

Pengembangan Micromold dengan Proses Micromilling 3-Axis

Gandjar Kiswanto, Jos Istiyanto, Bayu Mulya Harsono, Derris Surya

Laboratorium Teknologi Manufaktur dan Otomasi
Departemen Teknik Mesin – Universitas Indonesia
Kampus Baru UI – Depok 16424
gandjar_kiswanto@eng.ui.ac.id

Abstrak

Proses pemesinan *micromilling* dewasa ini telah berkembang sangat pesat karena permintaan pasar yang tinggi akan produk-produk berukuran mikro. Kemajuan dan perkembangan teknologi di berbagai bidang sepakat menuju ke arah penggunaan produk-produk mikro karena ukuran yang semakin ringkas dan performa yang juga tidak kalah dengan produk berukuran konvensional. Pada penelitian kali ini dilakukan proses pemesinan cetakan mikro (*micromold*) dengan menggunakan proses *micromilling* 3 axis terhadap benda kerja berbahan aluminium AA1100 dan steel ST41 yang masing-masing berukuran 3 x 3 x 3 mm. Pengembangan lintasan pahat untuk proses *micromilling* menggunakan software CAD/CAM merupakan salah satu fokus yang dikerjakan dalam penelitian kali ini. Dilakukan analisa dari pengembangan lintasan pahat yang dilakukan dalam dua metode; *planar mill* dan *contour mill*. Lintasan pahat yang dikembangkan telah berhasil digunakan dalam proses manufaktur cetakan mikro dan menghasilkan geometri benda kerja yang sesuai dengan geometri desain. Dilakukan pengambilan gambar SEM untuk mengamati permukaan hasil pemesinan dari *micromold*. Kesimpulan yang didapatkan adalah lintasan pahat (*microtool*) yang dirancang berhasil menghasilkan *micromold* sesuai dengan spesifikasi desain.

Keywords: *Micromilling*, cetakan mikro (*micromold*), lintasan pahat

1. Pendahuluan

Proses pemesinan *micromilling* dewasa ini telah berkembang sangat pesat karena permintaan pasar yang tinggi akan produk-produk berukuran mikro. Kemajuan dan perkembangan teknologi di berbagai bidang sepakat menuju ke arah penggunaan produk-produk mikro karena ukuran yang semakin ringkas dan performa yang juga tidak kalah dengan produk berukuran konvensional. Contoh aplikasi yang mulai sering dijumpai adalah komponen-komponen seperti resistor, micro-gear, micro-impeller, sensor, dan lain-lain. Lebih jauh, dengan semakin ringkasnya komponen-komponen pembentuk suatu produk, dapat dihasilkan produk yang multifungsi dengan lebih banyak variasi fitur didalamnya.

Oleh karena itu, proses manufaktur skala mikro menjadi aspek yang semakin penting untuk dipahami dan dikuasai. Salah satu teknik yang umum digunakan dalam proses manufaktur skala mikro adalah dengan menggunakan teknologi molding. *Micromold* adalah cetakan berukuran mikro yang berfungsi sebagai tempat pendinginan dan pencetakan lelehan bahan/material yang akan diproses untuk dijadikan produk-produk berskala mikro. Keunggulan dari teknik *micromolding* ini adalah kemampuannya dalam membentuk profil-profil permukaan produk yang

