.61	3.13	1.565
	0.9	1.65	1.7	3.35	1.675
	1.2	1.83	1.91	3.74	1.87
Σ		5	5.22	10.22	5.11
Rata rata		1.66	1.74	3.40	1.70
50	0.6	1.48	1.53	3.01	1.505
	0.9	1.6	1.62	3.22	1.61
	1.2	1.73	1.79	3.52	1.76
Σ		4.81	4.94	9.75	4.875
Rata rata		1.60	1.64	3.25	1.62

Tabel 4.3 Analisis deskriptif rerata kekasaran permukaan

<i>Cutting fluid</i>	Rata-rata	Standart Deviasi
Soluble oil	1,9189	0,18404
Minyak jarak	1,7494	0,16615

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan rata-rata kekasaran permukaan pada *Cutting fluid* soluble oil sebesar 1,9189 sedangkan rata-rata kekasaran permukaan pada *Cutting fluid* minyak jarak sebesar 1,7494. Berdasarkan hasil analisis deskriptif tersebut dapat diketahui bahwa *Cutting fluid* minyak jarak memiliki rata-rata kekasaran

permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan *Cutting fluid* soluble oil. Berdasarkan gambar histogram dapat dilihat sebagai berikut ini.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan rata-rata kekasaran permukaan

4.1.1 Analisis Statistik Pada hasil pengukuran kekasaran permukaan

- Hasil Uji t tidak berpasangan

Sebelum dilakukan uji t, di lakukan uji homogenitas terlebih dahulu untuk mengetahui keragaman data antara kedua perlakuan. Hasil uji homogenitas ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Tabel Hasil Uji Homogenitas

F Hitung	sig	Keterangan
0,062	0,805	Data homogen

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa didapatkan memiliki F hitung sebesar 0,062 dan nilai signifikansi (p) sebesar 0,805. Karena nilai sig (0,805) > 0,05 maka kesimpulannya kedua data tersebut memiliki ragam yang homogen.

Selanjutnya dilakukan pengujian hipotesis dengan uji-t tidak berpasangan menggunakan *Software SPSS 15*. Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai kekasaran permukaan pada *Cutting fluid soluble oil* dengan *Cutting fluid* minyak jarak

Tabel 4.5 Hasil Uji t tidak berpasangan

t hitung	sig	Keterangan
2,899	0,007	Tolak H ₀

Pada tabel di atas dapat diketahui didapatkan nilai t hitung sebesar 2,899 dan nilai Sig (2-tailed) sebesar 0,007. Karena nilai sig < 0,05 sehingga H₀ ditolak dan H_a diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara nilai kekasaran permukaan pada *Cutting fluid soluble oil* dengan *Cutting fluid* minyak jarak.

Cutting fluid minyak jarak dapat dikatakan lebih baik karena memiliki rata-rata nilai kekasaran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan *Cutting fluid soluble oil*.

- Uji Anova pada *Cutting fluid* minyak jarak

Uji ini dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan pada tiap perlakuan pada *Cutting fluid* minyak jarak. Hasil uji anova dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.6 Tabel Hasil Anova

F hitung	sig	Keterangan
23,374	0,0007	Tolak H ₀

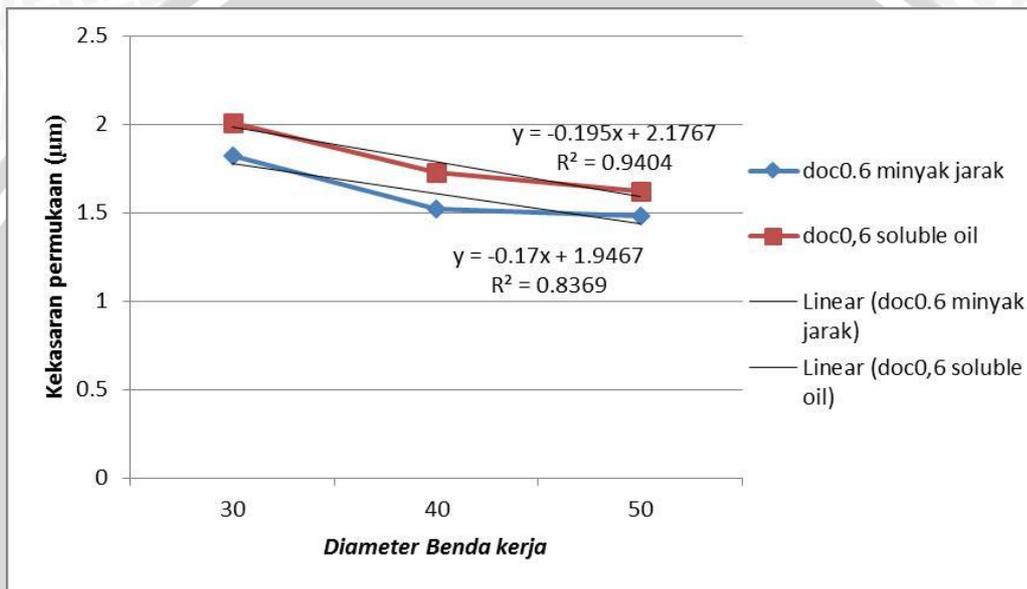
Pada tabel di atas dapat diketahui didapatkan nilai F hitung sebesar 23,374 dan nilai Sig (2-tailed) sebesar 0,0007. Karena nilai sig < 0,05 sehingga H₀ ditolak dan H_a diterima. Hal ini berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara tiap perlakuan pada nilai kekasaran permukaan. Untuk melihat perlakuan mana yang menunjukkan perbedaan maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji duncan.

Tabel 4.7 Hasil Uji Duncan

Perlakuan	Rata-rata Kekasaran Permukaan	Notasi
50 - 0,6	1,5050	a
40 - 0,6	1,5650	ab
50 - 0,9	1,6100	ab
40 - 0,9	1,6750	bc
50 - 1,2	1,7600	cd
40 - 1,2	1,8700	de
30 - 0,6	1,8800	e
30 - 0,9	1,9200	e
30 - 1,2	1,9600	e

Pada tabel di atas dapat diketahui didapatkan perlakuan 50 - 0,6 memiliki rerata nilai kekasaran permukaan yang paling kecil dibandingkan dengan perlakuan lainnya namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 40 - 0,6 dan 50 - 0,9. Sedangkan perlakuan 30 - 1,2 memiliki rerata kekasaran permukaan yang paling besar dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan 30 - 0,9, 30 - 0,6 dan 40 - 1,2.

