

**SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN
PROGRAM PENELITIAN HIBAH FUNDAMENTAL
TAHUN ANGGARAN 2016
Nomor : 0024/KONTRAK-UPPM/PCR/2016**

Pada hari ini **Kamis** tanggal **Dua** bulan **Juni** tahun **Dua Ribu Enam Belas**, kami yang bertandatangan dibawah ini :

1. Muhammad Ihsan Zul, S.Pd., M.Eng : Kepala UPPM Politeknik Caltex Riau, bertindak atas nama Direktur Politeknik Caltex Riau yang selanjutnya dalam Surat Perjanjian ini disebut sebagai **PIHAK PERTAMA**.
2. Dr. Hendriko, S.T., M.Eng : Dosen Politeknik Caltex Riau yang beralamat di Pekanbaru, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2016 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Perjanjian penugasan ini berdasarkan pada Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian bagi Dosen Perguruan Tinggi Swasta di Lingkungan Kopertis Wilayah X Tahun Anggaran 2016 Nomor: 58/KONTRAK-PENELITIAN/010/KM/2016 tanggal 22 Februari 2016.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian Hibah Fundamental (baru) Tahun 2016 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagaimana diatur dalam pasal-pasal sebagai berikut:

Pasal 1

PIHAK PERTAMA memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan Penugasan Program Penelitian Hibah Fundamental tahun 2016 dengan judul **"PENGEMBANGAN METODE ANALITIS UNTUK MENGHITUNG TINGGI SCALLOP PADA PERMESINAN MILLING MULTI SUMBU"**

1. **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab penuh atas pelaksanaan Administrasi dan keuangan atas pekerjaan/kegiatan sebagaimana dimaksud pada ayat 1 dan berkewajiban menyerahkan semua bukti-bukti pengeluaran serta dokumen pelaksanaan lainnya dalam bentuk laporan yang tersusun secara sistematis kepada **PIHAK PERTAMA**.
2. Pelaksanaan Penugasan Program Penelitian Hibah Fundamental (baru) tahun 2016 sebagaimana dimaksud judul penelitian di atas didanai dari DIPA Kopertis Wilayah X Nomor: SP DIPA-042.06.1.401516/2016 tanggal 7 Desember 2015.

Pasal 2

- (1) **PIHAK PERTAMA** menyerahkan dana penelitian sebagaimana dimaksud dalam pasal 1 sebesar **50.000.000,- (Lima Puluh Juta Rupiah)** yang berasal dari DIPA Kopertis Wilayah X Nomor: SP DIPA-042.06.1.401516/2016 tanggal 7 Desember 2015.

- (2) Dana Penugasan Pelaksanaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:
- a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% dari total bantuan dana kegiatan yaitu $70\% \times 50.000.000,- = 35.000.000$ - (**Tiga Puluh Lima Juta Rupiah**) dibayarkan kepada pihak kedua dan diharuskan mengunggah laporan kemajuan ke **SIM-LITABMAS** paling lambat tanggal **30 Juni 2016**.
 - b. Pembayaran Tahap Kedua sebesar 30% dari total dana kegiatan yaitu $30\% \times 50.000.000,- = 15.000.000$ (**Lima Belas Juta Rupiah**) dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** setelah mengunggah laporan 70% ke **SIM-LITABMAS** serta menyerahkan laporan kemajuan dan laporan penggunaan anggaran 70% yang telah dilaksanakan kepada **PIHAK PERTAMA** dan selanjutnya mengunggah laporan 100% paling lambat tanggal 15 Oktober 2016 dokumen dibawah ini:
 1. Surat Pernyataan Laporan Kemajuan Pelaksanaan Hibah Penelitian;
 2. Rekapitulasi Laporan Penggunaan Keuangan 70% yang telah dilaksanakan
 3. Berita Acara Serah Terima Laporan Kemajuan Pelaksanaan;
 4. Berita Acara Serah Terima Laporan Penggunaan Keuangan 70%.
 - c. **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab mutlak dalam pembelanjaan dana tersebut pada ayat (1) sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui dan berkewajiban untuk menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** semua bukti-bukti pengeluaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA**.
 - d. **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengembalikan sisa dana yang tidak dibelanjakan ke kepada **PIHAK PERTAMA** untuk disetor ke Kas Negara.

Pasal 3

Dana Penugasan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat 1 dibayarkan langsung kepada **PIHAK KEDUA**.

Pasal 4

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menindaklanjuti dan mengupayakan hasil Program Penelitian Hibah Fundamental berupa hak kekayaan intelektual dan atau publikasi ilmiah sesuai dengan iuran yang dijanjikan pada Proposal.
- (2) Perolehan hasil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi.
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan perolehan hasil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA** selambat-lambatnya pada tanggal **30 Juni 2016**.

Pasal 5

- (1) **PIHAK PERTAMA** melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Program Penelitian Hibah Fundamental tahun 2016 sebelum pelaksanaan monitoring dan evaluasi eksternal oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.

Pasal 6

Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi pelaksanaan Program Penelitian Hibah Fundamental dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi

Pasal 7

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Akhir pelaksanaan Penugasan Program Penelitian Hibah Fundamental Tahun 2016 sesuai ketentuan pada Buku Panduan Program Penelitian Tahun 2013 Edisi IX dan mengisi Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran 100% pada **SIM-LITABMAS paling lambat tanggal 15 Oktober 2016**.
- (2) Hard copy Laporan Akhir dan Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran sebagaimana dimaksud ayat (1) diserahkan kepada **PIHAK PERTAMA paling lambat tanggal 15 Oktober 2016**.

