

**THE EFFECT OF CONVENTIONAL AND CLIMBING
FEEDS ON SURFACE ROUGHNESS AND RADIUS
COMPENSATION ON THOROUGHNESS**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin



Diajukan oleh :

OSCAR ANDRIANTO
NIM : 99 5214 169



Kepada

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2004

TUGAS AKHIR

**THE EFFECT OF CONVENTIONAL AND CLIMBING
FEEDS ON SURFACE ROUGHNESS AND RADIUS
COMPENSATION ON THOROUGHNESS**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

Nama : Oscar Andrianto

NIM : 99 5214 169

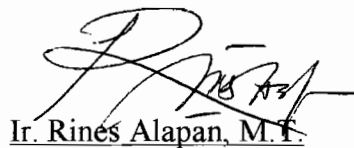
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 23 Juli 2004

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama

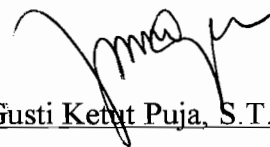


R.B. Dwisenō Wihadi, S.T., M.Si.

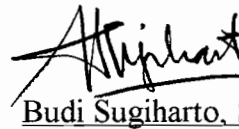


Ir. Rines Alapan, M.T.

Anggota Dewan Penguji



I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.



Budi Sugiharto, S.T., M.T.



Budi Setyahandana, ST., M.T.

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

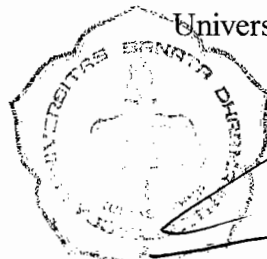
Yogyakarta, 23 Juli 2004

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Dekan



Ir. Greg. Heliarko, S.J., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 23 Juli 2004



Oscar Andrianto

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan kepada yang terkasih :

Papaku tercinta, inspirasiku, serta

Mama, Dik Rosa dan Mas Iwan

yang senantiasa mendukung dari awal hingga akhir

penulisan skripsi ini, sampai tiba saatnya.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat, kasih, dan rahmatNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Gerakan Pemakanan Konvensional dan “Climbing” Terhadap Kekasaran Permukaan Serta Kompensasi Radius Terhadap Ketelitian”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang besar kepada semua pihak yang telah memberikan dorongan, motivasi, saran, maupun bantuan finansial, sampai terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak R.B. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si., dosen pembimbing utama yang telah membimbing, memberi saran dan motivasi selama penelitian dan penulisan skripsi.
3. Bapak Widya Setyawan, S.T., M.T., Kepala Lab. Metrologi D3-UGM yang telah mengizinkan penggunaan alat ukur *roughness tester* untuk membantu penelitian ini.
4. Bapak Wahidin, Asisten Lab. Metrologi D3-UGM yang telah melakukan proses pengukuran kekasaran permukaan bagi penelitian ini.
5. Bapak Ign. Derajad Pranowo, S.S., M.Eng., Ketua Jurusan Teknik Mekatronika Universitas Sanata Dharma Yogyakarta yang telah memberikan

izin atas penggunaan mesin di Lab. CNC Jurusan Mekatronika Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

6. Bapak Derajad Pranowo beserta keluarga, yang terus mendoakan, memberi semangat dan dorongan kepada penulis.
7. Mama, Dik Rosa dan Mas Iwan, yang tetap setia membantu dalam doa, dukungan finansial, semangat dan teladan yang baik kepada penulis.
8. Mas Ony dan Mas Wicak, yang telah membantu penulis untuk mengetahui lebih jauh permasalahan dalam penelitian ini.
9. Temanku, Tjendra dan Daru, yang telah memberikan semangat untuk tidak cepat putus asa dalam menyelesaikan skripsi ini serta bersedia memberikan saran-saran yang bermanfaat.
10. Teman-temanku di lingkungan “Christon Computer”, yang mau menyediakan tempat untuk mengetik dan menginap, serta waktu untuk bercanda dan berolahraga.
11. Temanku semua, yang sudi mendukung, memberi semangat dan teladan yang baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 23 Juli 2004

Penulis

INTISARI

Penelitian ini membicarakan pengaruh gerakan pemakanan konvensional dan *climbing* terhadap kekasaran permukaan serta kompensasi radius terhadap ketelitian. Sarana yang digunakan antara lain: mesin CNC tipe DMC 63 V, benda uji yang terbuat dari aluminium dan alat potong berupa pisau iris jenis *end mill finishing* berdiameter 20 mm dengan bahan HSS. Tujuan dari penelitian ini yaitu mencari pengaruh metode pemakanan, baik konvensional maupun *climbing*, beserta kecepatan pemakanannya terhadap kekasaran permukaan benda kerja dan mencari pengaruh fasilitas kompensasi radius alat potong terhadap penyimpangan ketelitian ukuran. Seluruh proses pemotongan yang dilakukan bagi pengerjaan benda uji ini adalah proses pemotongan sisi.

Benda uji yang akan dikerjakan berukuran \square 40 mm x 40 mm dengan ketebalan 35 mm. Pengerjaan dilakukan terhadap benda uji yang berjumlah 8 buah dengan 4 macam kedalaman pemotongan tiap benda uji. Kedelapan benda uji tadi, dibagi menurut dua metode pemakanan, yaitu konvensional (4 buah) dan *climb* (4 buah), dengan 4 macam pilihan kecepatan pemakanan untuk masing-masing metodenya. Setelah proses pengerjaan selesai dilakukan, 8 buah benda uji tersebut diukur nilai kekasarannya dengan menggunakan mesin *roughness tester*. Kemudian, sebanyak 64 titik (2sisi x 4titik x 8buah) diambil sebagai contoh. Untuk mengetahui ketelitian ukurannya, benda uji yang sama juga diukur panjangnya dengan menggunakan mikrometer. Lalu, sebanyak 64 titik (2sisi tidak berhadapan x 4titik x 8buah) diambil untuk dijadikan contoh data kedua. Kemudian, data-data itu dikumpulkan untuk dicatat, diolah dan diteliti.

Telah diperoleh kesimpulan berdasarkan hasil penelitian. Pertama, nilai penyimpangan rata-rata aritmetik (R_a) yang didapat pada kedua metode pemakanan berbeda. Ini berarti memiliki kekasaran yang berbeda pula. Metode pemakanan *climb* memiliki nilai kekasaran yang lebih besar daripada konvensional. Kedua, makin besar kecepatan pemakanan yang dipilih makin besar pula nilai penyimpangan rata-rata aritmetiknya (R_a) atau semakin kasar permukaannya. Ketiga, telah diketahui bahwa terjadi penyimpangan ukuran dari ukuran yang sebenarnya. Hal ini menandakan adanya ketidaktelitian ukuran pada proses pengerjaan kali ini. Faktor geometris pisau iris tidak diperhitungkan sejak awal sehingga hanya diperoleh dugaan bahwa pisau iris tidak presisi dan telah menimbulkan penyimpangan awal saat memasukkan ukuran.

ABSTRACT

This research is explaining about the effect of conventional and climbing feeds on surface roughness and radius compensation on thoroughness. Equipment that is used i.e.: CNC machine type DMC 63 V, the specimen which is made from aluminum and the cutter with end mill finishing type diameter 20 mm which is made from HSS (High Speed Steel) material. The objective of this research is to find out the effect of feed method, conventional and climbing, along with the feed rate on surface roughness material and to find out the effect of radius compensation facility on thoroughness deviation dimension. All cutting process that was carried out to machining this specimen is side-cutting process.

The specimen that will machined have a measurement of \sphericalangle 40 mm x 40 mm with 35 mm of the thick. The total amount of specimen is 8 pieces with 4 type depth of cut for each specimen. The 8 pieces of specimen then divide into two feed methods that is conventional method (4 pieces) and climbing method (4 pieces) with 4 level of feed rate on each method. After machining process has been done, 8 pieces of specimen then measure for its roughness value using roughness tester. Then, 64 points on specimen (2 side x 4 points x 8 pieces) are taken as samples testing. To find out thoroughness measurement, the length from same specimen is measured using micrometer and 64 points (2 side not in across direction x 4 points x 8 pieces) are taken as second data samples. Those data then collected, noted, processed, and analyzed.

Based on result of this research then come into conclusion. First, Arithmetic Average Deviation (Ra) from both feed methods is different. This means that the methods have different result of roughness. Climbing method has greater roughness value than conventional method. Second, more greater feed rate that has chosen, the value of Arithmetic Average Deviation (Ra) is more great too or more rough the surface of material. Third, it was find out that there is deviation on measurement from the actually. This is show the thoroughless measurement in machining process for this experiment. Cutter geometric factor is not include in the parameter from beginning, so this only can be guessed that cutter is not precision and made early deviation when fitting the size.

DAFTAR ISI



HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
INTISARI	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Permasalahan	3
I.3. Pembatasan Masalah	3
I.4. Tujuan Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	5
II.1. Mesin Frais Vertikal	5
II.2. Mesin CNC DMC 63 V	6
II.3. Pengaruh Pemakanan Konvensional dan Mendaki pada Mesin Frais	10

II.4.	Kecepatan Potong, Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Pemotongan	20
II.4.1.	Kecepatan Potong	20
II.4.2.	Kecepatan Pemakanan	21
II.4.3.	Meningkatkan Kecepatan Pemakanan	22
II.4.4.	Kedalaman Pemotongan	23
II.5.	Jenis dan Material Alat Potong	23
II.6.	Material Benda Kerja	27
II.7.	Memecahkan Masalah Kompensasi Radius Pisau Iris	30
II.7.1.	Melupakan Pembatalan Kompensasi Radius Pisau Iris	33
II.7.2.	Memasukkan Ukuran Permukaan yang Dikerjakan dengan Kompensasi Radius Pisau Iris	34
II.8.	Kekasaran Permukaan	35
II.9.	Hipotesis	38
BAB III	METODOLOGI	39
III.1.	Mesin	39
III.2.	Benda Kerja	39
III.3.	Alat Potong dan Alat Bantu	41
III.4.	Bagan Alir Penelitian	43
III.5.	Perhitungan Awal	44
III.6.	Pelaksanaan Penelitian	47
III.7.	Pengolahan Data	49
III.8.	Penjelasan Program	49

III.9.	Kesulitan Penelitian	52
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	53
IV.1.	Hasil Penelitian	53
IV.1.1.	Data Nilai Kekerasan Permukaan Benda Kerja	53
IV.1.2.	Data Nilai Kekasaran Permukaan Benda Kerja Akibat Pergunaan Dua Metode Pemakanan	54
IV.1.3.	Data Nilai Simpangan dari Ketelitian Ukuran Akibat Pergunaan Kompensasi Radius	56
IV.2.	Pembahasan	57
IV.2.1.	Analisis Nilai Kekasaran Permukaan Benda Kerja terhadap Kedua Metode Pemakanan	62
IV.2.2.	Analisis Nilai Kekasaran Permukaan Benda Kerja terhadap Kecepatan Pemakanan	63
IV.2.3.	Analisis Penyimpangan Ketelitian Ukuran terhadap Fasilitas Kompensasi Radius Alat Potong	64
BAB V	KESIMPULAN DAN PENUTUP	66
V.1.	Kesimpulan	66
V.2.	Saran	66
	DAFTAR PUSTAKA	68
	LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kecepatan potong (f mnt) untuk Beberapa Bahan yang Sering Digunakan	21
Tabel 2.2. Bahan-bahan Tambahan dalam HSS	26
Tabel 3.1. Perhitungan rpm	45
Tabel 3.2. Perhitungan Kecepatan Pemakanan	45
Tabel 3.3. Koordinat Pemotongan	46
Tabel 4.1. Nilai Kekerasan Permukaan Benda Kerja (dalam HB)	53
Tabel 4.2. Nilai Ra (dalam μm) dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Mendaki	54
Tabel 4.3. Nilai Ra (dalam μm) dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Konvensional	55
Tabel 4.4. Nilai Nominal dari Ketelitian Ukuran dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Mendaki	56
Tabel 4.5. Nilai Nominal dari Ketelitian Ukuran dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Konvensional ...	56
Tabel 4.6. Nilai Ukuran yang Sebenarnya Harus Dicapai pada Masing-masing Kedalaman Pemotongan.....	61
Tabel 4.7. Simpangan dari Ukuran Sebenarnya dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Mendaki	61
Tabel 4.8. Simpangan dari Ukuran Sebenarnya dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Konvensional ...	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem Koordinat Cartesien Absolut	8
Gambar 2.2. Sistem Koordinat Cartesien Inkremental	9
Gambar 2.3. Gaya-gaya yang Dihasilkan dalam Frais	11
Gambar 2.4. Arah Gaya-gaya dalam Frais	12
Gambar 2.5. Gaya-gaya yang Dihasilkan pada Frais Konvensional	14
Gambar 2.6. Gaya-gaya yang Dihasilkan pada Frais Mendaki	14
Gambar 2.7. Frais Secara Konvensional (a) dan Mendaki (b)	16
Gambar 2.8. Contoh Gerakan dalam Pengaruh Kompensasi Radius Pisau Iris	31
Gambar 2.9. Kompensasi Radius Pisau Iris Dapat Digunakan untuk Bermacam-macam Kontur	32
Gambar 2.10. Menunjukkan Benda Kerja yang Digunakan Sebagai Contoh Tambahkan	35
Gambar 2.11. Penyimpangan Rata-rata Aritmetik Ra dari Garis Rata-rata Profil	36
Gambar 2.12. Ketinggian Sepuluh Titik Rz dari Ketidakrataan	37
Gambar 2.13. Tinggi Maksimum R_{max} dari Ketidakrataan	37
Gambar 3.1. Empat Titik Uji Kekerasan Brinell pada Benda Kerja (tampak atas)	39
Gambar 3.2. Benda Kerja yang Direncanakan (satuan: mm)	41
Gambar 3.3. Bagan Alir Penelitian	43

Gambar 4.1. Grafik Hubungan Metode Pemakanan Mendaki dan Konvensional terhadap Nilai Penyimpangan Rata-rata Aritmetik (Ra) pada Berdasarkan Kecepatan Pemakanannya pada Kedalaman Pemotongan 0,2 mm	58
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Metode Pemakanan Mendaki dan Konvensional terhadap Nilai Penyimpangan Rata-rata Aritmetik (Ra) pada Berdasarkan Kecepatan Pemakanannya pada Kedalaman Pemotongan 0,15 mm	59
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Metode Pemakanan Mendaki dan Konvensional terhadap Nilai Penyimpangan Rata-rata Aritmetik (Ra) pada Berdasarkan Kecepatan Pemakanannya pada Kedalaman Pemotongan 0,1 mm	59
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Metode Pemakanan Mendaki dan Konvensional terhadap Nilai Penyimpangan Rata-rata Aritmetik (Ra) pada Berdasarkan Kecepatan Pemakanannya pada Kedalaman Pemotongan 0,05 mm	60

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Gambar mesin CNC DMC 63 V
- Lampiran 2. Gambar Pisau Iris Jenis *End Mill Finishing*
- Lampiran 3. Gambar Benda yang Telah Diuji.
- Lampiran 4. Gambar Alat Ukur dan Alat Uji
- Lampiran 5. Program Metode Pemakanan Mendaki dengan Kecepatan Pemakanan Pertama
- Lampiran 6. Program Metode Pemakanan Mendaki dengan Kecepatan Pemakanan Kedua
- Lampiran 7. Program Metode Pemakanan Mendaki dengan Kecepatan Pemakanan Ketiga
- Lampiran 8. Program Metode Pemakanan Mendaki dengan Kecepatan Pemakanan Keempat
- Lampiran 9. Program Metode Pemakanan Konvensional dengan Kecepatan Pemakanan Pertama
- Lampiran 10. Program Metode Pemakanan Konvensional dengan Kecepatan Pemakanan Kedua
- Lampiran 11. Program Metode Pemakanan Konvensional dengan Kecepatan Pemakanan Ketiga
- Lampiran 12. Program Metode Pemakanan Konvensional dengan Kecepatan Pemakanan Keempat
- Lampiran 13. Gambar cetak untuk C1, sisi I dengan *roughness tester*
- Lampiran 14. Gambar cetak untuk C1, sisi IV dengan *roughness tester*
- Lampiran 15. Gambar cetak untuk C2, sisi I dengan *roughness tester*
- Lampiran 16. Gambar cetak untuk C2, sisi IV dengan *roughness tester*
- Lampiran 17. Gambar cetak untuk C3, sisi I dengan *roughness tester*

- Lampiran 18. Gambar cetak untuk C3, sisi IV dengan *roughness tester*
- Lampiran 19. Gambar cetak untuk C4, sisi I dengan *roughness tester*
- Lampiran 20. Gambar cetak untuk C4, sisi IV dengan *roughness tester*
- Lampiran 21. Gambar cetak untuk K1, sisi III dengan *roughness tester*
- Lampiran 22. Gambar cetak untuk K1, sisi II dengan *roughness tester*
- Lampiran 23. Gambar cetak untuk K2, sisi I dengan *roughness tester*
- Lampiran 24. Gambar cetak untuk K2, sisi IV dengan *roughness tester*
- Lampiran 25. Gambar cetak untuk K3, sisi I dengan *roughness tester*
- Lampiran 26. Gambar cetak untuk K3, sisi IV dengan *roughness tester*
- Lampiran 27. Gambar cetak untuk K4, sisi I dengan *roughness tester*
- Lampiran 28. Gambar cetak untuk K4, sisi IV dengan *roughness tester*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Berdasarkan tuntutan untuk memenuhi kebutuhan manusia yang semakin tinggi dan kompleks dalam pengadaan suatu proses permesinan benda kerja, maka perlu adanya rekayasa teknologi. Apalagi, ada hal-hal yang penting dan mendesak sehingga mendorong manusia untuk menciptakan alat baru. Contohnya, peningkatan produktivitas dan kualitas dari suatu benda kerja dan bersamaan dengan itu terjamin pula keamanan dan keselamatan kerjanya. Hal yang menyangkut kualitas benda kerja sendiri antara lain : ketelitian benda kerja, kekasaran permukaan, suaian (kerataan, kesilindrisan, kesikuan, kesejajaran, dan lain-lain). Sedangkan keamanan dan keselamatan kerja bisa berhubungan dengan putaran spindel terhadap gerakan benda kerja, kondisi dan kedudukan alat potong, cara pengoperasian mesin dan posisi dari operator, alat-alat bantu yang harus digunakan dalam permesinan dan alat-alat keselamatan yang dipakai oleh operator.

CNC adalah suatu sistem berbasis mikroprosesor untuk menyimpan dan memproses data bagi kontrol gerakan luncur dan fungsi-fungsi bantu dari mesin-mesin perkakas. Sistem CNC adalah jantung dan otak dari mesin CNC yang memungkinkan pengoperasian bagian-bagian mesin yang beraneka macam seperti luncuran, spindle, dan lain-lain sebagai tiap deretan terprogram yang dimasukkan ke dalamnya, tergantung dari operasi permesinan.

Keunggulan utama sistem CNC telah menampik kenyataan bahwa ketrampilan operator sampai sekarang dibutuhkan meskipun sudah terbukti dalam pengoperasian mesin konvensional dan lagi pengerjaan barang-barang telah dibuat secara otomatis. Ini berarti kesalahan-kesalahan pengerjaan akibat ketidakteelitian dari operator dapat diminimalkan, juga lebih dikhususkan pada proses pengerjaan secara massal dengan benda kerja yang berukuran kecil sampai menengah.

Mesin CNC ini dapat membuat bentukan-bentukan yang rumit, hanya tinggal memberikan nilai masukan beserta fungsi-fungsi bantuannya. Agar dapat melakukan pengoperasian mesin dengan baik, langkah pertama ialah mendapatkan pemahaman dasar mengenai pemrograman dan karakteristik mesin CNC. Adakalanya perlu melakukan suatu uji coba secara praktek untuk membantu memberikan gambaran yang jelas tentang prinsip kerja mesin CNC.

Namun, mampukah mesin CNC beroperasi secara maksimal? Penelitian ini mungkin akan memberikan sedikit jawaban. Pengoperasian dengan mesin CNC di dalam penelitian ini untuk membuktikan dua masalah, diantaranya mengenai gerakan pemakanan dan fasilitas kompensasi radius pisau iris. Bila gerakan pemakanan yang dipilih benar, maka dapat menghasilkan penyelesaian permukaan yang lebih baik. Demikian juga dengan kompensasi radius pisau iris yang berhubungan dengan masukan suatu nilai pada data pisau iris untuk keperluan ketelitian pengukuran dalam suatu pengerjaan. Sehingga pengetahuan ini dapat digunakan untuk memperoleh hasil pengerjaan yang lebih baik dan teliti.

I.2 Permasalahan

1. Bagaimana pengaruh metode pemakanan, baik secara mendaki maupun konvensional terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja dengan proses pemotongan sisi ?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan pemakanan terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja pada masing-masing metode pemakanan dengan proses pemotongan sisi ?
3. Bagaimana pengaruh fasilitas kompensasi radius pisau iris terhadap penyimpangan ketelitian ukuran dengan proses pemotongan sisi pada benda kerja?

I.3 Pembatasan Masalah

1. Jenis dan bahan alat potong : pisau iris jenis *end mill finishing* ϕ 20 mm dengan bahan dari *HSS (high speed steel)*.
2. Material benda kerja : aluminium
3. Variabel :
 - tetap : putaran spindle (rpm) dan ϕ pisau iris
 - yang berubah : kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan

I.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh metode pemakanan, baik secara mendaki maupun konvensional terhadap kekasaran permukaan benda kerja dengan proses pemotongan sisi.

2. Mengetahui pengaruh kecepatan pemakanan terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja pada masing-masing metode pemakanan dengan proses pemotongan sisi.
3. Mengetahui pengaruh fasilitas kompensasi radius pisau iris terhadap penyimpangan ketelitian ukuran dengan proses pemotongan sisi pada benda kerja.

BAB II

DASAR TEORI

II.1 Mesin Frais Vertikal

Mesin frais vertikal adalah sebuah perkembangan relatif bila dibandingkan dengan mesin frais horizontal. Mesin frais vertikal pertama muncul sekitar tahun 1860-an. Mesin frais vertikal dikembangkan lebih menyerupai mesin bor daripada mesin frais dengan pencekam horizontal. Perbedaan mendasar antara mesin bor dan mesin frais vertikal perintis adalah pemasangan pencekam, puli dan elemen lainnya yang berputar secara vertikal. Susunan ini mengartikan bahwa bantalan yang menumpu alat potong selalu berada di dekatnya.

Langkah penting selanjutnya muncul di pertengahan tahun 1880 dengan perubahan “lutut dan kolom” dari mesin frais horizontal. Hal ini diikuti pula pada bagian meja yang dibesarkan dan direndahkan dalam berhubungan dengan pencekam. Juga, kepala pencekam dari beberapa mesin ini dapat dimiringkan ke arah anguler dari meja itu sendiri.

Baru setelah peralihan abad ke-21, mesin-mesin frais vertikal mulai bermunculan dengan tenaga pemakanan pada pencekam. Selama periode itu, mikrometer dan skala vernier ditambahkan pada mesin frais vertikal untuk menjadikannya pantas bagi penempatan lubang secara tepat, yang dikenal sebagai *Jig Boring*.

Penyempurnaan pada desain mesin frais vertikal setelah tahun 1910 kebanyakan berhubungan dengan penggerak dan mekanisme kontrol. Mesin-

mesin dengan gerakan meja otomatis mulai bermunculan dan pada tahun 1920 mekanisme servo elektrik digunakan pada mesin frais vertikal untuk pengerjaan seperti *diesinking*. Tahun 1927, pengontrolan gerak hidrolis telah dikembangkan dan ditambahkan pada mesin-mesin frais vertikal.

Sistem kontrol, tidak hanya terbatas pada mesin-mesin frais vertikal, telah dikembangkan juga pada mesin CNC untuk menggiatkan pergerakan kontrol.

Mesin frais vertikal standar adalah salah satu dari kebanyakan mesin perkakas serbaguna yang dapat ditemukan di bengkel permesinan. Dalam beberapa hal, mesin frais vertikal standar tetap lebih beraneka guna daripada mesin bubut. Mesin pengerjaan ini dapat menyelesaikan banyak macam tugas permesinan termasuk frais, *drilling*, *boring*, dan *slotting*.

II.2 Mesin CNC DMC 63 V

Mesin CNC DMC 63V adalah mesin frais vertikal dengan penggerak otomatis yang dikontrol oleh seperangkat alat elektronik melalui program komputer yang menggunakan bahasa numerik dalam bentuk kode atau perintah. Kontrol dari mesin DMC 63V menggunakan TNC 430. Mesin CNC ini termasuk mesin dengan kapasitas besar yang mampu digunakan untuk proses frais yang meliputi frais permukaan, frais melingkar, frais miring, *hobbing*, frais profil, frais bentuk dan juga untuk proses *drilling* serta *boring* yang meliputi *spot facing*, *drilling dan boring*, *tapping dan threading*, *profile drilling*, serta *drilling of non-cylindrical holes*. Mesin CNC ini juga dilengkapi dengan *tool magazine* yang mampu menyimpan 24 *arbor*, *drill chuck* maupun *collet*, hal ini mempermudah

proses permesinan karena sudah tersedia 24 macam alat potong untuk mengerjakan berbagai bentuk benda kerja.

Mesin CNC DMC 63V dapat dioperasikan melalui 2 cara pengoperasian, yaitu :

1. Pengoperasian secara manual

Mesin CNC DMC 63V dioperasikan secara manual sama seperti pengoperasian mesin konvensional, dengan membaca pergerakan dari sumbu-sumbu mesin melalui layar monitor. Hal ini menuntut keahlian dari operator mesin untuk memahami gambar kerja dengan baik untuk menentukan gerakan dari alat potong agar hasil benda kerja sesuai yang diinginkan.