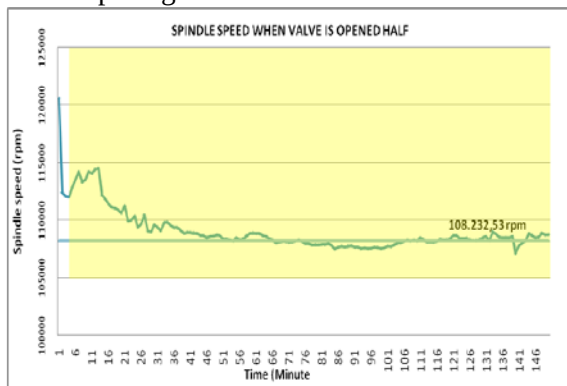
rumit (tingkat kompleksitas tinggi). Selain itu, semakin digemarinya dan berkembangnya teknologi engineering plastics yang notabene adalah bahan yang mudah leleh namun memiliki properties yang baik sangat cocok untuk digunakan dalam proses manufaktur ini. Pada penelitian kali ini, akan dipelajari proses manufaktur dari pemodelan geometri dengan menggunakan software CAD, pengembangan lintasan pahat serta verifikasi dan simulasinya menggunakan software CAM, dan proses pemesinan *micromilling* menggunakan mesin *micromilling* 3 axis untuk manufaktur *micromold*.

2. Persiapan Eksperimen

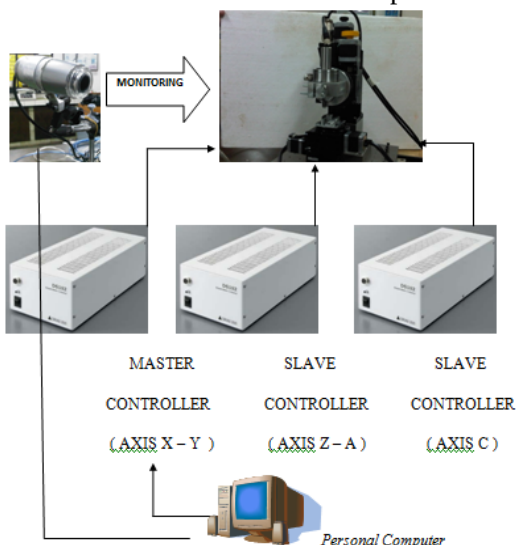
Mesin *micromilling* yang digunakan dalam penelitian kali ini menggunakan mesin *micromilling* 3 axis. Terdapat 3 meja linier dengan penggerak motor stepper seperti mesin CNC pada umumnya yang dipakai untuk mengontrol pergerakan meja axis X, axis Y, dan axis Z. Penggunaan motor stepper yang memiliki fitur micro-stepping mode memastikan pergerakan yang sangat presisi yang sangat krusial dibutuhkan dalam pemesinan mikro. Motor stepper ini adalah penentu nilai feedrate yang dipakai dalam proses pemesinan, oleh karena itu sangat penting mengetahui dan mempertahankan agar motor stepper

yang dipakai tetap berada dalam kondisi yang baik.

Selain kepresisian dari pergerakan pahat yang digunakan dalam proses pemesinan, kecepatan spindle juga merupakan hal yang amat penting karena ukuran diameter pahat yang sangat kecil menuntut kecepatan spindle yang tinggi, bahkan pada prakteknya bisa mencapai 150.000 rpm, sebagaimana terlihat dalam gambar 1. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini digunakan air turbine spindle yang memastikan kecepatan tinggi dengan minim getaran mekanikal yang terjadi karena memanfaatkan udara bertekanan sebagai penggerak utamanya. Oleh karena itu, perangkat penggerak spindle yang terdiri dari kompressor, air dryer, dan air filter diperlukan untuk menggerakkan spindle. Kedua mekanisme penggerak yang disebut di atas (motor sebagai penggerak meja linier dan penggerak spindle) bersama-sama membentuk system penggerak mesin micromilling yang sangat menentukan kualitas hasil pemesinan. Proses micromilling yang sangat membutuhkan ketelitian dan kepresisian ini dilengkapi dengan fungsi monitoring yang membantu pengamatan proses yang sedang berlangsung menggunakan microscope video camera, seperti terlihat pada gambar 2.



