

Pengaruh Strategi Lintasan Pahat; Raster Dan 3D Offset Terhadap Kerataan Dan Kesejajaran Produk

Sally Cahyati

Studio CAD/CAM, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti
Kampus A, Gedung Heri Hartanto- Lt.2, Jl. Kyai Tapa No 1, Grogol, Jakarta Barat 11440
Telp. 5663232 Ext: 431, Fax: 5605841. E-mail: sally_cahyati@yahoo.com

ABSTRACT: *The Influence of Tool Path Strategies; Raster and 3D Offset to Flatness and Parallelism of Product. Parallelism of two surfaces is one of geometrical tolerance that can measure after their tolerances of flatness are known. The parallelism and flatness are two geometrical characters that usually require by standardized plates of mould. Tool path of milling machine on a surface plate is one of thing that influences their character. In this paper, geometrical character of flat plane surface that had been machined by raster tool path strategy and 3D offset strategy will be analyzed. The result of experiment can be use for refinement of machining strategies to achieve an optimized machining.*

Keyword: *parallelism, flatness, tool path.*

PENDAHULUAN

Penggunaan cetakan dengan pelat-pelat yang geometri dan dimensinya sudah distandarisasi dilakukan untuk menghemat waktu perancangan dan pembuatan cetakan plastik (*mould*). Pada umumnya pelat serta komponen yang sudah distandarisasi ini baru diproduksi oleh industri luar diantaranya oleh Jerman atau Jepang sedangkan di Indonesia belum ada. Oleh karena itu dengan tujuan untuk menjaga kualitas dan menekan biaya material, beberapa industri pembuat cetakan telah berusaha membuat pelat dengan standar sendiri.

Freis adalah proses pemesinan yang umum digunakan pada pembuatan pelat cetakan. Apabila kerataan pelat cetakan yang dikehendaki masih belum tercapai proses kemudian akan dilanjutkan dengan proses gerinda permukaan. Apabila digunakan mesin freis CNC yang terintegrasi dengan teknologi CAD/CAM maka waktu pembuatan akan lebih dipersingkat lagi, terutama dalam hal pembuatan pemograman CNC-nya. Dalam penelitian ini akan digunakan *Power Shape* dan *Power Mill* dari Delcam. *Power Shape* adalah CAD yang digunakan untuk membuat rancangan cetakan dan produknya sedangkan *Power Mill* adalah CAM yang digunakan untuk membuat pemrograman pemesinan CNC-nya. Ada beberapa strategi lintasan pahat yang tersedia didalam *Power Mill* untuk melakukan langkah pemakanan dalam proses pemesinan CNC. Dua diantaranya yang biasa digunakan untuk membuat suatu permukaan datar yaitu *Raster* dan *3D Offset*. Pada dasarnya benda kerja hasil proses pemesinan Freis mempunyai permukaan tingkat kerataannya sedang. Ingin diketahui, "Apakah penggunaan strategi lintasan pahat yang berbeda akan menyebabkan perbedaan pula pada bentuk permukaan pelat yang dihasilkan dan keausan masing-masing pahat yang digunakannya?". Kedua strategi lintasan pahat tersebut akan dibandingkan untuk menjawab pertanyaan,

"Bagaimanakah karakteristik geometrik produk pelat yang dihasilkan oleh masing-masing strategi lintasan setelah pemrogramannya dijalankan dimesin freis CNC Maho 323? Apakah ada perbedaan karakteristik geometrik produk pelat yang dihasilkan strategi lintasan pahat *Raster* dan *3D Offset*?" Karakteristik geometrik yang diperlukan pada persyaratan suatu pelat cetakan umumnya adalah kerataan dan kesejajaran, sehingga kedua karakteristik geometrik inilah yang akan dianalisis.

Lintasan Pahat

Mengefreis adalah proses pelepasan material benda kerja karena adanya interaksi antara pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja. Pahat bergerak memotong benda kerja sesuai dengan desain produk yang telah ditentukan sepanjang lintasan tertentu, pergerakan ini disebut sebagai lintasan pahat. Lintasan pahat sangat berpengaruh pada ketelitian dan keakuratan geometri produk yang akan dihasilkan pada suatu proses pemesinan.

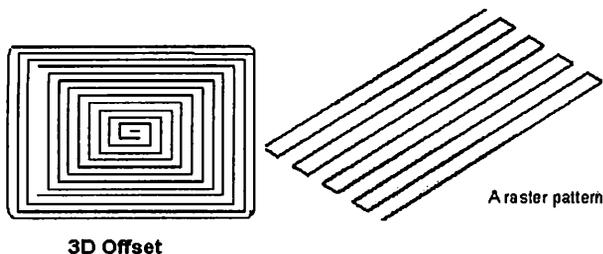
Salah satu aplikasi penting dari CAD/CAM dalam proses pemesinan adalah kemampuannya untuk bisa menggambarkan lintasan pahat yang digunakan dalam suatu proses pemesinan. Proses penggambaran lintasan pahat tersebut dapat terlihat pada program simulasi *software*. Sehingga seorang *programmer* dapat menggambarkan dan memeriksa secara visual pergerakan pahat dalam mengerjakan geometri suatu produk. Lintasan pahat ini juga dapat dimodifikasi setiap saat disesuaikan dengan geometri produk yang akan dibuat.

Pada strategi *Raster* biasanya digunakan untuk menghasilkan permukaan benda kerja atau produk yang rata tanpa adanya profil atau bentuk yang rumit. Pada *Raster* perkakas potong (pahat) bergerak relatif terhadap sumbu-X, dimana perkakas potong bergerak dengan

jarak, sudut, dan kecepatan yang sama pada setiap gerakannya. Semua hal tersebut dapat diatur sesuai dengan kebutuhan perancang dalam mengerjakan geometri produk yang telah direncanakan sebelumnya. Proses pergeseran mata pahat yang konstan terhadap sumbu y, yang dinamakan *step over* dapat diatur sedemikian rupa oleh perancang sesuai dengan produk akhir yang akan dihasilkan.