Pasal 8

- (1) Apabila **PIHAK KEDUA** selaku ketua pelaksana sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 tidak dapat melaksanakan Program Penelitian Hibah Fundamental Tahun 2016, maka **PIHAK KEDUA** wajib mengusulkan pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas dan tidak ada pengganti ketua sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 maka **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (3) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 9

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Penelitian telah berakhir, **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya dan atau terlambat mengirim laporan Kemajuan dan atau terlambat mengirim laporan akhir, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi denda sebesar 1 ‰ (satu permil) setiap hari keterlambatan sampai dengan setinggi-tingginya 5% (lima persen), terhitung dari tanggal jatuh tempo sebagaimana tersebut pada pasal 1 ayat (1), (2) dan ayat (3), yang terdapat dalam Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian Hibah Fundamental Tahun Anggaran 2016;
- (2) Denda sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disetorkan ke Kas Negara dan foto copy bukti setor denda yang telah divalidasi oleh KPPN setempat diserahkan kepada **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 10

- (1) Apabila dikemudian hari judul Program Penelitian Hibah Fundamental sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Program Penelitian Hibah Fundamental lain dan atau ditemukan adanya ketidakjujuran/itikad kurang baik yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka kegiatan tersebut dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** wajib mengembalikan dana Tahun 2016 yang telah diterima kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 11

Hal-hal atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab **PIHAK KEDUA** dan harus dibayarkan ke kantor pelayanan pajak setempat sebagai berikut:

1. Pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%;
2. Belanja honorarium dikenai PPh Pasal 21 dengan ketentuan:
 - a. 5% bagi yang memiliki NPWP untuk golongan III, serta 6% bagi yang tidak memiliki NPWP.
 - b. Untuk golongan IV sebesar 15%; dan
3. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku.

Pasal 12

- (1) Hak atas kekayaan intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan Program Penelitian Hibah Fundamental diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku.
- (2) Hasil Program Penelitian Hibah Fundamental berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga/masyarakat melalui Surat Keterangan Hibah.

Pasal 13

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.
- (2) Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini diatur kemudian oleh kedua belah pihak.

Pasal 14

Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian Hibah Fundamental ini dibuat rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

PIHAK PERTAMA



Muhammad Ihsan Zul, S.Pd., M.Eng
NIP. 138703

PIHAK KEDUA

A blue ink signature is written in a stylized, blocky font.

Dr. Hendriko, S.T., M.Eng
NIP. 007606

LAPORAN AKHIR TAHUN
PENELITIAN FUNDAMENTAL



***Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Tinggi Scallop Pada
Permesinan Milling Multi Sumbu***

Tahun ke-1 dari rencana 2 tahun

Ketua : Dr. Hendriko, ST, M.Eng. (1009017601)

Anggota : Amnur Akhyan, S.S.T, M.T. (1025017803)

POLITEKNIK CALTEX RIAU

November 2016

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung
Tinggi Scallop Pada Permesinan Milling Multi Sumbu

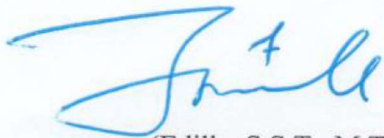
Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : HENDRIKO
Perguruan Tinggi : Politeknik Caltex
NIDN : 1009017601
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Mekatronika
Nomor HP : 0811690050
Alamat surel (e-mail) : hendriko@pcr.ac.id

Anggota (1)

Nama Lengkap : AMNUR AKHYAN S.S.T., M.T.
NIDN : 1025017803
Perguruan Tinggi : Politeknik Caltex
Institusi Mitra (jika ada) : -
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 50.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 149.470.000,00

Mengetahui,
Kaprodi Teknik Mekatronika


(Edilla, S.S.T., M.T)
NIP/NIK 038004

Pekanbaru, 30 - 11 - 2016
Ketua,


(HENDRIKO)
NIP/NIK 007606



Menyetujui,
Ka. UPPM
(M. Ihsan Zul, S.Pd., M.Eng.)
NIP/NIK 138703

RINGKASAN

Proses permesinan milling multi sumbu memberikan banyak manfaat dibandingkan dengan proses pada permesinan tiga sumbu dalam hal memproduksi komponen dengan bentuk yang rumit. Hal ini disebabkan karena pada mesin milling multi sumbu terdapat tambahan sumbu yang membuat pahat dapat melakukan gerakan rotasi selain bergerak pada sumbu x, y, dan z. Namun karena pergerakan pahat yang sangat fleksibel, hal ini mengakibatkan proses simulasi permesinan menjadi lebih rumit.

Oleh karena itu pada penelitian ini diusulkan sebuah metode yang dapat digunakan untuk menghitung tinggi scallop dari hasil proses permesinan milling multi sumbu. Tinggi Scallop merupakan salah satu indikator yang menentukan kualitas permukaan hasil permesinan. Dalam penelitian ini metode yang akan dikembangkan adalah metode analitis. Pemilihan metode ini adalah dengan mempertimbangkan bahwa metode analitis memiliki keunggulan dalam hal waktu komputasi yang pendek. Pada penelitian ini algoritma matematika yang akan digunakan merupakan pengembangan dari metode *Analytical Boundary Simulation* (ABS) yang sebelumnya digunakan untuk menghitung ukuran dan bentuk geometri tatal (chip geometry).

Dalam penelitian di tahun pertama telah berhasil disusun algoritma matematika untuk menghitung tinggi scallop lintasan (*path scallop*) dan scallop pemakanan (*feed scallop*). Algoritma lintasan scallop yang dibangun adalah untuk proses permesinan dengan menggunakan pahat datar (*flat end-mill*). Sedangkan untuk scallop pemakanan algoritma yang disusun adalah untuk pahat toroidal. Algoritma matematika yang disusun kemudian digunakan untuk mengembangkan program simulasi. Program simulasi tersebut dapat digunakan untuk menghitung tinggi scallop dari suatu proses permesinan dan sekaligus menampilkan bentuk scallop pada permukaan benda kerja.