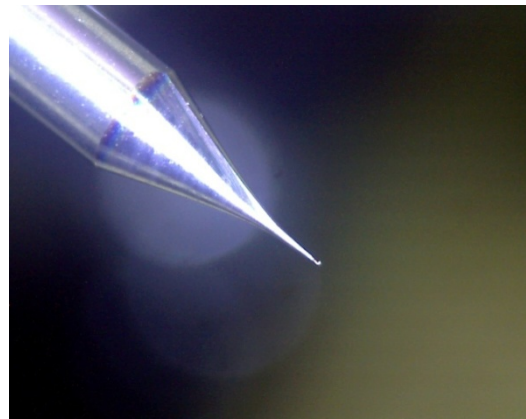
Gambar 1. Grafik Karakteristik Spindle



Gambar 2. Skema pergerakan motor pada mesin micromilling 3 axis

Pahat yang digunakan bukan lagi mata pahat konvensional, melainkan mata pahat berukuran mikro, mulai dari ukuran diameter 0.5 mm, 0.2 mm, sampai dengan 0.1 mm seperti terlihat pada gambar 3. Dua jenis mata pahat yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah mata pahat flat-end mill dan ball-nose end mill yang masing-masing digunakan sesuai fungsi dan tujuannya juga berdasarkan kebutuhan akan proses pemesinan dengan metode dan hasil tertentu.

Terdapat dua jenis benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aluminium AA 1100 dan ST41 mild steel. Kedua jenis benda kerja ini digunakan dalam penelitian pengembangan cetakan mikro ini. Ragum yang digunakan juga dirancang untuk memegang benda kerja yang berukuran kecil ini sehingga memerlukan beberapa pertimbangan dalam perancangannya.



Gambar 3. Pahat ball nose end mill berukuran 0.1 mm

3. Proses Manufaktur Micromold

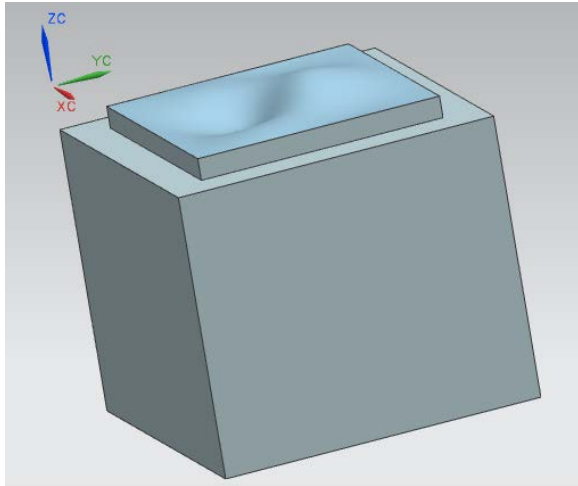
Proses-proses manufaktur yang dikerjakan dalam penelitian kali ini meliputi pengerjaan model dengan sistem CAD; pengembangan, verifikasi dan simulasi lintasan pahat; proses pemesinan benda kerja. Semua proses tersebut berkesinambungan dan saling bergantung dan pada akhirnya pengamatan terhadap hasil pemesinan dilakukan dengan bantuan SEM (Scanning Electron Microscope).

3.1. Pemodelan Micromold

Pemodelan yang dilakukan adalah membentuk profil cetakan male dan female dengan bentuk permukaan sculptured surface menggunakan sistem CAD (CAD software) sebagaimana terlihat pada gambar 4. Pemilihan profile sculptured surface dilakukan karena beberapa alasan sebagai berikut:

- Perkembangan teknologi terkini yang menggunakan profil sculptured dalam aplikasinya seperti bentuk lampu mobil, body pesawat, profil kendaraan yang semakin streamline, dan lain-lain.

- Segi estetika sering menuntut bentuk yang tidak kaku, dimana bentuk-bentuk/ geometri persegi/kotak terkesan kaku maka bentuk curvature lebih disukai.
- Tingkat kompleksitas yang tinggi sehingga bisa dijadikan acuan kapabilitas dari sistem-sistem yang digunakan dalam proses manufaktur cetakan mikro ini.