Pada strategi *3D Offset* ini pahat bergerak secara berurutan terhadap sumbu-X dan sumbu-Y, pergerakan pahat itu dilakukan secara teratur dengan jarak yang sama antara lintasan yang satu dengan yang lainnya. Hanya saja lintasan ini dapat berbentuk garis atau berbentuk seperti spiral, tidak seperti pada strategi *Raster* yang lintasannya hanya berbentuk garis lurus saja. Seperti pada strategi *Raster*, pada strategi ini perancang juga dapat memilih bentuk dari pahat yang akan digunakan. Selain itu perencana dapat menentukan bentuk dari lintasan pahat, jarak minimum dari lintasan itu turun, serta arah gerak dari pahat. Proses pemotongan benda kerja dapat dilakukan dari luar ke dalam/pusat benda kerja ataupun dari arah sebaliknya.

Beberapa keuntungan dari strategi *3D Offset* adalah kepresisian hasil pengerjaan lebih baik, alur lintasan pahat sesuai dengan benda kerja, pahat bergerak paralel dengan model benda kerja, hasil pengerjaan lebih halus. Lintasan pahat dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Lintasan Pahat [5]

Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan ketidakrataan atau ketidakparalelan suatu pelat yang diproses di mesin frais. Lintasan pahat, metoda serta alat pengecaman benda kerja pada mesin, gaya potong dan adanya perubahan geometri pada mata potong pahat akibat keausan pahat. Diduga keausan pahat cukup memberikan sumbangan yang signifikan terhadap kecenderungan ketidakrataan dan ketidakparalelan permukaan suatu produk pelat. Bagian pelat yang mendapat giliran pemakanan paling akhir diperkirakan akan mempunyai permukaan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan produk yang dimakan pada awal proses. Sehingga apabila dalam suatu proses pemesinan digunakan strategi lintasan pahat yang berbeda, maka akan menghasilkan bentuk permukaan yang berbeda pula.

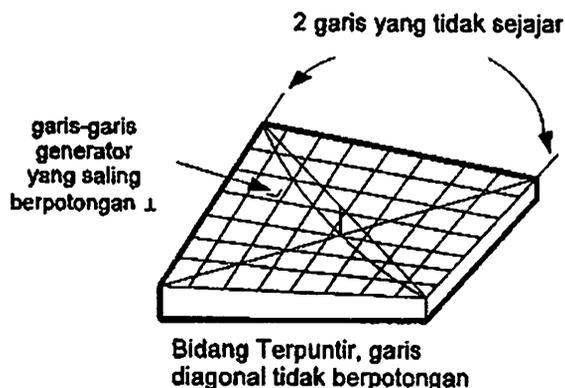
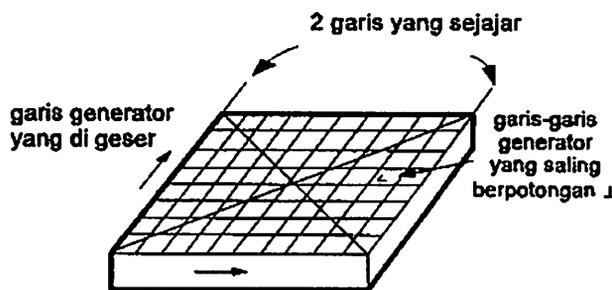
Pelat umumnya digerinda permukaannya apabila kerataan, ketepatan ukuran dan kehalusan permukaan yang diinginkan tidak dapat dicapai dengan proses frais. Proses gerinda adalah salah satu proses pengakhiran dalam proses produksi. Proses ini seringkali memerlukan waktu yang relatif lama dari proses pengasarannya dimesin frais. Hal ini dikarenakan dimensi yang

dikehendaki biasanya dalam angka per ratusan milimeter atau mikron, sehingga pemakannya dilakukan sedikit demi sedikit dan sangat berhati-hati. Seorang operator gerinda akan sangat terbantu apabila sebelumnya dapat mengetahui kondisi awal dari permukaan pelat yang akan digerindanya. Operator dapat lebih cepat menentukan bagaimana teknik pengecaman benda dan bagian mana yang harus digerinda lebih banyak untuk mencapai kerataan permukaan yang lebih baik.

Kerataan

Kerataan permukaan suatu bidang dapat ditentukan dengan menganalisis data kelurusan dari beberapa garis yang dibentuk dengan pola tertentu. Pola garis yang paling sederhana untuk menentukan kerataan suatu bidang ini adalah dengan pola *Union Jack* (bendera Inggris). Dalam hal ini hanya diperlukan data kelurusan 8 (delapan) buah garis yang secara sistematis dilakukan penyesuaian referensi sehingga didapat suatu bidang referensi umum. Berdasarkan referensi umum tersebut, ketinggian titik-titik dapat dianalisis lebih lanjut untuk menentukan kualitas (toleransi) kerataan bidang-bidang yang diperiksa.

Suatu bidang rata teoritik dapat dibuat dengan menggeserkan suatu garis lurus di atas dua buah garis lain yang sejajar (garis tepi). Garis lurus itu dinamakan garis generator. Jika kedua garis tepi tidak sejajar maka yang terbentuk adalah bidang terpuntir. Dua garis diagonal akan dibuat pada bidang ukur untuk memeriksa kerataan bidang. Jika kedua garis diagonal saling berpotongan berarti bidangnya rata dan sebaliknya jika tidak berpotongan berarti bidangnya terpuntir.