Proses pengujian terhadap kemampuan metode yang diusulkan dalam menghitung tinggi scallop telah dilakukan. Dan verifikasi untuk membuktikan akurasi metode juga sudah dilakukan. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan tinggi scallop yang dihitung menggunakan ABS dan tinggi scallop yang diukur dengan menggunakan software CAD/CAM Siemen-NX. Hasilnya menunjukan bahwa perbedaan diantara keduanya sangat kecil atau kurang dari 6%. Ini membuktikan bahwa metode analitis yang diusulkan sangat akurat.

Kata kunci : Scallop, Mesin Milling Multi Sumbu, Analytical Boundary Simulation

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkah dan karunianya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Akhir Penelitian Fundamental tahun 2016 yang berjudul: ***“Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Tinggi Scallop Pada Permesinan Milling Multi Sumbu.***

Keberhasilan kami menyelesaikan penelitian tahun pertama ini adalah berkat bantuan dari berbagai pihak, baik bantuan yang diberikan pada saat persiapan, masa penelitian, pembahasan maupun pada saat penyusunan Laporan Akhir. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi serta Kopertis Wilayah X yang telah memberikan bantuan dana untuk kegiatan penelitian ini.
2. Pimpinan Politeknik Caltex Riau, Direktur dan para Pembantu Direktur yang telah memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada kami untuk mengembangkan diri dalam kegiatan Tri darma Perguruan Tinggi khususnya dalam kegiatan Penelitian.
3. Kepala Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Bapak Muhammad Ihsan Zul, SPd. M.Eng. dan stafnya yang telah memberikan banyak dukungan teknis, fasilitas administrasi guna kelancaran penelitian.
4. Para Kolega di Teknik Mekatronika yang telah memberikan dorongan, semangat dan sumbang saran dalam pelaksanaan penelitian ini.
5. Serta semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah memberi bantuan, arahan serta dorongan kepada kami dalam menyelesaikan penelitian tahun pertama ini.

Akhirnya kami berharap agar kiranya hasil dari penelitian yang kami lakukan dalam tahun 2016 ini dapat bermanfaat bagi kami selaku peneliti, dan tentunya bagi kemajuan bangsa Indonesia.

Pekanbaru, November 2016

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
Ringkasan	ii
Prakata	iii
Daftar Isi	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Keutamaan Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>State of the Art</i>	3
2.2 Peta Jalan Penelitian	5
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	7
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	8
3.1 Tahapan Penelitan	8
3.2 Luaran dan Indikator Capaian	9
BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	
5.1 Tinggi Scallop Lintasan Pahat Datar	10
5.2 Scallop Pemakanan Dengan Pahat Toroidal	15
5.3 Luaran Yang Dicapai	20
BAB VI RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	21
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	22
Daftar Pustaka	23
Lampiran (Bukti Luaran Yang Didapatkan)	24

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses permesinan berkembang sangat pesat sejalan dengan perkembangan industri otomotif dan dirgantara. Banyak produk seperti komponen-komponen otomotif yang dirancang dengan bentuk permukaan bebas (*free-form surfaces*). Saat ini komponen-komponen (*part*) tersebut biasanya diproduksi dengan menggunakan mesin milling lima sumbu. Mesin milling lima sumbu menawarkan efisiensi proses permesinan yang lebih baik dibandingkan dengan mesin milling tiga sumbu dalam hal memproduksi komponen dengan permukaan yang kompleks. Pada mesin milling lima sumbu, orientasi pahat relatif terhadap benda kerja dapat diatur dengan mudah dimana pahat dapat bergerak mengikuti kontur permukaan komponen. Hal ini dapat dilakukan karena adanya tambahan dua derajat kebebasan pada mesin milling lima sumbu. Namun demikian, selain memberikan fleksibilitas, tambahan dua derajat kebebasan ini juga meningkatkan kompleksitas proses permesinan.

Permesinan komponen dengan permukaan bebas biasanya dilakukan dengan jumlah perpindahan pahat yang sangat banyak. Hal ini mengakibatkan waktu permesinan menjadi lebih panjang dan pada akhirnya biaya permesinan menjadi sangat mahal. Dengan mempertimbangkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk proses penyelesaian (*finishing*) dan penggosokan (*polishing*) dapat menyerap sebanyak 75% dari waktu permesinan total [1], maka proses pemilihan dan pengaturan parameter pemotongan dan strategi permesinan yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk menjadi sangat penting.

Secara umum terdapat tiga parameter yang biasanya digunakan untuk mengatur akurasi dari permukaan termesin (*machined surface*): 1) toleransi permesinan; 2) tinggi scallop (*scallop height*); dan 3) kekasaran permukaan (*surface roughness*). Pada mesin milling lima sumbu, tinggi scallop menjadi komponen yang sangat penting dalam mengukur kekasaran permukaan. Tinggi scallop diukur dari permukaan komponen yang dirancang ke puncak material sisa hasil pemotongan. Ukuran tinggi scallop dipengaruhi oleh empat faktor: 1) geometri pahat potong; 2) orientasi pahat; 3) geometri permukaan komponen; dan 4) jarak antara lintasan pahat (*tool path*) yang berdekatan atau disebut *step over*. Untuk memperoleh kualitas permukaan yang diharapkan, tinggi scallop harus dikontrol dengan baik. Namun karena kompleksitas permukaan komponen dan orientasi pahat menyebabkan tinggi scallop sulit dihitung. Metode untuk menentukan tinggi scallop pada proses permesinan khususnya untuk permesinan bentuk permukaan bebas masih menjadi tantangan.

Banyak studi yang telah dilakukan untuk menghitung tinggi scallop. Sebagian besar studi dilakukan untuk proses permesinan milling tiga sumbu dan hanya sedikit yang telah melakukan

untuk mesin milling lima sumbu. Terdapat beberapa kelemahan dari pendekatan analitis yang dilakukan dalam menghitung tinggi scallop pada proses permesinan milling lima sumbu. Penjelasan secara rinci tentang kelemahan-kelemahan tersebut ditampilkan pada bagian *state of the art*.