4.1.2 Grafik dan pembahasan Hasil Kekasaran Permukaan

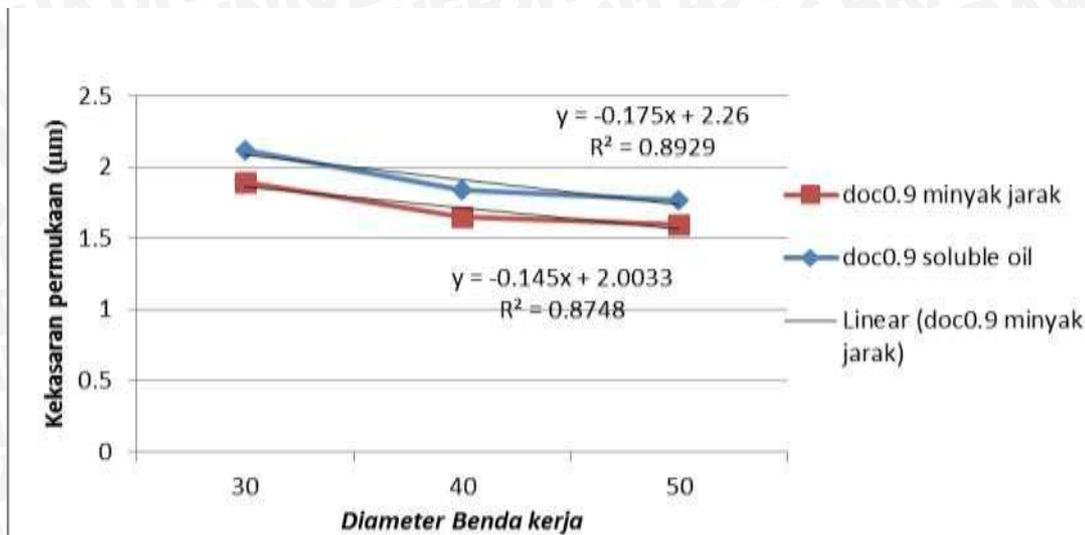


Gambar 4.2 Grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada *depth of cut* 0,6mm dengan perbandingan penggunaan *cutting fluid*

Pada gambar diatas menunjukkan grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada *depth of cut* 0,6mm dengan perbandingan *cutting fluid*. Besarnya diameter benda kerja memberikan pengaruh pada kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan. Pada diameter benda kerja 30mm menggunakan *cutting fluid soluble oil* mempunyai rata-rata kekasaran permukaan 2,065, begitu juga pada diameter benda kerja 40mm yang memiliki rata-rata kekasaran permukaan 1,76, begitu juga pada diameter benda kerja 50mm yang memiliki nilai kekasaran permukaan 1,635.

Gambar diatas menunjukkan kecendrungan nilai kekasaran permukaan yang semakin menurun dengan semakin besarnya diameter benda kerja. Hal ini dikarenakan diameter benda kerja berpengaruh terhadap kecepatan potong pada proses pembubutan sehingga nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan semakin menurun. Selain itu dapat dilihat juga bahwa hasil kekasaran permukaan pada pembubutan menggunakan *cutting fluid*

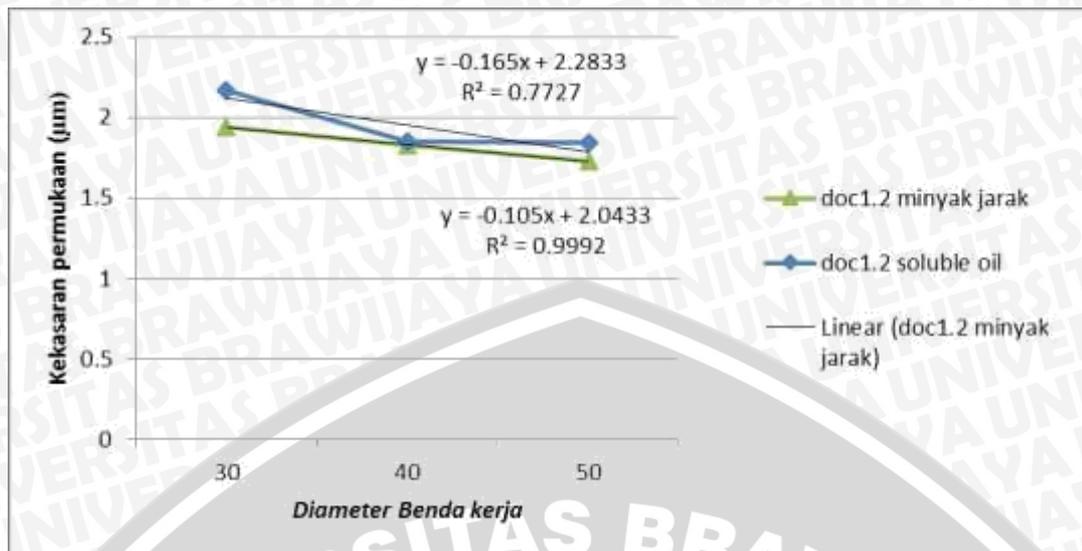
minyak jarak lebih rendah dibanding menggunakan *cutting fluid soluble oil*.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada *Depth of cut* 0,9mm dengan perbandingan penggunaan *cutting fluid*.

Pada gambar diatas menunjukkan grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada *depth of cut* 0,9mm dengan perbandingan *cutting fluid*. Besarnya diameter benda kerja memberikan pengaruh pada kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan. Pada diameter benda kerja 30mm menggunakan *cutting fluid soluble oil* mempunyai rata-rata kekasaran permukaan 2,12, begitu juga pada diameter benda kerja 40mm yang memiliki rata-rata kekasaran permukaan 1,84, begitu juga pada diameter benda kerja 50mm yang memiliki nilai kekasaran permukaan 1,77.

Gambar diatas menunjukkan kecenderungan nilai kekasaran permukaan yang semakin menurun dengan semakin besarnya diameter benda kerja. Hal ini dikarenakan diameter benda kerja berpengaruh terhadap kecepatan potong pada proses pembubutan sehingga nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan semakin menurun. Selain itu dapat dilihat juga bahwa hasil kekasaran permukaan pada pembubutan menggunakan *cutting fluid* minyak jarak lebih rendah dibanding menggunakan *cutting fluid soluble oil*.