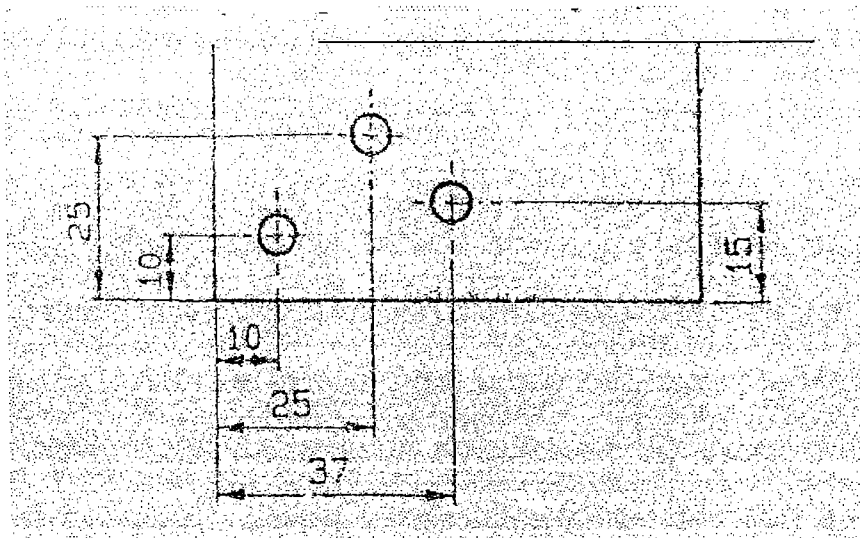
2. Pengoperasian dengan pemrograman CNC

Pengoperasian mesin CNC DMC 63 V dengan memasukkan perintah sistem komputer atau dengan bahasa yang dimengerti oleh mesin, yang disebut bahasa pemrograman. Bahasa pemrograman pada mesin ini bisa menggunakan bahasa pemrograman ISO, disimpan dengan tipe file *nama.I* dan juga bahasa pemrograman HEIDENHAIN, disimpan dengan tipe file *nama.H*. Ketelitian dalam pembuatan bahasa pemrograman sangat dibutuhkan agar mesin dapat berjalan sesuai dengan gerakan yang diinginkan dan didapat hasil benda kerja yang sesuai dengan bentuk, ukuran, dan kualitas permukaan yang baik.

Dalam membuat program ada 2 macam sistem koordinat kartesian yang digunakan, yaitu :

1. Sistem koordinat kartesian absolut

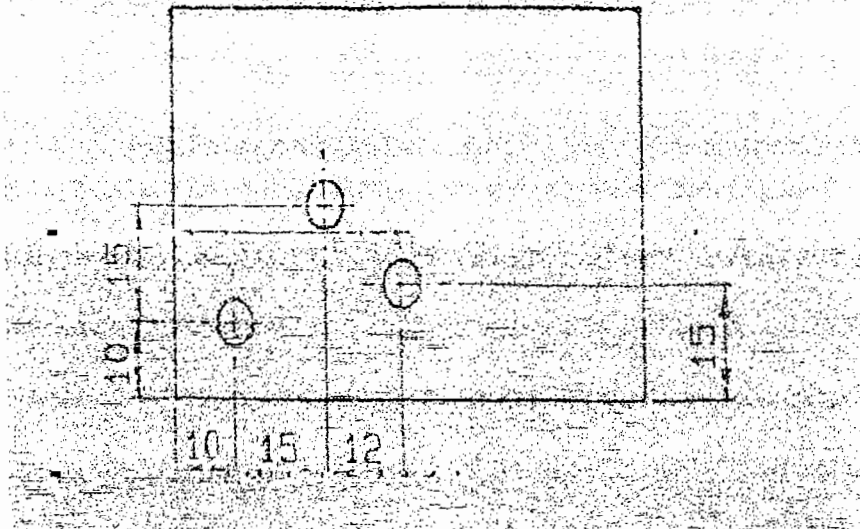
Sistem koordinat kartesian absolut adalah sistem pengukuran yang menggunakan satu titik referensi yang tetap, yang digunakan sebagai titik acuan untuk mengukur titik-titik selanjutnya.



Gambar 2.1. Sistem Koordinat Cartesian Absolut

2. Sistem koordinat kartesian inkremental

Sistem koordinat kartesian inkremental adalah sistem pengukuran dimana posisi terakhir dipakai sebagai titik referensi untuk titik selanjutnya.



Gambar 2.2. Sistem Koordinat Cartesian Inkremental

Di bawah ini ditunjukkan format program untuk mesin CNC DMC 63V dengan bahasa pemrograman HEIDENHAIN.

N L/FK/CHF/RND/C/CC/CR/CT X Y Z R F M

Keterangan :

N : Nomor blok.

L : Gerakan garis lurus.

FK : Gerakan bebas, tanpa diketahui koordinat yang dituju.

CHF : *Chamfer*, antara dua garis lurus.

RND : Lingkaran pada sudut.

C : Bagian dari program gerak melingkar.

CC : Pusat dari gerakan melingkar atau kutub untuk koordinat polar.

CR : Gerakan melingkar dengan radius yang diketahui.

CT : Gerakan melingkar dengan pertemuan tangensial.

- X : Gerakan arah koordinat sumbu X, dalam satuan mm.
- Y : Gerakan arah koordinat sumbu Y, dalam satuan mm.
- Z : Gerakan arah koordinat sumbu Z, dalam satuan mm.
- R : Kompensasi radius pisau iris, R_0 bila tanpa kompensasi radius, R_L bila kompensasi radius kiri, dan R_R bila kompensasi radius kanan.
- F : Kecepatan gerak pemakanan, dalam satuan mm/menit.
- M : Fungsi tambahan (*Miscellaneous function*).

II.3 Pengaruh Pemakanan Konvensional dan *Climb* pada Mesin Frais

Pada mesin frais horizontal, arah pemakanan benda kerja dapat searah juga dengan arah putaran alat potong ataupun berlawanan arah. Ketika arah pemakanan berlawanan dengan arah putaran alat potong, ini disebut pemakanan konvensional atau frais yang naik. Untuk arah pemakanan yang searah dengan arah putaran alat potong, ini disebut pemakanan mendaki atau frais yang turun, karena alat potong mencoba untuk menanjak di atas benda kerja selama pemakanan terjadi.

Selama bertahun-tahun, para pemakai disarankan untuk menggunakan proses frais konvensional atau frais yang naik karena ketidakmampuan mesin untuk mengurangi reaksi alat potong yang dibuat secara mendaki.

Dalam proses frais, gaya diperlukan untuk menghasilkan deformasi plastik pada tatal yang dipindahkan. Gaya ini bergantung pada kekerasan material, penampang melintang tatal dan ketajaman sisi potong.

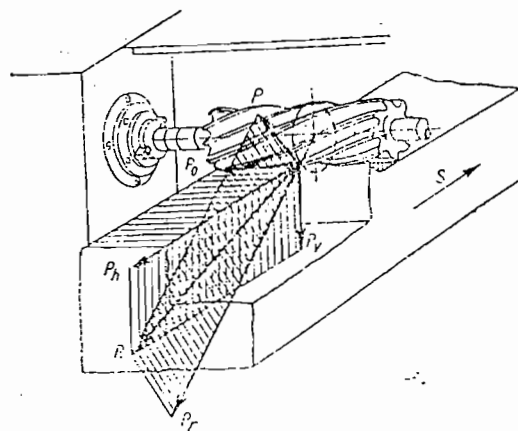
Di samping itu, gaya juga diperlukan untuk menghasilkan gesekan dalam aksi penggosokan tatal pada muka gigi pisau iris dan menggesek benda kerja pada

landasan bebas yang melakukan kontak dengan permukaan yang dikerjakan. Gaya gesek bergantung pada geometri pisau iris dan dapat diabaikan ketika dimensi yang dipilih cocok.

Total gaya yang diperlukan dalam frais terdiri dari seluruh gaya ini dan harus tersedia bagi mesin frais untuk mempengaruhi proses pemotongan.

Gambar 2.3 menunjukkan bagan gaya yang dihasilkan oleh gigi pisau iris pada frais. Salah satu gaya ini diarahkan sepanjang garis singgung pisau iris dan disebut komponen tangensial dengan lambang P . Gaya lainnya diarahkan sepanjang radius pisau iris dan disebut komponen gaya arah radial dengan lambang P_r . Gaya R diperoleh dari resultan komponen P dan P_r . Resultan gaya R dapat dipecah ke dalam sebuah komponen gaya arah horisontal P_h dan sebuah komponen vertikal P_v .

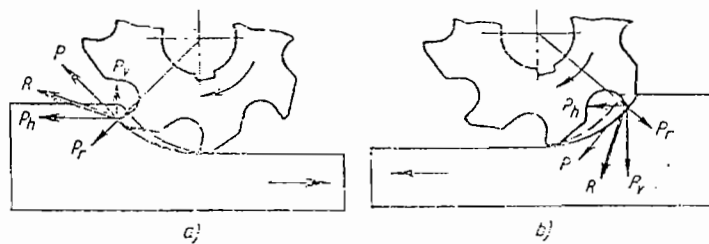
Dari seluruh gaya-gaya ini, gaya tangensial P , komponen gaya arah horisontal P_h dan komponen gaya arah vertikal P_v merupakan sarana paling penting dalam perhitungan.



Gambar 2.3 Gaya-gaya yang Dihasilkan dalam Frais.
(Sumber: S. Avrutin, *Fundamentals of Milling Practice*, hal 98)

Gaya tangensial P digunakan untuk menghitung daya yang dibutuhkan dalam frais. Namun, gaya P_h dan P_v digunakan menurut jenis pengerjaan fraisnya.

Pada mesin frais horizontal, pengerjaan frais secara konvensional (Gambar 2.4a) menyebabkan komponen vertikal P_v mengarah ke atas dan cenderung untuk mengangkat benda kerja yang dicekam di dalam tanggem. Selain itu, gaya P_v menyebabkan mesin bergetar karena besaran gaya itu berubah dari nol hingga mencapai nilai maksimum seiring dengan ketebalan tatal. Dalam hal ini, gaya P_v merugikan proses frais.



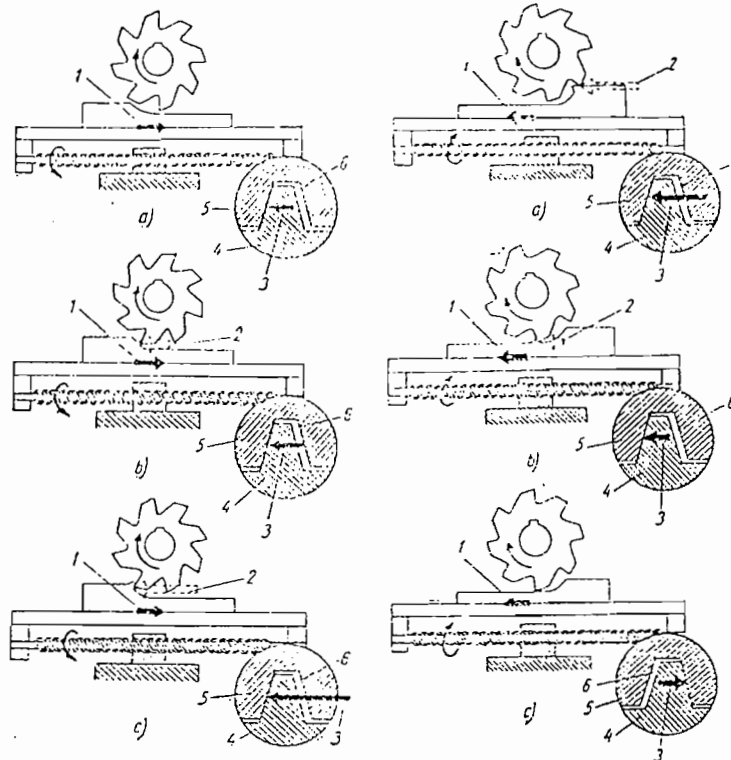
Gambar 2.4 Arah Gaya-gaya dalam Frais.

(Sumber: S. Avrutin, *Fundamentals of Milling Practice*, hal 98)

Gaya horisontal P_h terjadi dalam arah melawan pergerakan meja. Oleh karena itu, mekanisme gerak pemakanan meja (tenaga *lead screw* dan *nut*) perlu memanfaatkan gaya P_h . Selama pergerakan meja menjadi bebas dalam proses frais, reaksi terhadap gerakan itu harus dimunculkan. Ulir dari tenaga *screw* dan *nut* saling menahan dan melawan satu sama lain. Reaksi yang terjadi diantara mereka tidak menimbulkan pengaruh yang merugikan karena dapat dihilangkan oleh gaya P_h .

Pada pengerjaan frais secara mendaki (Gambar 2.4b), komponen gaya arah vertikal P_v mengarah ke bawah sehingga menekan benda kerja dan melawan pergerakan meja. Dalam hal ini, gaya P_v meningkatkan kondisi pengerjaan. Komponen gaya arah horisontal P_h terjadi dalam arah yang sama dengan arah pergerakan meja. Ketika metode pengerjaan frais ini digunakan, arah putaran pisau iris dan gerak pemakanan meja menjadi searah. Namun, semenjak putaran pisau iris semakin cepat bila dibandingkan dengan gerak pemakanan meja, gigi pisau iris menarik benda kerja yang dicekam sehingga menimbulkan sejumlah reaksi diantara tenaga batang *screw* dan perhentian pemotongan kemudian gaya P_h akan menghilang. Meja berhenti sebentar sampai batang *screw* mengambil alih reaksi tersebut baru kemudian meja mengulangi gerakannya kembali. Pada waktu yang bersamaan, gigi lain pada bagian pisau iris akan melawan kelembaman logam dan gaya P_h muncul kembali. Gaya ini akan menarik benda kerja yang tercekam di meja mesin yang kemudian berganti menjadi hentakan akibat sejumlah reaksi. Oleh karena itu, setiap kali terjadi hentakan ke depan pasti diikuti oleh berhentinya meja sehingga pengoperasian akan menjadi tidak seimbang dan tersendat-sendat pada hentakan berikutnya.

Gambar 2.5 dan 2.6 secara skematik menggambarkan kedua metode frais.



Gambar 2.5 Gaya-gaya yang
Dihasilkan pada Frais
Konvensional:

1 – arah gerakan meja, 2 – arah dan besarnya gaya potong, 3 – arah gaya pada ulir tenaga batang *screw* dan *nut*, 4 – tenaga batang *screw*, 5 – *nut*, 6 – reaksi diantara ulir

Gambar 2.6 Gaya-gaya yang
Dihasilkan pada Frais
Mendaki:

1 – arah gerakan meja, 2 – arah dan besarnya gaya potong, 3 – arah gaya pada ulir tenaga batang *screw* dan *nut*, 4 – tenaga batang *screw*, 5 – *nut*, 6 – reaksi diantara ulir

(Sumber: S. Avrutin, *Fundamentals of Milling Practice*, hal 100)

Pada frais konvensional (Gambar 2.5), arah gerakan gigi pisau iris melawan gerakan benda kerja dimulai dari ketebalan minimum dan pada awalnya cenderung menggelincir pada permukaan yang dipotong. Tenaga batang *screw* dijalankan oleh mekanisme pemakanan. Bantalan yang berada di sebelah kiri batang *screw* melawan gaya yang bekerja pada ulir *nut* sehingga mengurangi reaksi yang timbul (Gambar 2.5a).

Ketika gigi pisau iris mulai masuk dan memotong logam, gaya potongnya meningkat dan menahan kontak kedua sisi ulir dari batang *screw* dan *nut* (Gambar 2.5b). Pada saat gigi pisau iris mulai meninggalkan benda kerja, gaya potong mencapai titik maksimumnya sekaligus tetap menjaga kontak kedua sisi ulir (Gambar 2.5c). Setelah gigi pisau iris meninggalkan benda kerja dan gigi berikutnya masuk, gaya potong menghilang untuk sementara waktu tetapi ulir tetap melakukan kontak (lihat Gambar 2.5a) dan gigi berikutnya mulai memotong tanpa adanya hentakan.

Di dalam frais mendaki (Gambar 2.6), arah gerakan gigi pisau iris melawan gerakan benda kerja dimulai dari ketebalan tatal maksimum dan arah gaya potong menekan benda kerja sehingga meja bergerak ke depan. Jika muncul reaksi diantara ulir tenaga batang *screw* dan *nut*, meja dan batang *screw* akan bergeser ke kiri dengan sejumlah reaksi (Gambar 2.6a).

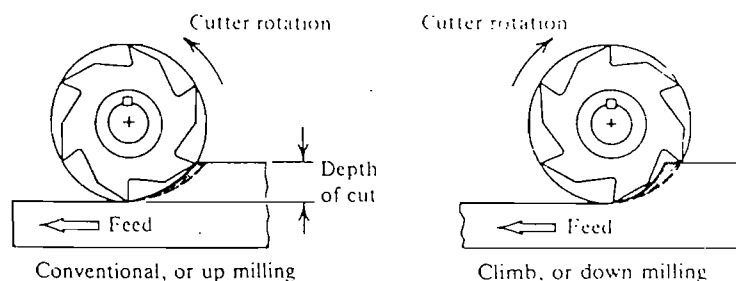
Secara berangsur-angsur gigi pisau iris meninggalkan benda kerja sambil terus menurunkan gaya potong untuk menekan gerakan meja ke depan tanpa mengubah lokasi timbulnya reaksi diantara ulir-ulir tersebut (Gambar 2.6b).

Pada saat gigi pisau iris meninggalkan benda kerja, gaya potong menghilang dan gigi itu tidak lama kemudian akan menekan benda kerja beserta mejanya. Meja berhenti sesaat sampai sisi kanan dari bantalan ulir *screw* melawan *nut* dan mulai menggerakkan meja kembali. Jadi, reaksi yang timbul itu akan bergeser ke sisi kiri ulir (Gambar 2.6c). Pada saat gigi pisau iris berikutnya melawan benda kerja, gaya potong yang besar akan terjadi kembali dan meja akan bergeser lagi (lihat Gambar 2.6a) dengan memindahkan reaksi ke sebelah kanan

ulir tersebut. Hal ini menimbulkan hentakan pada benda kerja dan getaran mesin. Oleh karena itu, reaksi yang terjadi di dalam batang *screw* dan *nut* membawa kerugian pada kasus ini dan tidak dapat dimaklumi dalam pengerjaan frais mendaki. Namun, hal itu hanya mungkin dapat dikerjakan pada mesin yang dilengkapi dengan alat penghapus reaksi.

Pada saat yang sama, metode frais mendaki, seperti telah dicatat di atas, menjadi lebih produktif daripada frais konvensional dengan kemampuannya beroperasi pada kecepatan pemakanan dan kecepatan potong yang lebih tinggi serta menghasilkan penyelesaian permukaan yang lebih baik.

Selama pengoperasian, pengaruh yang dihasilkan oleh kedua komponen resultan gaya R harus dipertimbangkan dengan seksama. Besarnya komponen gaya arah horisontal P_h sangat menentukan gaya yang diperlukan bagi gerakan pemakanan meja, sedangkan komponen gaya arah vertikal P_v pada frais mendaki bertujuan untuk menahan benda kerja; melawan arah gerakan mesin atau alat pengekanan benda kerja. Sebaliknya, komponen vertikal P_v pada frais konvensional bertujuan untuk mengangkat benda kerja dari meja atau menariknya keluar dari pengekanan.



Gambar 2.7 Frais Secara Konvensional (a) dan Mendaki (b)
(Sumber: S. Avrutin, *Fundamentals of Milling Practice*, hal 82)

Pada pengerjaan frais secara konvensional (Gambar 2.7a), gigi pisau iris tidak memulai pemotongan pada titik A. Melainkan cenderung untuk menggelincir dalam satuan jarak lintasan permukaan yang dikerjakan per menit oleh gigi pisau iris sebelumnya. Dengan bergantung pada pegas *arbor*, tingkat deformasi logam yang digunakan, putaran pisau iris, dan ketajaman sisi potong, gerak menggelincir ini akan berlanjut hingga mencapai ketebalan lapisan logam sebelum gigi itu dapat mencegah selip lebih lanjut. Pendinginan yang banyak dibutuhkan untuk menghilangkan panas yang muncul dari gerakan menggelincir. Pada kenyataannya, gerakan gigi pisau iris dari metode frais ini mempunyai kelemahan khusus yaitu saat suatu gigi mulai bergerak pada landasan bebas sebelum gigi di depannya mengangkat logam.

Pada pengerjaan frais mendaki, (Gambar 2.7b) kedudukan gigi pisau iris mengangkat logam berada pada titik B, yaitu pada titik maksimum dari ketebalan tatal dan meninggalkan benda kerja pada titik A, yaitu pada titik minimum dari ketebalan, jadi gigi pisau iris hanya melakukan pemotongan sekali tanpa menggelincir. Dalam metode ini panas yang muncul lebih sedikit dan landasan bebas yang dipakai juga lebih sedikit sehingga mengijinkan penggunaan kecepatan tinggi dalam proses frais.

Meskipun proses pengerjaan frais turun merupakan suatu metode yang maju, namun metode ini hanya dapat digunakan ketika tidak terjadi reaksi di dalam mekanisme pemakanan meja (batang *screw* dan *nut*) serta benda kerjanya dicekam dengan kuat. Metode ini tidak dapat digunakan untuk bahan coran yang

kasar atau bahan yang ditempa karena kulitnya yang keras dapat menumpulkan gigi pisau iris dengan cepat.

Kecepatan tinggi dalam proses frais dengan menggunakan pisau iris jenis sisi mestinya dilakukan secara frais mendaki jika tidak terdapat reaksi di dalam mekanisme pemakanan meja.

Gaya Aksial

Pisau iris frais dengan gigi-gigi beralur miring menghasilkan suatu gaya aksial. Penentuan arah alur spiral dan arah potongnya bergantung pada aturan tangan. Gaya aksial juga cenderung untuk menarik keluar *arbor* dan pisau iris dari pencekam dan / atau sebaliknya untuk memandunya supaya lebih rapat ke dalam pencekam itu.

Dengan aturan alur spiral tangan kanan dan aturan pisau iris tangan kiri atau dengan aturan alur spiral tangan kiri dan aturan pisau iris tangan kanan, gaya aksial diarahkan ke depan hidung pencekam dan hal itu merupakan aturan yang benar.

Aliran tatal harus diarahkan ke atas dalam pengoperasian *end mill* sehingga dipilihlah aturan pisau iris tangan kanan dengan aturan alur spiral tangan kanan atau aturan pisau iris tangan kiri dengan aturan alur spiral tangan kiri.

Alur spiral dari pisau iris jenis *end mill* dapat memungkinkannya untuk lepas dari *collet* renggang ketika harus membuat pemotongan tebal atau ketika pisau iris ini menjadi tumpul.

Pengaruh Gaya Potong

Dilihat dari bentuk geometrinya secara relatif, dua bentuk hasil frais memiliki perbedaan dalam gaya potongnya. Pada frais naik, pembentukan tatal dimulai dari bagian yang sangat tipis dari gigi pisau iris dan setelah itu ketebalannya semakin ditingkatkan selama proses pemotongan. Pada frais turun, setiap tatal yang terbentuk dimulai dari suatu ketebalan maksimum dan ketebalan itu semakin dikurangi selama pemotongan. Panjang tatal pada proses frais turun lebih kecil dari frais naik. Ini berarti bahwa benda kerja yang tertarik menuju pisau iris membutuhkan waktu yang lebih sedikit per volume material potong, dan hal ini menyebabkan peningkatan umur alat potong.

Gaya potong dapat mengakibatkan defleksi pada *arbor* dari pisau iris sehingga pisau iris dapat lepas dari *arbor* atau benda kerja dapat terlepas dari tanggemnya; aksi ini menyebabkan bunyi gemeretak dan bahkan merusak mesin seperti halnya gangguan lain yang dijumpai pada permesinan.

Itu sebabnya diperlukan cara tepat untuk menentukan semua gaya yang bekerja di dalam frais dan menyesuaikan besaran gaya itu. Hal itu menjadi pertimbangan dalam memilih pisau iris, *arbor* dan pencekaman tanggem yang cocok serta mesin frais yang menyediakan daya dan kekakuan yang cukup bagi penanganan suatu pekerjaan.

II.4 Kecepatan Potong, Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Pemotongan

II.4.1 Kecepatan Potong

Kecepatan potong atau *cutting speed* (CS) dalam proses milling adalah kecepatan dimana suatu titik dari sisi pisau iris melewati sebuah titik pada benda kerja dalam suatu periode waktu. Kecepatan potong adalah faktor yang sangat penting di semua pengerjaan mesin. Untuk putaran pisau iris dari frais, CS dinyatakan sebagai fungsi dari putaran pisau iris dengan Persamaan 2.1⁽¹⁾ berikut:

$$n = \frac{CS}{\pi \cdot d} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana,

- n = putaran pencekam, satuannya: rpm
- CS = kecepatan potong, satuannya: mm/mnt
- d = diameter pisau iris, satuannya: mm

Kecepatan potong dipengaruhi oleh bahan alat potong, bahan benda kerja, pengaturan ketahanan mesin, dan penggunaan media pendinginan. Suatu kebiasaan, bahwa kecepatan potong yang lebih rendah digunakan untuk bahan yang keras dan getas atau dilakukan pemotongan yang tebal dan hal itu dapat terjadi untuk meminimalkan pemakaian alat potong serta memperpanjang umur pakai alat potong. Kecepatan potong yang lebih tinggi digunakan dalam permesinan untuk bahan yang lebih lunak dengan tujuan mencapai penyelesaian permukaan yang lebih baik. Kecepatan potong yang tinggi perlu ditambahkan ketika menggunakan diameter pisau iris yang kecil untuk pemakanan yang sedikit pada benda kerja yang lunak. Tabel 2.1 memberikan nilai awal dari material yang

¹ Mikell P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, hal. 607.

biasa digunakan. Nilai ini mungkin harus ditambahkan atau dikurangi bergantung pada tugas mesin-mesin tertentu.