Oleh karena itu penelitian ini akan mengembangkan sebuah metode analitis untuk menghitung tinggi scallop pada proses permesinan milling lima sumbu. Algoritma matematika yang dikembangkan akan digunakan untuk membuat program simulasi sehingga data tinggi scallop dapat dihasilkan dengan cepat dan bentuk scallop dapat ditampilkan.

1.2. Keutamaan Penelitian

Untuk mendukung pengembangan permesinan virtual, data geometri yang akurat menjadi sangat penting khususnya dalam menentukan kekasaran permukaan hasil dari proses permesinan [2]. Banyak studi dalam bidang simulasi geometri dengan model solid yang dilakukan seperti *constructive solid geometry* (CSG) [3, 4] dan *boundary representations* (B-Rep) [5, 6]. Studi lain [7-9] menggunakan metode *Z-map* dimana benda kerja direpresentasikan dengan sekumpulan vektor yang disebar di seluruh permukaan benda kerja. Model solid menghasilkan informasi yang akurat namun memiliki kelemahan dalam hal waktu komputasi (*computational time*) yang sangat panjang. Sementara itu waktu komputasi metode *Z-map* lebih cepat dibanding model solid. Meski demikian, waktu komputasi metode *Z-map* akan meningkat drastis ketika akurasi dan presisi ditingkatkan.

Untuk mengatasi masalah terkait waktu komputasi yang panjang maka beberapa peneliti [10-13] mengembangkan metode analitis dalam melakukan simulasi geometri untuk mendukung analisa proses permesinan. Kiswanto et al. [11] dan Hendriko et al. [12] mengembangkan metode analitis yang disebut *Analytical Boundary Simulation* (ABS) untuk menentukan geometri total pada mesin milling lima sumbu. Hasilnya menunjukkan bahwa metode yang diusulkan akurat dan lebih cepat dibandingkan dengan metode *Z-map*. Gupta et al. [13] menyebutkan bahwa metode analitis jauh lebih cepat dan lebih akurat dibandingkan metode diskret.

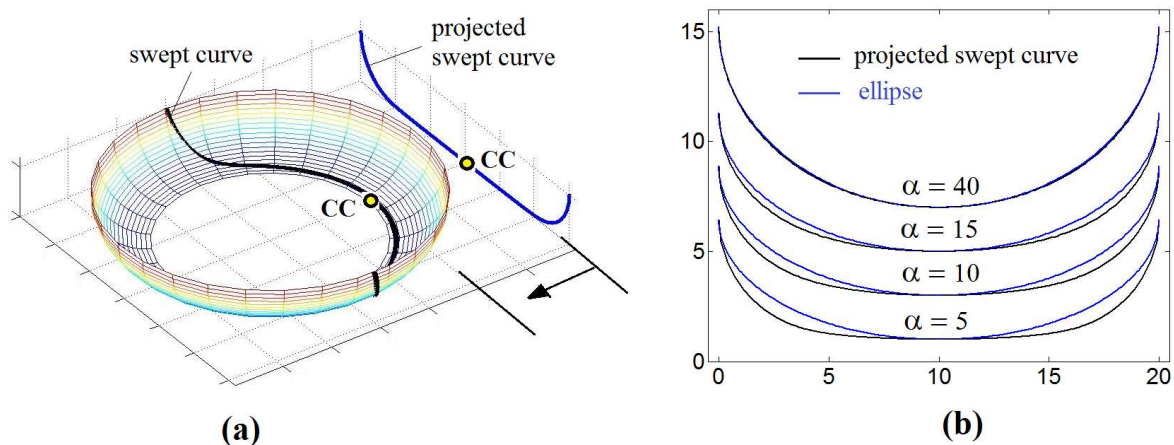
Oleh karena itu keutamaan dari penelitian ini adalah: selain untuk menyelesaikan permasalahan yang saat ini muncul dalam metode menentukan tinggi scallop sebagaimana yang sudah dijelaskan pada latar belakang dan penjelasan lebih rinci pada *state of the art*, metode yang akan dikembangkan juga memiliki keunggulan dalam hal waktu komputasi yang singkat karena metode ini berbasis analitis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of the Art*

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menghitung tinggi scallop pada permesinan komponen permukaan bebas. Beberapa peneliti [14-17] melakukan studi terhadap tingkat keefektifan pahat datar (*flat-end mill*) pada permesinan permukaan yang dilengkungkan. Dari studi tersebut, tinggi scallop dari proses permesinan yang menggunakan pahat datar yang dimiringkan didefinisikan secara analitis. Hasilnya menunjukkan bahwa pahat datar menghasilkan tinggi scallop yang dapat bersaing dengan tinggi scallop yang dihasilkan dari proses permesinan menggunakan pahat bola (*ball-end mill*). Peneliti lain [18-22] mengembangkan model untuk menghitung tinggi scallop pada pahat bola agar diperoleh lintasan pahat yang optimal. Ozturk et.al [23] menginvestigasi pengaruh sudut inklinasi (*inclination angle*) dan sudut miring (*tilt angle*) terhadap tinggi scallop. Sedangkan studi lainnya [17,24] memberikan perhatian pada isu terkait tinggi scallop menggunakan pahat toroidal pada permesinan milling tiga sumbu dan Wang & Yu [25] konsentrasi menggunakan pahat toroidal pada mesin milling lima sumbu. Semua penelitian tersebut menggunakan asumsi yang sederhana bahwa kurvatur permukaan benda benda kerja konstan dan geometri pahat diaproksimasikan dengan dua geometri primitif yang umum, yaitu lingkaran dan elips.