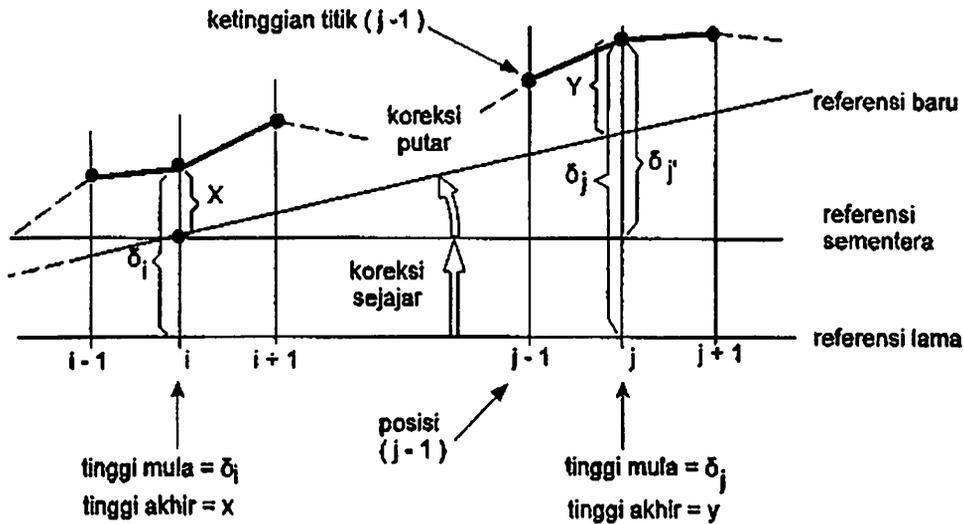


Gambar 2. Bidang Rata dan Bidang Terpuntir [3,4]

Analisis kerataan bidang ditentukan berdasarkan pengukuran kelurusan garis-garis generator yang menutupi bidang ukur. Beberapa garis generator dapat dipilih sebagai pola garis untuk memeriksa kerataan bidang. Posisi (ketinggian) setiap titik pada setiap garis perlu dikoreksi terhadap bidang referensi umum (referensi bagi seluruh garis pengukuran) seperti pada Gambar 3. Dengan mengetahui ketinggian setiap titik

relatif terhadap bidang referensi umum maka dapat dilakukan analisis untuk menentukan kualitas kerataan bidang ukur.

Analisis kerataan yang dilakukan akan mengacu pada standar ISO 2678 seperti pada Tabel 1. Berdasarkan ISO 2678 ini toleransi geometrik untuk beberapa jenis toleransi bentuk dapat dibagi menjadi 3 yaitu kelas H, K dan L.



Gambar 3. Metode Penyesuaian Umum [3]

Tabel 1. Toleransi Umum Benda Kerja Pemesinan (mm) ISO 2678 [2]

		Toleransi Kelas H					
Rentang pjg Nominal		>10	>30	>100	>300	>1.000	>3.000
—	▭	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
⊥		0,2		0,3	0,4	0,5	
≡		0,5					
/		0,1					

		Toleransi Kelas K					
Rentang pjg Nominal		>10	>30	>100	>300	>1.000	>3.000
—	▭	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
⊥		0,4		0,6	0,8	1	
≡		0,6			0,8	1	
/		0,2					

		Toleransi Kelas L					
Rentang pjg Nominal		>10	>30	>100	>300	>1.000	>3.000
—	▭	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6
⊥		0,6		1	1,5	2	
≡		0,6		1	1,5	2	
/		0,5					

Keterangan:

Kebulatan:

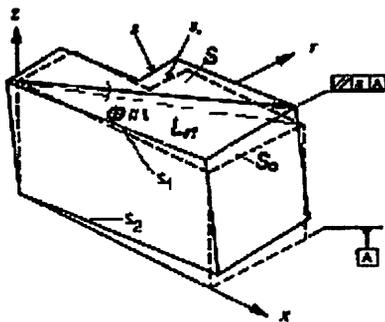
Toleransi umum dari kebulatan adalah min. yang dibentuk oleh toleransi diameter dan toleransi umum pada simpang putar

Kesejajaran:

Toleransi umum dari kesejajaran adalah max. yang dibentuk oleh toleransi dimensi dan toleransi umum dari kelurusan/kerataan

Kesejajaran

Kesejajaran merupakan suatu karakteristik geometrik berlaku pada dua garis yang paralel (kelurusan) atau pada dua permukaan suatu benda yang paralel (kerataan). Daerah toleransi kesejajaran dibatasi pada pengukuran dua bidang dengan dua garis lurus yang mempunyai jarak, terpisah dan paralel terhadap datum. Pada ISO 2678, dinyatakan bahwa toleransi kesejajaran adalah toleransi maksimum yang dibentuk dari toleransi dimensi dan toleransi kelurusan atau kerataan. Penyimpangan kesejajaran antara suatu permukaan dengan bidang ideal akan membentuk sudut $\phi_{//}$ seperti yang terlihat pada gambar 5 di bawah ini:



$\phi_{//}$: Sudut antara bidang ideal dengan bidang terdeviasi (S)
 L_r : Segmen garis dari pjg max yang terletak pada permukaan (S_0)

Gambar 4. Penyimpangan Kesejajaran dan toleransi kesejajaran [1]

Kesejajaran erat kaitannya dengan kerataan dari 2 buah bidang/permukaan, sehingga toleransi kesejajaran ini umumnya akan diperoleh setelah diketahui sebelumnya toleransi kerataan dari dua bidang/permukaan yang akan diuji toleransi kesejajarannya.