Tabel 2.1 Kecepatan Potong (f_z/mnt) untuk Beberapa Bahan yang Sering Digunakan

Work Material	Tool Material						
	High-Speed Steel	Uncoated Carbide	Coated Carbide	Cermet	Ceramic	CBN	Diamond
Aluminum							
Low silicon	300-800	700-1400					1000-5000
High silicon							500-2500
Bronze	65-130	500-700					1000-3000
Gray cast iron	50-80	250-450	350-500	400-1000	700-2000	700-1500	
Chilled cast iron					250-600	250-500	
Low-carbon steel	60-100	250-350	500-900	500-1300	1000-2500		
Alloy steel	40-70		350-600	300-100	500-1500	250-600	
Tool steel	40-70		250-500		500-1200	150-300	
Stainless steel							
200 and 300 series	30-80	100-250	400-650		300-1100		
400 and 500 series			250-350		400-1200		
Nonmetallies		400-600					400-2000
Superalloys		70-100	90-150		500-1000	300-800	

(Sumber : Richard R. Kibbe, *Machine Tool Practices*, hal 568)

II.4.2 Kecepatan Pemakanan

Faktor yang sama penting lainnya dalam keselamatan dan efisiensi permesinan adalah kecepatan pemakanan. Kecepatan pemakanan (f_z) adalah kecepatan dimana benda kerja bergerak menuju pisau iris atau pisau iris yang bergerak menuju benda kerja. Setiap gigi pisau iris yang mengalami proses pengurangan bahan bergantung pada kecepatan pemakanan. Ketebalan total mempengaruhi umur pakai pisau iris frais. Kecepatan pemakanan yang berlebihan dapat menyebabkan sisi potong menjadi sumbing atau pisau iris pecah. Pada sisi lain, penambahan kecepatan pemakanan tiap gigi praktis akan memberikan perpanjangan umur pakai alat potong sambil dilakukan pengasahan. Kecepatan

pemakanan dalam frais diukur dalam mm per menit dan dihitung dengan Persamaan 2.2⁽²⁾ berikut ini :

$$f = f_z \times n \times z \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana : f = kecepatan pemakanan, dalam mm per menit

f_z = feed per gigi, dalam mm/gigi

Untuk material Al dengan alat potong HSS, f_z : 0,008 – 0,15 mm/gigi. Namun diambil rata-ratanya yaitu $f_z = 0,1$ mm/gigi.

z = jumlah gigi pisau iris

Alat potong pada penelitian ini mempunyai 4 gigi potong.

n = putaran pencekam, dalam rpm

II.4.3 Meningkatkan Kecepatan Pemakanan

Ketika pemotongan material yang menghasilkan gulungan tatal dilakukan, besarnya temperatur alat potong telah menunjukkan bahwa daerah terpanas bukan terletak di sebelah kanan sisi potong, seperti yang mungkin diperkirakan. Agaknya, daerah terpanas berada di belakang sisi itu tepatnya di dalam daerah dimana celah sayatan terbentuk. Daerah temperatur tinggi ini cenderung berpindah jauh ke belakang sisi potong selama kecepatan pemakanan bertambah dan menghampiri sisi potong selama kecepatan pemakanan berkurang.

Hal ini menyiratkan bahwa jika kecepatan pemakanan terlalu rendah, panas itu akan terkonsentrasi juga mendekati sisi potong, sehingga mempercepat pengasahan. Meningkatkan kecepatan pemakanan pada kondisi seperti ini akan memindahkan daerah panas maksimum menjauhi sisi potong dan sebenarnya meningkatkan umur pakai alat potong dalam menit per sisi.

Kesalahan menentukan kecepatan pemakanan menimbulkan sejumlah gejala yang tidak baik. Kecepatan pemakanan yang terlalu rendah seringkali mengungkapkan suatu masalah dalam pengontrolan tatal. Umur pakai alat yang

² Roy A. Lindberg, *Processes and Materials of Manufacture*, hal. 328.

sangat pendek pada kecepatan permukaan yang dipilih berdasarkan data yang ada dan material benda kerja, seringkali menunjukkan kecepatan pemakanan yang terlalu tinggi. Ketidaknormalan bentuk tatal dan kerusakan sisi potong dapat juga menjadi hasil dari pemakanan yang berlebihan.

II.4.4 Kedalaman Pemotongan

Faktor ketiga yang harus dipertimbangkan dalam menggunakan *end mill* adalah kedalaman pemotongan. Kedalaman pemotongan dibatasi oleh seberapa banyak bahan yang perlu dihilangkan dari benda kerja, tenaga yang tersedia pada pencekam mesin, kekerasan benda kerja, alat potong dan penempatannya. Sebagai aturannya, kedalaman pemotongan untuk *end mill* tidak seharusnya melebihi satu setengah kali diameter alat potong dari baja. Pada logam yang lebih lunak, kedalaman pemotongan dapat lebih besar. Ketika menggunakan *end mill* jenis tugas berat, kedalaman pemotongan dapat menjadi 1,5 kali diameter pisau iris dan lebar pemotongannya 1,5 kali diameter pisau iris. Tetapi, jika pemotongan dilakukan semakin dalam, kecepatan pemotongannya perlu dikurangi untuk mencegah kerusakan alat. *End mill* harus tajam dan bekerja secara konsentris di dalam pemegang *end mill*.

II.5 Jenis dan Material Alat Potong

Keanekaragaman pemotongan logam pada mesin frais vertikal dapat direalisasikan dan dikembangkan dengan suatu pengertian, pemberian identifikasi dan pemilihan jenis-jenis pisau iris frais yang tersedia bagi mesin frais vertikal.

Jenis-jenis alat potong yang digunakan pada mesin frais vertikal antara lain: *end mill HSS* dan *end mill inserted tip*.

Alat potong jenis *end mill HSS (High Speed Steel)* paling sering digunakan pada mesin frais vertikal. Dinamakan *end mill* karena pemakanan utama dari alat ini terletak pada ujungnya. *End mill* mempunyai dua, tiga, atau empat alur bahkan lebih dan dapat beralur kiri atau kanan. Pada pisau iris alur kanan proses pemotongannya terjadi bila pisau iris diputar berlawanan arah jarum jam. Proses pemotongan pisau iris beralur kiri terjadi bila diputar searah jarum jam. *End mill* beralur tiga merupakan gabungan antara kemampuan membuat tatal banyak seperti *end mill* beralur dua dengan kemampuan membuat *finishing* seperti *end mill* beralur empat. *End mill* beralur dua dapat digunakan untuk membuat lubang, karena dapat membuat lubang awalan sendiri. Pada *end mill* beralur empat yang mempunyai pusat pemotong dapat juga digunakan untuk membuat lubang tanpa awalan karena di tengah-tengah mata potongnya terdapat sisi potong. Untuk *end mill* beralur empat yang mempunyai lubang pada pusat pemotongnya tidak dapat digunakan untuk membuat lubang tanpa proses awalan atau pembuatan lubang yang lebih kecil.

Pisau iris *end mill HSS* adalah pisau iris yang umum digunakan untuk mesin frais vertikal. Bentuk *end mill* dapat bermacam-macam seperti bentuk tirus, radius luar, radius dalam, alur ekor burung, alur T dan *fly-cutter (single lip cutter)*.

Suatu alat potong dapat juga memiliki bahan yang bermacam-macam antara lain: *HSS (High Speed Steel)*, *Carbide* dan *Coated Carbide*.

HSS diperkenalkan pada tahun 1900 oleh Taylor dan White, dimana kedudukan *HSS* lebih keras dari *tool steel* (adalah baja karbon atau campuran baja menengah atau campuran baja rendah yang mengandung 0,9 – 1,3 % karbon yang dikeraskan dan di-*temper*) dan tahan hingga temperatur 1100° F. Ia dapat dioperasikan sampai dua kali kecepatan potong *carbon steel* dengan umur pakai yang sama sehingga material ini dinamakan *High Speed Steel* atau baja kecepatan tinggi (DeGarmo, 1997).

Bahan *HSS* dibagi dua jenis lagi, yaitu :

- Jenis *tungsten*, disingkat *T-grades* (Kelas T) oleh AISI (American Iron and Steel Institute).

Jenis ini menggunakan *tungsten* (W) sebagai unsur pokok (12 % s/d 20 %). Bahan tambahan lainnya adalah *chromium* (Cr ; 4 %) dan *vanadium* (V ; 1 % s/d 2 %). *HSS* terbaik dari jenis ini adalah T1 atau *HSS* 18 – 4 – 1, yang terdiri 18 % W, 4 % Cr dan 1 % V.

- Jenis *molybdenum*, disingkat *M-grades* (Kelas M) oleh AISI.

Jenis ini terdiri dari perpaduan *tungsten* (W ; 6 %) dan *molybdenum* (Mo ; 5 %) ditambah dengan tambahan bahan lainnya seperti kelas T. Untuk menambah *hot hardness* ditambahkan unsur *cobalt* (Co ; 5 % s/d 8 %).

HSS juga mengandung karbon (0,75 % s/d 1,5 %). Fungsi bahan tambahan dalam *HSS* adalah sebagai berikut :



Tabel 2.2 Bahan-bahan Tambahan dalam HSS

Bahan Tambahan	Fungsinya di dalam HSS
<i>Tungsten</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Menambah <i>hot hardness</i> – Memperbaiki ketahanan terhadap abrasi melalui pembentukan karbid-karbid keras di dalam HSS
<i>Molybdenum</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Menambah <i>hot hardness</i> – Memperbaiki ketahanan terhadap abrasi melalui pembentukan karbid-karbid keras di dalam HSS
<i>Chromium</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Menambah kemampuan pengerasan dalam proses <i>heat treatment</i> (perlakuan panas) – Memperbaiki ketahanan terhadap abrasi melalui pembentukan karbid-karbid keras di dalam HSS – Menambah ketahanan terhadap korosi
<i>Vanadium</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Berpadu dengan karbon, menambah keawetan – Memperlambat pengembangan butiran untuk sifat liat yang lebih baik
<i>Cobalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Menambah <i>hot hardness</i>
<i>Carbon</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Elemen utama dalam pengerasan baja – Menyediakan karbon yang diperlukan untuk pembentukan karbid dalam proses pencampuran elemen-elemen untuk meningkatkan keawetan

HSS sangat tepat untuk digunakan dalam pembuatan geometri alat potong yang rumit seperti bor, tap dan pisau iris frais. Peralatan rumit ini jauh lebih mudah dan lebih murah pembuatannya dengan HSS dibandingkan dengan material

alat potong yang lain. Alat – alat potong tersebut dapat diproses melalui perlakuan panas sehingga kekerasan ujung potongnya menjadi lebih baik (65 HRC) sementara di bagian dalamnya masih tetap ulet. Pisau iris *HSS* mempunyai keuletan yang lebih baik dibandingkan dengan alat potong *cemented carbide*. Sekalipun menggunakan alat potong bermata tunggal, pemakaian *HSS* juga lebih dikenal karena pembentukan geometri alat potongnya lebih mudah sesuai dengan yang diinginkan (Groover, 1996).

II.6 Material Benda Kerja

Aluminium (Al) merupakan unsur logam yang cukup banyak terdapat di alam. Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809, dan pertama kali direduksi menjadi logam oleh Hans Christian Oersted tahun 1825. Pada tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C.M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina melalui proses elektrolisa. Bahan dasarnya adalah berupa bauksit yang umumnya banyak ditemukan di daerah tropis dan daerah sub-tropis yang memiliki curah hujan tinggi. Bauksit terbentuk dari proses pelapukan (*weathering*) batuan beku.

Penggunaan Al meningkat setiap tahun dan menempati urutan kedua setelah logam *ferro* (besi dan baja). Penggunaan Al merupakan yang terbanyak di antara logam non-ferro. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifat Al antara lain:

- kekuatan,
- ringan,
- tahan korosi,

- mudah dibentuk,
- konduktivitas panas dan listrik yang tinggi,
- dan lain-lain

Kekuatan mekanis aluminium dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur paduan seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni. Bahan Al atau paduannya dipergunakan dalam banyak hal seperti:

- peralatan rumah tangga,
- industri: pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi,
- dan lain-lain

Aluminium merupakan logam non-ferro yang banyak digunakan karena memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

a. Kerapatan

Aluminium memiliki berat jenis yang rendah yaitu sebesar 2700 kg/m^3 (bila dibandingkan terhadap baja yang sebesar 7770 kg/m^3).

b. Tahan terhadap korosi

Untuk logam-logam non-ferro dapat dikatakan bahwa semakin besar kerapatannya maka semakin baik daya tahan korosinya, tetapi aluminium merupakan pengecualian. Walaupun aluminium mempunyai daya senyawa tinggi terhadap oksigen (logam aktif) dan oleh sebab itu selaput tipis oksidanya menjadi transparan dan jenuh oksigen di seluruh permukaan. Selaput ini mengendalikan laju korosi dan melindungi lapisan di bawahnya dari serangan atmosfer berikutnya.

c. Sifat mekanis

Aluminium mempunyai kekuatan tarik, kekerasan dan sifat mekanis yang sebanding dengan paduan non-ferro (*non-ferrous alloys*) lainnya, dan juga sebanding dengan beberapa jenis baja.

d. Penghantar panas dan listrik yang baik

Di samping mempunyai daya tahan yang baik terhadap korosi, aluminium memiliki daya hantar panas dan listrik yang tinggi. Daya hantar listrik aluminium murni sebesar 60% dari daya hantar tembaga.

e. Tidak beracun

Aluminium dapat dipergunakan sebagai bahan pembungkus atau kaleng makanan dan minuman. Hal ini disebabkan reaksi kimia antara makanan dan minuman tersebut dengan aluminium tidak menghasilkan zat beracun yang membahayakan manusia.

f. Sifat mampu bentuk

Aluminium dapat dibentuk dengan mudah. Aluminium mempunyai sifat mudah ditempa sehingga memungkinkan untuk dibuat dalam bentuk plat atau lembaran tipis.

g. Titik lebur rendah

Titik lebur aluminium relatif rendah (660 °C) sehingga sangat baik untuk proses penuangan dengan waktu peleburan relatif singkat dan biaya operasi akan lebih murah.

Selain sifat-sifat tersebut, masih banyak sifat-sifat aluminium yang menguntungkan seperti: anti magnetik, reflektivitas tinggi, nilai arsitektur dan

dekoratif, mudah dilakukan proses pengerjaan akhir (*finishing*) dan lain sebagainya.

II.7 Memecahkan Masalah Kompensasi Radius Pisau Iris

Kompensasi radius pisau iris adalah salah satu pemrograman CNC yang banyak bermanfaat bagi pengaturan mesin perkakas. Hal ini menghindari pemrogram dari keharusan untuk menghitung koordinat titik pusat alat potong, memberikan kemudahan dalam rincian perintah *roughing*, dan variasi ukuran pisau iris yang digunakan.

Hal pertama yang perlu disampaikan yaitu: tidak ada hal yang bersifat ajaib tentang bagaimana kompensasi pisau iris berjalan. Yang ada adalah aturan yang bersifat logis dan dapat dimengerti untuk menentukan bagaimana kompensasi pisau iris berjalan pada setiap pengendalian CNC. Lebih dulu aturan itu dapat diubah lebih ringkas oleh pabrikan kontrol, bila setiap kali kompensasi pisau iris yang berjalan tidak sesuai dengan yang diharapkan, juga ada alasan logis beserta pemecahannya.

Penggunaan kompensasi radius pisau iris melibatkan 3 langkah pemrograman dasar :

1. Menyatakan kompensasi radius pisau iris
2. Membuat pergerakan terhadap benda kerja mesin
3. Membatalkan kompensasi radius pisau iris

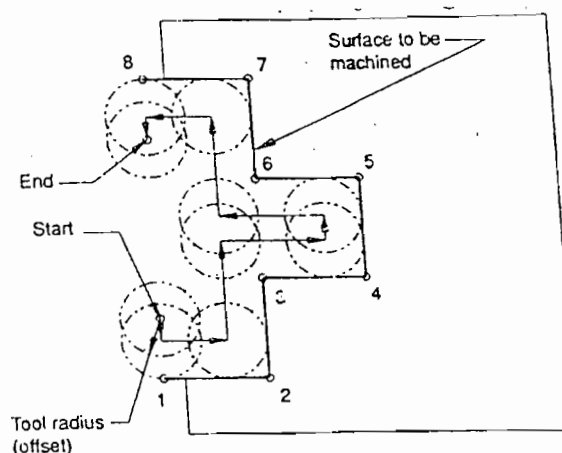
Kompensasi radius pisau iris didefinisikan sebagai sebuah perintah yang memberitahu kontrol supaya menempatkan pisau iris secara relatif terhadap

permukaan benda kerja yang dikerjakan termasuk pergerakannya. Pisau iris juga akan menempatkan dirinya pada sisi kiri permukaan benda kerja atau pada sisi kanannya. Hal ini akan mempermudah penulis untuk mengingatnya apabila penulis mengetahui perbedaan antara metode mendaki dan konvensional.

Sistem kontrol akan mempertahankan pisau iris pada posisi kiri atau kanan dengan berbagai jenis lintasan garis dan lingkaran yang diberikan melalui perintah garis lurus dan melingkar. Garis lurus dan melingkar ini menggambarkan permukaan benda kerja sebenarnya yang sedang dikerjakan.

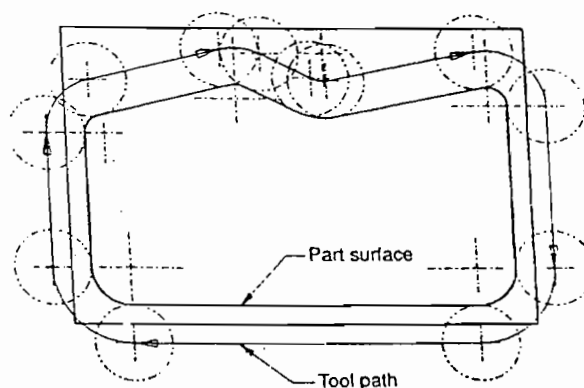
Kompensasi radius pisau iris akan menimbulkan efek sedemikian rupa sampai dilakukan pembatalan. Perintah untuk membatalkan kompensasi radius pisau iris adalah R0, diisi nol, atau yang berarti kompensasi radius pisau iris tidak digunakan.

Agar dapat memecahkan permasalahan kompensasi radius pisau iris, pertama perlu membayangkan apa yang sebenarnya sedang terjadi ketika pisau iris membuat gerakan mengelilingi permukaan benda kerja yang sedang dikerjakan.



Gambar 2.8 Contoh Gerakan dalam Pengaruh Kompensasi Radius Pisau Iris.
(Sumber : Mike Lynch, *CNC Advanced Techniques*, hal 96)

Gambar 2.8 menunjukkan pergerakan dari sejumlah perintah gerakan yang berada di bawah pengaruh kompensasi radius pisau iris. Seperti yang terlihat pada gambar, setiap gerakan kontrol yang terjadi setelah kompensasi radius pisau iris ditetapkan bergantung pada bagaimana kompensasi radius pisau iris itu ditetapkan (pada sisi kiri atau kanan), ukuran pisau iris frais, dan koordinat yang digunakan dalam program. Seperti contoh dalam Gambar 2.8, sistem kontrol telah diperintahkan untuk mempertahankan pisau iris pada sisi kiri dari seluruh program pemotongan permukaan. Gerakan ini akan ditambahkan secara otomatis. Seperti pada contoh, sistem kontrol memotong sedikit sebesar radius pisau iris dalam pergerakan menuju ke titik 2. Sedangkan dalam pergerakan menuju ke titik 3, sistem kontrol memperpanjang gerakannya melebihi radius pisau iris, dan seterusnya.



Gambar 2.9 Kompensasi Radius Pisau Iris Dapat Digunakan untuk Berbagai Macam Kontur.

(Sumber : Mike Lynch, *CNC Advanced Techniques*, hal 97)

Meskipun pada Gambar 2.8 hanya menjelaskan gerakan garis lurus, gagasan yang sama berlaku juga bagi gerakan melingkar. Juga, gerakan pada Gambar 2.8 terlihat begitu mudah, hanya terdiri dari sejumlah gerakan garis lurus di sepanjang sumbu axisnya. Gambar 2.9 menunjukkan sebuah pengontrolan CNC

yang secara mudah dapat menggantikan radius pisau iris meskipun dengan bentuk lebih rumit dengan melibatkan gerakan menyudut dan melingkar. Hal ini menjadi tidak begitu sulit mengingat ketepatan sistem kontrol yang dapat menghasilkan titik singgung antara pergerakan menyudut dan melingkar. Oleh karena itu, ini merupakan alasan utama untuk menggunakan fasilitas kompensasi radius pisau iris.

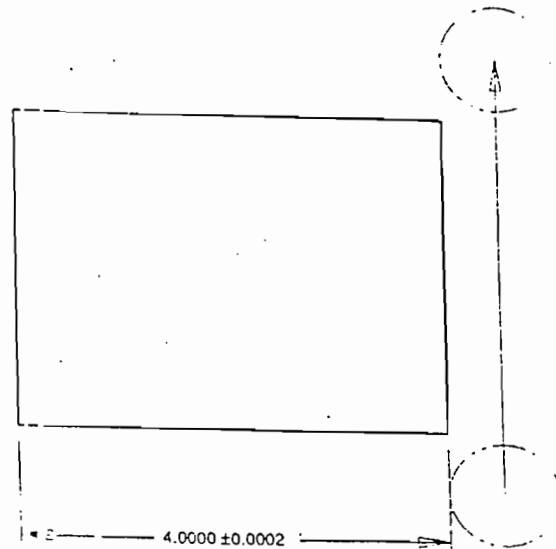
II.7.1 Melupakan Pembatalan Kompensasi Radius Pisau Iris

Sekali telah dinyatakan, kompensasi radius pisau iris harus dibatalkan. Salah satu penyebab umum munculnya alarm *overcutting* adalah lupa membatalkan kompensasi radius pisau iris. Hal ini merupakan akibat dari sistem kontrol yang masih bekerja di bawah pengaruh kompensasi radius pisau iris di dalam suatu pengerjaan kontur, sehingga pada pergerakan kontur berikutnya alarm ini secara cepat akan menyala. Jika pada pergerakan berikutnya tidak mengubah aturan kompensasi radius pisau iris, maka masih dimungkinkan kalau alat potong berikutnya (mungkin sebuah pelubang) akan membuat pergerakan di mana pengaruh kompensasi radius pisau iris dari alat terakhir (sebelumnya) masih ada. Bila hal itu terjadi dan alat potongnya berupa pelubang (atau jenis pelubang lainnya), maka alat ini tidak akan menuju ke koordinat yang tepat sesuai pengerjaan lubang yang telah direncanakan. Hal ini menjadi masalah paling sulit untuk didiagnosa.

II.7.2 Memasukkan Ukuran Permukaan yang Dikerjakan dengan Kompensasi Radius Pisau Iris

Salah satu keuntungan utama dalam menggunakan kompensasi radius pisau iris yaitu memberi kemampuan untuk memasukkan ukuran permukaan yang akan dikerjakan secara mudah. Seperti pada seluruh operasi permesinan, sebelum penulis mengizinkan suatu alat potong yang menggunakan kompensasi radius pisau iris untuk melakukan permesinan terhadap benda kerja, penulis harus mempertimbangkan *offset* radiusnya. Seperti format lainnya dari kompensasi yang telah dibahas pada bagian ini, penulis dapat mengubah *offset* radius dengan tujuan yaitu: memaksa alat potong untuk melakukan pemakanan berlebih, melakukan proses permesinan terhadap benda kerja, memasukkan ukuran permukaan yang telah dikerjakan, dan melakukan permesinan ulang terhadap benda kerja untuk memasukkan ukuran akhir.

Dalam semua kasus, penulis menambahkan nilai *offset* kompensasi radius pisau iris (buatlah lebih positif) untuk mengizinkan pemakanan berlebih. Hal ini akan tetap menjauhkan alat potong dari permukaan yang telah dikerjakan. Setelah benda kerja itu selesai dikerjakan dan diukur, penulis dapat mengurangi nilai *offset* kompensasi radius pisau iris secara bertahap.



Gambar 2.10 Menunjukkan Benda Kerja yang Digunakan Sebagai Contoh Tambahan.

(Sumber : Mike Lynch, *CNC Advanced Techniques*, hal 185)

Perhatikanlah sisi kanan dari benda kerja yang sedang diproses frais, dimana terdapat ukuran yang sangat teliti pada permukaan yang telah diproses frais itu. Yang perlu ditekankan lagi adalah jangan sampai operator menjalankan program kompensasi radius pisau iris tanpa mempertimbangkan nilai *offset*-nya.

II.8 Kekasaran Permukaan

Pencatatan dan pengukuran profil permukaan menurut sumbu vertikal mempunyai keuntungan besar. Hal ini menunjukkan bentuk penyimpangan profil berupa ketajaman dan kemiringan puncak. Namun kenyataannya, bentuk ketajaman profil itu memiliki sisi yang landai dan umumnya memiliki kemiringan antara 5-20° seperti yang terlihat pada Gambar 4-21b. Bentuk penyimpangan itu atau lebih sering disebut sebagai sinyal diperoleh dari *profilometer* melalui proses elektronik.

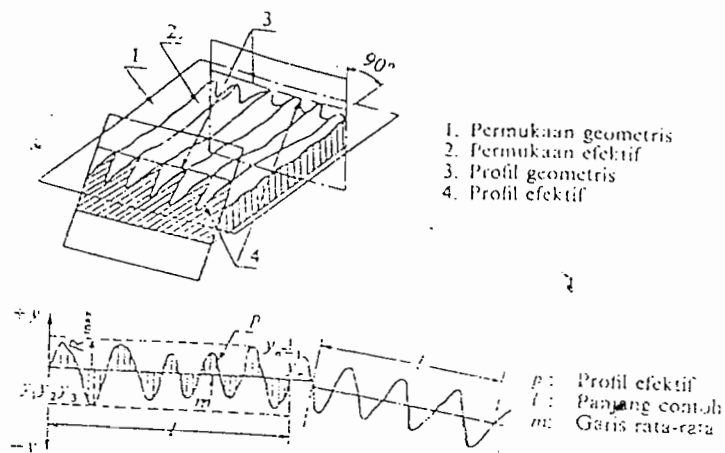
Berikut cara pengukuran yang sering digunakan:

1. Penyimpangan rata-rata aritmetik Ra

Penyimpangan rata-rata aritmetik Ra ialah harga rata-rata dari ordinat-ordinat profil efektif garis rata-ratanya. Profil efektif berarti garis bentuk dari potongan permukaan efektif oleh sebuah bidang yang telah ditentukan secara konvensional terhadap permukaan geometris ideal (lihat Gambar 8.1).

Ordinat-ordinat ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$) dijumlahkan tanpa memperhitungkan tandanya dengan mempergunakan Persamaan 2.3⁽³⁾ :

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l \frac{1}{l} |y| dx \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.11 Penyimpangan Rata-rata Aritmetik Ra dari Garis Rata-Rata Profil.
(Sumber: Takeshi Sato, *Menggambar Teknik Menurut Standard ISO*, hal 182)

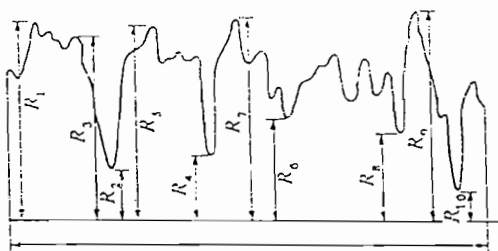
Di mana l adalah panjang contoh yang telah ditentukan, yaitu panjang dari profil efektif yang diperlukan untuk menentukan kekasaran permukaan dari permukaan yang diteliti.

³ Takeshi Sato, *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, hal. 181.