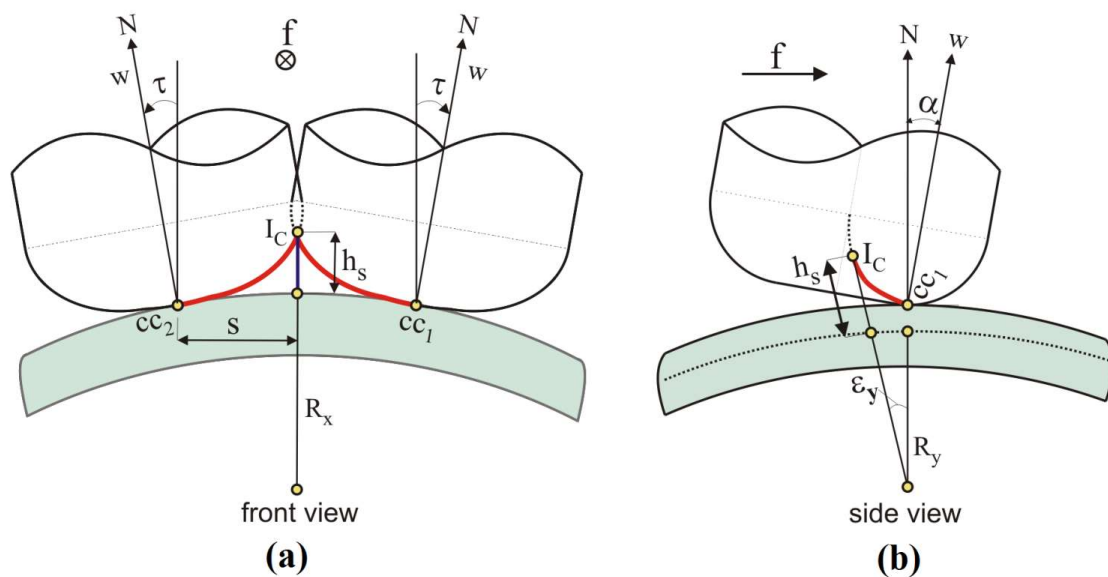


Gambar 2.1 a) kurva tersapu dan kurva tersapu yang diproyeksikan dalam 2D, b) perbandingan kurva elips dan kurva tersapu untuk beberapa sudut inklinasi.

Senatore et al.[22] merepresentasikan permukaan tersapu pahat (*tool swept envelope*) dengan cara menghitung radius efektif pahat toroidal. Radius efektif pahat dihitung sebagai pengaruh adanya sudut inklinasi. Kemudian tinggi scallop terhadap radius permukaan komponen dapat dihitung dan akhirnya *step over* dapat ditentukan. Penelitian lain [14-21, 24,25]

merepresentasikan pahat datar dan pahat bola yang dimiringkan karena adanya *tilt angle* dengan sebuah elips. Secara matematika, proyeksi 2D dari bentuk kurva tersapu (*swept curves*) dari pahat datar dan pahat bola yang dimiringkan dapat ditentukan secara tepat dengan menggunakan persamaan parametrik untuk sebuah elips. Kondisi berbeda terjadi dengan pahat toroidal. Secara geometri, pahat toroidal lebih kompleks dibandingkan dengan pahat datar dan pahat bola dimana toroidal cutter dibentuk oleh dua permukaan, yaitu: permukaan silinder dan permukaan toroidal. Hal ini mengakibatkan untuk menghitung kurva tersapu ketika pahat menggunakan sudut inklinasi menjadi lebih rumit.

Penelitian yang diusulkan pada proposal ini dimaksudkan untuk memperbaiki kelemahan yang ditemukan pada metode analitis untuk menghitung tinggi scallop yang sudah dipublikasikan. Ada dua kelemahan yang ditemukan, pertama adalah kelemahan dalam mengaproksimasi kurva tersapu. Contoh kurva tersapu dari pahat toroidal ketika terdapat sudut inklinasi dan bentuk kurva tersapu yang diproyeksikan dalam gambar 2D ditunjukkan pada Gambar 2.1a. Gambar 2.1b membandingkan bentuk kurva proyeksi dengan bentuk elips untuk berbagai sudut inklinasi. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa bentuk kurva proyeksi sangat dinamis sehingga antara kurva proyeksi dan elips tidak berhimpit secara sempurna. Ini artinya bahwa kurva proyeksi tidak dapat direpresentasikan atau diaproksimasi dengan elips maupun lingkaran, khususnya ketika sudut inklinasi kecil.



Gambar 2.2 Titik persinggungan kurva tersapu antara dua lintasa pahat, a) tampak depan, b) tampak samping