Apabila diketahui sudut yang terbentuk akibat penyimpangan pada permukaan benda kerja di Gambar 4 adalah $\phi_{//}$, δ adalah toleransi kesejajaran, dan L_r adalah jarak diagonal pada permukaan, maka akan diperoleh besar $\phi_{//}$ seperti pada persamaan 1.

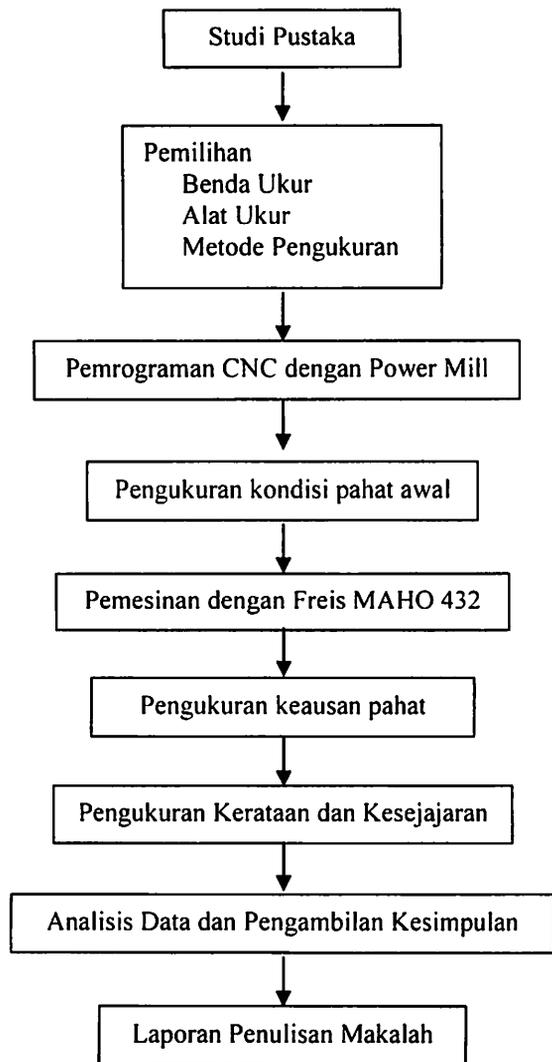
$$\phi_{//} = \sin^{-1} (\delta / L_r) \quad (1)$$

Jika diasumsikan bahwa sudut yang dibentuk permukaan 1 dan bidang datum sama dengan sudut yang dibentuk oleh permukaan 2 dan bidang datum atau $\phi_{//1} = \phi_{//2}$ maka pada prinsipnya dapat diperoleh toleransi kesejajaran bidang 2 seperti pada persamaan 2.

$$\delta_2 = (L_{r2} / L_{r1}) \delta_1 \quad (2)$$

METODOLOGI

Penelitian ini akan dilakukan dengan mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Proses Penelitian

Benda kerja

Benda kerja yang digunakan pada proses pemesinan adalah VCN 150 berukuran 78 x 58 x 24 mm dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Nilai kekerasan Brinell : 235
- Kekuatan Tarik : 800 – 1300 N/mm²
- Komposisi Kimia : 0,34 %C; 0,3 %Si; 0,5 %MN; 1,5 %CR; 0,2 %Mo; 1,5% Ni.

Pahat Potong

Pahat potong yang digunakan adalah pahat potong *End-Mill* dengan material pahat HSS E, diameter 10 mm, dan jumlah sisi potong 4 buah. Berdasarkan tabel dari *supplier* pahat diperoleh bahwa putaran pahatnya adalah 3500 rpm dan gerak potongnya 0.048 mm/gigi.

Peralatan

Penggunaan peralatan yang digunakan terbagi menjadi beberapa penggunaan berdasarkan penggunaannya yaitu alat ukur yang digunakan untuk pengukuran keausan, Alat ukur yang digunakan untuk pengukuran kerataan dan kedataran benda

kerja, dan peralatan yang lainnya yang digunakan untuk pengolahan data.

1. Alat ukur keausan adalah:
 - Mikroskop dengan pembesaran 10x
 - Skala Film dengan ketelitian 1 mm
2. Alat ukur kerataan dan kesejajaran adalah:
 - CMM Beyond A540 A Mitutoyo dan perlengkapannya
3. Alat pengolah data
 - Komputer

Pembuatan Benda kerja pada Power Mill

Setelah benda kerja digambar dengan *Power Shape*, kemudian dibuat pemrograman CNC-nya menggunakan *Power Mill* dengan tahap-tahap seperti di bawah ini.

1. Pengaturan Tool/Pahat

Sesuai dengan pemilihan pahat potong di atas diameter pahat potong baik untuk strategi lintasan pahat *Raster* maupun *3D Offset* yaitu pahat *End Mill* ϕ 10 mm, dengan panjang heliks 30 mm, panjang keseluruhan 76 mm.

2. Menentukan Toleransi

Penentuan toleransi diambil dari tabel MAHO 500 E2 yaitu 0,001mm atau 1/1000mm.

3. Menentukan Thickness

Penentuan *thickness* atau ketebalan sisa geram dari proses permesinan untuk menghindari pemborosan material benda kerja. Pengaturan direkomendasikan oleh *software* CAM sebesar 0,0mm; dengan maksud tidak ada sisa geram atau kepresisian dapat lebih diandalkan karena ini merupakan sebuah proses *finishing*.

4. Menentukan Step Over

Pergerakan relatif benda kerja terhadap mata potong pahat secara konstan searah dengan sumbu y atau disebut dengan *step over*, pada umumnya besar *step over* maksimum adalah $\frac{1}{4}$ x diameter pahat. Jika digunakan pahat dengan diameter pahat 10 mm, maka *step over* yang digunakan adalah 7.5 mm atau lebih kecil, disini akan diambil nilainya adalah 6 mm.