2. Ketinggian sepuluh titik (R_z) dari ketidakrataan

Ketinggian sepuluh titik (R_z) dari ketidakrataan adalah jarak rata-rata antara lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam sejauh panjang contoh, diukur dari garis yang sejajar dengan garis rata-rata, dan tidak memotong profil tersebut (Gambar 8.2). Harga R_z diperoleh dengan Persamaan 2.4⁽⁴⁾ :

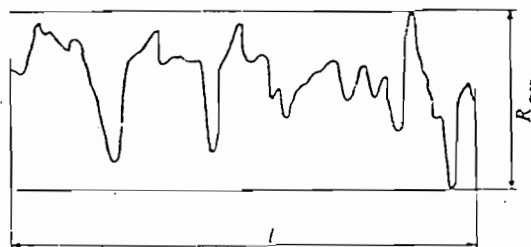
$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) + (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \dots\dots\dots (2.4)$$



Gambar 2.12 Ketinggian Sepuluh Titik R_z dari Ketidakrataan.
(Sumber: Takeshi Sato, *Menggambar Teknik Menurut Standard ISO*, hal 182)

3. Ketinggian maksimum R_{max} dari ketidakrataan

Ketinggian maksimum R_{max} dari ketidakrataan adalah jarak antara dua garis yang sejajar dengan garis rata-rata, dan menyinggung profil pada titik tertinggi dan terendah sejauh panjang contoh (Gambar 2.12).



Gambar 2.13 Tinggi Maksimum R_{max} dari Ketidakrataan.
(Sumber: Takeshi Sato, *Menggambar Teknik Menurut Standard ISO*, hal 183)

⁴ Takeshi Sato, *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, hal. 182.

II.9 Hipotesis

1. Pengaruh pemakanan secara mendaki akan menghasilkan permukaan yang lebih halus daripada konvensional dengan proses pemotongan sisi pada mesin frais CNC dengan kedalaman pemotongan, serta kecepatan pemakanan dan putaran pisau iris yang seragam.
2. Pengaruh kecepatan pemakanan yang semakin besar akan menghasilkan permukaan yang lebih kasar pada masing-masing metode pemakanan dengan proses pemotongan sisi.
3. Pengaruh kompensasi radius pisau iris dengan metode pemotongan jenis sisi pada lintasan lurus akan memberikan ketelitian ukuran yang cukup baik dalam pemenuhan ukuran yang direncanakan atau dalam arti tidak terjadi penyimpangan ukuran.

BAB III

METODOLOGI

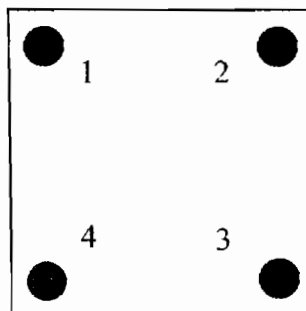
III.1 Mesin

Peneliti melakukan penelitiannya dengan menggunakan mesin frais CNC tipe DNC 63 V yang terdapat di Laboratorium CNC Jurusan Mekatronika Universitas Sanata Dharma.

III.2 Benda Kerja

Benda kerja yang akan dikerjakan terbuat dari bahan aluminium hasil extrusi dengan ukuran \square 40 mm x 40 mm dan ketebalan 35 mm. Benda kerja tersebut diuji dahulu kekerasannya dengan menggunakan alat uji yang bernama *brinell hardness tester*. Pengujian kekerasan permukaan ini dilakukan di beberapa titik pada masing-masing benda untuk mengetahui homogenitas kekerasan bahan.

Gambar di bawah ini menunjukkan beberapa titik uji kekerasan yang dilakukan pada sebuah benda kerja :



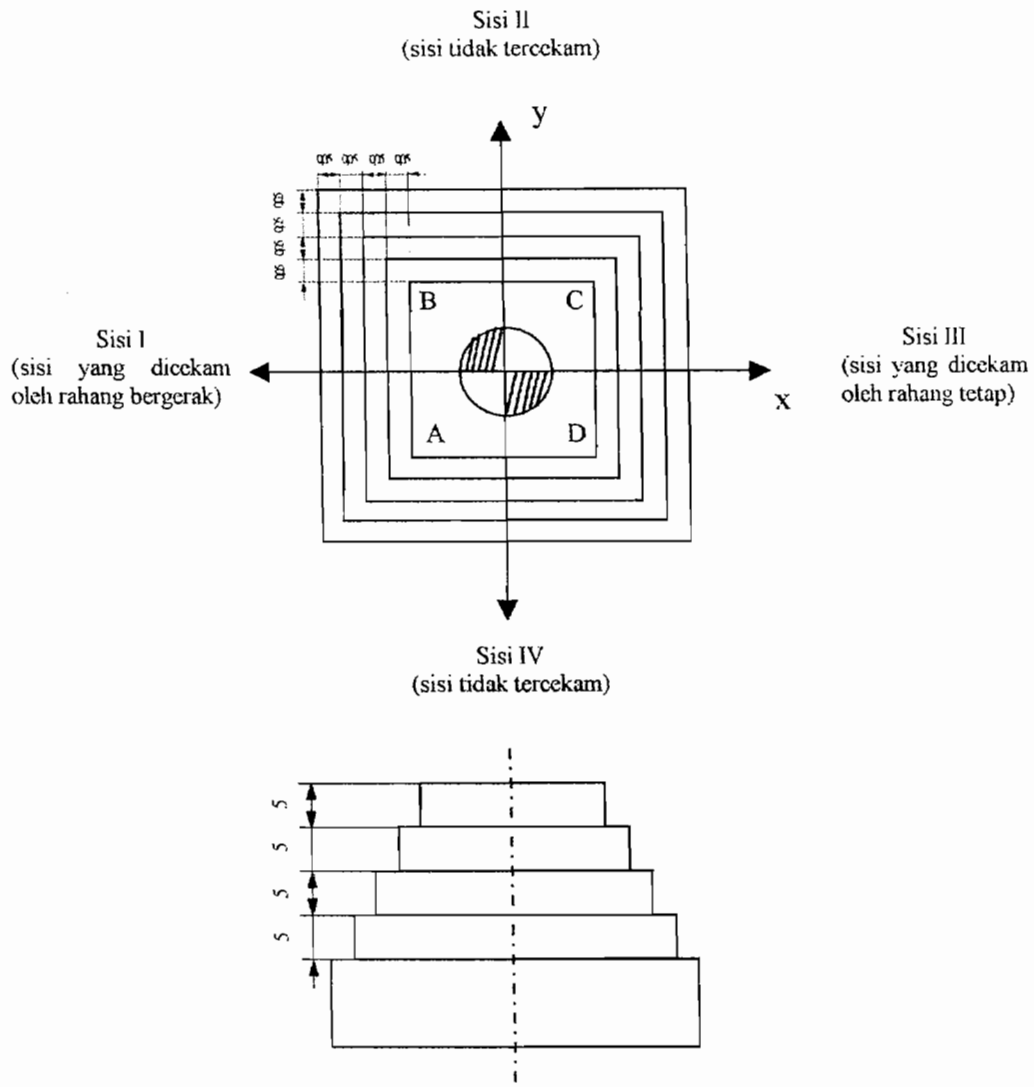
Gambar 3.1 Empat Titik Uji Kekerasan Brinell pada Benda Kerja (tampak atas).

Jumlah benda kerja 8 buah dengan 4 macam kedalaman pemotongan tiap benda kerjanya. Dari 8 buah benda uji tersebut, dibuat pembagian menurut metode pemakanannya, konvensional (4 buah) dan mendaki (4 buah), dengan 4 macam pilihan kecepatan pemakanan pada masing-masing metode. Kemudian, penandaan dilakukan untuk mempermudah pengamatan dengan memberi simbol C pada benda uji yang menerima metode pemakanan mendaki dan simbol K pada konvensional.

Setelah itu, penandaan dengan nomor dilakukan pada masing-masing metode untuk menunjukkan besar kecepatan pemakanan yang digunakan. Penjelasan adalah sebagai berikut: C1-artinya menggunakan metode pemakanan mendaki dengan pilihan kecepatan pemakanan pertama (atau 582 mm/mnt), C2-artinya menggunakan metode pemakanan mendaki dengan pilihan kecepatan pemakanan kedua (atau 905 mm/mnt), C3-artinya menggunakan metode pemakanan mendaki dengan pilihan kecepatan pemakanan ketiga (atau 1231 mm/mnt), C4-artinya menggunakan metode pemakanan mendaki dengan pilihan kecepatan pemakanan keempat (atau 1553 mm/mnt). Demikian juga hal yang sama diperlakukan pada metode pemakanan konvensional.

Namun, masih terdapat variabel yang bersifat tetap yaitu putaran pencekam dan diameter pisau iris.

Berikut ditunjukkan bentuk dari benda kerja yang direncanakan :



Gambar 3.2 Benda Kerja yang Direncanakan (satuan: mm).

III.3 Alat Potong dan Alat Bantu

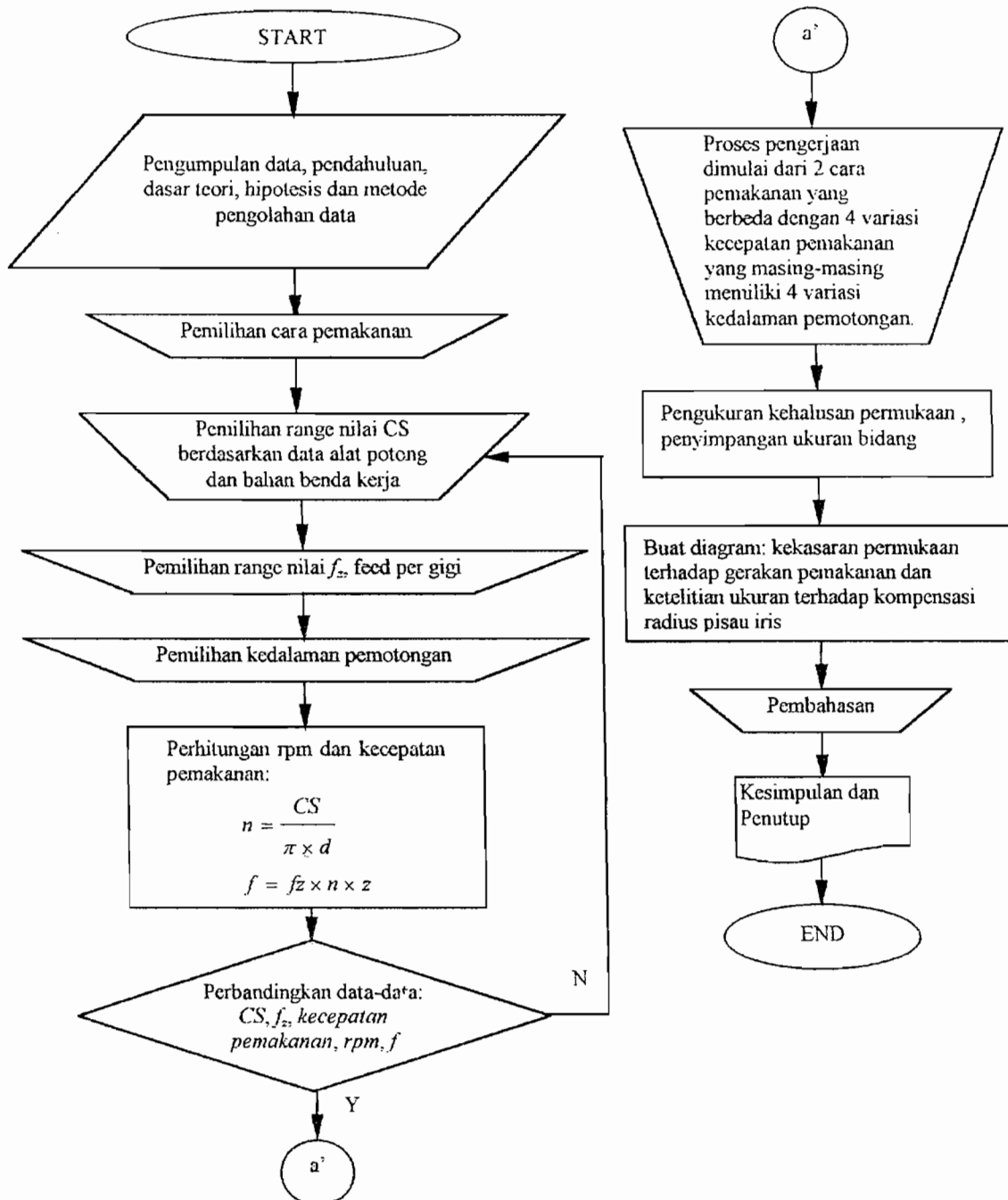
Setiap proses permesinan membutuhkan alat potong dan alat bantu. Dalam proses permesinan ini, peneliti menggunakan 2 buah alat potong yang sejenis yaitu pisau iris jenis *end mill finishing* $\varnothing 20$ mm dari bahan *HSS* (*high speed steel*). Alat ini digunakan untuk menyayat atau menghilangkan sebagian bahan dari benda kerja agar dapat dibentuk sesuai

yang diinginkan (seperti terdapat dalam Gambar 3.1). Kedua pisau iris tersebut digunakan untuk dua proses pemakanan yang berbeda, pisau iris A digunakan untuk proses pemakanan mendaki sedangkan pisau iris B digunakan untuk proses pemakanan konvensional.

Alat bantu yang digunakan oleh peneliti adalah :

- *Z setter*, digunakan untuk mengukur ketinggian alat potong atau ukur terhadap meja mesin;
- *Centrofix*, digunakan untuk memposisikan alat potong berada di tengah benda kerja;
- Jangka sorong, digunakan untuk mengukur ketelitian ukuran sampai 0,05 mm;
- Mikrometer, digunakan untuk mengukur ketelitian ukuran sampai 0,001 mm;
- Balok paralel, digunakan untuk membantu pencekaman benda kerja;
- *Collet* dan *arbor*, digunakan untuk membantu pencekaman alat potong;
- Palu plastik, digunakan untuk merapatkan kedudukan benda kerja saat pencekaman berlangsung;

III.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian.

III.5 Perhitungan Awal

1. Perhitungan CS , rpm dan kecepatan pemakanan

Peneliti menentukan nilai kecepatan potong penelitiannya berdasarkan Tabel 2.1 yaitu antara 300 – 800 ft/mnt. Lalu, daerah itu dibagi menjadi 4 bagian dengan rincian sebagai berikut :

- $CS_1 = 300$ ft/mnt atau sama dengan 91440 mm/mnt
- $CS_2 = 466$ ft/mnt atau sama dengan 142036,8 mm/mnt
- $CS_3 = 634$ ft/mnt atau sama dengan 193243,2 mm/mnt
- $CS_4 = 800$ ft/mnt atau sama dengan 243840 mm/mnt

Kemudian dicari putaran pada pencekam dengan rumus :

$$n = \frac{CS}{\pi \cdot d}$$

dimana,

- n = putaran pencekam, satuannya: rpm
- CS = kecepatan potong, satuannya: mm/mnt
- d = diameter pisau iris, satuannya: mm

Putaran pencekam yang dipakai bernilai tetap untuk seluruh pengerjaan di permesinan. Oleh karena itu, nilai kecepatan potongnya harus dipilih yang sesuai untuk seluruh pengerjaan yaitu kecepatan potong dengan nilai terbesar. Alasannya adalah untuk menghindari pemakanan yang terlalu cepat dibandingkan putaran pencekam itu sendiri. Akibatnya, dapat merusak pisau iris dan ukuran benda kerja menjadi tidak sesuai dengan yang direncanakan. Sebab yang terjadi adalah pisau iris tidak lagi menggaruk benda kerja melainkan menggeser posisinya lebih cepat

sebelum tatal terlepas. Lebih lanjut, bagian pisau iris yang lebih cepat rusak adalah sisi potongnya.

Berikut perhitungan untuk menentukan putaran pencekam dengan kecepatan potong sebesar 800 ft/mnt atau 243840 mm/mnt dan diameter pisau iris sebesar 20 mm, dengan menggunakan Persamaan 2.1.

$$n_{\max} = \frac{CS_4}{\pi \cdot d} = \frac{243840}{\pi \cdot 20} = 3882,8 \text{ rpm}$$

Namun, besaran bagi putaran pencekam yang lain juga perlu dihitung berdasarkan nilai kecepatan potongnya untuk menghitung masing-masing kecepatan pemakanannya. Tabel 3.1 di bawah ini memperlihatkan hasil perhitungannya.

Tabel 3.1 Perhitungan *rpm*

CS (mm/mnt)	<i>n</i> (rpm)
CS ₁ = 91440	1456,05
CS ₂ = 142036,8	2261,73
CS ₃ = 193243,2	3077,12

Dari nilai rpm yang telah tersedia, kecepatan pemakanannya dapat dihitung dengan Persamaan 2.2, dan hasil perhitungan kecepatan pemakanan ditampilkan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perhitungan Kecepatan Pemakanan

<i>n</i> (rpm)	<i>f</i> (mm/mnt)
1456,05	582,42
2261,73	904,693

Lanjutan Tabel 3.2.

n (rpm)	f (mm/mnt)
3077,12	1230,85
3882,8	1553,121

2. Perhitungan Koordinat Pemotongan

Koordinat pemotongan ini diperlukan dalam pengerjaan sebagai titik tujuan pisau iris agar berada di jalur pemotongan yang benar dan masukan program bagi suatu metode pemakanan. Namun, cara ini tidak diperlukan apabila dari program MasterCam telah dibuat sebuah gambar dari benda kerja yang diinginkan dalam bentuk tiga dimensi. Sehingga hanya diperlukan proses pemindahan dari program MasterCam ke program CNC saja. Walaupun begitu, cara pertama justru akan mempermudah programmer untuk mengedit satu program bagi metode pemakanan yang lain dengan mengubah beberapa nilai +/- koordinat dan jenis kompensasi radiusnya (RL/RR).

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.1, terdapat titik A, B, C dan D yang berfungsi sebagai titik tujuan. Untuk mempermudah pembacaan program, koordinat titik A, B, C dan D ditentukan dengan sistem koordinat kartesian absolut. Pada Tabel 3.3 telah ditunjukkan koordinat titik-titik tersebut.

Tabel 3.3 Koordinat Pemotongan

doc	A	B	C	D
I	-19,8 ; -19,8	-19,8 ; 19,8	19,8 ; 19,8	19,8 ; -19,8
II	-19,85 ; -19,85	-19,85 ; 19,85	19,85 ; 19,85	19,85 ; -19,85
III	-19,9 ; -19,9	-19,9 ; 19,9	19,9 ; 19,9	19,9 ; -19,9

Lanjutan Tabel 3.3.

doc	A	B	C	D
IV	-19,95 ; -19,95	-19,95 ; 19,95	19,95 ; 19,95	19,95 ; -19,95

III.6 Pelaksanaan Penelitian

Dimulai dari pengumpulan data, pendahuluan, lalu dilanjutkan dengan pembuatan dasar teori dan hipotesis, juga metode pengolahan data, peneliti akhirnya sampai kepada proses pengerjaan benda uji. Di dalam proses pengerjaan ini, peneliti membuat beberapa langkah seperti berikut:

1. Peneliti memilih proses pengerjaan dengan metode pemakanan mendaki terlebih dahulu. Benda uji yang dikerjakan di sini ditandai dengan C1, C2, C3 dan C4 dengan masing-masing programnya CL_1, CL_2, CL_3 dan CL_4. Namun, untuk memperoleh bentuk benda uji yang sama, peneliti terlebih dahulu melakukan proses *roughing* dengan menjalankan program yang bernama *Roughing*. Setelah proses *roughing* selesai, program-program itu baru dijalankan. Masing-masing program berjalan dengan 4 variasi kedalaman pemotongan, antara lain: 0,20 mm, 0,15 mm, 0,10 mm dan 0,05 mm dengan permulaan pemotongan dari bagian atas benda uji sampai ke bawah. Hal yang membedakan masing-masing program ini adalah besar kecepatan pemakanan, sedangkan persamaannya yaitu terletak pada jenis kompensasi radius (*RL/Radius Left*), koordinat pemotongan (mulai titik A lalu B, C, dan D) dan pisau iris (A).

2. Selanjutnya, peneliti melakukan proses pengerjaan dengan metode pemakanan konvensional. Benda uji yang dikerjakan di sini ditandai dengan K1, K2, K3 dan K4 dengan masing-masing programnya KV_1, KV_2, KV_3 dan KV_4. Peneliti juga melakukan hal yang sama seperti metode sebelumnya yaitu melakukan proses *roughing* dengan menjalankan programnya. Setelah proses *roughing* selesai, baru program-program itu dijalankan. Masing-masing program berjalan dengan 4 variasi kedalaman pemotongan, antara lain: 0,20 mm, 0,15 mm, 0,10 mm dan 0,05 mm dengan permulaan pemotongan dari bagian atas benda uji sampai ke bawah. Hal yang membedakan masing-masing program ini adalah besarnya kecepatan pemakanan, sedangkan persamaannya yaitu terletak pada jenis kompensasi radius (*RR / Radius Right*), koordinat pemotongan (mulai titik A lalu D, C, dan B) dan pisau iris (B).

Setelah proses pengerjaan selesai dilakukan, 8 buah benda uji tadi diukur nilai kekasaran permukaannya dengan menggunakan *Roughness Tester*. Kemudian, sebanyak 64 titik (2sisi x 4titik x 8buah) diambil sebagai contoh. Untuk mengetahui ketelitian ukurannya, benda uji yang sama juga diukur panjangnya dengan menggunakan mikrometer. Lalu, sebanyak 64 titik (2sisi tidak berhadapan x 4titik x 8buah) diambil untuk dijadikan contoh data kedua. Kemudian, data-data itu dikumpulkan untuk dicatat, diolah dan diteliti.

III.7 Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh dari proses penelitian mesin CNC digunakan untuk mencari dua bentuk hubungan: pertama, hubungan antara kedua metode pemakanan (mendaki dan konvensional) dengan nilai kekasaran permukaan; kedua, hubungan antara kecepatan pemakanan dengan nilai kekasaran permukaan dan ketiga, hubungan antara kompensasi radius dengan nilai penyimpangan dari ketelitian ukurannya.

Pada hubungan pertama, dua nilai fungsi dapat diketahui sesuai dengan metode pemakanannya: mendaki dan konvensional. Sedangkan pada hubungan kedua, besaran kompensasi radius pisau iris dapat diketahui pengaruhnya terhadap ketelitian ukuran. Oleh karena besarnya kompensasi radius dianggap sama untuk seluruh pengerjaan, yaitu bernilai nol, namun masih dimungkinkan terdapat penyimpangan dari yang telah ditentukan.

III.8 Penjelasan Program

Berikut contoh suatu program yang digunakan untuk pemotongan secara mendaki pada kecepatan pemakanan yang pertama (f_1):

```

0  BEGIN PGM CLIMB_F1 MM
1  BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-35
2  BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+0
3  TOOL CALL 20 Z S3883
4  L X+0 Y+0 Z+100 R0 F MAX M3 M8
5  L X-40 Y-40 R0 F 2000
6  L Z-5 R0 F582
7  L X-19.8 Y-19.8 RL F582
8  L X-19.8 Y+19.8 RL F582
9  L X+19.8 Y+19.8 RL F582

```

- 10 L X+19.8 Y-19.8 RL F582
- 11 L X-19.8 Y-19.8 RL F582
- 12 L X-40 Y-40 R0 F 2000
- 13 L Z-10 R0 F582
- 14 L X-19.85 Y-19.85 RL F582
- 15 L X-19.85 Y+19.85 RL F582
- 16 L X+19.85 Y+19.85 RL F582
- 17 L X+19.85 Y-19.85 RL F582
- 18 L X-19.85 Y-19.85 RL F582
- 19 L X-40 Y-40 R0 F 2000
- 20 L Z-15 R0 F582
- 21 L X-19.9 Y-19.9 RL F582
- 22 L X-19.9 Y+19.9 RL F582
- 23 L X+19.9 Y+19.9 RL F582
- 24 L X+19.9 Y-19.9 RL F582
- 25 L X-19.9 Y-19.9 RL F582
- 26 L X-40 Y-40 R0 F 2000
- 27 L Z-20 R0 F582
- 28 L X-19.95 Y-19.95 RL F582
- 29 L X-19.95 Y+19.95 RL F582
- 30 L X+19.95 Y+19.95 RL F582
- 31 L X+19.95 Y-19.95 RL F582
- 32 L X-19.95 Y-19.95 RL F582
- 33 L X-40 Y-40 R0 F 2000
- 34 L Z+100 R0 F MAX M30
- 35 END PGM CLIMB_F1 MM



Dari program di atas, peneliti memberikan pengertiannya sebagai berikut:

Nomor blok 0 : awalan program

Nomor blok 1 : menyatakan koordinat minimum dari benda kerja bayangan untuk animasi pengerjaan saat dilakukan *test-run*

Nomor blok 2 : menyatakan koordinat maksimum dari benda kerja bayangan untuk animasi pengerjaan saat dilakukan *test-run*

Nomor blok 3 : pemanggilan alat no. 20 yang berputar sebesar 3883 rpm searah dengan sumbu Z

- Nomor blok 4 : posisi alat potong berada di atas benda kerja dengan kompensasi radius sebesar nol, kecepatan pemakanan maksimum, pencekam berputar dan pendingin berjalan
- Nomor blok 5 : pergeseran alat potong dari atas benda kerja menuju koordinat X – Y minimum dengan kecepatan pemakanan 2000 mm/mnt
- Nomor blok 6 : memasukkan kedalaman pemotongan aksial sebesar 5 mm ke bawah dengan kecepatan pemakanan 582 mm/mnt dan kompensasi radius sebesar nol
- Nomor blok 7-11 : mengerjakan kedalaman pemotongan pertama pada keempat sisi benda kerja
- Nomor blok 13 : memasukkan kedalaman pemotongan aksial sebesar 10 mm ke bawah dengan kecepatan pemakanan 582 mm/mnt dan kompensasi radius sebesar nol
- Nomor blok 14-18 : mengerjakan kedalaman pemotongan kedua pada keempat sisi benda kerja
- Nomor blok 20 : memasukkan kedalaman pemotongan aksial sebesar 15 mm ke bawah dengan kecepatan pemakanan 582 mm/mnt dan kompensasi radius sebesar nol
- Nomor blok 21-25 : mengerjakan kedalaman pemotongan ketiga pada keempat sisi benda kerja
- Nomor blok 27 : memasukkan kedalaman pemotongan aksial sebesar 20 mm ke bawah dengan kecepatan pemakanan 582 mm/mnt dan kompensasi radius sebesar nol

Nomor blok 28-32 : mengerjakan kedalaman pemotongan keempat pada keempat sisi benda kerja

Nomor blok 34 : pergeseran alat potong ke atas benda kerja sejauh 100 mm dari koordinat X-Y minimum

Nomor blok 35 : akhiran program

III.9 Kesulitan Penelitian

1. Peneliti sulit melakukan proses permesinan secara mandiri, oleh karena peneliti belum bisa mengoperasikannya. Selain itu, dikhawatirkan juga peneliti melakukan kesalahan-kesalahan yang dapat membahayakan kondisi mesin, benda kerja ataupun orang-orang di sekitar pengerjaan.
2. Peneliti juga mengalami kesulitan dalam pengujian tingkat kehalusan permukaan benda kerja secara pasti. Alasannya adalah pengujian tersebut dilakukan oleh pihak luar yang berwenang menanganinya, tanpa melibatkan peneliti. Peneliti hanya bisa menerima data-data dan mengganti biaya pengujian itu.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Penelitian

Berkaitan dengan permasalahan di atas, maka penulis memberikan 3 macam data sebagai hasil penelitian: pertama, data tentang nilai kekerasan permukaan benda kerja; kedua, data tentang nilai kekasaran permukaan benda kerja dengan variasi nilai kecepatan pemakanan yang membandingkan 2 macam metode pemakanan; dan ketiga, data tentang nilai penyimpangan dari ketelitian ukuran benda kerja terhadap nilai kompensasi radius yang telah dimasukkan pada data alat potong.