Gambar 4. Cetakan mikro male

3.2. Pengembangan Lintasan Pahat

Setelah model cetakan mikro sudah dibuat, langkah selanjutnya adalah mengembangkan dan membuat lintasan pahat yang akan digunakan untuk proses pemesinan cetakan mikro pada mesin micromilling 3 axis. Dalam kegiatan ini, mayoritas parameter pemesinan yang dipakai dalam pemrograman CAM sudah termasuk dalam perhitungan dan pertimbangan, sehingga lintasan pahat yang dihasilkan sudah merepresentasikan keadaan pemesinan sesungguhnya.

Pengembangan, verifikasi, serta simulasi lintasan pahat merupakan kegiatan-kegiatan proses manufaktur yang dilakukan dalam environment CAM. Penggunaan software CAD/CAM yang terintegrasi mempermudah pekerjaan karena tidak diperlukan data exchange antara software CAD dan software CAM. Dalam tahap inilah ditentukan setiap keadaan dan kondisi pemesinan real nantinya; strategi-strategi pemesinan yang kelak dipakai dalam proses pemesinan sesungguhnya, parameter-parameter pemesinan yang ditentukan, serta setiap parameter dari peralatan yang dipakai seperti ukuran mata pahat pun telah diinput pada tahap ini.

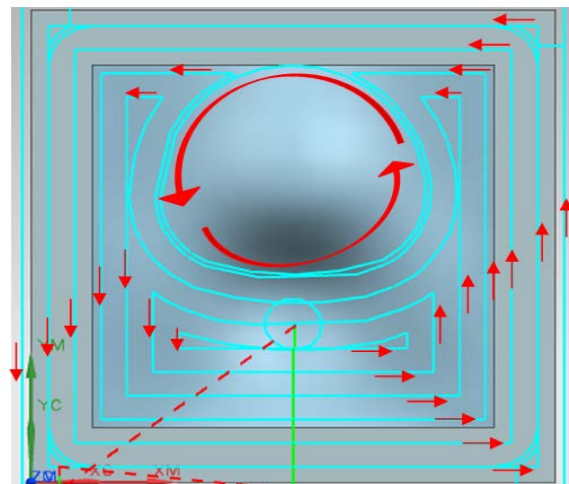
Parameter-parameter pemesinan dan strategi-strategi pemesinan yang dipakai dalam pemograman CAM ini dalam setiap operasi pemesinan meliputi *depth of cut*, *width of cut*, *spindle speed*, *cutting speed*, *feed rate*, *feed per tooth*, *cutting tool diameter*, *tolerance band* (*intol* dan *outol*), *allowable part stock*, *number of*

passes, *cutting moves strategies*, *non-cutting moves strategies*.

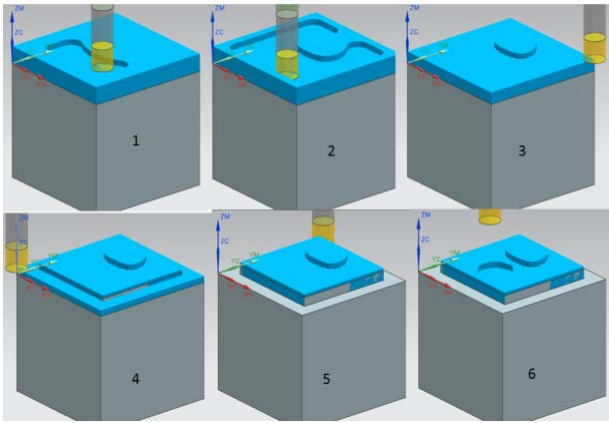
3.2.1 Proses Pemesinan Awal (Roughing)