5. Menentukan Tool Axis

Dapat ditentukan bahwa *tool axis* disini adalah vertikal karena pada proses pemesian ini digunakan mesin freis CNC yang termasuk jenis mesin freis tegak.

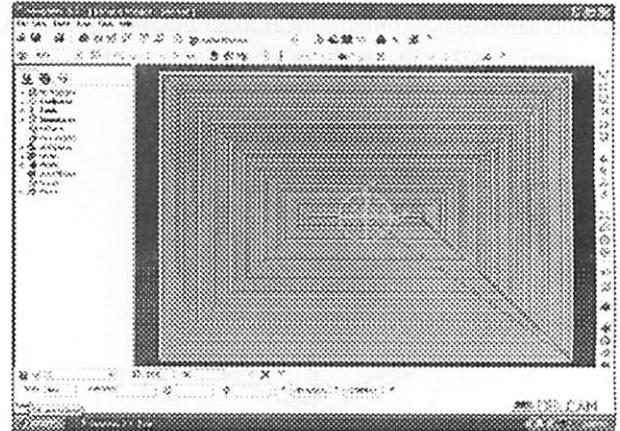
6. Menentukan Direction

Penentuan *direction* ini berdasarkan pada permukaan benda kerja yang rata. Pada benda dapat dilakukan pemotongan dengan 2 arah, jadi kita pilih *any*. Sebenarnya ada lagi pilihan yaitu *climb* dan *conventional*. *Climb* dapat membuat hasil pengerjaan lebih halus sedangkan jika menggunakan *conventional*, hasil pengerjaan agak lebih kasar.

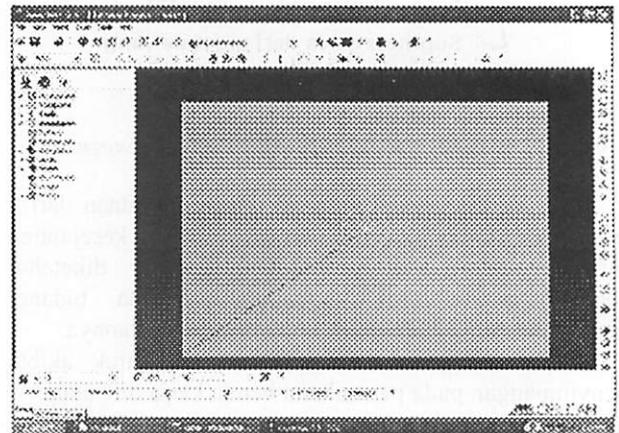
7. Menentukan Start Corner

Penentuan *Start Corner* adalah menentukan *start* awal pemakanan benda kerja. Pada pemrograman ini baik untuk strategi lintasan pahat *Raster* maupun *3D Offset* ditentukan sudut kiri atas sebagai *Start Corner*.

Setelah pengaturan strategi selesai, akan dihitung parameter-parameter pemesian mengacu pada tabel spesifikasi pahat. Diperoleh kecepatan makan (v_f) adalah 672 mm/min dan pemakanan sebesar 0.2 mm. Dari program dapat diketahui bahwa lintasan pahat yang dilalui oleh *Raster* lebih singkat yaitu 902 mm dibandingkan lintasan pahat pada *3D offset* yaitu 1004mm. Waktu yang dipergunakan untuk pemesian adalah 9.1 untuk strategi *Raster* (waktu aktual = 9.2 menit) sedangkan untuk strategi *3D Offset* adalah 10.10 menit (waktu aktual = 10.20 menit).



a. 3D Offset



b. Raster

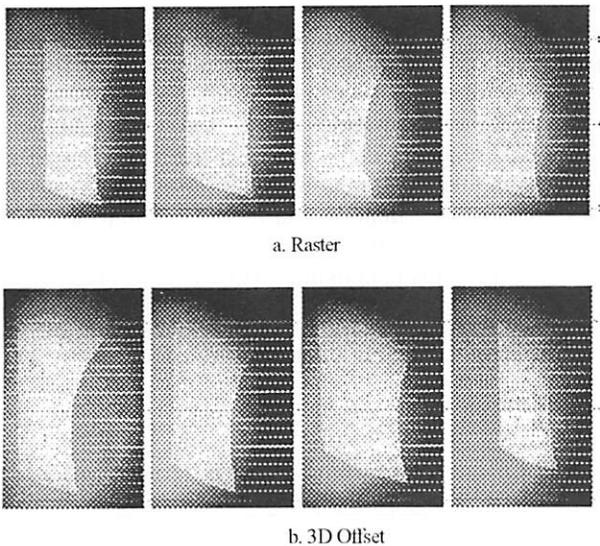
Gambar 6. Simulasi Lintasan Pahat dari Power Mill

Setelah selesai dibuat program CNC dan disimulasikan lintasan pahatnya di *Power Mill* kemudian proses pemesian dilakukan di mesin freis MAHO 432.

HASIL DAN PEMBAHASAN

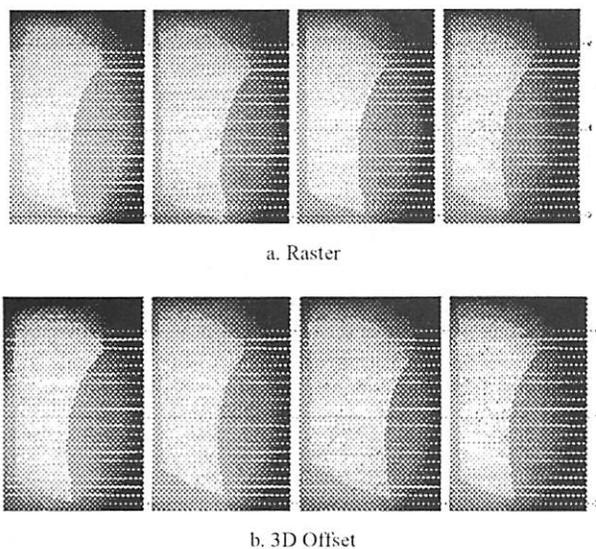
Pengujian Keausan Pahat

Sebelum dilakukan proses pemesian kondisi pahat terlebih dulu di cek setiap mata potongnya dan dilihat keausannya seperti dapat terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kondisi Mata Potong Pahat Setiap Sisi Sebelum Pemesinan

Setelah pemotongan selesai pahat-pahat kemudian di lihat kembali keausannya dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 10 x dan jarak skala 1 mm. hasil foto kondisi pahat setelah pemesinan dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.