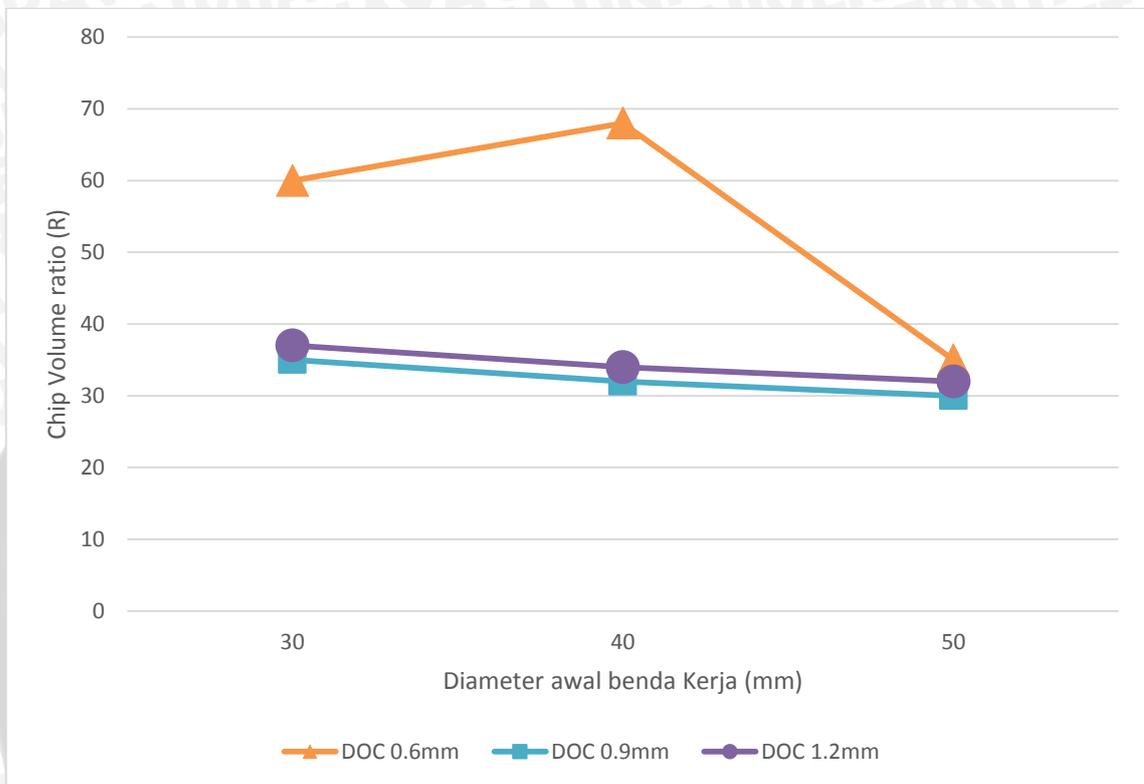
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada *Depth of cut* 1,2mm dengan perbandingan penggunaan *cutting fluid*.

Pada gambar diatas menunjukkan grafik hubungan antara diameter benda kerja terhadap kekasaran permukaan pada *depth of cut* 1,2mm dengan perbandingan *cutting fluid*. Besarnya diameter benda kerja memberikan pengaruh pada kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan. Pada diameter benda kerja 30mm menggunakan *cutting fluid soluble oil* mempunyai rata –rata kekasaran permukaan 2,065, begitu juga pada diameter benda kerja 40mm yang memiliki rata-rata kekasaran permukaan 1,76, begitu juga pada diameter benda kerja 50mm yang memiliki nilai kekasaran permukaan 1,635.

Gambar diatas menunjukkan kecendrungan nilai kekasaran permukaan yang semakin menurun dengan semakin besarnya diameter benda kerja. Hal ini dikarenakan diameter benda kerja berpengaruh terhadap kecepatan potong pada proses pembubutan sehingga nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan semakin menurun. Selain itu dapat dilihat juga bahwa hasil kekasaran permukaan pada pembubutan menggunakan *cutting fluid* minyak jarak lebih rendah disbanding menggunakan *cutting fluid soluble oil*.

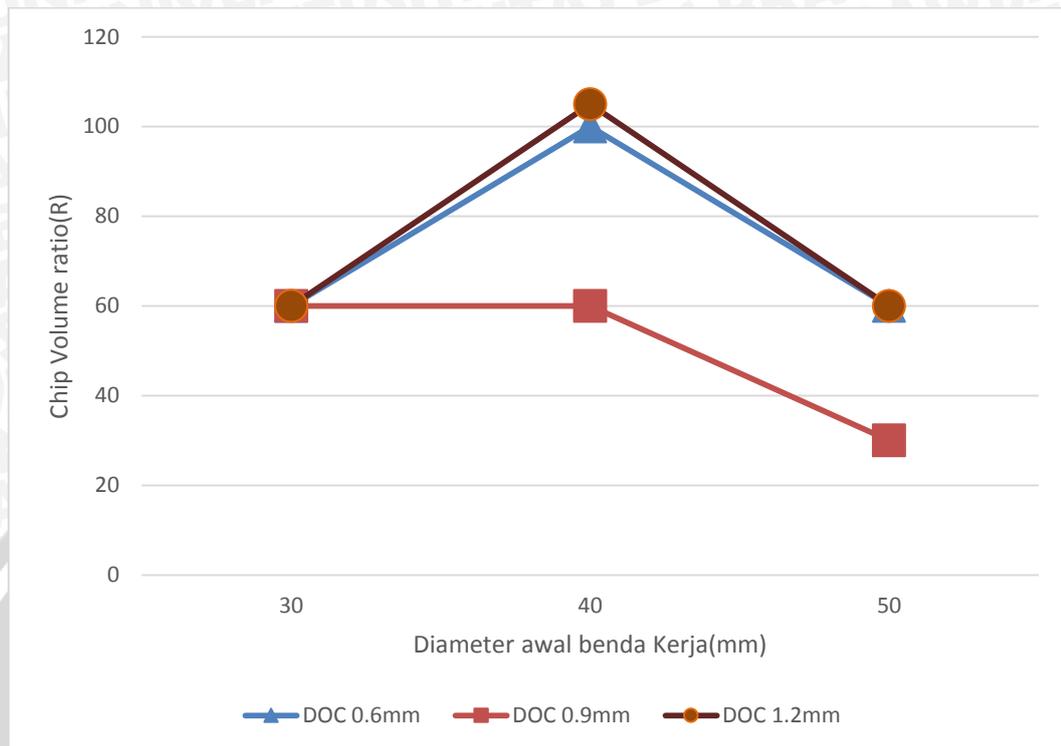
4.2 Hasil dan pembahasan formasi chip

Pada penelitian dengan variasi *depth of cut* dan diameter awal benda kerja dengan kondisi pemotongan menggunakan *cutting fluid soluble oil* dan *cutting fluid* minyak jarak maka diperoleh hasil *chip* sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara parameter pemotongan terhadap *chip volume ratio* dengan *bio cutting fluid* minyak jarak

Pada pembubutan dengan diameter awal benda kerja 30mm dan 40mm dengan *cutting fluid* minyak jarak dan *soluble oil* tidak ditemukan perbedaan yang signifikan. Tetapi pada diameter 50mm terdapat perbedaan yaitu pada *cutting fluid* minyak jarak menghasilkan *discontinuous chip* sedangkan pada *cutting fluid soluble oil* menghasilkan *continuous chip*. Ini disebabkan karena pada diameter 50mm minyak jarak mampu melumasi benda kerja dan pahat secara merata. Pada hasil diatas juga dapat dilihat bahwa semakin besar diameter benda kerja, maka akan menghasilkan *discontinuous chip*, ini disebabkan karena pada diameter yang besar dan menggunakan *depth of cut* 0,6mm getaran yang ditimbulkan lebih besar dibanding benda kerja yang berdiameter lebih kecil, sehingga *chip* lebih mudah terputus.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara parameter pemotongan terhadap *chip volume ratio* dengan *cutting fluid soluble oil*