Proses pemesinan awal dilakukan untuk memproses benda kerja berbentuk kubus dengan dimensi 3 x 3 x 3 mm. Pada proses ini, pahat jenis flat end mill dengan ukuran 0.5 mm digunakan dengan pertimbangan efektifitas pelepasan material, beban dan volume pelepasan material, dan efektifitas umur pahat. Namun pada beberapa area diperlukan ukuran pahat lebih kecil agar bisa terjangkau oleh proses pemesinan, seperti menggunakan pahat flat end mill 0.2 mm ataupun pahat *ball nose end mill* 0.1 mm. Proses roughing yang dikerjakan pada penelitian kali ini menggunakan kombinasi metode *milling planar* dan *contour*. *Face milling area* yang merupakan *milling planar* digunakan untuk melakukan proses pelepasan material paling besar di antara proses-proses berikutnya. Pola lintasan pahat pemesinannya mengikuti profil keliling benda kerja sehingga terbentuk lintasan pahat berbentuk persegi yang semakin ke arah tengah benda kerja ukurannya semakin mengecil. Gambar 5 dan 6 mengisutrasikan proses tersebut. Dengan menggunakan mata pahat *flat end mill* 0.5 mm, parameter pemesinan yang dipakai adalah *depth of cut* 0.15 mm, dimana rekomendasi nilai *depth of cut* dari katalog mata pahat maksimum sebesar 0.3 mm; nilai *width of cut* sebesar 0.025 mm yang bernilai sama dengan nilai rekomendasi. Besar *band tolerance intol* dan *outol* yang dipakai masing-masing adalah 0.002 mm.

Proses roughing kedua yang digunakan adalah proses *z-level profile operation* yang mana termasuk operasi *milling contour*. Tujuan dari proses ini adalah untuk melakukan proses pemesinan terhadap part stock yang ditinggalkan oleh proses roughing pertama dengan bekerja menurut perbedaan *z-level*nya.



Gambar 5 Lintasan pahat simplifikasi



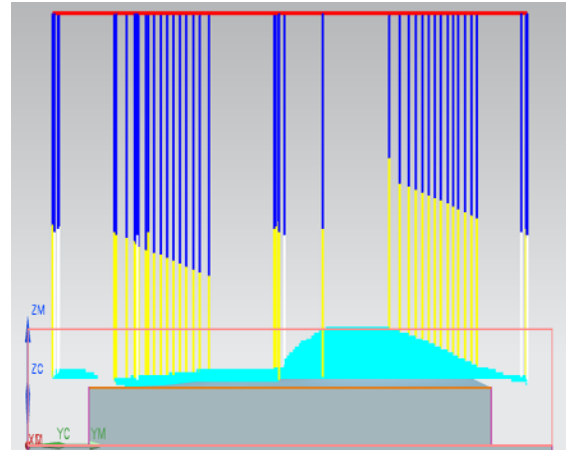
Gambar 6 Hasil pemesian operasi roughing 1 secara bertahap.

Proses ini, seperti terlihat pada gambar 7 dan 8, mengikuti profil dari part stock yang ada, namun pengerjaannya dimulai dari puncak/area tertinggi dari permukaan area kerja yang mana merupakan area dengan ketebalan tertinggi sampai kepada daerah terdalam yang mungkin dicapai oleh pahat di area lembah. Hasil pemesian dari proses ini seringkali menyisakan part stock berbentuk anak tangga, khususnya pada daerah-daerah yang memiliki karakteristik kontur yang kontras seperti terlihat pada gambar 9. Menggunakan pahat flat-end mill 0.2 mm dengan nilai depth of cut dan width of cut masing-masing adalah 0.01 mm, dan besar tolerance band juga 0.01 mm. Hal yang perlu menjadi perhatian adalah bahwa walaupun memiliki volume pelepasan material terbesar, proses roughing merupakan proses pemesian dengan cutting time tersingkat yang disebabkan oleh kecilnya densitas CL-Point.