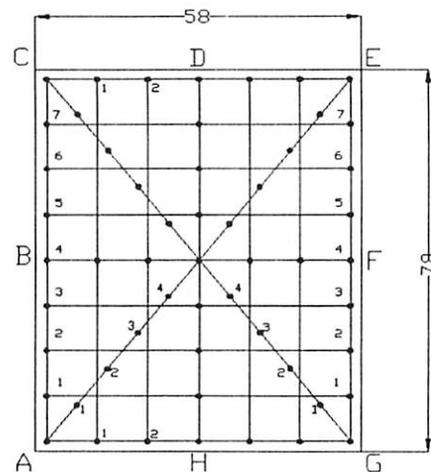
Gambar 8. Kondisi Mata Potong Pahat Setiap Sisi Sesudah Pemesinan

Berdasarkan hasil pengamatan diatas secara visual belum terlihat jelas keausan dari pahat setelah proses pemesinan. Hal ini kemungkinan karena panjang lintasan pahat relatif pendek dan tingkat keausan terlalu kecil sehingga masih tidak tertangkap oleh mikroskop. Diperlukan panjang lintasan pahat yang lebih panjang untuk menghasilkan tingkat keausan yang signifikan sehingga keausan pahat dapat ditangkap oleh mikroskop.

Pengukuran Kerataan dan Kesejajaran

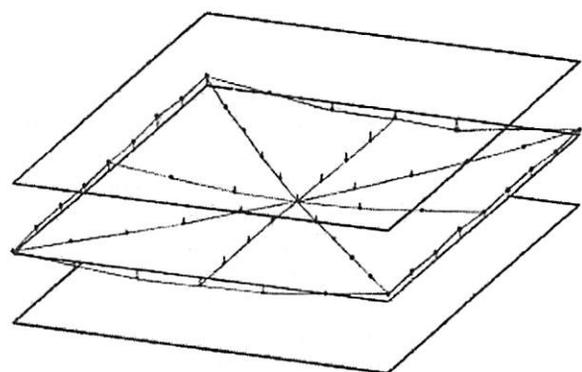
Pengujian kualitas kerataan dan kesejajaran permukaan benda kerja dilakukan dengan menggunakan CMM *BEYOND A 504* Mitutoyo. Semua titik pada garis-garis di pola *union jack* (Gambar 9) akan diukur masing-masing sebanyak 5 kali pengukuran . Setelah sisi

satu selesai kemudian titik-titik pada sisi ke 2 akan diukur juga dengan mengikuti aturan yang sama persis dengan pengukuran sisi 1. Pengambilan data dilakukan terhadap titik-titik yang dibuat diatas permukaan benda kerja melalui *software GEOPAK Win* yang terintegrasi bersama komputer dan berhubungan langsung dengan CMM. Data titik-titik tersebut akan diolah dan dihitung sehingga diperoleh koordinat-koordinat aktual dari permukaan benda kerja. Data yang ditampilkan disini adalah posisi titik pada sumbu Z (tegak), sedangkan koordinat X dan Y-nya akan sesuai dengan koordinat input titik-titik berdasarkan pola *Union Jack* yang dibuat pada *software CAD*. Jadi, data tersebut dapat disebut sebagai data ketinggian titik-titik terhadap bidang referensi, dalam hal ini adalah meja rata. Pemeriksaan kualitas kerataan dan kesejajaran dengan CMM ini berdasarkan standar inspeksi untuk pengukuran industri ISO 10 360. Toleransi geometrik yang diamati adalah untuk sepanjang sisi 78 mm dari benda kerja. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, pengambilan titik-titik pada tiap permukaan yang diuji mengikuti pola *Union Jack*. Pola ini dibuat pada *software CAD* dengan koordinat tertentu seperti terlihat pada gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Titik-titik Pengambilan Data dengan pola *Union Jack* [4]

Dari pengukuran sisi 1 benda kerja hasil pemesinan dengan menggunakan strategi lintasan pahat *Raster* diperoleh karakteristik permukaan seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Karakteristik Permukaan Benda Kerja *Raster Finishing* (Sisi 1) hasil Pengukuran ke-1.

Hasil pengukuran pada sisi 1 benda kerja berupa jarak antara semua titik pada garis di bidang terdeviasi dengan bidang datum yang membentuk data ketinggian untuk seluruh titik sepanjang garis seperti yang ditentukan pada gambar 9 (metode *Union Jack*). Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4.

Dengan menggunakan prosedur pengukuran yang sama, dilakukan pengukuran pada sisi lain benda kerja hasil pemesinan strategi lintasan pahat *Raster* dan kedua

sisi benda kerja hasil pemesinan menggunakan lintasan pahat *3D Offset*. Kemudian dari data-data yang sudah diperoleh dicari rata-ratanya untuk memperoleh nilai kualitas kerataan masing-masing bidang. Untuk nilai kualitas kesejajaran dari sisi-sisi benda kerja baik hasil pemesinan dengan lintasan pahat *Raster* maupun *3D offset finishing*, diambil dari selisih nilai kerataan masing-masing sisi benda ukur karena orientasi bidang yang dipakai pada pengukuran tiap sisi adalah meja rata.