Pada pembubutan dengan diameter awal benda kerja 30mm terdapat perbedaan dari *chip* yang dihasilkan, pada *cutting fluid* minyak jarak *chip* yang dihasilkan adalah *discontinuous chip*, beda halnya pada *cutting fluid soluble oil* justru menghasilkan *continuous chip*. Sedangkan pada diameter awal benda kerja 40mm dan 50mm *chip* yang dihasilkan cenderung konstan yaitu *discontinuous chip* pada kedua pelumas yang digunakan. Pada kondisi pemotongan ini *chip* yang dihasilkan cenderung lebih tebal, ini disebabkan karena besarnya penekanan antara pahat terhadap benda kerja, *chip* yang terputus-putus juga disebabkan karena adanya getaran yang timbul pada saat pemotongan. Pada kondisi pemotongan ini dapat dilihat bahwa *chip* yang dihasilkan pada diameter awal benda kerja 30mm dan 40mm dan dari kedua *cutting fluid* cenderung membentuk *discontinuous chip*, ini disebabkan karena getaran yang timbul lebih besar dibanding pada *depth of cut* yang sebelumnya, sehingga *chip* mudah terputus. Tetapi pada diameter 50mm dengan *cutting fluid* minyak jarak *chip* yang terbentuk justru berupa *continuous chip*, hal ini disebabkan karena pada *depth of cut* 1,2mm minyak jarak yang memiliki viskositas lebih tinggi dibanding *soluble oil* mampu

meredam getaran, sehingga chip yang dihasilkan justru berbentuk *continuous chip*. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa semakin tinggi *depth of cut* dan *feed rate* maka *chip thickness* semakin tebal.

Semakin tebal *chip* yang dihasilkan maka *chip curl radius* akan semakin besar dan *chip* tersebut akan sulit untuk melengkung, hal ini sesuai dengan pernyataan dari (Kalpakjian, 1991) bahwa *chip curl radius* akan semakin kecil dengan semakin kecilnya nilai *depth of cut*. Semakin besar *chip curl radius* maka *chip* tersebut akan menyentuh *tool* atau benda kerja kemudian patah, sehingga akan terbentuk *discontinuous chip*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan secara khusus yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada pengukuran kekasaran permukaan kekasaran dengan nilai kehalusan yang sangat halus justru terjadi pada diameter awal benda kerja 50mm dan pada *depth of cut* 0,6mm.
2. Semakin besar diameter benda kerja maka kekasaran permukaan akan semakin menurun.
3. Menggunakan *cutting fluid* minyak jarak lebih baik daripada *cutting fluid soluble oil* dengan kekasaran permukaan terendah 1,62 μ m pada *soluble oil* sedangkan 1,48 μ m pada minyak jarak.
4. Penggunaan *bio cutting fluid* menjadi keunggulan sendiri karena nilai kekasaran permukaan yang di dapatkan lebih rendah daripada *soluble oil*.
5. Semakin besar *depth of cut* yang digunakan pada proses pembubutan maka akan menghasilkan *discontinuous chip*.

5.2 Saran

Saran yang diberikan pada bagian ini ditujukan untuk penelitian lebih lanjut yang lebih baik, antara lain:

1. Mencoba alternatif dengan minyak nabati lainnya.
2. Tidak menggunakan minyak nabati secara berulang-ulang.
3. Menghitung umur pahat karbida setelah digunakan.
4. Memperhatikan getaran yang terjadi pada proses pembubutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Begeman, Myron L. 1973. *Manufacturing Process*. Tokyo. :Modern Asia Edition.
- Bebon China Steel Product Catalog*. 2013
- Boothroyht, Geoffrey. 1983. *Fundamental Of Metal Machining and Machine Tools*. :McGraw Hill.
- Bringas, John E. 2004. *Handbook of Comparative World Steel Standards*. :ASTM Data Series.
- Conoco Product Catalog*. 2013
- Degarmo, Ernest P, JT Black, dan RA Kohser. 2003. *Material and Processes In Manufacturing 9th edition*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Hadimi. 2008. *Pengaruh Perubahan kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Pembubutan*. Pontianak. Penerbit Politeknik Negeri Pontianak.
- Kalhuri, Vahid. 2001. *Modelling and simulation of Mechanical Cutting*. Lulea. Lulea University of Technology.
- Kalpakjian, Serope. 1991. *Manufacturing and engineering and technology*. Illinois: Addison Wesley Publishing Co.
- Krisbow Catalog Update*. 2013
- Marinov, Valery. 2010. *Manufacturing Technology*. Dubuque. Kendall Hunt Publishing Company.
- Puppung, L. 1986. *Minyak Jarak Memiliki Potensi Sebagai bahan dasar Minyak Pelumas*. Jakarta. :Lembaran Publikasi Lemigas.
- Rahmadianto, Febi. 2007. *Pengaruh Variasi Cutting Fluid dan Variasi Feeding pada Proses Pemotongan Orthogonal Poros Baja Terhadap Kekasaran Permukaan*. Malang. Penerbit UB.
- Rochim, Taufiq. 1994. *Proses permesinan*. Bandung: Penerbit ITB.
- Sudji, Munadi. 1988. *Metrologi Industri*. Jakarta. Penerbit Dirjendikti Depdknas P2LPTK.

Sudradjat, R. 2007. *Pengolahan Minyak Jarak Pagar Menjadi Epoksi Sebagai Bahan Baku Minyak Pelumas*. Jakarta : Penerbit Penebar Swadaya Seri Agritekno.