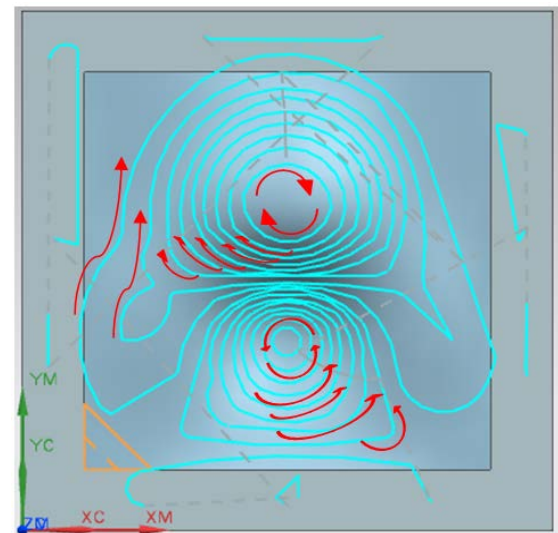
3.2.2. Proses Semi Finishing

Merupakan hal yang cukup umum dimana dilakukan proses semi finishing terlebih dahulu sebelum proses finishing (pemesinan akhir). Tujuannya adalah menghasilkan benda kerja yang mendekati bentuk akhir dari produk yang dirancang. Proses semi finishing ini diperlukan agar beban kerja (a.l. cutting force) proses finishing lebih rendah dan seragam sehingga diharapkan kualitas hasil pemesian seragam. Metode pemesian semi finishing yang dipakai adalah contour area method yang termasuk pola pemotongan parallel dengan pergerakan zig-zag (lihat gambar 10 dan 11). Pahat yang digunakan dalam proses ini adalah flat end mill berdiameter 0.2 mm dengan nilai width of cut atau stepover adalah 0.01 mm yang akan menghasilkan 230 passes sepanjang 2.3 mm panjang daerah pemesian. Sedangkan, depth of cut sebesar 0.01 mm dengan menyisakan part stock sebesar 0.025 mm untuk keperluan pemesian proses finishing.

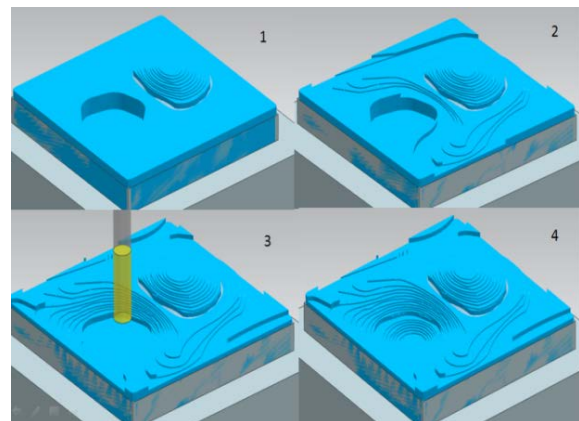
Tolerance band yang digunakan sebesar 0.01 mm, dan hanya menyisakan satu layer.



Gambar 7 tampak samping proses z-level milling.



Gambar 8 lintasan pahat yang telah disimplifikasi

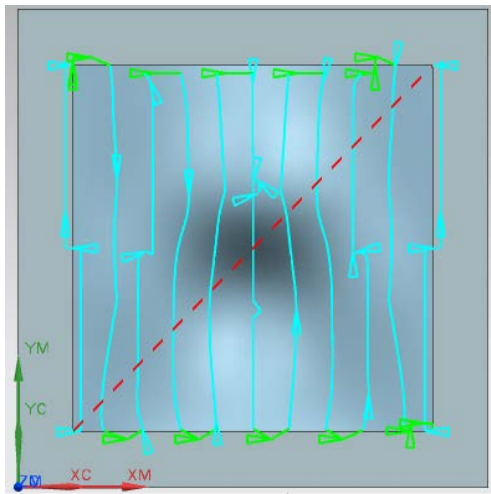


Gambar 9 Tahap pemesian roughing II

3.2.3. Proses Pemesinan Akhir (Finishing)

Proses finishing merupakan proses yang sangat penting dalam menentukan kualitas hasil pemesinan yang dikerjakan nantinya. Tingkat dari kualitas permukaan hasil pemesinan merupakan output yang sering dijadikan indikator kapabilitas dari proses pemesinan yang dilakukan.