Tabel 2. Data Ketinggian Titik Sepanjang AC, HD dan GE untuk Benda Kerja *Raster Finishing* (Sisi 1)

DATA KETINGGIAN TITIK															
Ukuran Nominal 24.000 (μm)															
TTK	AC					HD					GE				
	Pengukuran ke					Pengukuran ke					Pengukuran ke				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0	25.00	25.00	24.00	24.00	25.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	-5.00	-5.00	-5.00	-4.00	-3.00
1	28.00	28.00	28.00	27.00	28.00	2.00	2.00	2.00	5.00	7.00	-3.00	-3.00	-3.00	-4.00	-2.00
2	30.00	30.00	29.00	29.00	30.00	4.00	4.00	3.00	5.00	7.00	-4.00	-3.00	-4.00	-5.00	-3.00
3	30.00	30.00	30.00	29.00	30.00	5.00	6.00	5.00	5.00	7.00	-1.00	0.00	-1.00	-2.00	0.00
4	33.00	33.00	32.00	32.00	33.00	5.00	6.00	5.00	4.00	6.00	-3.00	-2.00	-3.00	-6.00	-1.00
5	33.00	33.00	33.00	32.00	32.00	6.00	7.00	6.00	5.00	6.00	-1.00	0.00	-2.00	-3.00	0.00
6	36.00	35.00	34.00	34.00	35.00	6.00	6.00	6.00	3.00	4.00	-7.00	1.00	0.00	-1.00	1.00
7	35.00	34.00	34.00	33.00	34.00	6.00	7.00	6.00	1.00	3.00	-2.00	-1.00	-2.00	-4.00	-1.00
8	37.00	36.00	36.00	35.00	36.00	6.00	8.00	7.00	6.00	8.00	-1.00	-7.00	-1.00	-2.00	1.00

Tabel 3. Data Ketinggian Titik Sepanjang AG, BF dan CE untuk Benda Kerja *Raster Finishing* (Sisi 1)

DATA KETINGGIAN TITIK (μm)															
Ukuran Nominal 24 (mm)															
TTK	AG					BF					CE				
	Pengukuran ke					Pengukuran ke					Pengukuran ke				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0	25.00	25.00	24.00	24.00	25.00	33.00	33.00	32.00	32.00	33.00	37.00	36.00	36.00	35.00	36.00
1	15.00	15.00	14.00	14.00	15.00	22.00	22.00	21.00	21.00	22.00	25.00	25.00	24.00	23.00	25.00
2	6.00	6.00	5.00	5.00	6.00	12.00	12.00	12.00	11.00	12.00	13.00	14.00	13.00	12.00	14.00
3	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	5.00	6.00	5.00	4.00	6.00	8.00	8.00	7.00	6.00	8.00
4	-4.00	-4.00	-5.00	-5.00	-3.00	0.00	1.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	-2.00	0.00
5	-5.00	-6.00	-5.00	-5.00	-4.00	-1.00	-1.00	-1.00	-2.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-2.00	1.00
6	-5.00	-5.00	-0.00	6.00	-3.00	-3.00	-2.00	-3.00	-6.00	-1.00	-1.00	0.00	-1.00	-2.00	1.00

Tabel 4. Data Ketinggian Titik Sepanjang AE dan GC untuk Benda Kerja *Raster Finishing* (Sisi 1)

DATA KETINGGIAN TITIK (μm)										
Ukuran Nominal 24 (mm)										
TTK	AE					GC				
	Pengukuran ke					Pengukuran ke				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0	25.00	25.00	24.00	24.00	25.00	-5.00	-5.00	-5.00	-4.00	-3.00
1	20.00	20.00	20.00	20.00	21.00	-4.00	-4.00	-5.00	-5.00	-3.00
2	15.00	16.00	15.00	15.00	16.00	-2.00	-2.00	-2.00	-3.00	-1.00
3	11.00	12.00	11.00	11.00	12.00	0.00	1.00	0.00	-1.00	2.00
4	9.00	9.00	8.00	8.00	10.00	2.00	2.00	1.00	1.00	3.00
5	5.00	6.00	5.00	4.00	6.00	5.00	6.00	5.00	4.00	6.00
6	3.00	3.00	3.00	2.00	4.00	10.00	10.00	9.00	9.00	10.00
7	1.00	2.00	3.00	0.00	2.00	14.00	14.00	14.00	13.00	14.00
8	-1.00	0.00	0.00	-2.00	1.00	21.00	21.00	21.00	20.00	21.00
9	-1.00	-1.00	0.00	-3.00	0.00	26.00	26.00	25.00	25.00	26.00
10	-1.00	0.00	-1.00	-2.00	1.00	37.00	36.00	36.00	35.00	36.00

Analisis dan Pembahasan Hasil Pengukuran

Berdasarkan data-data di atas, dapat dibuat tabel data beserta variabel-variabel statistik lainnya. Untuk suatu data pengukuran, maka harga rata-ratanya dapat dianggap sebagai titik tengah. Semua harga hasil pengukuran akan tersebar disekitar titik tengah ini. Jadi, setiap harga dapat mempunyai perbedaan (selisih) dengan harga titik tengah. Penyebaran data dapat digambarkan sebagai perata-rataan seluruh selisih kuadrat antara setiap harga dengan harga rata-rata. Secara teoritik, untuk pengukuran yang identik yang diulang sampai tak terhingga akan menghasilkan jumlah selisih kuadrat yang tertentu/tetap harganya dan perata-rataan harga ini disebut dengan Varian. Satuan pada varian tidak sama dengan satuan semula karena telah dikuadratkan. Supaya diperoleh harga dengan satuan yang sama dengan hasil pengukuran maka dari varian ditarik akarnya, sehingga didapat harga yang disebut dengan Deviasi Standar. Tabel 5 berisi nilai kualitas kerataan benda kerja pada sisi 1 dan 2 hasil pemesinan dengan menggunakan strategi lintasan pahat *Raster* dan *3D offset finishing* yang dihitung menggunakan bantuan Microsoft Excel dari data ketinggian pada garis AC,HD,GE, AG,BF,CE, AE, dan GC yang diperoleh pada proses pengambilan data sebelumnya.