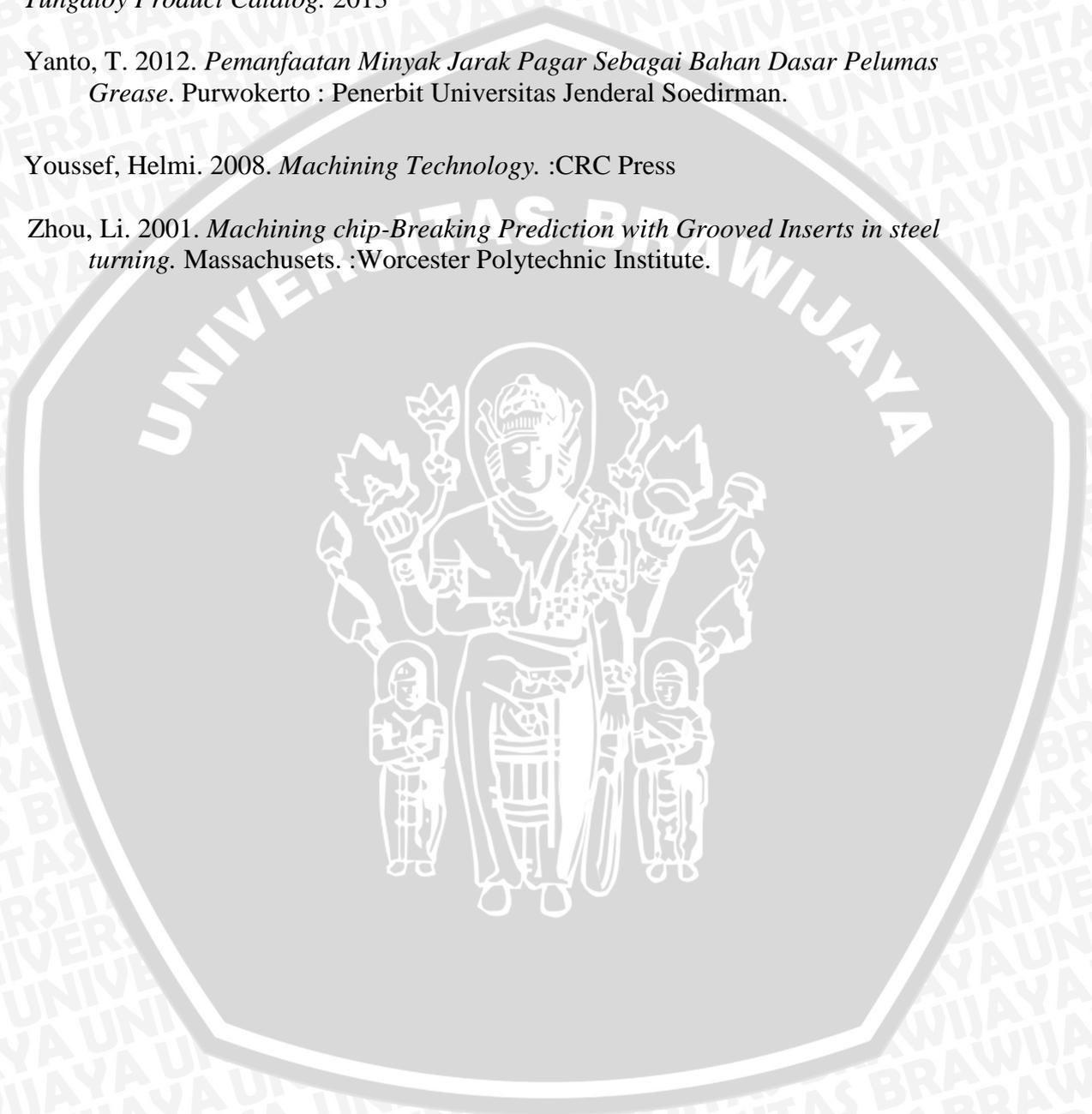
Tschätsch, Heinz. 2007. *Applied Machining Technology*. London : Springer Dordrecht Heidelberg London.

Tungaloy Product Catalog. 2013

Yanto, T. 2012. *Pemanfaatan Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Dasar Pelumas Grease*. Purwokerto : Penerbit Universitas Jenderal Soedirman.

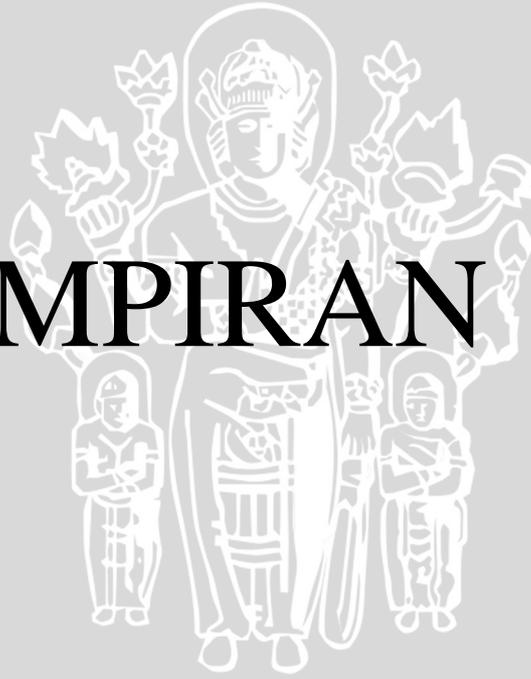
Youssef, Helmi. 2008. *Machining Technology*. :CRC Press

Zhou, Li. 2001. *Machining chip-Breaking Prediction with Grooved Inserts in steel turning*. Massachusets. :Worcester Polytechnic Institute.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 1



Diameter Awal : 30mm

Diameter Awal : 40mm

Diameter Awal : 50mm

Mitutoyo **mmmmmm2001**
 DATE 22-10-2013
 TIME 19:33:04
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5

Ra 2.01 μ m
 Rz 12.38 μ m
 Rq 2.48 μ m

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c=0.8mmX5$

$\times 2K$

$\times 50$

Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo **mmmmmm2001**
 DATE 22-10-2013
 TIME 20:26:14
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5

Ra 1.73 μ m
 Rz 10.75 μ m
 Rq 2.14 μ m

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c=0.8mmX5$

$\times 2K$

$\times 50$

Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo **mmmmmm2001**
 DATE 22-10-2013
 TIME 20:29:10
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5

Ra 1.62 μ m
 Rz 9.71 μ m
 Rq 1.99 μ m

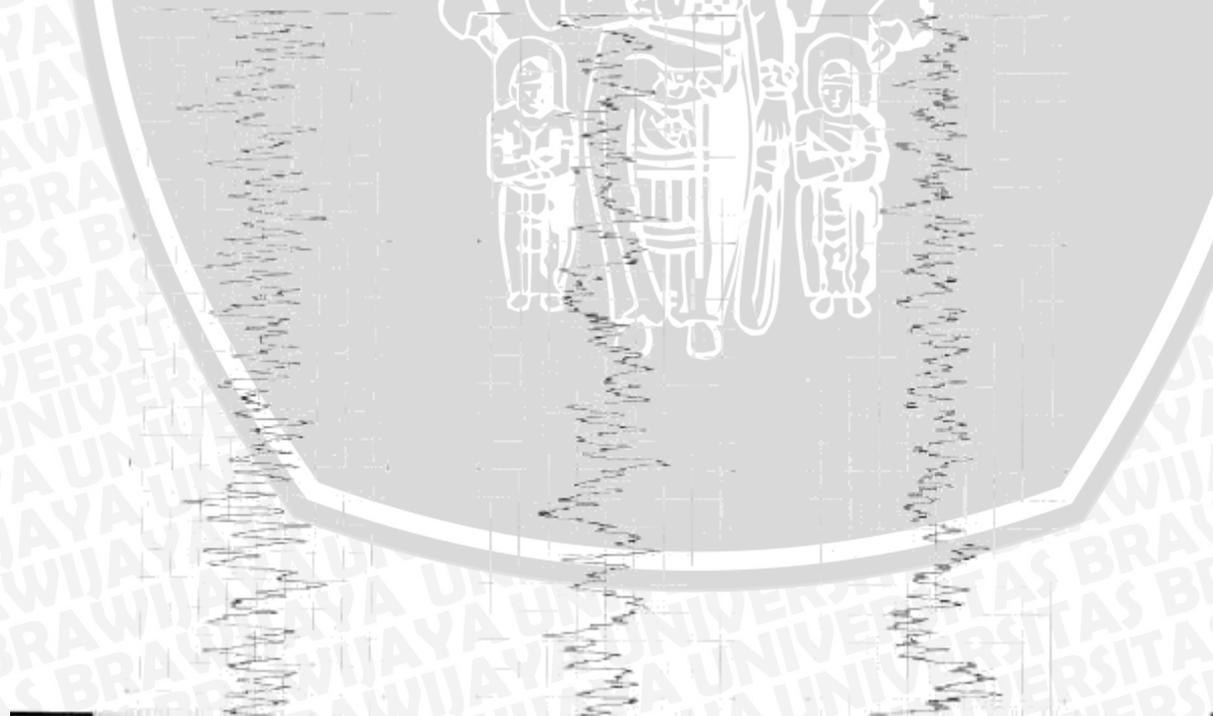
R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c=0.8mmX5$