Dengan menggunakan pahat ball nose end mill 0.1 mm, parameter depth of cut yang dipakai adalah 0.0125 mm. Part stock yang ditinggalkan adalah setebal 0.025 mm sehingga diperlukan dua tingkat/ dua lapis(layer) proses pemesinan semi finishing ini. Setiap layer memiliki sejumlah 460 passes yang merepresentasikan nilai width of cut atau step over 0.05 mm. Permukaan target dari proses ini berada tepat dibawah layer kedua, maka part stock yang diset sebesar 0 mm. Besar tolerance band yang digunakan adalah 0.01 mm baik untuk intol maupun outolnya yang merupakan nilai tolerance band terkecil selama proses pemesinan cetakan mikro dengan nilai densitas CL-Point yang sangat besar bila dibandingkan dengan proses roughing sebelumnya. Gambar 12 dan 13 mengilustrasikan proses finishing tersebut.



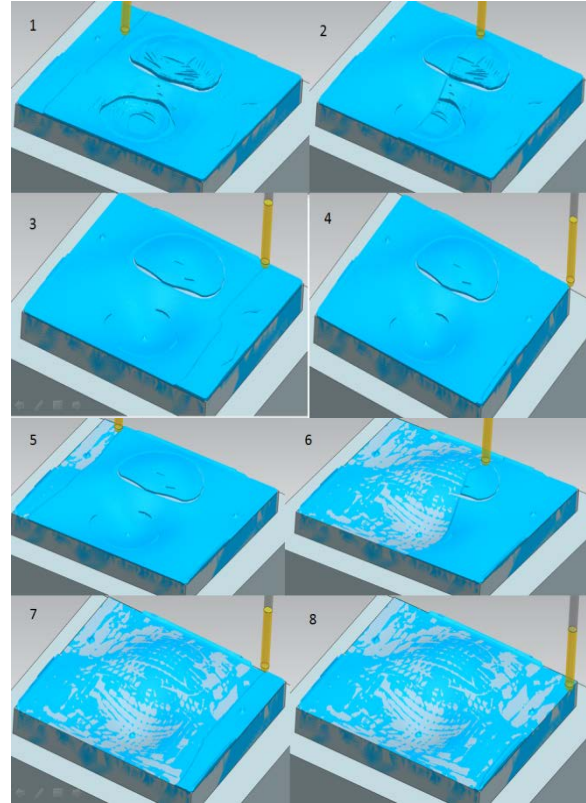
Gambar 12 Lintasan pahat finishing

4. Hasil Pemesinan

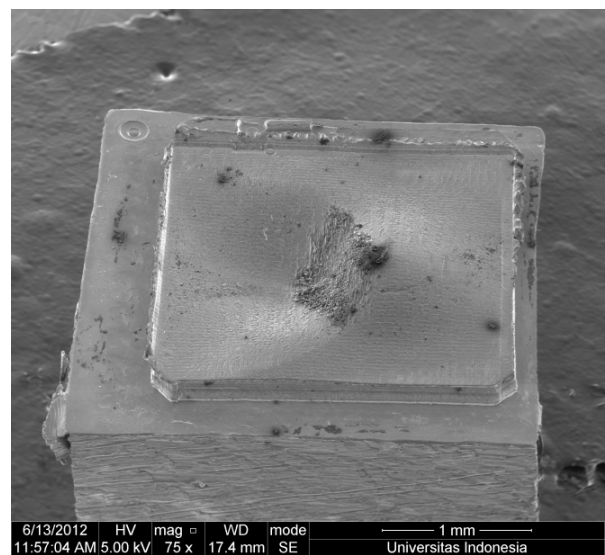
Dari proses pemesinan yang dilakukan, didapat bahwa produk micromold yang didapat sudah memiliki profil dari geometri desain. Bentuk permukaan sculptured sudah berhasil dibuat sebagaimana ditunjukkan pada gambar 14 dan 15.