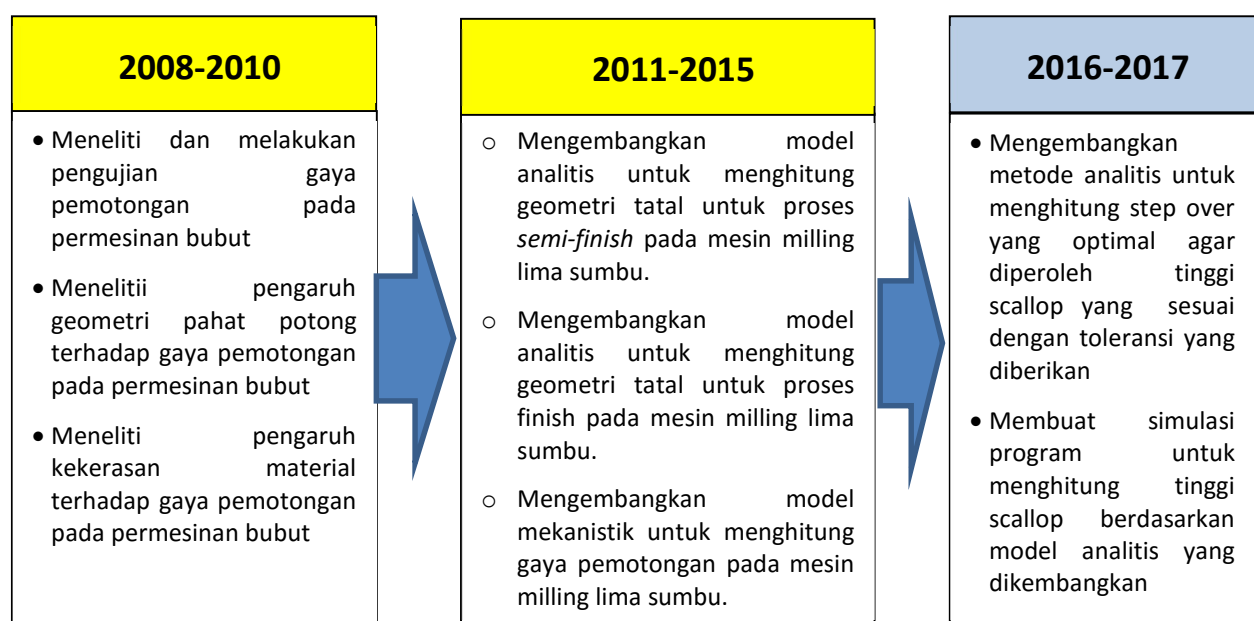
Kelemahan kedua terletak pada metode untuk mengukur tinggi scallop. Karena kurva tersapu diproyeksikan menjadi 2D maka tinggi scallop diukur secara vertikal dari titik potong dari dua pahat potong dari dua lintasan pahat yang berdekatan (I_C) ke permukaan komponen sebagaimana yang diilustrasikan pada Gambar 2.2a [26-28]. Hal ini mengakibatkan bentuk kurvatur dari sisi lain diabaikan. Dengan kata lain bahwa metode yang ada saat ini sangat

menyederhanakan algoritma menghitung tinggi scallop untuk sebuah permukaan bentuk bebas dengan sebuah permukaan yang sederhana. Gambar 2b menunjukkan sudut pandang dari titik potong. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa titik potong tidak sejajar dengan titik kontak pahat (*cutter contact point*) namun berada di belakang titik kontak pahat. Karena tinggi scallop diukur tegak lurus dari permukaan komponen maka metode kurva proyeksi yang ada saat ini cenderung menghasilkan eror ketika melakukan permesinan permukaan bebas.

Oleh karena itu penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan metode analitis untuk mencari tinggi scallop dari pahat toroidal pada mesin milling lima sumbu. Metode analitis yang akan dikembangkan diharapkan dapat menjawab kelemahan metode yang ada saat ini sebagaimana yang sudah dijelaskan di atas.

2.2 Peta Jalan Penelitian

Metode untuk menentukan parameter permesinan yang optimal berdasarkan perhitungan geometri total (*chip*) dan gaya pemotongan telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya [11, 12, 29]. Pada penelitian ini parameter pemotongan berdasarkan sasaran kualitas permesinan yang diharapkan akan dikembangkan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode analitis yang dapat digunakan untuk menghitung tinggi scallop yang dihasilkan dari suatu proses permesinan milling lima sumbu. Jika tinggi scallop dapat dihitung maka proses parameter dapat ditentukan sebelum permesinan dimulai. Dalam penelitian ini pahat potong yang digunakan adalah pahat toroidal. Beberapa parameter seperti sudut inklinasi, sudut miring dan sudut spiral pahat diperhitungkan dalam algoritma yang dikembangkan.



Gambar 2.3 Peta jalan penelitian

Peneliti utama dalam penelitian ini telah mengembangkan berbagai metode analitis untuk mengembangkan permesinan virtual untuk menghitung parameter permesinan pada proses permesinan milling lima sumbu sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. Beberapa paper telah dipublikasikan pada berbagai Seminar Nasional, Seminar Internasional maupun Jurnal Internasional. Daftar publikasi dapat dilihat pada biodata penulis di lampiran. Berikut ini adalah *track record* dan peta jalan penelitian yang telah dan akan dilakukan.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan Khusus

Salah satu kelemahan dalam sistem permesinan *Computer Numerical Control* (CNC) saat ini adalah hanya menggunakan satu parameter pemotongan (seperti *feedrate* dan *cutting speed*) untuk keseluruhan proses permesinan. Hal ini menyebabkan efisiensi proses permesinan menjadi sangat rendah. Oleh karena itu banyak studi yang dilakukan untuk menghasilkan sebuah pendekatan yang disebut dengan permesinan virtual (*virtual machining*). Salah satu tujuan dari dikembangkannya permesinan virtual adalah agar gaya pemotongan (*cutting force*) dan kualitas permukaan hasil permesinan dapat dihitung sehingga produktifitas dan kualitas proses permesinan dapat ditingkatkan. Penelitian yang diusulkan ini merupakan bagian dari pengembangan permesinan virtual yang bertujuan untuk menghitung parameter permesinan yang optimal agar dihasilkan kualitas permesinan yang baik. Jika tinggi *scallop* dapat dihitung sebelum proses permesinan berlangsung maka akan melengkapi hasil penelitian terdahulu (dijelaskan pada subbab 2.2 tentang peta jalan penelitian) terkait perhitungan gaya pemotongan. Jika keduanya digabungkan, parameter permesinan seperti *feedrate*, *cutting speed* dan *step-over* dapat dipilih secara optimal sehingga waktu permesinan dapat lebih cepat dan kualitas yang dihasilkan sesuai dengan toleransi yang diharapkan.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini akan dibagi menjadi 3 tahapan yaitu: 1) fase pengembangan model matematika; 2) fase pengembangan program simulasi; dan 3) fase validasi model yang akan dilakukan secara simulasi dan pengujian eksperimental. Rincian dari masing-masing fase dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pengembangan Model Matematika

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan model matematika agar parameter permesinan yang optimal pada proses permesinan lima sumbu dapat diperoleh. Algoritma matematika yang akan dikembangkan adalah berdasarkan kombinasi dari persamaan parametrik geometri pahat toroidal dan *cutter location* (CL) data yang diperoleh dari software Computer Aided Manufacturing (CAM). Dalam penelitian ini software yang digunakan adalah Siemens-NX.