Berdasarkan data dari Tabel 5 akan dicari nilai kualitas kesejajaran pelat hasil dari kedua strategi lintasan pahat dengan menggunakan rumus 1 dan bantuan Microsoft Excel data. Nilai kualitas kesejajaran benda kerja hasil pemesinan dengan strategi lintasan pahat *Raster* dan *3D Offset finishing* serta variabel-variabel statistiknya seperti yang tertera pada Tabel 6.

Pada benda kerja dengan lintasan pahat *Raster* diperoleh nilai kualitas kerataan sisi 1 (atas) sebesar $15.2 \mu\text{m}$, sedangkan sisi 2 (bawah) sebesar $14.8 \mu\text{m}$. Terlihat ada perbedaan yang tidak terlalu signifikan diantara keduanya. Untuk benda kerja *3D offset*, pada sisi 1 (atas) diperoleh nilai kualitas kerataan sebesar $13.6 \mu\text{m}$,

sedangkan untuk sisi 2 (bawah) diperoleh nilai sebesar $17.2 \mu\text{m}$, disini terlihat ada selisih yang relatif besar. Strategi *Raster* dapat memberikan nilai kerataan yang lebih baik (standar deviasi 0.45) dibandingkan dengan strategi *3D Offset* dan cenderung stabil. Namun, strategi *3D Offset* menghasilkan nilai terkecil yang berarti kualitas kerataan yang lebih baik.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hal ini diantaranya adalah kondisi pahat dan panjang lintasan yang berbanding lurus dengan waktu. Strategi *Raster* memiliki panjang lintasan pahat yang lebih pendek dibandingkan dengan strategi *3D Offset* dan berbanding lurus dengan waktu pemesinannya. Semakin kecil nilai kualitas kerataannya, maka nilai kualitas kesejajarannya makin baik. Berdasarkan Tabel 6, diperoleh nilai kualitas kesejajaran untuk strategi *Raster* sebesar $65 \mu\text{m}$, sedangkan untuk strategi *3D Offset* sebesar $45.4 \mu\text{m}$. Terlihat disini bahwa strategi *3D Offset* menghasilkan kualitas kesejajaran yang lebih baik pada benda kerja dibandingkan strategi *Raster*.

SIMPULAN

Lintasan pahat *Raster* menghasilkan bentuk kerataan permukaan benda kerja yang cenderung menanjak pada sisi permukaan benda kerja yang di-*machining* terakhir. Lintasan pahat *3D offset*, menghasilkan bentuk kerataan permukaan yang cenderung cembung di tengah permukaan benda kerja. Walaupun strategi *3D Offset* mampu menghasilkan kualitas kesejajaran yang lebih baik dibandingkan dengan strategi *Raster* tetapi kualitas kerataan dan kesejajaran dari kedua benda kerja telah memenuhi toleransi geometrik kelas H standar ISO 2768, sehingga tidak memerlukan proses lanjutan gerinda permukaan. Perlu dipertimbangkan penelitian lanjutan untuk mengetahui apakah kondisi ini juga berlaku sama untuk pelat yang mempunyai luas permukaan yang lebih besar

Tabel 5. Nilai Kualitas Kerataan Benda Kerja

	Benda Kerja		Pengukuran ke					Harga Rata-rata	Varian	Deviasi Standar
			1	2	3	4	5			
Kerataan (Flatness) μm	<i>Raster</i>	Sisi 1	16	15	15	15	15	15.2	0.2	0.45
		Sisi 2	14	15	15	15	15	14.8	0.2	0.45
	<i>3D Offset</i>	Sisi 1	14	13	13	14	14	13.6	0.3	0.55
		Sisi 2	18	17	17	17	17	17.2	0.2	0.45

Tabel 6. Nilai Kualitas Kesejajaran Benda Kerja

	Benda Kerja	Pengukuran ke					Harga Rata-rata	Varian	Deviasi Standar
		1	2	3	4	5			
Kesejajaran (Parallelism) μm	<i>Raster</i>	63.00	65.00	65.00	65.00	67.00	65.00	2.0	1.42
	<i>3D Offset</i>	46.00	46.00	45.00	45.00	45.00	45.40	0.3	0.55

dan berapa besar pengaruh gaya tekan pahat pada awal pemakanan dari setiap lintasan pahat mempengaruhi tingkat kerataan permukaan pelat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jain, Anshum, et.all., *Process Capability analysis For Production Tolerance Assignment*, Transaction NAMRI/SME, 2003, 31:p. 531-538.
2. Henzold, G. *Handbook of Geometrical Tolerancing*, 1995, England : John Wiley & Sons.
3. Rochim, Taufik, *Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*, 2004, Bandung, Indonesia: Penerbit Ganesha.
4. Rochim, Taufik., *Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik, Modul 0, 1 dan 2*, 2004, Laboratorium Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung. Hal 1-9 (modul 0), hal 148-166 (modul 1), dan hal 318-331 (modul 2)
5. Weinert, K., *Geometric Simulation of the Milling Process for Free Formed Surface*, 2001, Kolloqium, Dept. Machining Technology, Dortmund University.