$\times 2K$

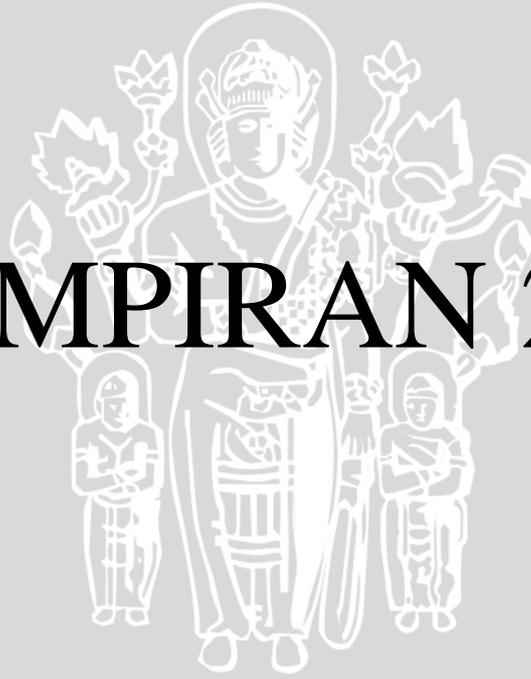
$\times 50$

Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 2



Diameter Awal : 30mm

Diameter Awal : 40mm

Diameter Awal : 50mm

Mitutoyo **Part:MS-2001**

DATE 22-10-2013
TIME 20:44:02

STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
TILT-COMP ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
PRE/POST ON
DRIVE STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5

Ra 1.82 μ m
Rz 11.96 μ m
Rq 2.29 μ m

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$
→x2K

x50

Ver. 5.0 μ m/cm
Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo **Part:MS-2001**

DATE 22-10-2013
TIME 20:39:43

STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
TILT-COMP ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
PRE/POST ON
DRIVE STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5

Ra 1.52 μ m
Rz 10.07 μ m
Rq 1.94 μ m

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$
→x2K

x50

Ver. 5.0 μ m/cm
Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo **Part:MS-2001**

DATE 22-10-2013
TIME 20:33:13

STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
TILT-COMP ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
PRE/POST ON
DRIVE STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5

Ra 1.48 μ m
Rz 9.06 μ m
Rq 1.83 μ m

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$
→x2K

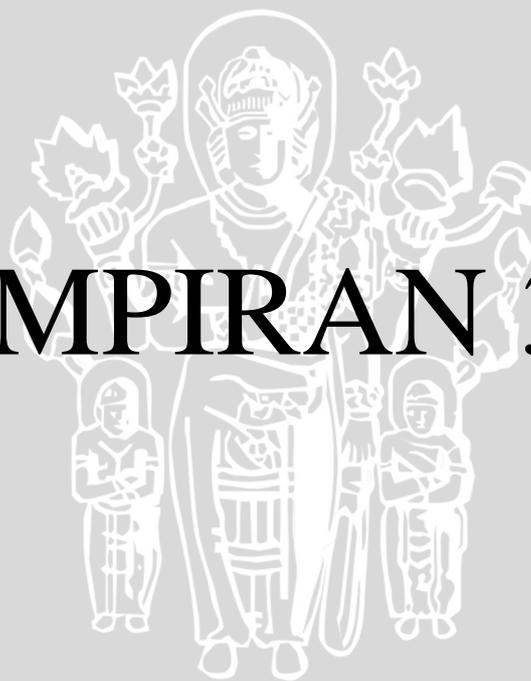
x50

Ver. 5.0 μ m/cm
Hor. 200.0 μ m/cm



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 3



Diameter Awal : 30mm

Diameter Awal : 40mm

Diameter Awal : 50mm

Mitutoyo SR-201
 DATE 22-10-2013
 TIME 21:10:29
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP. ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 ESC ON
 PRE/POST DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 Ra 2.12 μ m
 Rz 12.27 μ m
 Rq 2.56 μ m

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c=0.8mmX5$
 →×2K

×50

Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo SR-201
 DATE 22-10-2013
 TIME 21:32:51
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP. ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 ESC ON
 PRE/POST DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 Ra 1.84 μ m
 Rz 11.50 μ m
 Rq 2.25 μ m

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c=0.8mmX5$
 →×2K

×50

Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm

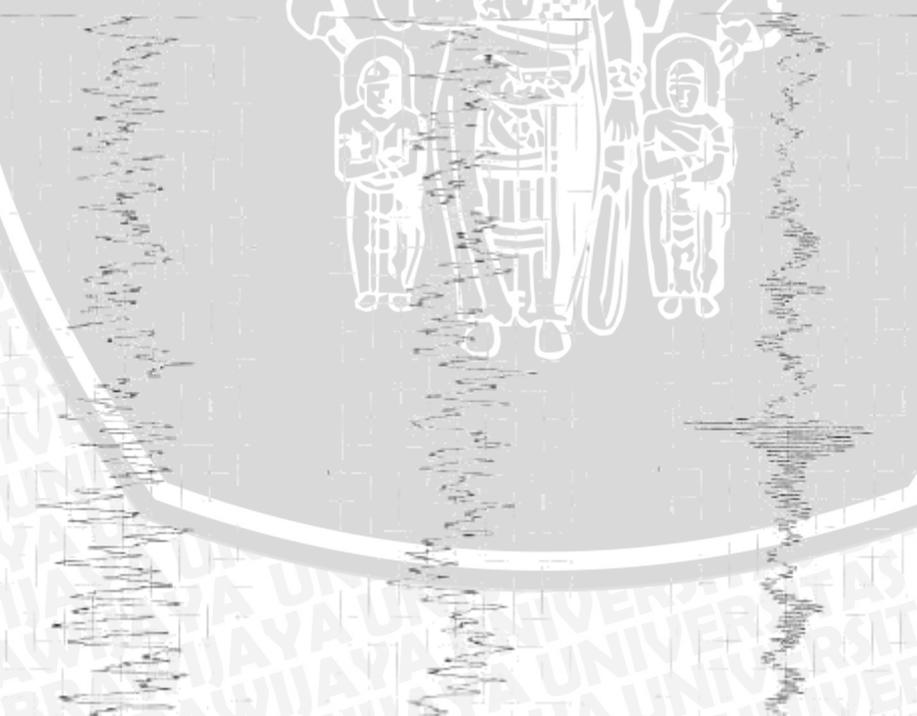
Mitutoyo SR-201
 DATE 22-10-2013
 TIME 21:54:48
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP. ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 ESC ON
 PRE/POST DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 Ra 1.77 μ m
 Rz 14.87 μ m
 Rq 2.29 μ m