Metode matematika yang akan digunakan merupakan pengembangan dari metode *Analytical Boundary Simulation* yang telah disampaikan oleh Hendriko et al. [11, 12, 29] untuk menghitung *Cutter Workpiece Engagement*. Beberapa hal yang akan dilakukan dalam pengembangan model matematika untuk menghitung tinggi scallop adalah:

1. Menentukan kurva tersapu. Kurva tersapu dikembangkan dengan menggunakan metode untuk menentukan *grazing point*. *Grazing point* diperoleh dengan menggunakan fungsi tangen yang terdiri dari permukaan normal dari benda kerja ($N_{S_T}(\vartheta, \varphi, p)$) dan vektor arah pergerakan pahat ($V_{S_T}(\vartheta, \varphi, p)$) atau dapat dituliskan sebagai $F_{(\vartheta, \varphi, p)} = N_{S_T}(\vartheta, \varphi, p) \cdot V_{S_T}(\vartheta, \varphi, p) = 0$. Dengan menentukan *grazing point* pada setiap sudut rotasi (φ) maka kurva tersapu akan terbentuk. Metode *grazing* yang digunakan untuk menentukan titik singgung bawah (*lower engagement point*) sebagaimana dilaporkan pada [11] akan diimplementasikan untuk menghitung kurva tersapu. Selanjutnya, tinggi scallop yang dibentuk oleh persinggungan antara dua kurva tersapu yang saling berurutan dapat ditentukan. Scallop yang muncul dari persinggungan dua lintasan pahat disebut dengan *path scallop*
2. Scallop tidak hanya terbentuk dari hasil permesinan dua lintasan pahat namun juga ditemukan diantara dua putaran pahat atau yang disebut dengan *feed scallop*. Pada pahat

bola, *feed scallop* bisa tiga kali lebih besar dibanding dengan *path scallop* pada permesinan dengan kecepatan pemakanan yang tinggi [30].

3. Algoritma matematika yang dikembangkan akan memperhitungkan pengaruh beberapa parameter seperti sudut inklinasi dan sudut spiral pahat. Keberadaan sudut spiral akan mempengaruhi orientasi pahat sebenarnya.

Pengembangan Program Simulasi

Model matematika yang dikembangkan akan diimplementasikan ke dalam simulasi komputer yang akan dikembangkan menggunakan Software Matlab. Model benda kerja dan lintasan pahat akan diperoleh dari software Siemens NX. Informasi terkait geometri pahat, lintasan pahat dan parameter permesinan kemudian dijadikan input dalam perhitungan menggunakan program simulasi. Program simulasi akan dikembangkan selain dapat digunakan untuk menghitung tinggi scallop pada setiap lokasi pahat, namun juga dapat menampilkan bentuk permukaan hasil proses permesinan.

Validasi Model

Untuk membuktikan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh dari program simulasi akurat, maka model yang dikembangkan perlu divalidasi. Ada dua model validasi yang dilakukan, pertama adalah dengan menggunakan Siemens-NX, dan yang kedua adalah dengan melakukan uji eksperimen menggunakan mesin milling tiga sumbu dan mesin milling lima sumbu. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan beberapa ukuran diameter dan *minor radius* pahat toroidal untuk memastikan kemampuan model yang dikembangkan. Selain itu kemampuan model yang dikembangkan juga akan diuji dan dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan pahat datar (*flat-end mill*) dan pahat bola (*ball end mill*)

4.2. Luaran dan Indikator Capaian

Berdasarkan tujuan dan keutamaan dari penelitian ini, luaran dan indikator yang digunakan untuk mengukur hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode analisis berupa algoritma matematika untuk menghitung tinggi scallop baik *path scallop* dan *feed scallop* pada mesin milling lima sumbu dapat diselesaikan.
2. Program simulasi mampu menghitung tinggi scallop berdasarkan metode analisis yang dikembangkan dan dapat menampilkan bentuk scallop permukaan hasil permesinan dapat dibangun.
3. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan minimal 1 artikel pada Jurnal Internasional dan 1 artikel pada Seminar Internasional yang terindex Scopus.

BAB V

HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1. Tinggi Scallop Lintasan Pahat Datar

Memilih jenis pahat yang digunakan pada proses permesinan milling bukanlah sebuah pekerjaan yang mudah. Terdapat banyak parameter yang perlu dipertimbangkan. Namun pada dasarnya seorang operator mesin akan selalu berusaha memilih pahat yang dapat memotong material diinginkan dengan biaya yang semurah mungkin. Terdapat beberapa jenis geometri pahat yang dapat digunakan pada proses permesinan milling. Dari beberapa jenis tersebut, tiga jenis geometri pahat yang umum digunakan adalah: pahat datar (*flat-end mill cutter*), pahat toroidal (*toroidal cutter*), dan pahat bola (*ball-end mill cutter*). Ketiga jenis pahat tersebut telah diteliti tentang keefektifannya dalam proses permesinan dengan permukaan rumit [16, 31, 32]. Pahat datar adalah pahat yang paling banyak digunakan karena memiliki keunggulan dimana lebar sisi kontak lebih lebar sehingga laju pemakanan menjadi lebih tinggi dan akhirnya waktu permesinan menjadi lebih singkat [31].