IV.1.1 Data Nilai Kekerasan Permukaan Benda Kerja

Secara keseluruhan, homogenitas kekerasan benda kerja dapat dikatakan tidak memiliki tingkat perbedaan yang jauh. Nilai kekerasan terkecil sebesar 70,375 HB yang terukur dari benda kerja I. Sedangkan, nilai kekerasan terbesar 79,75 HB yang diperoleh dari benda kerja VIII. Lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Nilai Kekerasan Permukaan Benda Kerja (dalam HB)

Benda kerja	Sisi	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Rerata
I	Atas	79	63	60	79	70,375
	Bawah	64	79	79	60	
II	Atas	78	77	77	79	77,875
	Bawah	77	79	79	77	

Lanjutan Tabel 4.1

Benda kerja	Sisi	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Rerata
III	Atas	79	79	79	77	78,5
	Bawah	78	79	78	79	
IV	Atas	71	80	79	71	75,5
	Bawah	79	73	73	78	
V	Atas	78	77	78	76	78
	Bawah	79	79	79	78	
VI	Atas	79	79	78	79	79,125
	Bawah	78	81	79	80	
VII	Atas	78	77	77	78	78,625
	Bawah	80	78	79	82	
VIII	Atas	82	78	78	80	79,75
	Bawah	80	80	82	78	
Rerata kekerasan seluruh benda (HB)						77,21875

Jadi secara keseluruhan, benda kerja yang akan diteliti memiliki nilai kekerasan yang hampir sama, sehingga dapat dianggap homogen.

IV.1.2 Data Nilai Kekasaran Permukaan Benda Kerja Akibat Penggunaan

Dua Metode Pemakanan

Data pertama ditampilkan seperti pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3:

Tabel 4.2 Nilai Ra (dalam μm) dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Mendaki

Kecepatan pemakanan, f (mm/mnt)	Nilai Ra (μm)		Kedalaman pemotongan, t (mm)
	pada sisi yang tercekam	pada sisi yang tidak tercekam	
$f_1 = 582$	0.1548	0.1821	0.20
	0.1450	0.1886	0.15
	0.1626	0.1740	0.10
	0.3469	0.2136	0.05

Lanjutan Tabel 4.2

Kecepatan pemakanan, f (mm/mnt)	Nilai Ra (μm)		Kedalaman pemotongan, t (mm)
	pada sisi yang tercekam	pada sisi yang tidak tercekam	
$f_2 = 905$	0.1949	0.2908	0.20
	0.2497	0.2814	0.15
	0.2607	0.2360	0.10
	0.1905	0.2513	0.05
$f_3 = 1231$	0.3962	0.3574	0.20
	0.3158	0.3132	0.15
	0.3335	0.3446	0.10
	0.3637	0.3234	0.05
$f_4 = 1553$	0.4842	0.4640	0.20
	0.4608	0.4971	0.15
	0.4985	0.4850	0.10
	0.4870	0.5011	0.05

Table 4.3 Nilai Ra (dalam μm) dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Konvensional

Kecepatan pemakanan, f (mm/mnt)	Nilai Ra (μm)		Kedalaman pemotongan, t (mm)
	pada sisi yang tercekam	pada sisi yang tidak tercekam	
$f_1 = 582$	0.1421	0.1254	0.20
	0.1384	0.3072	0.15
	0.2939	0.1689	0.10
	0.2889	0.3463	0.05
$f_2 = 905$	0.1947	0.1699	0.20
	0.1459	0.1978	0.15
	0.1741	0.2332	0.10
	0.1475	0.1636	0.05
$f_3 = 1231$	0.1491	0.1819	0.20
	0.1673	0.2345	0.15
	0.1913	0.1966	0.10
	0.2288	0.3138	0.05
$f_4 = 1553$	0.1876	0.3917	0.20
	0.2149	0.2550	0.15
	0.1909	0.2627	0.10
	0.2162	0.3295	0.05

IV.1.3 Data Nilai Simpangan dari Ketelitian Ukuran Akibat Penggunaan

Kompensasi Radius

Lalu, data kedua diperlihatkan dalam Tabel 4.4 dan Tabel 4.5:

Tabel 4.4 Nilai Nominal dari Ketelitian Ukuran dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Mendaki

Ukuran nominal dengan variasi kecepatan pemakanan	Sisi benda uji								Kedalaman pemotongan (mm)
	Yang tercekam				Yang tidak tercekam				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	
Ukuran nominal (mm) dengan $f1$	39.575	39.573	39.573	39.575	39.578	39.578	39.578	39.578	0.20
	39.673	39.673	39.673	39.673	39.675	39.675	39.675	39.675	0.15
	39.775	39.770	39.770	39.775	39.770	39.770	39.770	39.770	0.10
	39.865	39.865	39.870	39.870	39.868	39.868	39.868	39.868	0.05
Ukuran nominal (mm) dengan $f2$	39.575	39.575	39.575	39.575	39.578	39.580	39.580	39.580	0.20
	39.673	39.675	39.675	39.675	39.675	39.675	39.675	39.678	0.15
	39.770	39.770	39.770	39.770	39.773	39.773	39.773	39.775	0.10
	39.875	39.868	39.870	39.870	39.868	39.870	39.870	39.870	0.05
Ukuran nominal (mm) dengan $f3$	39.575	39.572	39.575	39.572	39.575	39.575	39.575	39.570	0.20
	39.675	39.675	39.670	39.670	39.680	39.680	39.680	39.680	0.15
	39.770	39.775	39.778	39.775	39.778	39.778	39.778	39.775	0.10
	39.880	39.875	39.875	39.875	39.875	39.875	39.875	39.875	0.05
Ukuran nominal (mm) dengan $f4$	39.580	39.578	39.580	39.580	39.580	39.580	39.580	39.582	0.20
	39.680	39.680	39.680	39.680	39.685	39.685	39.685	39.685	0.15
	39.778	39.780	39.780	39.778	39.780	39.780	39.780	39.780	0.10
	39.875	39.880	39.875	39.875	39.875	39.875	39.875	39.878	0.05

Tabel 4.5 Nilai Nominal dari Ketelitian Ukuran dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Konvensional

Ukuran nominal dengan variasi kecepatan pemakanan	Sisi benda uji								Kedalaman pemotongan (mm)
	Yang tercekam				Yang tidak tercekam				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	
Ukuran nominal (mm)	39.625	39.625	39.625	39.625	39.635	39.635	39.635	39.633	0.20
	39.720	39.725	39.722	39.725	39.730	39.730	39.730	39.730	0.15

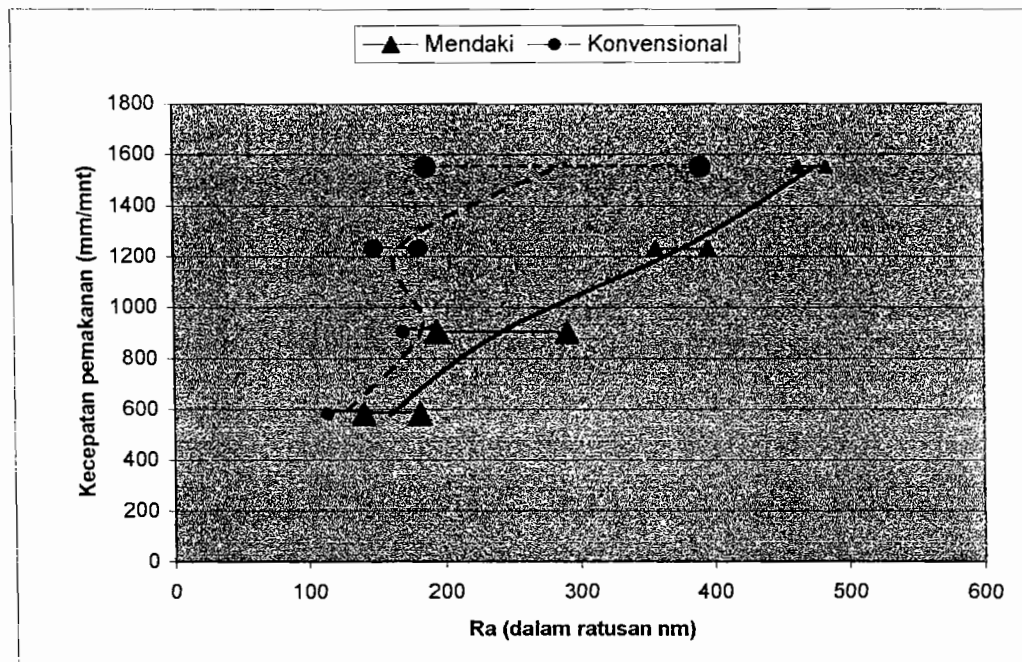
Lanjutan Tabel 4.5

Ukuran nominal dengan variasi kecepatan pemakanan	Sisi benda uji								Kedalaman pemotongan (mm)
	Yang tercekam				Yang tidak tercekam				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	
dengan $f1$	39.828	39.825	39.825	39.825	39.830	39.830	39.830	39.828	0.10
	39.933	39.925	39.923	39.925	39.928	39.928	39.928	39.928	0.05
Ukuran nominal (mm) dengan $f2$	39.630	39.625	39.625	39.625	39.635	39.638	39.635	39.635	0.20
	39.725	39.725	39.725	39.725	39.732	39.732	39.732	39.732	0.15
	39.825	39.825	39.825	39.825	39.830	39.828	39.828	39.828	0.10
	39.930	39.925	39.925	39.925	39.930	39.930	39.930	39.930	0.05
Ukuran nominal (mm) dengan $f3$	39.625	39.628	39.628	39.625	39.635	39.635	39.635	39.635	0.20
	39.728	39.725	39.725	39.725	39.732	39.732	39.732	39.732	0.15
	39.825	39.828	39.825	39.825	39.830	39.830	39.830	39.830	0.10
	39.930	39.925	39.925	39.925	39.930	39.930	39.930	39.930	0.05
Ukuran nominal (mm) dengan $f4$	39.628	39.628	39.630	39.630	39.638	39.638	39.638	39.635	0.20
	39.725	39.725	39.725	39.725	39.732	39.732	39.732	39.732	0.15
	39.825	39.825	39.825	39.825	39.828	39.828	39.830	39.830	0.10
	39.935	39.930	39.925	39.925	39.930	39.930	39.930	39.930	0.05

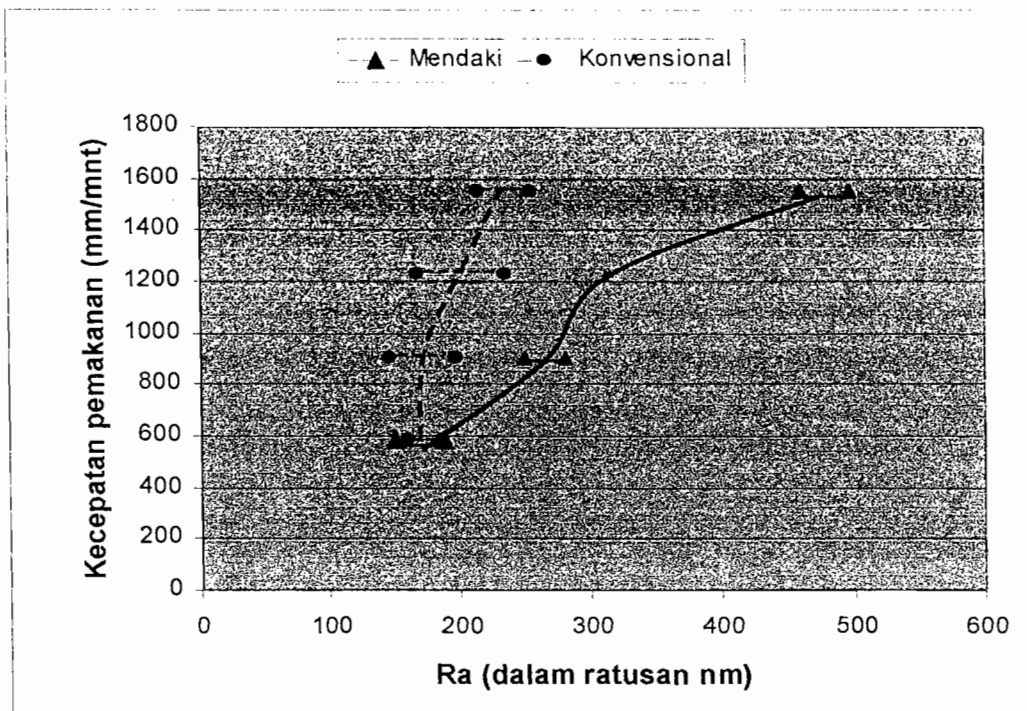
IV.2 Pembahasan

Pembahasan dimulai dari data pertama yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, dimana terdapat nilai Ra yang diperbandingkan dengan besarnya kecepatan pemakanan. Nilai penyimpangan rata-rata aritmetik (Ra) merupakan salah satu metode untuk menggambarkan profil suatu permukaan benda kerja sehingga dengan metode ini dapat diketahui nilai kekasaran permukaannya. Gambar 4.1 – 4.4 di bawah ini, menunjukkan hubungan antara kedua metode pemakanan dengan nilai kekasaran permukaannya. Selain itu, juga diperlihatkan hubungan antara

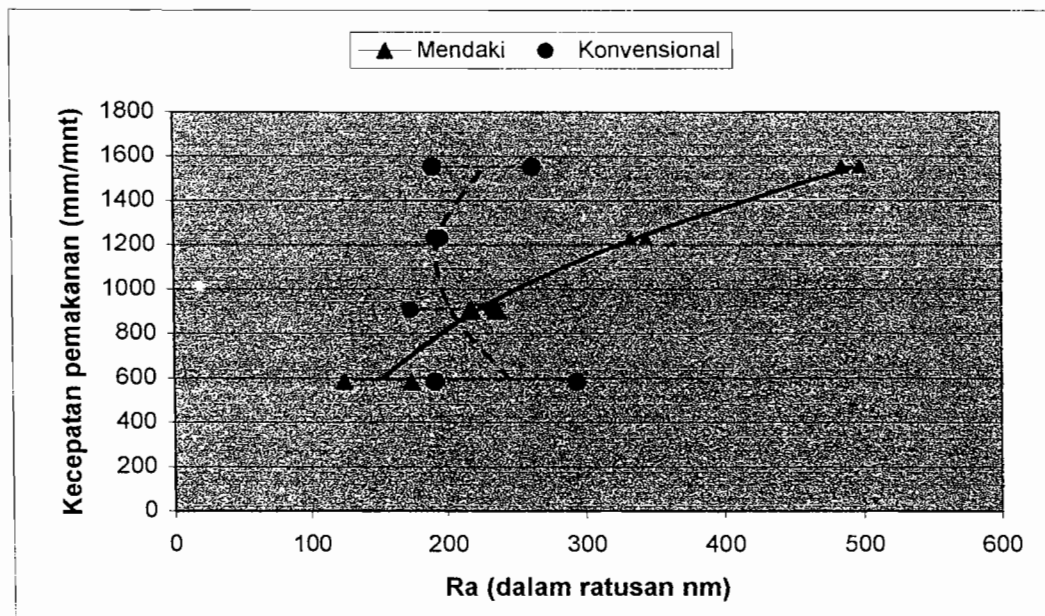
kecepatan pemakanan dengan nilai kekasaran permukaannya dalam masing-masing metode pemakanan.



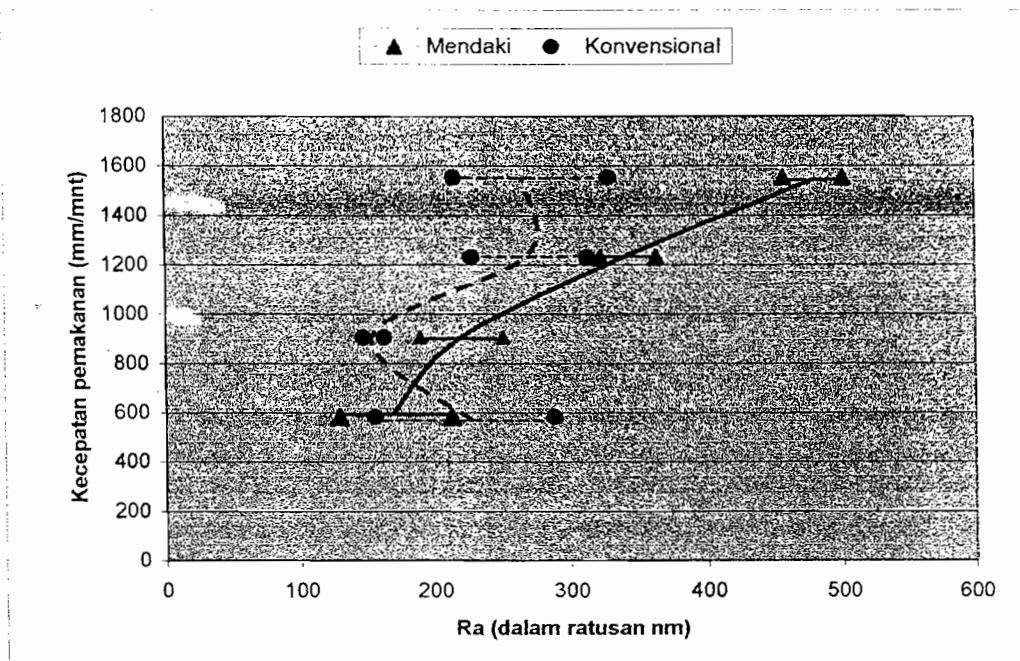
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Metode Pemakanan Mendaki dan Konvensional terhadap Nilai Penyimpangan Rata-rata Aritmetik (Ra) Berdasarkan Kecepatan Pemakanannya pada Kedalaman Pemotongan 0,2 mm



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Metode Pemakanan Mendaki dan Konvensional terhadap Nilai Penyimpangan Rata-rata Aritmetik (Ra) Berdasarkan Kecepatan Pemakanannya pada Kedalaman Pemotongan 0,15 mm



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Metode Pemakanan Mendaki dan Konvensional terhadap Nilai Penyimpangan Rata-rata Aritmetik (Ra) Berdasarkan Kecepatan Pemakanannya pada Kedalaman Pemotongan 0,1 mm



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Metode Pemakanan Mendaki dan Konvensional terhadap Nilai Penyimpangan Rata-rata Aritmetik (Ra) Berdasarkan Kecepatan Pemakanannya pada Kedalaman Pemotongan 0,05 mm

Kemudian, pembahasan berikutnya adalah data kedua yang diambil dari Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, dimana terdapat nilai nominal dari ukuran material uji yang telah melalui proses pengerjaan. Lalu, dibuatlah selisih antara nilai nominal dengan nilai ukuran yang sebenarnya. Sehingga, hasilnya dapat diketahui apakah terjadi penyimpangan ukuran atau tidak dan besarnya penyimpangan dapat diketahui. Nilai ukuran yang harus dicapai dapat dilihat dalam Tabel 4.6, sedangkan penyimpangan terhadap ukuran tersebut terdapat di Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Simpangan terhadap ukuran yang semestinya menandakan ketelitian yang mampu dicapai oleh mesin.

Tabel 4.6 Nilai Ukuran yang Sebenarnya Harus Dicapai pada Masing-masing Kedalaman Pemotongan

Kedalaman pemotongan (mm)	Ukuran sebenarnya pada semua sisi (I – III maupun II – IV) di keempat titik
0.20	39,6 mm
0.15	39,7 mm
0.10	39,8 mm
0.05	39,9 mm

Tabel 4.7 Simpangan dari Ukuran Sebenarnya dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Mendaki

Simpangan dengan variasi kecepatan pemakanan	Sisi benda uji								Kedalaman pemotongan (mm)
	Yang tercekam				Yang tidak tercekam				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	
Simpangan (mm) dengan $f1$	-0.025	-0.027	-0.027	-0.025	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	0.20
	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	0.15
	-0.025	-0.030	-0.030	-0.025	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030	0.10
	-0.035	-0.035	-0.030	-0.030	-0.032	-0.032	-0.032	-0.032	0.05
Simpangan (mm) dengan $f2$	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.022	-0.020	-0.020	-0.020	0.20
	-0.027	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.022	0.15
	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030	-0.027	-0.027	-0.027	-0.025	0.10
	-0.025	-0.032	-0.030	-0.030	-0.032	-0.030	-0.030	-0.030	0.05
Simpangan (mm) dengan $f3$	-0.025	-0.028	-0.025	-0.028	-0.025	-0.025	-0.025	-0.030	0.20
	-0.025	-0.025	-0.030	-0.030	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	0.15
	-0.030	-0.025	-0.022	-0.025	-0.022	-0.022	-0.022	-0.025	0.10
	-0.020	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	0.05
Simpangan (mm) dengan $f4$	-0.020	-0.022	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	-0.018	0.20
	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	0.15
	-0.022	-0.020	-0.020	-0.022	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	0.10
	-0.025	-0.020	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.022	0.05

Tabel 4.8 Simpangan dari Ukuran Sebenarnya dengan Variasi Nilai Kecepatan Pemakanan pada Metode Pemakanan Konvensional

Simpangan dengan variasi kecepatan pemakanan	Sisi benda uji								Kedalaman pemotongan (mm)
	Yang tercekam				Yang tidak tercekam				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	
Simpangan (mm) dengan $f1$	0.025	0.025	0.025	0.025	0.035	0.035	0.035	0.033	0.20
	0.020	0.025	0.022	0.025	0.030	0.030	0.030	0.030	0.15
	0.028	0.025	0.025	0.025	0.030	0.030	0.030	0.028	0.10
	0.033	0.025	0.023	0.025	0.028	0.028	0.028	0.028	0.05
Simpangan (mm) dengan $f2$	0.030	0.025	0.025	0.025	0.035	0.038	0.035	0.035	0.20
	0.025	0.025	0.025	0.025	0.032	0.032	0.032	0.032	0.15
	0.025	0.025	0.025	0.025	0.030	0.028	0.028	0.028	0.10
	0.030	0.025	0.025	0.025	0.030	0.030	0.030	0.030	0.05
Simpangan (mm) dengan $f3$	0.025	0.028	0.028	0.025	0.035	0.035	0.035	0.035	0.20
	0.028	0.025	0.025	0.025	0.032	0.032	0.032	0.032	0.15
	0.025	0.028	0.025	0.025	0.030	0.030	0.030	0.030	0.10
	0.030	0.025	0.025	0.025	0.030	0.030	0.030	0.030	0.05
Simpangan (mm) dengan $f4$	0.028	0.028	0.030	0.030	0.038	0.038	0.038	0.035	0.20
	0.025	0.025	0.025	0.025	0.032	0.032	0.032	0.032	0.15
	0.025	0.025	0.025	0.025	0.028	0.028	0.030	0.030	0.10
	0.035	0.030	0.025	0.025	0.030	0.030	0.030	0.030	0.05

IV.2.1 Analisa Nilai Kekasaran Permukaan Benda Kerja terhadap Kedua Metode Pemakanan

Pada kecepatan pemakanan pertama dan seterusnya kedua metode pemakanan menunjukkan hasil yang berbeda. Ternyata, metode pemakanan mendaki memiliki nilai Ra yang lebih besar daripada konvensional pada seluruh variasi kecepatan pemakanan. Ini berarti metode mendaki menghasilkan permukaan yang lebih kasar daripada konvensional. Namun, hal ini menyimpang dari hipotesa sehingga peneliti perlu mengamati hasil tersebut lebih lanjut. Secara kasat mata, ada

perbedaan yang muncul dimana pada metode mendaki dihasilkan permukaan yang lebih rata dibandingkan dengan permukaan konvensional. Sehingga, pada metode mendaki perlu dilakukan pengecekan lebih teliti untuk mengungkap keadaan yang demikian. Karena bisa saja terjadi kesalahan pada waktu melakukan pengukuran, penyebabnya adalah tidak dilakukan pengukuran pada posisi yang persis sama untuk masing-masing material uji konvensional. Tapi, bisa saja cara pengukuran demikian masih belum cukup memadai, oleh karena itu perlu dilakukan beberapa kali pengukuran pada daerah yang sama kemudian diambil nilai rata-ratanya.

IV.2.2 Analisa Nilai Kekasaran Permukaan Benda Kerja terhadap Kecepatan Pemakanan

Pada Gambar 4.1 – 4.4 yang menunjukkan metode pemakanan mendaki diketahui bahwa dengan kecepatan pemakanan yang semakin besar maka makin besar pula nilai penyimpangan rata-rata aritmetiknya (R_a). Hal ini menandakan makin kasar permukaan benda kerja tersebut. Berbeda halnya dengan Gambar 4.1 – 4.4 yang menunjukkan metode pemakanan konvensional, karena gambar tersebut tidak secara jelas memperlihatkan hal demikian. Seluruh data-datanya dapat dikatakan tidak akurat. Hal ini muncul karena adanya kelainan bentuk permukaan misalnya pada material uji konvensional permukaannya tidak homogen sehingga dihasilkan nilai kekasaran yang bisa berbeda di setiap

lintasannya. Cara pengukuran yang memadai dapat dilakukan dengan mengambil nilai rata-rata kekasaran pada daerah yang sama di setiap lintasannya. Ini berarti perlu melakukan pengukuran kekasaran beberapa kali pada daerah tersebut.