Kekasaran permukaan yang didapat dari hasil pemesinan ini yang diambil di 3 lokasi di convex area adalah $0.3 \mu\text{m}$. Beberapa hal yang masih perlu diperbaiki adalah timbulnya burr dan deviasi permukaan. Dari penelitian awal, burr terjadi karena

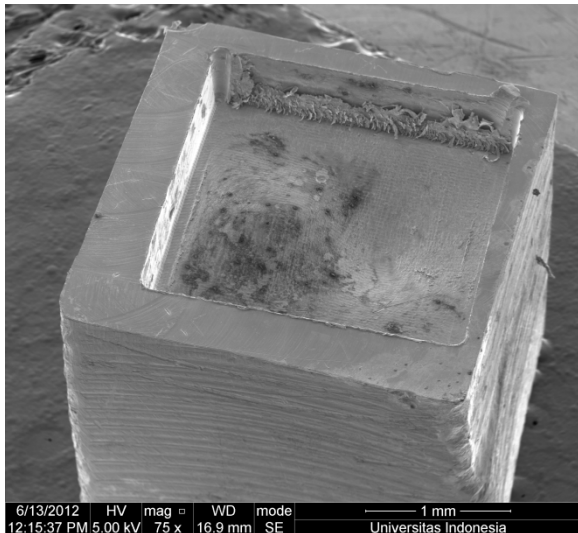
pengaruh parameter pemotongan khususnya feed rate. Perubahan terhadap feed-rate yang sesuai dengan kecepatan spindle dapat menghilangkan burr. Sedangkan deviasi permukaan, terjadi karena proses re-set-up saat penggantian cutting tool dari proses roughing ke semi finishing.



Gambar 13 Tahapan-tahapan pemesinan finishing operation.



Gambar 14 Hasil pengamatan SEM micromold bagian male



Gambar 15 Hasil pengamatan SEM micromold female

5. Kesimpulan

Pengembangan micromold dengan menggunakan proses micromilling 3-axis berhasil dilakukan secara experimental. Produk micromold dengan bentuk permukaan sculptured yang diperoleh dari proses tersebut, sudah memiliki profil geometri sesuai dengan spesifikasi desain yang diinginkan.

Referensi

Weinert K., Kahnis P., Koehler W. Investigation of Scalling Effects on Modelling and Simulation of Scaled Milling Processes. 1st Colloquium Processscaling, Bremen. (2003)

Takács M., Verő B., Mészáros I. Micromilling of Metalic Materials. Elsevier Journal of Materials Processing Technology. (2003)

Bang Young-bong, Lee Kyung-min, Oh Seungryul. 5-Axis Micro Milling Machine for Machining Micro Parts. Springer-Verlag London Limited (2004)

Litwinski Kai M., Min Sankee, Lee Dae-Eun, Dornfeld David A., Lee Nakkyu. Scalability of Tool Path Planning to Micro Machining. Precision Manufacturing Group, UC Berkeley. (2006)

Li P., Zdebski D., Langen H. H., Hoogstrate A. M., Oosterling J. A. J., Schimdt R. H. M., and Allen D. M. Micromilling of Thin Ribs with Ratios. IOP Publishing. (2010)

Rahman M., Kumar A. S., Prakash J. R. S. Micro Milling of Pure Copper. Elsevier Journal of Materials

Processing Technology. (2001)

Cimatron Group, Capitalizing on the Growing Demand for Micro-Milling: A Mold Maker's Guide

Dimov S., Pham D. T., Ivanov A., Popov K. Micro Milling of Thin Features. Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, Cardiff, UK

Biermann D., Kahnis P. Analysis and Simulation of Size Effects in Micromilling. German Academic Society for Production. (2009)