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c=0.8mmX5$
 →×1K

×50

Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 4



Diameter Awal : 30mm

Diameter Awal : 40mm

Diameter Awal : 50mm

Mitutoyo 

DATE 22-10-2013
TIME 22:11:32

STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
TILT-COMP ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
PRE/POST ON
DRIVE ESC
STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5

Ra 1.89 μ m
Rz 11.53 μ m
Rq 2.32 μ m

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$

×2K

×50

Ver. 5.0 μ m/cm
Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo 

DATE 22-10-2013
TIME 22:23:22

STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
TILT-COMP ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
PRE/POST ON
DRIVE ESC
STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5

Ra 1.65 μ m
Rz 10.55 μ m
Rq 2.04 μ m

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$

×2K

×50

Ver. 5.0 μ m/cm
Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo 

DATE 22-10-2013
TIME 22:50:34

STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
TILT-COMP ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
PRE/POST ON
DRIVE ESC
STAND

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5

Ra 1.60 μ m
Rz 9.62 μ m
Rq 1.94 μ m

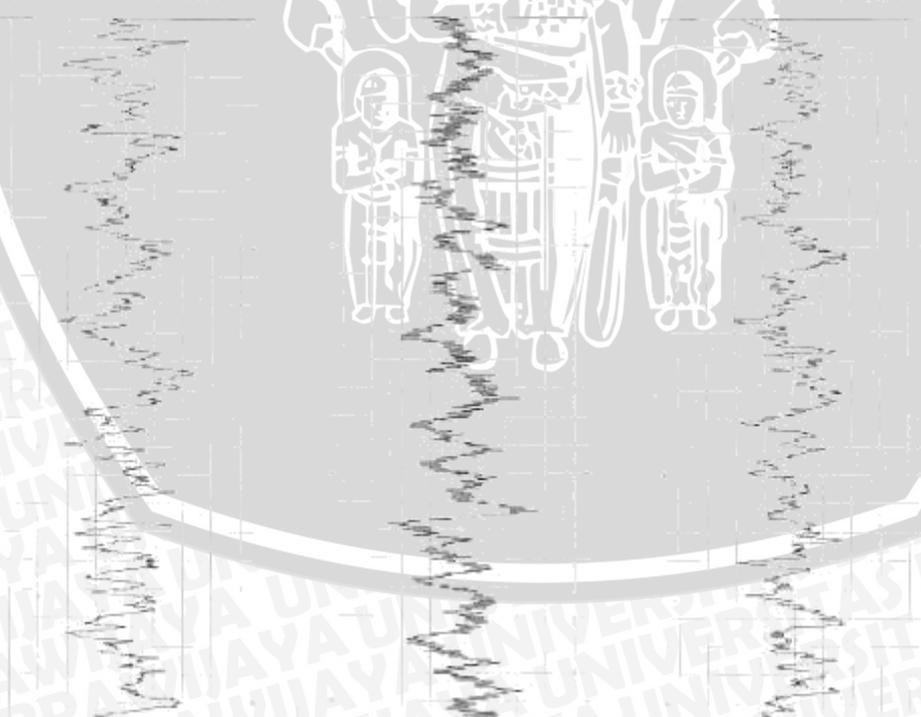
R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$

×2K

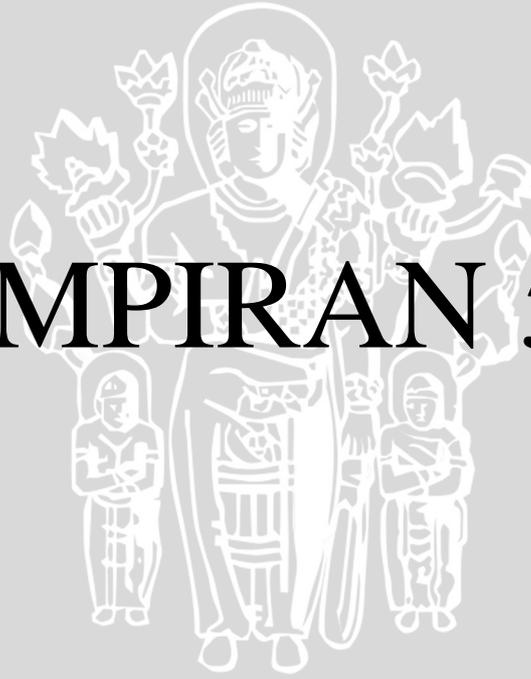
×50

Ver. 5.0 μ m/cm
Hor. 200.0 μ m/cm



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 5



Diameter Awal : 30mm

Diameter Awal : 40mm

Diameter Awal : 50mm

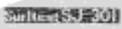
Mitutoyo 
 DATE 2013-10-22
 TIME 23:17:43
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
 TILT-COMP ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5
 Ra 2.17 μ m
 Rz 14.69 μ m
 Rq 2.71 μ m

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$
 $\times 1K$

$\times 50$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm



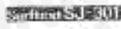
Mitutoyo 
 DATE 2013-10-23
 TIME 00:37:10
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
 TILT-COMP ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5
 Ra 1.85 μ m
 Rz 11.39 μ m
 Rq 2.28 μ m