IV.2.3 Analisa Penyimpangan Ketelitian Ukuran terhadap Fasilitas Kompensasi Radius Alat Potong

Dari Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 diketahui bahwa telah terjadi penyimpangan ukuran dari ukuran yang sebenarnya. Walaupun besarnya kompensasi radius pisau iris tidak diubah sedikitpun pada waktu proses pengerjaan berlangsung, ternyata masih didapati penyimpangan. Hal ini menandakan ketidakteelitian ukuran pada proses pengerjaan dengan mesin CNC kali ini. Kompensasi radius pisau iris sendiri hanya dimasukkan sekali pada waktu pembuatan program yaitu sebesar nol. Ini berarti referensi pisau iris untuk memotong benda kerja diambil dari pusat pisau iris, bukannya di bagian tepi / keliling pisau iris. Namun, dapat diperkirakan bahwa penyimpangan bisa disebabkan oleh pisau iris selain mesin CNC itu sendiri. Kesalahan dalam memilih pisau iris dapat menjadi salah satu penyebabnya, misalnya: pisau iris yang dipilih ternyata tidak presisi sehingga muncul penyimpangan awal dalam memasukkan ukuran. Selain itu, dalam penelitian ini juga tidak dibandingkan faktor geometris dari dua buah pisau iris yang digunakan pada masing-masing metode pemakanan, sehingga tidak dapat diketahui besar penyimpangan ukuran

yang timbul dari faktor pisau iris itu sendiri. Faktor geometris pisau iris memang tidak dapat diketahui secara tepat dan menyeluruh, tetapi dengan suatu proses pengerjaan yang ringan dimungkinkan dapat diketahui penyimpangan awal ukurannya pada benda kerja. Sebab, melalui proses pengerjaan ringan dapat memungkinkan pisau iris untuk bekerja secara maksimal tanpa dipengaruhi oleh faktor kesentrisan maupun kelenturannya.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Secara keseluruhan hasil penelitian ini dapat dirangkum dalam tiga kesimpulan, antara lain:

1. Nilai penyimpangan rata-rata aritmetik (Ra) pada kedua metode pemakanan berbeda.
2. Makin besar kecepatan pemakanannya, maka makin besar pula nilai penyimpangan rata-rata aritmetiknya (Ra), yang memberikan arti bahwa makin kasar pula permukaannya.
3. Terjadi penyimpangan ukuran dari ukuran yang sebenarnya, hal ini menandakan adanya ketidakteelitian ukuran pada proses pengerjaan kali ini. Faktor geometris pisau iris tidak diperhitungkan sejak awal sehingga hanya diperoleh dugaan bahwa pisau iris tidak presisi dan telah menimbulkan penyimpangan awal saat memasukkan ukuran.

V.2 Saran

Adapun beberapa hal yang perlu ditelaah kembali saat melakukan penelitian yang sama pada mesin CNC yaitu:

1. Kecermatan, baik pada saat proses permesinan maupun pengukurannya, sehingga hasil penelitian yang didapat jauh lebih baik atau sempurna.

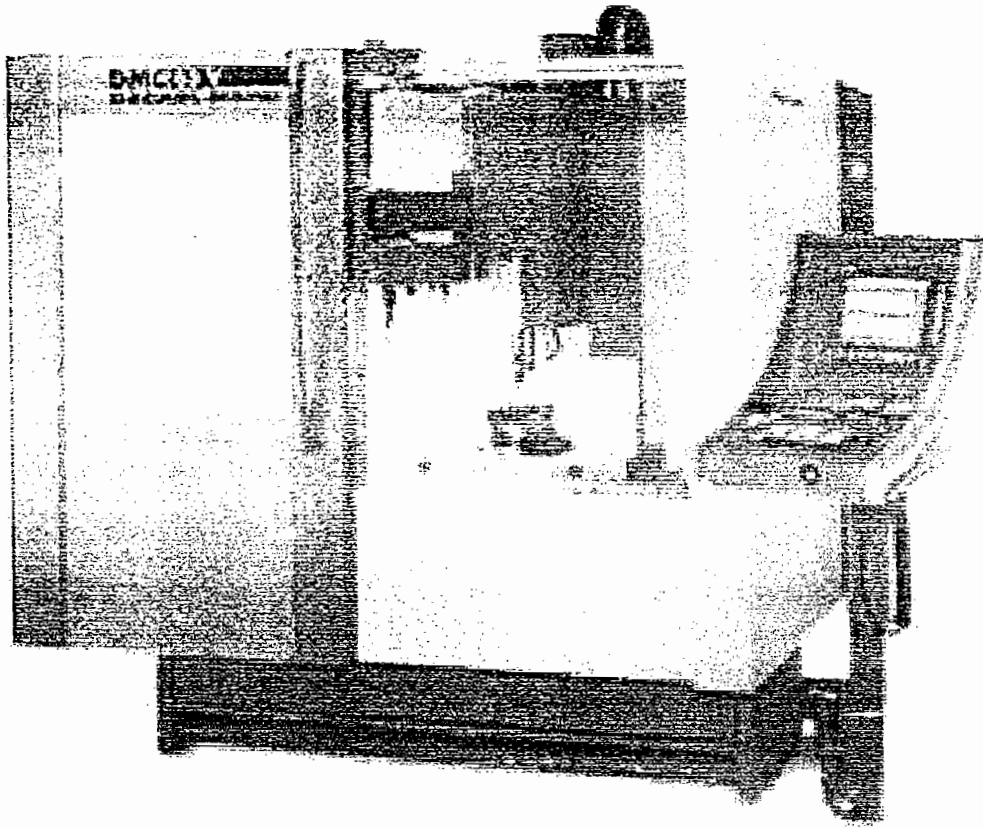
2. Pengaruh parameter-parameter itu sendiri, terutama alat potong yang harus disesuaikan dengan tingkat ketelitian mesinnya termasuk juga alat ukur yang akan digunakan.
3. Penambahan faktor-faktor yang diperlukan untuk mengetahui pengaruh ketelitian mesin seperti; faktor geometris alat potong, ketelitian program, faktor pengekaman benda kerja, faktor pengekaman alat potong, toleransi yang dapat dicapai, metode pengerjaan dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Avrutin, S., *Fundamentals of Milling Practice*, diterjemahkan oleh A. Troitsky, 2nd ed., The Foreign Languages Publishing House, Moscow, U.S.S.R.
- Boothroyd, G., *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*, McGraw-Hill Book Company.
- Doyle, E.L., *Metal Machining*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Groover, M.P., 1996, *Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes and System*, Prentice Hall Inc., New Jersey, USA.
- <http://www.heidenhain.com>, diakses lewat internet pada tanggal 1 Oktober 2003.
- <http://www.unionbutterfield.com>, diakses lewat internet pada tanggal 30 Oktober 2003.
- Kibbe, R.R., 1995, *Machine Tool Practices*, 5th ed., Prentice Hall Inc., New Jersey, USA.
- Lindberg, R.A., 1990, *Processes and Materials of Manufacture*, 4th ed., Allyn and Bacon, A division of Simon and Schuster Inc., Massachusetts.
- Lynch, M., *Computer Numerical Control Advanced Techniques*, McGraw-Hill Book Company.
- Ostwald, P.F., M. Jairo, 1997, *Manufacturing Processes and Systems*, 9th ed., John Wiley and Sons Inc., Canada.
- Sato, G. Hartanto, N. Sugiharto, 1994, *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, cet. VI, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Schey, J.A., 2000, *Introduction to Manufacturing Processes*, 3rd ed., McGraw-Hill Book Company.
- Walsh, R.A., 2001, *Handbook of Machining and Metalworking Calculations*, McGraw-Hill Book Company.

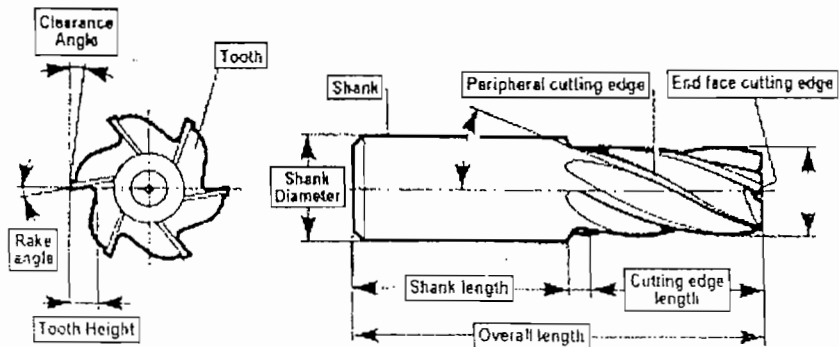
LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Mesin CNC DMC 63 V



(Sumber : <http://www.heidenhain.com>)

Lampiran 2. Gambar Pisau Iris Jenis *End Mill Finishing*



(Sumber : <http://www.unionbutterfield.com>)

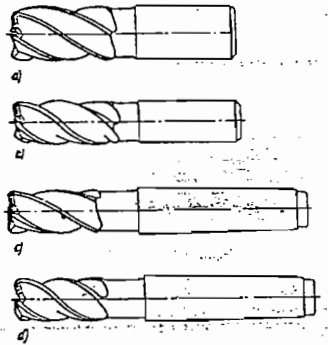
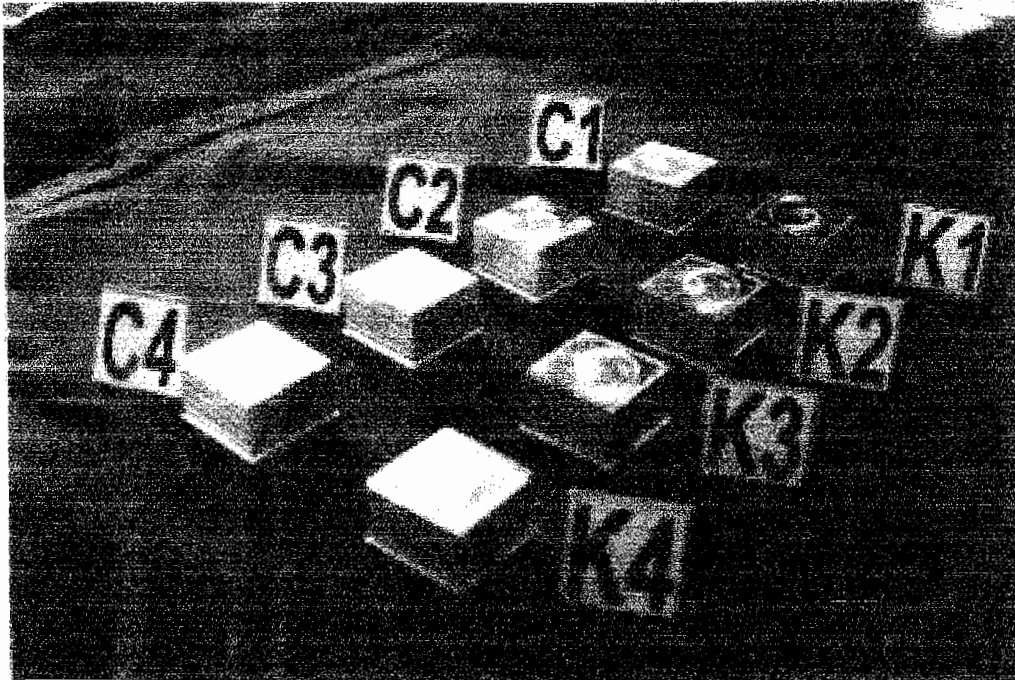


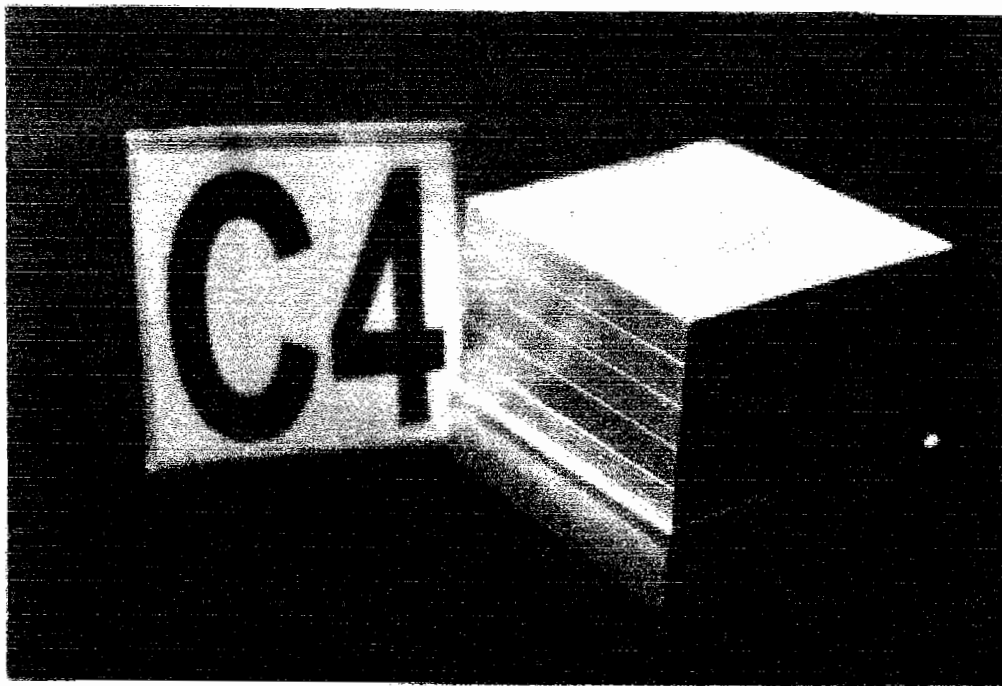
Fig. 194. End mills:
 a— with a straight shank and normal teeth,
 b— with a straight shank and coarse-pitch teeth,
 c— with a tapered shank and normal teeth,
 d— with a tapered shank and coarse-pitch teeth

(Sumber : Avrutin, S., *Fundamentals of Milling Practice*, hal. 265)

Lampiran 3. Gambar benda yang telah diuji.



Gambar kedelapan benda uji.



Gambar sebuah benda uji dengan metode pemakaian *climb*.

Lampiran 3. Lanjutan.



Gambar sebuah benda uji dengan metode pemakanan konvensional.

Lampiran 4. Gambar alat ukur dan alat uji.

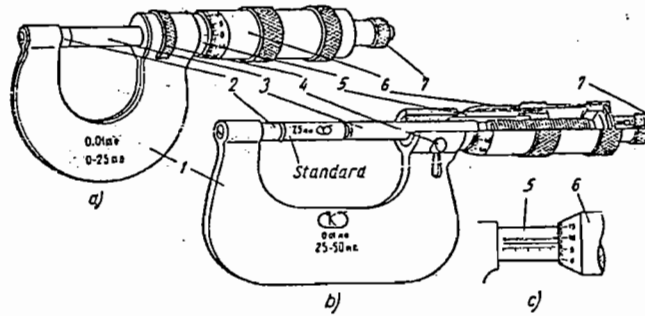
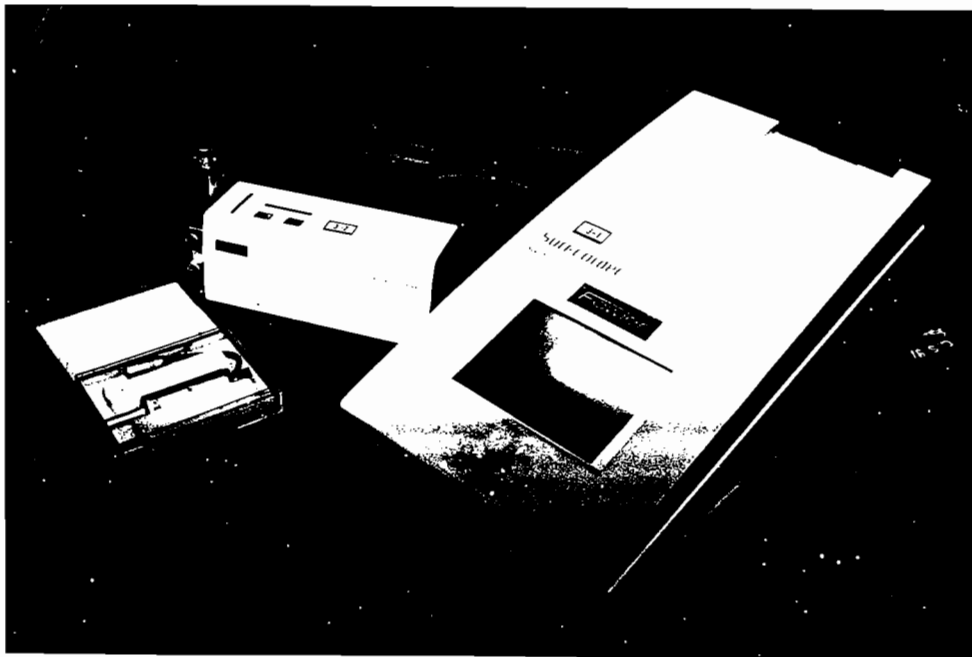


Fig. 14. Micrometer calipers:
a—for a measuring range from 0 to 25 mm, b—ditto, from 25 to 50 mm,
c—taking a reading

Alat Ukur Mikrometer.

(Sumber : Avrutin, S., *Fundamentals of Milling Practice*, hal. 32)



Alat uji Roughness Tester.

(Sumber : Lab. Meteorologi D3 Teknik Mesin – UGM, Yogyakarta)

Lampiran 5. Program Metode Pemakanan Mendaki dengan Kecepatan Pemakanan Pertama

```
0 BEGIN PGM CL_1 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-35
2 BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+0
3 TOOL CALL 23 Z S3883
4 L Z+100 R0 F MAX M13
5 L X+0 Y+0 R0 F MAX
6 L X-41 Y-41 R0 F2000
7 L Z-5 R0 F582
8 L X-19.8 Y-19.8 RL F582
9 L X-19.8 Y+19.8
10 L X+19.8 Y+19.8
11 L X+19.8 Y-19.8
12 L X-19.8 Y-19.8
13 L X-41 Y-41 R0 F2000
14 L Z-10 R0 F582
15 L X-19.85 Y-19.85 RL F582
16 L X-19.85 Y+19.85 RL F582
17 L X+19.85 Y+19.85 RL F582
18 L X+19.85 Y-19.85 RL F582
19 L X-19.85 Y-19.85 RL F582
20 L X-41 Y-41 R0 F2000
21 L Z-15 R0 F582
22 L X-19.9 Y-19.9 RL F582
23 L X-19.9 Y+19.9 RL F582
24 L X+19.9 Y+19.9 RL F582
25 L X+19.9 Y-19.9 RL F582
26 L X-19.9 Y-19.9 RL F582
27 L X-41 Y-41 R0 F2000
28 L Z-20 R0 F582
29 L X-19.95 Y-19.95 RL F582
30 L X-19.95 Y+19.95 RL F582
31 L X+19.95 Y+19.95 RL F582
32 L X+19.95 Y-19.95 RL F582
33 L X-19.95 Y-19.95 RL F582
34 L X-41 Y-41 R0 F2000
35 L Z+100 R0 F MAX M30
36 END PGM CS_1 MM
```

Lampiran 6. Program Metode Pemakanan Mendaki dengan Kecepatan Pemakanan Kedua.

```
0 BEGIN PGM CL_2 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-25
2 BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+25
3 TOOL CALL 23 Z S3883
4 L Z+100 R0 F MAX M13
5 L X+0 Y+0 R0 F MAX
6 L X-40 Y-40 R0 F2000
7 L Z-5 R0 F905
8 L X-19.8 Y-19.8 RL F905
9 L X-19.8 Y+19.8
10 L X+19.8 Y+19.8
11 L X+19.8 Y-19.8
12 L X-19.8 Y-19.8
13 L X-40 Y-40 R0 F2000
14 L Z-10 R0 F905
15 L X-19.85 Y-19.85 RL F905
16 L X-19.85 Y+19.85
17 L X+19.85 Y+19.85
18 L X+19.85 Y-19.85
19 L X-19.85 Y-19.85
20 L X-40 Y-40 R0 F2000
21 L Z-15 R0 F905
22 L X-19.9 Y-19.9 RL F905
23 L X-19.9 Y+19.9
24 L X+19.9 Y+19.9
25 L X+19.9 Y-19.9
26 L X-19.9 Y-19.9
27 L X-40 Y-40 R0 F2000
28 L Z-20 R0 F905
29 L X-19.95 Y-19.95 RL F905
30 L X-19.95 Y+19.95
31 L X+19.95 Y+19.95
32 L X+19.95 Y-19.95
33 L X-19.95 Y-19.95
34 L X-40 Y-40 R0 F2000
35 L Z+100 R0 F MAX M30
36 END PGM CS_2 MM
```



Lampiran 7. Program Metode Pemakanan Mendaki dengan Kecepatan Pemakanan Ketiga

```
0 BEGIN PGM CL_3 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-25
2 BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+0
3 TOOL CALL 23 Z S3883
4 L Z+100 R0 F MAX M13
5 L X+0 Y+0 R0 F MAX
6 L X-40 Y-40 R0 F2000
7 L Z-5 R0 F1231
8 L X-19.8 Y-19.8 RL F1231
9 L X-19.8 Y+19.8
10 L X+19.8 Y+19.8
11 L X+19.8 Y-19.8
12 L X-19.8 Y-19.8
13 L X-40 Y-40 R0 F2000
14 L Z-10 R0 F1231
15 L X-19.85 Y-19.85 RL F1231
16 L X-19.85 Y+19.85
17 L X+19.85 Y+19.85
18 L X+19.85 Y-19.85
19 L X-19.85 Y-19.85
20 L X-40 Y-40 R0 F2000
21 L Z-15 R0 F1231
22 L X-19.9 Y-19.9 RL F1231
23 L X-19.9 Y+19.9
24 L X+19.9 Y+19.9
25 L X+19.9 Y-19.9
26 L X-19.9 Y-19.9
27 L X-40 Y-40 R0 F2000
28 L Z-20 R0 F1231
29 L X-19.95 Y-19.95 RL F1231
30 L X-19.95 Y+19.95
31 L X+19.95 Y+19.95
32 L X+19.95 Y-19.95
33 L X-19.95 Y-19.95
34 L X-40 Y-40 R0 F2000
35 L Z+100 R0 F MAX M30
36 END PGM CS_3 MM
```

Lampiran 8. Program Metode Pemakanan Mendaki dengan Kecepatan Pemakanan Keempat

```
0 BEGIN PGM CL_4 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-25
2 BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+0
3 TOOL CALL 23 Z S3883
4 L Z+100 R0 F MAX M13
5 L X+0 Y+0 R0 F MAX
6 L X-40 Y-40 R0 F2000
7 L Z-5 R0 F1553
8 L X-19.8 Y-19.8 RL F1553
9 L X-19.8 Y+19.8
10 L X+19.8 Y+19.8
11 L X+19.8 Y-19.8
12 L X-19.8 Y-19.8
13 L X-40 Y-40 R0 F2000
14 L Z-10 R0 F1553
15 L X-19.85 Y-19.85 RL F1553
16 L X-19.85 Y+19.85
17 L X+19.85 Y+19.85
18 L X+19.85 Y-19.85
19 L X-19.85 Y-19.85
20 L X-40 Y-40 R0 F2000
21 L Z-15 R0 F1553
22 L X-19.9 Y-19.9 RL F1553
23 L X-19.9 Y+19.9
24 L X+19.9 Y+19.9
25 L X+19.9 Y-19.9
26 L X-19.9 Y-19.9
27 L X-40 Y-40 R0 F2000
28 L Z-20 R0 F1553
29 L X-19.95 Y-19.95 RL F1553
30 L X-19.95 Y+19.95
31 L X+19.95 Y+19.95
32 L X+19.95 Y-19.95
33 L X-19.95 Y-19.95
34 L X-40 Y-40 R0 F2000
35 L Z+100 R0 F MAX M30
36 END PGM CS_4 MM
```

Lampiran 9. Program Metode Pemakanan Konvensional dengan Kecepatan Pemakanan Pertama

```
0 BEGIN PGM KV_1 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-35
2 BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+0
3 TOOL CALL 23 Z S3883
4 L Z+100 R0 F MAX M13
5 L X+0 Y+0 R0 F MAX
6 L X-41 Y-41 R0 F2000
7 L Z-5 R0 F582
8 L X-19.8 Y-19.8 RR F582
9 L X+19.8 Y-19.8
10 L X+19.8 Y+19.8
11 L X-19.8 Y+19.8
12 L X-19.8 Y-19.8
13 L X-41 Y-41 R0 F2000
14 L Z-10 R0 F582
15 L X-19.85 Y-19.85 RR F582
16 L X+19.85 Y-19.85 RR F582
17 L X+19.85 Y+19.85 RR F582
18 L X-19.85 Y+19.85 RR F582
19 L X-19.85 Y-19.85 RR F582
20 L X-41 Y-41 R0 F2000
21 L Z-15 R0 F582
22 L X-19.9 Y-19.9 RR F582
23 L X+19.9 Y-19.9 RR F582
24 L X+19.9 Y+19.9 RR F582
25 L X-19.9 Y+19.9 RR F582
26 L X-19.9 Y-19.9 RR F582
27 L X-41 Y-41 R0 F2000
28 L Z-20 R0 F582
29 L X-19.95 Y-19.95 RR F582
30 L X+19.95 Y-19.95 RR F582
31 L X+19.95 Y+19.95 RR F582
32 L X-19.95 Y+19.95 RR F582
33 L X-19.95 Y-19.95 RR F582
34 L X-41 Y-41 R0 F2000
35 L Z+100 R0 F MAX M30
36 END PGM CS_1 MM
```

Lampiran 10. Program Metode Pemakanan Konvensional dengan Kecepatan Pemakanan Kedua

```
0 BEGIN PGM KV_2 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-25
2 BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+0
3 TOOL CALL 23 Z S3883
4 L Z+100 R0 F MAX M13
5 L X+0 Y+0 R0 F MAX
6 L X-40 Y-40 R0 F2000
7 L Z-5 R0 F905
8 L X-19.8 Y-19.8 RR F905
9 L X+19.8 Y-19.8
10 L X+19.8 Y+19.8
11 L X-19.8 Y+19.8
12 L X-19.8 Y-19.8
13 L X-40 Y-40 R0 F2000
14 L Z-10 R0 F905
15 L X-19.85 Y-19.85 RR F905
16 L X+19.85 Y-19.85
17 L X+19.85 Y+19.85
18 L X-19.85 Y+19.85
19 L X-19.85 Y-19.85
20 L X-40 Y-40 R0 F2000
21 L Z-15 R0 F905
22 L X-19.9 Y-19.9 RR F905
23 L X+19.9 Y-19.9
24 L X+19.9 Y+19.9
25 L X-19.9 Y+19.9
26 L X-19.9 Y-19.9
27 L X-40 Y-40 R0 F2000
28 L Z-20 R0 F905
29 L X-19.95 Y-19.95 RR F905
30 L X+19.95 Y-19.95
31 L X+19.95 Y+19.95
32 L X-19.95 Y+19.95
33 L X-19.95 Y-19.95
34 L X-40 Y-40 R0 F2000
35 L Z+100 R0 F MAX M30
36 END PGM CS_2 MM
```


Lampiran 11. Program Metode Pemakanan Konvensional dengan Kecepatan Pemakanan Ketiga

```
0 BEGIN PGM KV_3 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-25
2 BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+0
3 TOOL CALL 23 Z S3883
4 L Z+100 R0 F MAX M13
5 L X+0 Y+0 R0 F MAX
6 L X-40 Y-40 R0 F2000
7 L Z-5 R0 F1231
8 L X-19.8 Y-19.8 RR F1231
9 L X+19.8 Y-19.8
10 L X+19.8 Y+19.8
11 L X-19.8 Y+19.8
12 L X-19.8 Y-19.8
13 L X-40 Y-40 R0 F2000
14 L Z-10 R0 F1231
15 L X-19.85 Y-19.85 RR F1231
16 L X+19.85 Y-19.85
17 L X+19.85 Y+19.85
18 L X-19.85 Y+19.85
19 L X-19.85 Y-19.85
20 L X-40 Y-40 R0 F2000
21 L Z-15 R0 F1231
22 L X-19.9 Y-19.9 RR F1231
23 L X+19.9 Y-19.9
24 L X+19.9 Y+19.9
25 L X-19.9 Y+19.9
26 L X-19.9 Y-19.9
27 L X-40 Y-40 R0 F2000
28 L Z-20 R0 F1231
29 L X-19.95 Y-19.95 RR F1231
30 L X+19.95 Y-19.95
31 L X+19.95 Y+19.95
32 L X-19.95 Y+19.95
33 L X-19.95 Y-19.95
34 L X-40 Y-40 R0 F2000
35 L Z+100 R0 F MAX M30
36 END PGM CS_3 MM
```

Lampiran 12. Program Metode Pemakanan Konvensional dengan Kecepatan Pemakanan Keempat

```
0 BEGIN PGM KV_4 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-20 Y-20 Z-25
2 BLK FORM 0.2 X+20 Y+20 Z+0
3 TOOL CALL 23 Z S3883
4 L Z+100 R0 F MAX M13
5 L X+0 Y+0 R0 F MAX
6 L X-40 Y-40 R0 F2000
7 L Z-5 R0 F1553
8 L X-19.8 Y-19.8 RR F1553
9 L X+19.8 Y-19.8
10 L X+19.8 Y+19.8
11 L X-19.8 Y+19.8
12 L X-19.8 Y-19.8
13 L X-40 Y-40 R0 F2000
14 L Z-10 R0 F1553
15 L X-19.85 Y-19.85 RR F1553
16 L X+19.85 Y-19.85
17 L X+19.85 Y+19.85
18 L X-19.85 Y+19.85
19 L X-19.85 Y-19.85
20 L X-40 Y-40 R0 F2000
21 L Z-15 R0 F1553
22 L X-19.9 Y-19.9 RR F1553
23 L X+19.9 Y-19.9
24 L X+19.9 Y+19.9
25 L X-19.9 Y+19.9
26 L X-19.9 Y-19.9
27 L X-40 Y-40 R0 F2000
28 L Z-20 R0 F1553
29 L X-19.95 Y-19.95 RR F1553
30 L X+19.95 Y-19.95
31 L X+19.95 Y+19.95
32 L X-19.95 Y+19.95
33 L X-19.95 Y-19.95
34 L X-40 Y-40 R0 F2000
35 L Z+100 R0 F MAX M30
36 END PGM CS_4 MM
```

Lampiran 13. Gambar cetak untuk C1, sisi I dengan *Roughness Tester*.

Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:38:18
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1548 μm
 Ra1 : 0.1498 μm
 Ra2 : 0.1800 μm
 Rmax : 0.1800 μm
 Ramin : 0.1498 μm
 Rz : 1.175 μm
 Rz1 : 1.050 μm
 Rz2 : 1.300 μm
 Rzmax : 1.300 μm
 Rzmin : 1.050 μm
 Rmax : 1.300 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

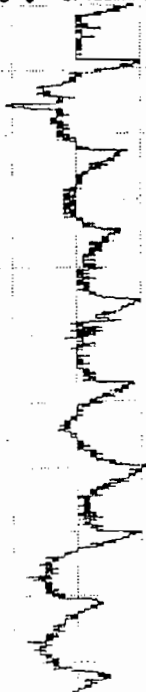


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:35:58
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1450 μm
 Ra1 : 0.1303 μm
 Ra2 : 0.1598 μm
 Rmax : 0.1598 μm
 Ramin : 0.1303 μm
 Rz : 1.025 μm
 Rz1 : 1.050 μm
 Rz2 : 1.000 μm
 Rzmax : 1.050 μm
 Rzmin : 1.000 μm
 Rmax : 1.050 μm

F Profile
 V 20000 \rightarrow 0.500 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:33:47
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1626 μm
 Ra1 : 0.1688 μm
 Ra2 : 0.1584 μm
 Rmax : 0.1688 μm
 Ramin : 0.1584 μm
 Rz : 0.9500 μm
 Rz1 : 1.000 μm
 Rz2 : 0.9000 μm
 Rzmax : 1.000 μm
 Rzmin : 0.9000 μm
 Rmax : 1.000 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:31:29
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.3489 μm
 Ra1 : 0.3448 μm
 Ra2 : 0.3493 μm
 Rmax : 0.3493 μm
 Ramin : 0.3448 μm
 Rz : 2.025 μm
 Rz1 : 2.100 μm
 Rz2 : 1.950 μm
 Rzmax : 2.100 μm
 Rzmin : 1.950 μm
 Rmax : 2.100 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



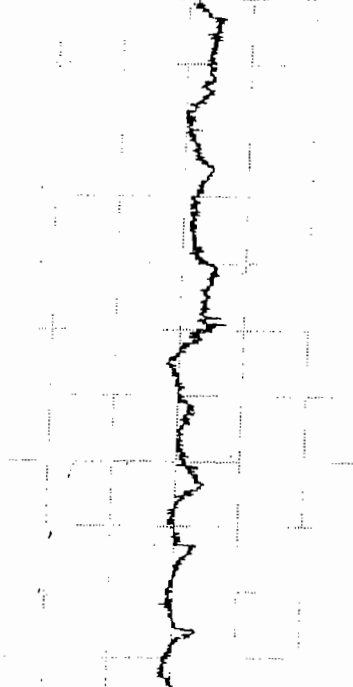
Lampiran 14. Gambar cetak untuk C1, sisi IV dengan *Roughness Tester*.

Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:47:43
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1821 μm
 Ra1 : 0.2623 μm
 Ra2 : 0.1019 μm
 Ramax : 0.2623 μm
 Ramin : 0.1019 μm
 Rz : 0.8000 μm
 Rz1 : 0.9500 μm
 Rz2 : 0.6500 μm
 Rzmax : 0.9500 μm
 Rzmin : 0.6500 μm
 Rmax : 0.9500 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

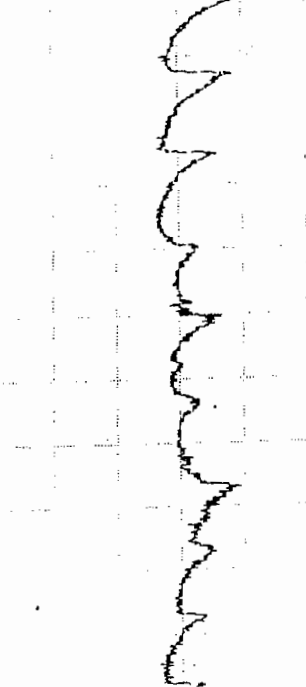


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:45:37
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1886 μm
 Ra1 : 0.2072 μm
 Ra2 : 0.1700 μm
 Ramax : 0.2072 μm
 Ramin : 0.1700 μm
 Rz : 1.425 μm
 Rz1 : 1.550 μm
 Rz2 : 1.300 μm
 Rzmax : 1.550 μm
 Rzmin : 1.300 μm
 Rmax : 1.550 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

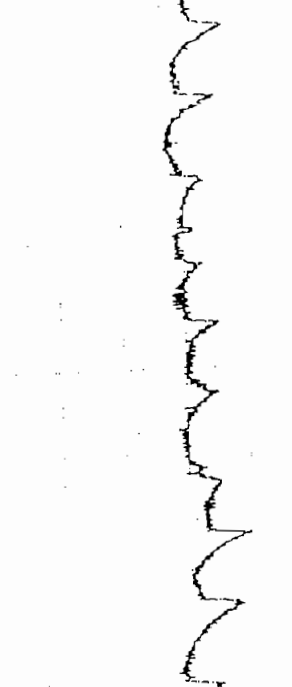


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:42:53
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1740 μm
 Ra1 : 0.1310 μm
 Ra2 : 0.2170 μm
 Ramax : 0.2170 μm
 Ramin : 0.1310 μm
 Rz : 1.175 μm
 Rz1 : 1.000 μm
 Rz2 : 1.350 μm
 Rzmax : 1.350 μm
 Rzmin : 1.000 μm
 Rmax : 1.350 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

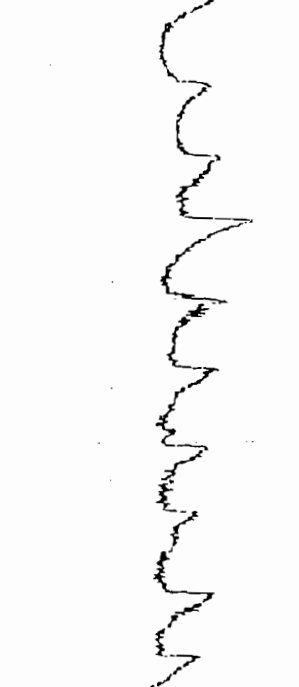


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:40:53
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2136 μm
 Ra1 : 0.2357 μm
 Ra2 : 0.1815 μm
 Ramax : 0.2357 μm
 Ramin : 0.1815 μm
 Rz : 1.350 μm
 Rz1 : 1.500 μm
 Rz2 : 1.200 μm
 Rzmax : 1.500 μm
 Rzmin : 1.200 μm
 Rmax : 1.500 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



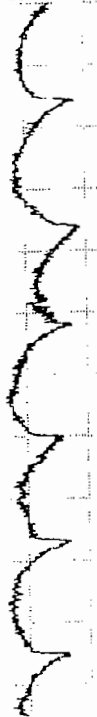
Lampiran 15. Gambar cetak untuk C2, sisi I dengan *Roughness Tester*.

Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11:20: 2
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1949 μm
 Ra1 : 0.2205 μm
 Ra2 : 0.1692 μm
 Rmax : 0.2205 μm
 Rmin : 0.1692 μm
 Rz : 1.100 μm
 Rz1 : 1.150 μm
 Rz2 : 1.050 μm
 Rzmax : 1.150 μm
 Rzmin : 1.050 μm
 Rmax : 1.150 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11:17:41
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2497 μm
 Ra1 : 0.3097 μm
 Ra2 : 0.1896 μm
 Rmax : 0.3097 μm
 Rmin : 0.1896 μm
 Rz : 1.300 μm
 Rz1 : 1.500 μm
 Rz2 : 1.100 μm
 Rzmax : 1.500 μm
 Rzmin : 1.100 μm
 Rmax : 1.500 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11:15:21
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2607 μm
 Ra1 : 0.2870 μm
 Ra2 : 0.2543 μm
 Rmax : 0.2870 μm
 Rmin : 0.2543 μm
 Rz : 1.725 μm
 Rz1 : 1.750 μm
 Rz2 : 1.700 μm
 Rzmax : 1.750 μm
 Rzmin : 1.700 μm
 Rmax : 1.750 μm

F Profile
 V 6000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11:13:20
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1905 μm
 Ra1 : 0.2041 μm
 Ra2 : 0.1770 μm
 Rmax : 0.2041 μm
 Rmin : 0.1770 μm
 Rz : 1.100 μm
 Rz1 : 1.100 μm
 Rz2 : 1.100 μm
 Rzmax : 1.100 μm
 Rzmin : 1.100 μm
 Rmax : 1.100 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



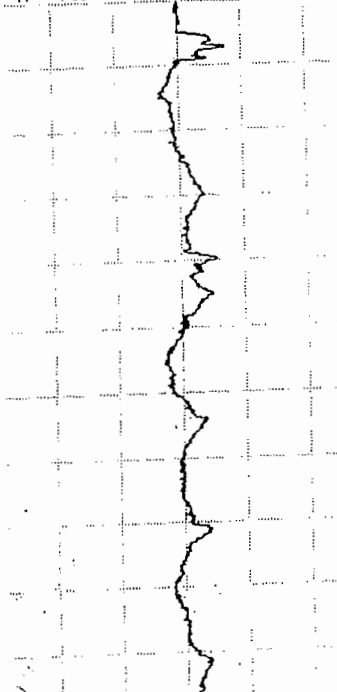
Lampiran 16. Gambar cetak untuk C2, sisi IV dengan *Roughness Tester*.

Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11:28:18
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2908 μm
 Ra1 : 0.3521 μm
 Ra2 : 0.2295 μm
 Rmax : 0.3521 μm
 Rmin : 0.2295 μm
 Rz : 1.700 μm
 Rz1 : 2.150 μm
 Rz2 : 1.250 μm
 Rzmax : 2.150 μm
 Rzmin : 1.250 μm
 Rmax : 2.150 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

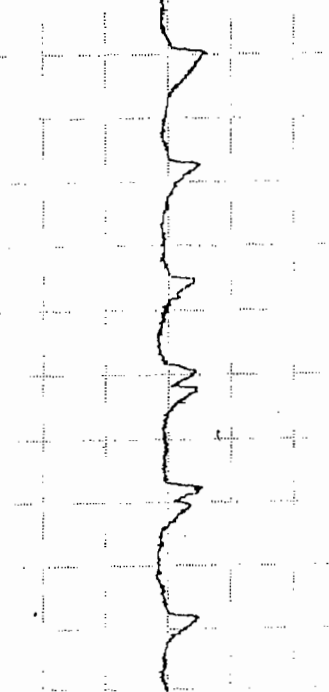


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11:28:17
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2814 μm
 Ra1 : 0.2843 μm
 Ra2 : 0.2884 μm
 Rmax : 0.2884 μm
 Rmin : 0.2843 μm
 Rz : 1.700 μm
 Rz1 : 1.800 μm
 Rz2 : 1.800 μm
 Rzmax : 1.800 μm
 Rzmin : 1.800 μm
 Rmax : 1.800 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

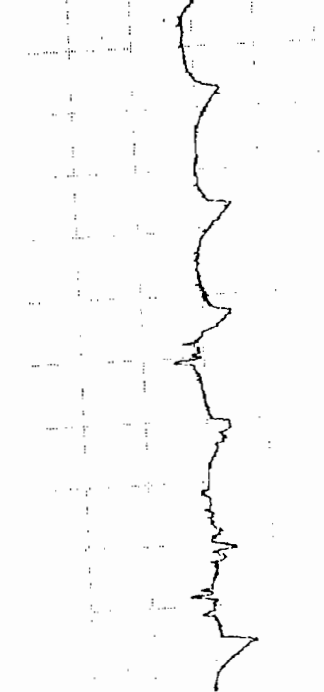


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11:24:21
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2360 μm
 Ra1 : 0.2589 μm
 Ra2 : 0.2130 μm
 Rmax : 0.2589 μm
 Rmin : 0.2130 μm
 Rz : 2.100 μm
 Rz1 : 1.800 μm
 Rz2 : 2.400 μm
 Rzmax : 2.400 μm
 Rzmin : 1.800 μm
 Rmax : 2.400 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

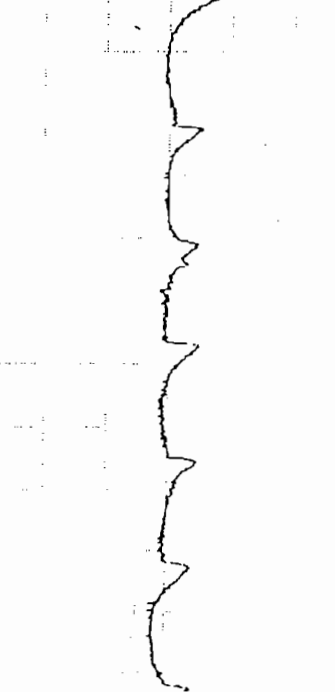


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11:22:19
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2513 μm
 Ra1 : 0.2557 μm
 Ra2 : 0.2469 μm
 Rmax : 0.2557 μm
 Rmin : 0.2469 μm
 Rz : 1.750 μm
 Rz1 : 1.950 μm
 Rz2 : 1.550 μm
 Rzmax : 1.950 μm
 Rzmin : 1.550 μm
 Rmax : 1.950 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Lampiran 17. Gambar cetak untuk C3, sisi I dengan *Roughness Tester*.

Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:12:22
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3982 μm
 Ra1 : 0.4181 μm
 Ra2 : 0.3782 μm
 Rmax : 0.4181 μm
 Ramin : 0.3782 μm
 Rz : 2.300 μm
 Rz1 : 2.500 μm
 Rz2 : 2.100 μm
 Rzmax : 2.500 μm
 Rzmin : 2.100 μm
 Rmax : 2.600 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:10:37
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3158 μm
 Ra1 : 0.3179 μm
 Ra2 : 0.3137 μm
 Rmax : 0.3179 μm
 Ramin : 0.3137 μm
 Rz : 1.900 μm
 Rz1 : 1.850 μm
 Rz2 : 1.950 μm
 Rzmax : 1.950 μm
 Rzmin : 1.850 μm
 Rmax : 1.950 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

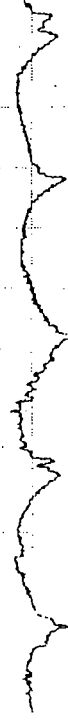


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8: 8:52
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3335 μm
 Ra1 : 0.3472 μm
 Ra2 : 0.3198 μm
 Rmax : 0.3472 μm
 Ramin : 0.3198 μm
 Rz : 1.975 μm
 Rz1 : 1.950 μm
 Rz2 : 2.000 μm
 Rzmax : 2.000 μm
 Rzmin : 1.950 μm
 Rmax : 2.000 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

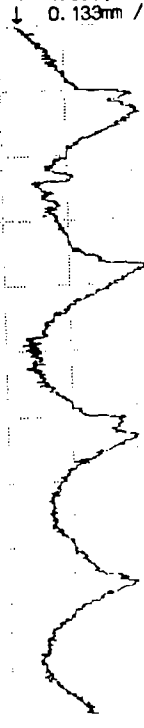


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8: 8:48
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3837 μm
 Ra1 : 0.3762 μm
 Ra2 : 0.3511 μm
 Rmax : 0.3762 μm
 Ramin : 0.3511 μm
 Rz : 1.775 μm
 Rz1 : 1.950 μm
 Rz2 : 1.600 μm
 Rzmax : 1.950 μm
 Rzmin : 1.600 μm
 Rmax : 1.950 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



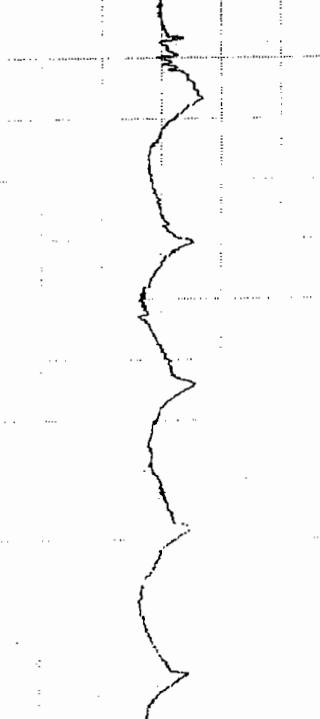
Lampiran 18. Gambar cetak untuk C3, sisi IV dengan *Roughness Tester*.

Surfconder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:20:30
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3574 μm
 Ra1 : 0.3556 μm
 Ra2 : 0.3582 μm
 Rmax : 0.3582 μm
 Rmin : 0.3555 μm
 Rz : 2.125 μm
 Rz1 : 2.200 μm
 Rz2 : 2.050 μm
 Rzmax : 2.200 μm
 Rzmin : 2.050 μm
 Rmax : 2.200 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

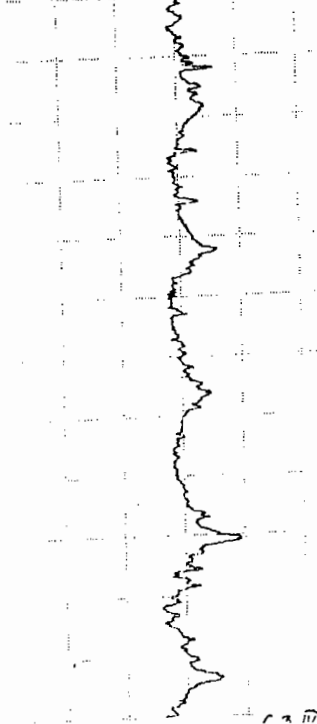


Surfconder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:18:41
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3132 μm
 Ra1 : 0.2813 μm
 Ra2 : 0.3451 μm
 Rmax : 0.3451 μm
 Rmin : 0.2813 μm
 Rz : 2.200 μm
 Rz1 : 1.700 μm
 Rz2 : 2.700 μm
 Rzmax : 2.700 μm
 Rzmin : 1.700 μm
 Rmax : 2.700 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

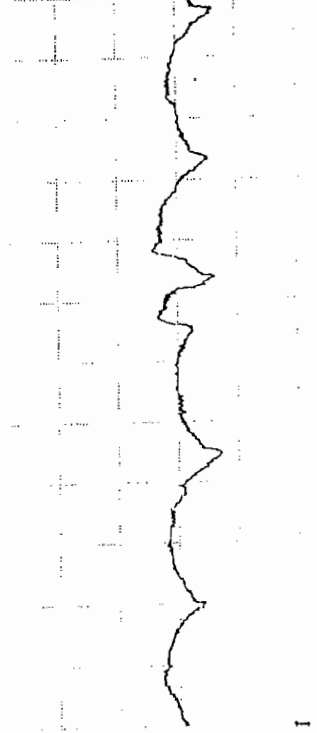


Surfconder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:18:39
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3448 μm
 Ra1 : 0.3878 μm
 Ra2 : 0.3018 μm
 Rmax : 0.3878 μm
 Rmin : 0.3018 μm
 Rz : 2.075 μm
 Rz1 : 2.100 μm
 Rz2 : 2.050 μm
 Rzmax : 2.100 μm
 Rzmin : 2.050 μm
 Rmax : 2.100 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

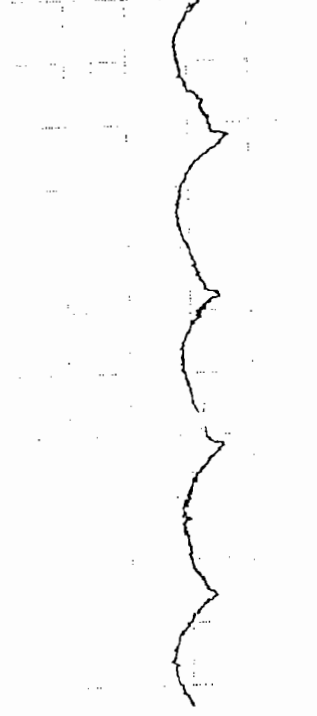


Surfconder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:14:55
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3234 μm
 Ra1 : 0.3337 μm
 Ra2 : 0.3131 μm
 Rmax : 0.3337 μm
 Rmin : 0.3131 μm
 Rz : 1.825 μm
 Rz1 : 1.800 μm
 Rz2 : 1.850 μm
 Rzmax : 1.850 μm
 Rzmin : 1.800 μm
 Rmax : 1.850 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Lampiran 19. Gambar cetak untuk C4, sisi I dengan *Roughness Tester*.

Surfcomder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:22:10
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.4842 μm
 Ra1 : 0.5107 μm
 Ra2 : 0.4578 μm
 Rmax : 0.5107 μm
 Rmin : 0.4578 μm
 Rz : 2.650 μm
 Rz1 : 2.650 μm
 Rz2 : 2.650 μm
 Rzmax : 2.650 μm
 Rzmin : 2.650 μm
 Rmax : 2.650 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcomder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:20: 8
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.4808 μm
 Ra1 : 0.4787 μm
 Ra2 : 0.4428 μm
 Rmax : 0.4787 μm
 Rmin : 0.4428 μm
 Rz : 2.300 μm
 Rz1 : 2.350 μm
 Rz2 : 2.250 μm
 Rzmax : 2.350 μm
 Rzmin : 2.250 μm
 Rmax : 2.350 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcomder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:24:55
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.4985 μm
 Ra1 : 0.5120 μm
 Ra2 : 0.4851 μm
 Rmax : 0.5120 μm
 Rmin : 0.4851 μm
 Rz : 2.650 μm
 Rz1 : 2.550 μm
 Rz2 : 2.750 μm
 Rzmax : 2.750 μm
 Rzmin : 2.550 μm
 Rmax : 2.750 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcomder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:14: 5
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.4570 μm
 Ra1 : 0.4355 μm
 Ra2 : 0.4788 μm
 Rmax : 0.4788 μm
 Rmin : 0.4355 μm
 Rz : 2.600 μm
 Rz1 : 2.900 μm
 Rz2 : 2.300 μm
 Rzmax : 2.900 μm
 Rzmin : 2.300 μm
 Rmax : 2.900 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



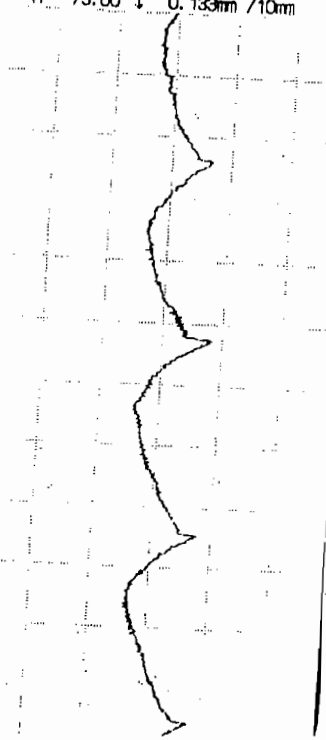
Lampiran 20. Gambar cetak untuk C4, sisi IV dengan *Roughness Tester*.

Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:33:18
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.4840 μm
 Ra1 : 0.4275 μm
 Ra2 : 0.5006 μm
 Rmax : 0.5006 μm
 Ramin : 0.4275 μm
 Rz : 2.375 μm
 Rz1 : 2.350 μm
 Rz2 : 2.400 μm
 Rzmax : 2.400 μm
 Rzmin : 2.350 μm
 Rmax : 2.400 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

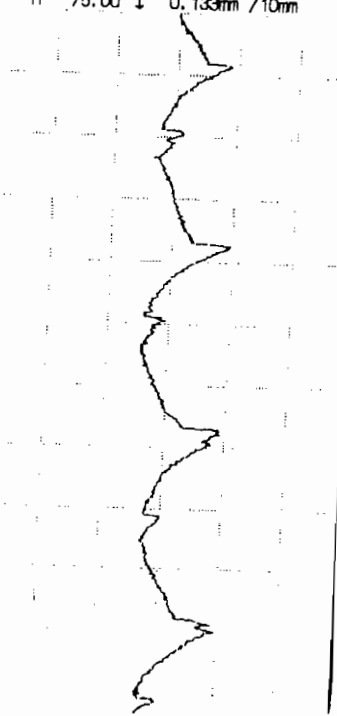


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:31:10
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.4971 μm
 Ra1 : 0.4886 μm
 Ra2 : 0.5058 μm
 Rmax : 0.5058 μm
 Ramin : 0.4886 μm
 Rz : 2.825 μm
 Rz1 : 2.850 μm
 Rz2 : 2.800 μm
 Rzmax : 2.850 μm
 Rzmin : 2.800 μm
 Rmax : 2.850 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

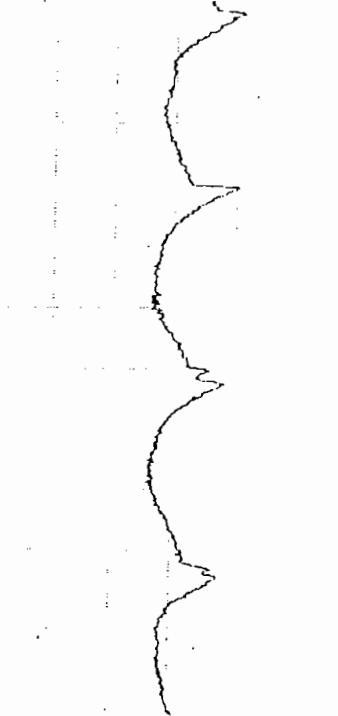


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:28:11
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.4850 μm
 Ra1 : 0.5070 μm
 Ra2 : 0.4629 μm
 Rmax : 0.5070 μm
 Ramin : 0.4629 μm
 Rz : 2.775 μm
 Rz1 : 3.000 μm
 Rz2 : 2.550 μm
 Rzmax : 3.000 μm
 Rzmin : 2.550 μm
 Rmax : 3.000 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

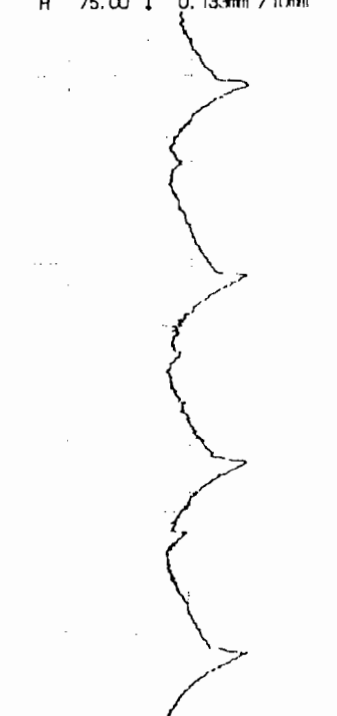


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:27:8
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.5011 μm
 Ra1 : 0.5062 μm
 Ra2 : 0.4659 μm
 Rmax : 0.5062 μm
 Ramin : 0.4659 μm
 Rz : 2.725 μm
 Rz1 : 2.700 μm
 Rz2 : 2.750 μm
 Rzmax : 2.750 μm
 Rzmin : 2.700 μm
 Rmax : 2.750 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



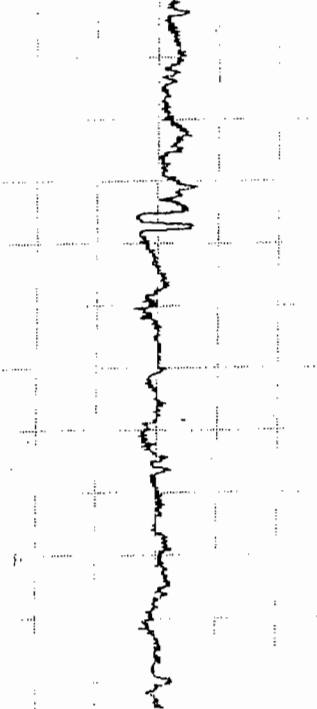
Lampiran 21. Gambar cetak untuk K1, sisi III dengan *Roughness Tester*.

Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:28: 8
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1421 μm
 Ra1 : 0.1950 μm
 Ra2 : 0.0892 μm
 Rmax : 0.1950 μm
 Rmin : 0.0892 μm
 Rz : 0.9000 μm
 Rz1 : 1.050 μm
 Rz2 : 0.7500 μm
 Rzmax : 1.050 μm
 Rzmin : 0.7500 μm
 Rmax : 1.050 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

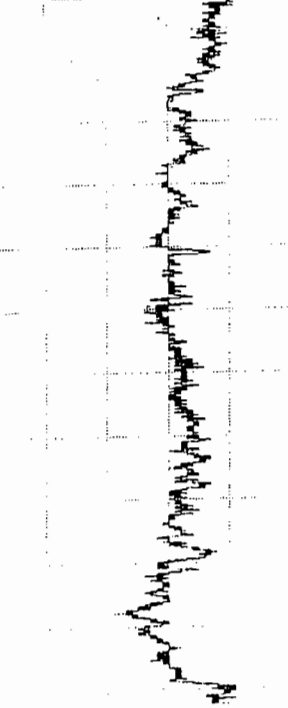


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:25:48
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1384 μm
 Ra1 : 0.1438 μm
 Ra2 : 0.1330 μm
 Rmax : 0.1438 μm
 Rmin : 0.1330 μm
 Rz : 0.9000 μm
 Rz1 : 0.8000 μm
 Rz2 : 1.000 μm
 Rzmax : 1.000 μm
 Rzmin : 0.8000 μm
 Rmax : 1.000 μm

F Profile
 V 20000 \rightarrow 0.500 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

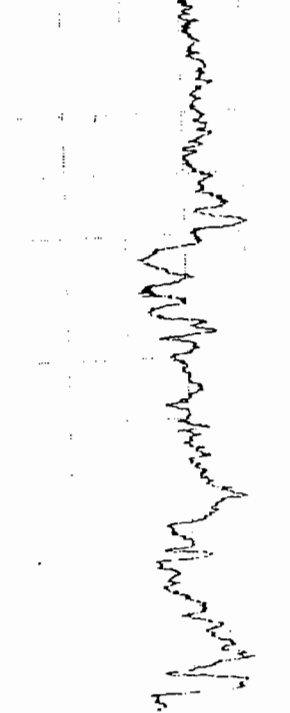


Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:21:22
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.2939 μm
 Ra1 : 0.2977 μm
 Ra2 : 0.2902 μm
 Rmax : 0.2977 μm
 Rmin : 0.2902 μm
 Rz : 1.800 μm
 Rz1 : 1.850 μm
 Rz2 : 1.750 μm
 Rzmax : 1.850 μm
 Rzmin : 1.750 μm
 Rmax : 1.850 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:19: 7
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.2889 μm
 Ra1 : 0.3160 μm
 Ra2 : 0.2618 μm
 Rmax : 0.3160 μm
 Rmin : 0.2618 μm
 Rz : 2.925 μm
 Rz1 : 3.400 μm
 Rz2 : 2.450 μm
 Rzmax : 3.400 μm
 Rzmin : 2.450 μm
 Rmax : 3.400 μm

F Profile
 V 2000 \rightarrow 5.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



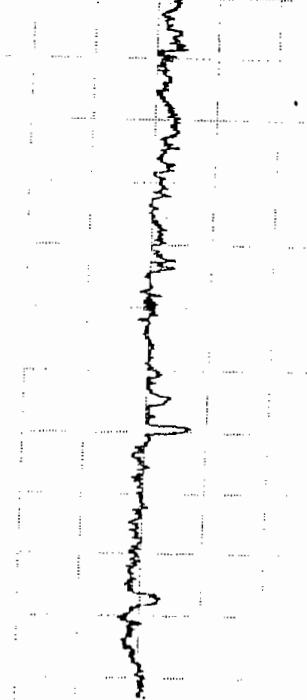
Lampiran 22. Gambar cetak untuk K1, sisi II dengan *Roughness Tester*.

Surfcoorder SF1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:18:37
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1254 μm
 Ra1 : 0.1408 μm
 Ra2 : 0.1100 μm
 Rmax : 0.1408 μm
 Ramin : 0.1100 μm
 Rz : 0.9000 μm
 Rz1 : 0.7000 μm
 Rz2 : 1.100 μm
 Rzmax : 1.100 μm
 Rzmin : 0.7000 μm
 Rmax : 1.100 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

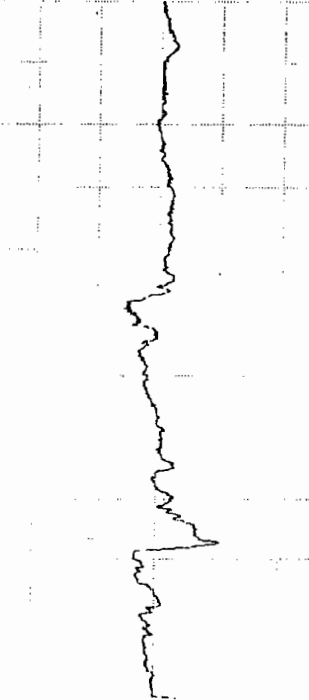


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:14:20
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3072 μm
 Ra1 : 0.2799 μm
 Ra2 : 0.3348 μm
 Rmax : 0.3348 μm
 Ramin : 0.2799 μm
 Rz : 2.300 μm
 Rz1 : 1.700 μm
 Rz2 : 2.900 μm
 Rzmax : 2.900 μm
 Rzmin : 1.700 μm
 Rmax : 2.900 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

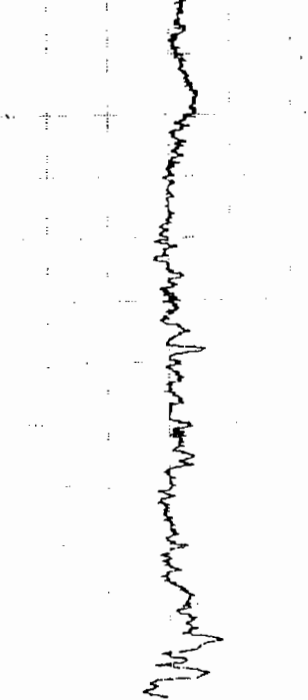


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:12: 4
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1689 μm
 Ra1 : 0.1476 μm
 Ra2 : 0.1902 μm
 Rmax : 0.1902 μm
 Ramin : 0.1476 μm
 Rz : 1.225 μm
 Rz1 : 0.8500 μm
 Rz2 : 1.600 μm
 Rzmax : 1.600 μm
 Rzmin : 0.8500 μm
 Rmax : 1.600 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

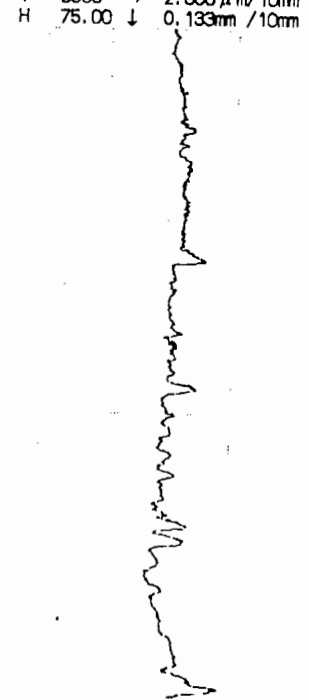


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10: 8:20
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3483 μm
 Ra1 : 0.2751 μm
 Ra2 : 0.4174 μm
 Rmax : 0.4174 μm
 Ramin : 0.2751 μm
 Rz : 2.375 μm
 Rz1 : 1.300 μm
 Rz2 : 3.450 μm
 Rzmax : 3.450 μm
 Rzmin : 1.300 μm
 Rmax : 3.450 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



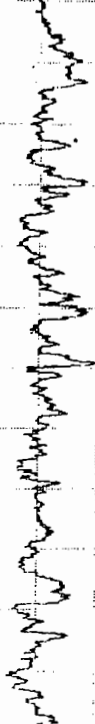
Lampiran 23. Gambar cetak untuk K2, sisi I dengan *Roughness Tester*.

Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:58:45
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1947 μm
 Ra1 : 0.2304 μm
 Ra2 : 0.1590 μm
 Rmax : 0.2304 μm
 Rmin : 0.1590 μm
 Rz : 1.250 μm
 Rz1 : 1.400 μm
 Rz2 : 1.100 μm
 Rzmax : 1.400 μm
 Rzmin : 1.100 μm
 Rmax : 1.400 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm

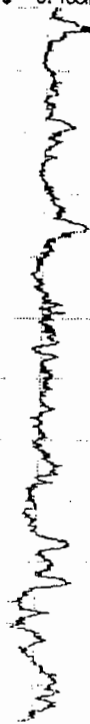


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:54:38
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1459 μm
 Ra1 : 0.1444 μm
 Ra2 : 0.1474 μm
 Rmax : 0.1474 μm
 Rmin : 0.1444 μm
 Rz : 1.000 μm
 Rz1 : 0.9500 μm
 Rz2 : 1.050 μm
 Rzmax : 1.050 μm
 Rzmin : 0.9500 μm
 Rmax : 1.050 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm

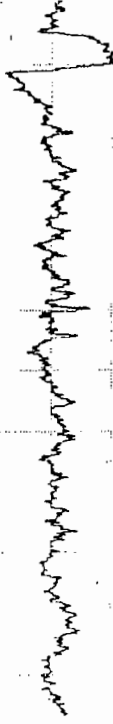


Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:52:34
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1741 μm
 Ra1 : 0.2149 μm
 Ra2 : 0.1333 μm
 Rmax : 0.2149 μm
 Rmin : 0.1333 μm
 Rz : 1.375 μm
 Rz1 : 1.900 μm
 Rz2 : 0.8500 μm
 Rzmax : 1.900 μm
 Rzmin : 0.8500 μm
 Rmax : 1.900 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfcoorder SE1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:31:58
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1475 μm
 Ra1 : 0.1489 μm
 Ra2 : 0.1462 μm
 Rmax : 0.1489 μm
 Rmin : 0.1462 μm
 Rz : 1.200 μm
 Rz1 : 1.100 μm
 Rz2 : 1.300 μm
 Rzmax : 1.300 μm
 Rzmin : 1.100 μm
 Rmax : 1.300 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



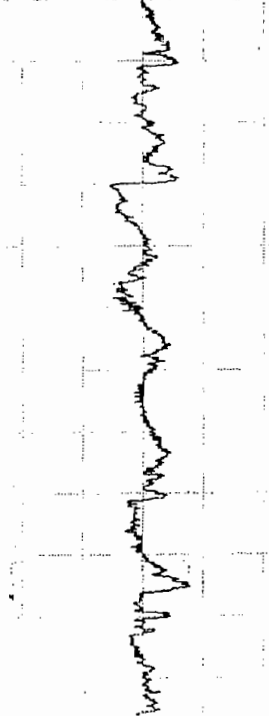
Lampiran 24. Gambar cetak untuk K2, sisi IV dengan *Roughness Tester*.

Surfcorder SR1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11: 8:34
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1999 μm
 Ra1 : 0.1991 μm
 Ra2 : 0.1416 μm
 Rmax : 0.1991 μm
 Rmin : 0.1416 μm
 Rz : 1.125 μm
 Rz1 : 1.150 μm
 Rz2 : 1.100 μm
 Rzmax : 1.150 μm
 Rzmin : 1.100 μm
 Rmax : 1.150 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfcorder SR1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 11: 3:48
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1978 μm
 Ra1 : 0.1934 μm
 Ra2 : 0.2022 μm
 Rmax : 0.2022 μm
 Rmin : 0.1934 μm
 Rz : 2.525 μm
 Rz1 : 1.950 μm
 Rz2 : 3.100 μm
 Rzmax : 3.100 μm
 Rzmin : 1.950 μm
 Rmax : 3.100 μm

F Profile
 V 2000 \rightarrow 5.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfcorder SR1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8:29:53
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2332 μm
 Ra1 : 0.1772 μm
 Ra2 : 0.2891 μm
 Rmax : 0.2891 μm
 Rmin : 0.1772 μm
 Rz : 1.675 μm
 Rz1 : 1.000 μm
 Rz2 : 2.150 μm
 Rzmax : 2.150 μm
 Rzmin : 1.000 μm
 Rmax : 2.150 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm

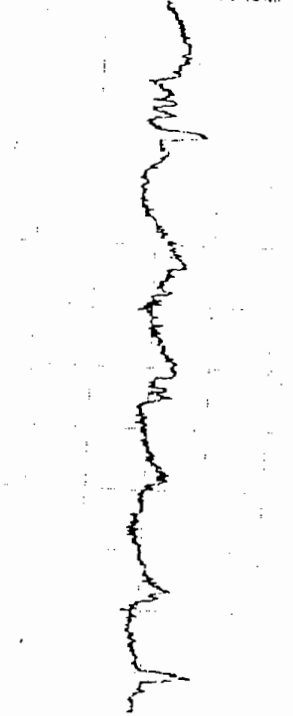


Surfcorder SR1700

DATE : 4/ 3/31
 TIME : 10:59:20
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1936 μm
 Ra1 : 0.1945 μm
 Ra2 : 0.1327 μm
 Rmax : 0.1945 μm
 Rmin : 0.1327 μm
 Rz : 1.200 μm
 Rz1 : 1.100 μm
 Rz2 : 1.300 μm
 Rzmax : 1.300 μm
 Rzmin : 1.100 μm
 Rmax : 1.300 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Lampiran 25. Gambar cetak untuk K3, sisi I dengan *Roughness Tester*.

Surfcoorder SE1700
 DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 7:58:41
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1491 μm
 Ra1 : 0.1988 μm
 Ra2 : 0.1014 μm
 Rmax : 0.1988 μm
 Rmin : 0.1014 μm
 Rz : 1.175 μm
 Rz1 : 1.000 μm
 Rz2 : 1.350 μm
 Rzmax : 1.350 μm
 Rzmin : 1.000 μm
 Rmax : 1.350 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcoorder SE1700
 DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 7:54:53
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1673 μm
 Ra1 : 0.1983 μm
 Ra2 : 0.1332 μm
 Rmax : 0.1983 μm
 Rmin : 0.1382 μm
 Rz : 1.225 μm
 Rz1 : 1.500 μm
 Rz2 : 0.9500 μm
 Rzmax : 1.500 μm
 Rzmin : 0.9500 μm
 Rmax : 1.500 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcoorder SE1700
 DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 7:52:50
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1913 μm
 Ra1 : 0.1569 μm
 Ra2 : 0.2257 μm
 Rmax : 0.2257 μm
 Rmin : 0.1569 μm
 Rz : 1.350 μm
 Rz1 : 1.150 μm
 Rz2 : 1.550 μm
 Rzmax : 1.550 μm
 Rzmin : 1.150 μm
 Rmax : 1.550 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcoorder SE1700
 DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 7:50:54
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2288 μm
 Ra1 : 0.2007 μm
 Ra2 : 0.1988 μm
 Rmax : 0.2807 μm
 Rmin : 0.1988 μm
 Rz : 1.325 μm
 Rz1 : 1.500 μm
 Rz2 : 1.150 μm
 Rzmax : 1.500 μm
 Rzmin : 1.150 μm
 Rmax : 1.500 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Lampiran 26. Gambar cetak untuk K3, sisi IV dengan *Roughness Tester*.

Surfcoorder SE 1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8: 4:20
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1819 μm
 Ra1 : 0.2334 μm
 Ra2 : 0.1303 μm
 Rmax : 0.2334 μm
 Ramin : 0.1303 μm
 Rz : 1.325 μm
 Rz1 : 1.450 μm
 Rz2 : 1.200 μm
 Rzmax : 1.450 μm
 Rzmin : 1.200 μm
 Rmax : 1.450 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfcoorder SE 1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8: 2:38
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.2345 μm
 Ra1 : 0.1868 μm
 Ra2 : 0.2823 μm
 Rmax : 0.2823 μm
 Ramin : 0.1868 μm
 Rz : 1.500 μm
 Rz1 : 1.350 μm
 Rz2 : 1.650 μm
 Rzmax : 1.650 μm
 Rzmin : 1.350 μm
 Rmax : 1.650 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfcoorder SE 1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 8: 0:54
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.1968 μm
 Ra1 : 0.2357 μm
 Ra2 : 0.1575 μm
 Rmax : 0.2357 μm
 Ramin : 0.1575 μm
 Rz : 2.000 μm
 Rz1 : 2.500 μm
 Rz2 : 1.500 μm
 Rzmax : 2.500 μm
 Rzmin : 1.500 μm
 Rmax : 2.500 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfcoorder SE 1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 7:58:44
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.800mm

Ra : 0.3138 μm
 Ra1 : 0.3381 μm
 Ra2 : 0.2895 μm
 Rmax : 0.3381 μm
 Ramin : 0.2895 μm
 Rz : 1.800 μm
 Rz1 : 1.700 μm
 Rz2 : 1.900 μm
 Rzmax : 1.900 μm
 Rzmin : 1.700 μm
 Rmax : 1.900 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Lampiran 27. Gambar cetak untuk K4, sisi I dengan *Roughness Tester*.

Surfconder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:42:35
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1876 μm
 Ra1 : 0.1924 μm
 Ra2 : 0.1827 μm
 Rmax : 0.1924 μm
 Rmin : 0.1827 μm
 Rz : 1.300 μm
 Rz1 : 1.050 μm
 Rz2 : 1.550 μm
 Rzmax : 1.550 μm
 Rzmin : 1.050 μm
 Rmax : 1.550 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfconder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:40:26
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2149 μm
 Ra1 : 0.2488 μm
 Ra2 : 0.1810 μm
 Rmax : 0.2488 μm
 Rmin : 0.1810 μm
 Rz : 1.625 μm
 Rz1 : 1.500 μm
 Rz2 : 1.750 μm
 Rzmax : 1.750 μm
 Rzmin : 1.500 μm
 Rmax : 1.750 μm

F Profile
 V 5000 \rightarrow 2.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfconder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:38:19
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.1909 μm
 Ra1 : 0.2053 μm
 Ra2 : 0.1784 μm
 Rmax : 0.2053 μm
 Rmin : 0.1784 μm
 Rz : 0.9500 μm
 Rz1 : 1.000 μm
 Rz2 : 0.9000 μm
 Rzmax : 1.000 μm
 Rzmin : 0.9000 μm
 Rmax : 1.000 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



Surfconder SE1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:35:50
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Out off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2162 μm
 Ra1 : 0.2042 μm
 Ra2 : 0.2282 μm
 Rmax : 0.2282 μm
 Rmin : 0.2042 μm
 Rz : 1.500 μm
 Rz1 : 1.700 μm
 Rz2 : 1.300 μm
 Rzmax : 1.700 μm
 Rzmin : 1.300 μm
 Rmax : 1.700 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 μm / 10mm
 H 75.00 \downarrow 0.133mm / 10mm



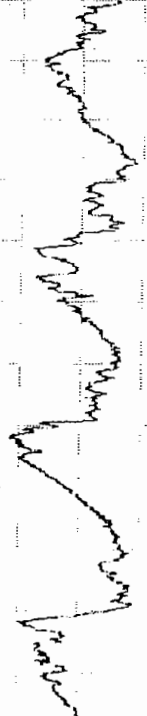
Lampiran 28. Gambar cetak untuk K4, sisi IV dengan *Roughness Tester*.

Surfcorder SE 1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 7:48:35
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3917 μm
 Ra1 : 0.3201 μm
 Ra2 : 0.4634 μm
 Rmax : 0.4634 μm
 Rmin : 0.3201 μm
 Rz : 1.900 μm
 Rz1 : 1.700 μm
 Rz2 : 2.100 μm
 Rzmax : 2.100 μm
 Rzmin : 1.700 μm
 Rmax : 2.100 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

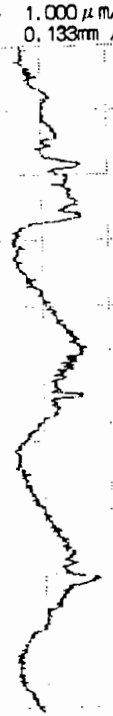


Surfcorder SE 1700

DATE : 4/ 4/ 7
 TIME : 7:45:51
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2550 μm
 Ra1 : 0.2483 μm
 Ra2 : 0.2608 μm
 Rmax : 0.2608 μm
 Rmin : 0.2493 μm
 Rz : 1.200 μm
 Rz1 : 1.100 μm
 Rz2 : 1.300 μm
 Rzmax : 1.300 μm
 Rzmin : 1.100 μm
 Rmax : 1.300 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcorder SE 1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:46:30
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.2627 μm
 Ra1 : 0.2259 μm
 Ra2 : 0.2998 μm
 Rmax : 0.2998 μm
 Rmin : 0.2259 μm
 Rz : 1.275 μm
 Rz1 : 1.200 μm
 Rz2 : 1.350 μm
 Rzmax : 1.350 μm
 Rzmin : 1.200 μm
 Rmax : 1.350 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm



Surfcorder SE 1700

DATE : 4/ 4/ 8
 TIME : 8:44:42
 M speed : 1.000mm/s
 Standard : DIN
 Filter : 2CR
 Cut off : λc 0.800mm
 E Length : 1.600mm

Ra : 0.3295 μm
 Ra1 : 0.3915 μm
 Ra2 : 0.2875 μm
 Rmax : 0.3915 μm
 Rmin : 0.2875 μm
 Rz : 1.500 μm
 Rz1 : 1.650 μm
 Rz2 : 1.350 μm
 Rzmax : 1.650 μm
 Rzmin : 1.350 μm
 Rmax : 1.650 μm

F Profile
 V 10000 \rightarrow 1.000 $\mu m/10mm$
 H 75.00 \downarrow 0.133mm /10mm