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$
 $\times 2K$

$\times 50$
 Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm

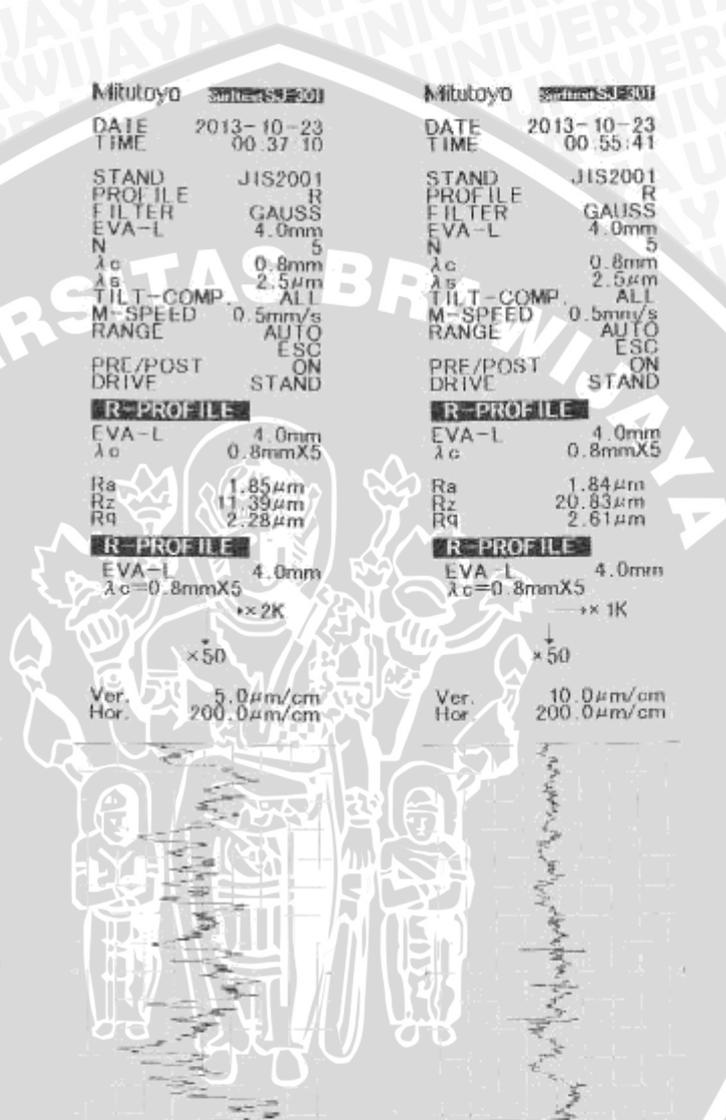
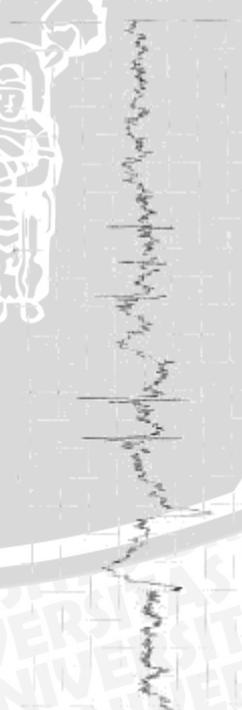


Mitutoyo 
 DATE 2013-10-23
 TIME 00:55:41
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λc 0.8mm
 λs 2.5 μ m
 TILT-COMP ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5
 Ra 1.84 μ m
 Rz 20.83 μ m
 Rq 2.61 μ m

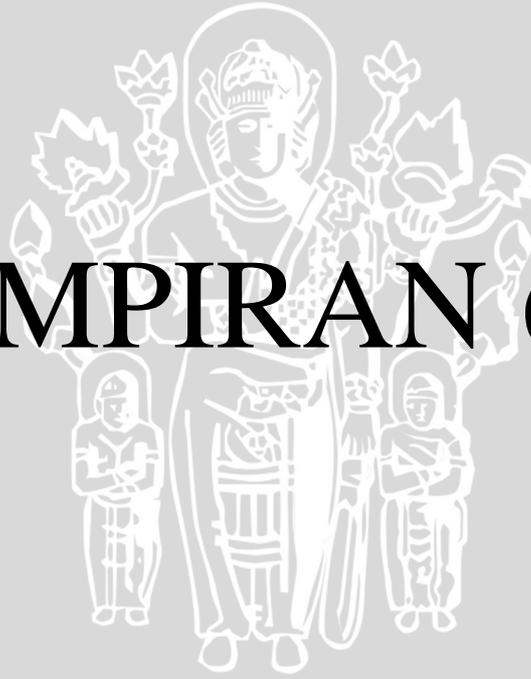
R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$
 $\times 1K$

$\times 50$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 6



Diameter Awal : 30mm

Diameter Awal : 40mm

Diameter Awal : 50mm

Mitutoyo **Surveys 2001**
 DATE 2013-10-23
 TIME 01:04:01
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP. ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 Ra 1.94 μ m
 Rz 22.56 μ m
 Rq 3.54 μ m

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 →x200

Ver. 50.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo **Surveys 2001**
 DATE 2013-10-23
 TIME 01:27:29
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP. ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 Ra 1.83 μ m
 Rz 14.31 μ m
 Rq 2.34 μ m

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 →x500

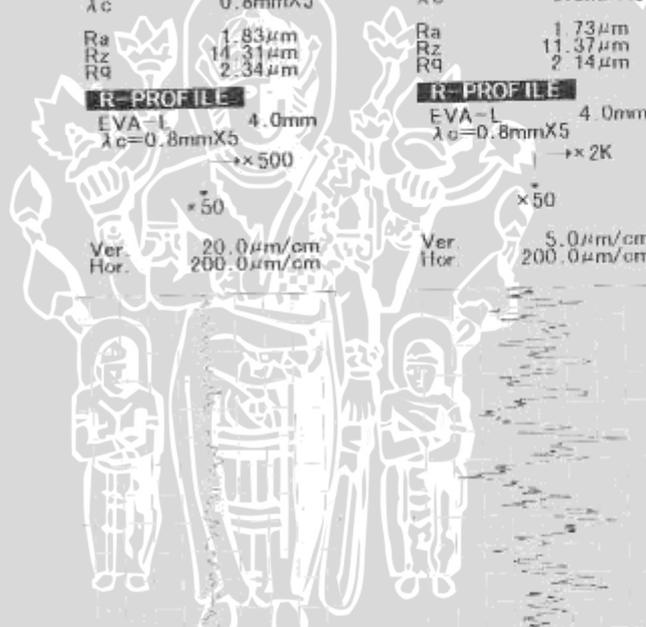
Ver. 20.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm

Mitutoyo **Surveys 2001**
 DATE 2013-10-23
 TIME 01:39:50
 STAND JIS2001
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 4.0mm
 N 5
 λ_c 0.8mm
 λ_s 2.5 μ m
 TILT-COMP. ALL
 M-SPEED 0.5mm/s
 RANGE AUTO
 PRE/POST ON
 DRIVE STAND

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 Ra 1.73 μ m
 Rz 11.37 μ m
 Rq 2.14 μ m

R-PROFILE
 EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5
 →x2K

Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm





LAMPIRAN 7

F - Distribution ($\alpha = 0.05$ in the Right Tail)

df ₂	df ₁	Numerator Degrees of Freedom								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
2		18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385
3		10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123
4		7.7086	7.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	6.9988
5		6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725
6		5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990
7		5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767
8		5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881
9		5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789
10		4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204
11		4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.9480	2.8962
12		4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964
13		4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144
14		4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458
15		4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876
16		4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377
17		4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143	2.5480	2.4943
18		4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563
19		4.3807	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227
20		4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928
21		4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.3660
22		4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419
23		4.2793	3.4221	3.0280	2.7955	2.6400	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201
24		4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002
25		4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821
26		4.2252	3.3690	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655
27		4.2100	3.3541	2.9604	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501
28		4.1960	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.2360
29		4.1830	3.3277	2.9340	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2783	2.2229
30		4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107
40		4.0847	3.2317	2.8387	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490	2.1802	2.1240
60		4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.0970	2.0401
120		3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.1750	2.0868	2.0164	1.9588
∞		3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799