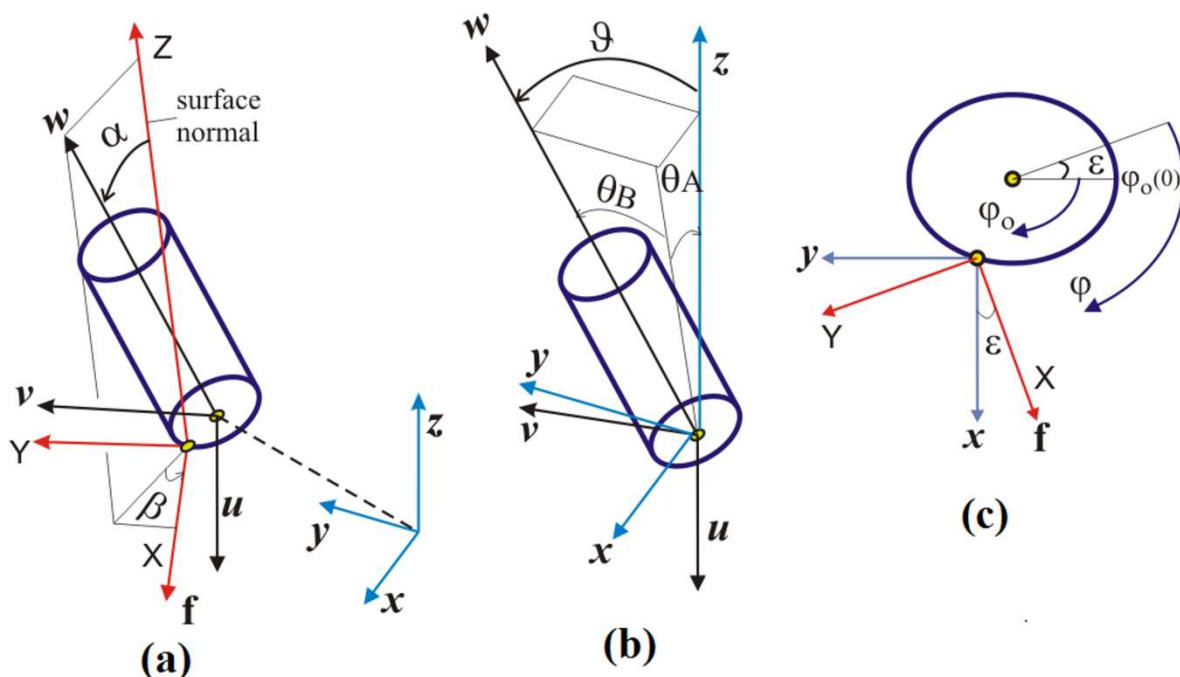
Beberapa penelitian [14,19,20,28] mengembangkan model untuk menghiung tinggi scallop untuk pahat bola agar memperoleh lintasan pahat yang optimal. Sementara penelitian lainnya [23,33,34] menginvestigasi dampak dari sudut inklinasi (*inclination angle*) dan sudut miring (*tilt angle*) terhadap tinggi scallop pada permesinan milling lima sumbu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan sudut inklinasi yang sama, pahat datar menghasilkan tinggi scallop yang lebih kecil dibandingkan dengan pahat bola dan pahat toroidal. Tinggi scallop tidak berubah dengan berubahnya sudut inklinasi ketika proses pemotongan menggunakan pahat bola. Sementara jika menggunakan pahat toroidal, tinggi scallop akan berkurang signifikan ketika sudut inklinasi kecil. Dengan kata lain bahwa pahat data akan menghasilkan tinggi scallop yang lebih kecil jika proses pemotongan menggunakan sudut inklinasi yang sama. Semakin besar sudut radius dari sebuah pahat toroidal, semakin besar scallop yang dihasilkan, dan sebaliknya.

Banyak studi yang sudah dicurahkan untuk menghitung tinggi scallop pada saat permesinan dengan permukaan bebas (*free-form surface machining*). Beberapa peneliti [15-17,35,36] melakukan studi tentang keefektifan pahat datar pada proses permesinan benda dengan permukaan berbentuk kurva. Tinggi scallop dari pahat datar telah didefinisikan secara analitis

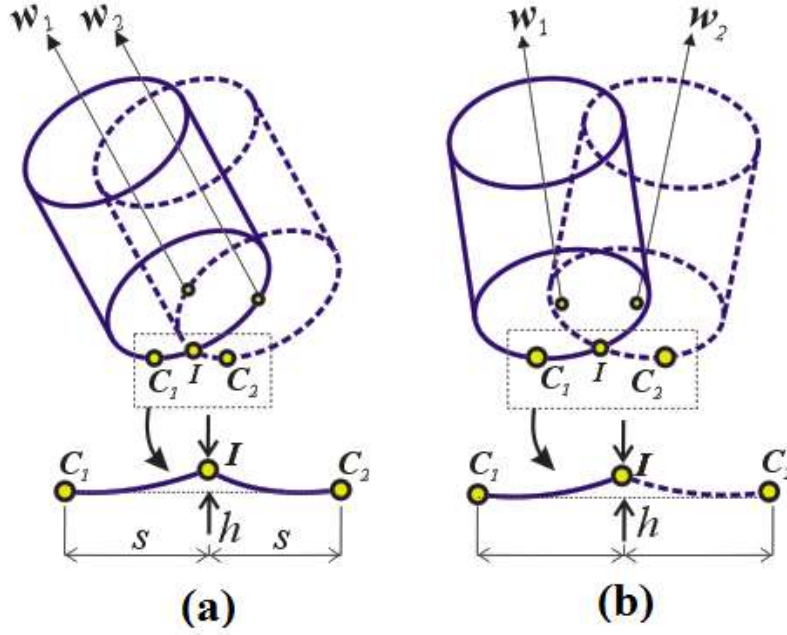
dengan menggunakan bentuk elip untuk mewakili bentuk pahat. Dari studi literatur di atas telah dijelaskan bahwa secara matematika bentuk kurva tersapu (swept curves) dari pahat datar yang menggunakan sudut inklinasi tidak dapat secara akurat ditentukan dengan hanya menggunakan persamaan parametrik elips.

5.1.1. Perhitungan Tinggi Scallop

Pada permesinan lima sumbu, pahat dapat dirotasikan pada berbagai arah. Benda dengan permukaan rumit dapat dimesin dengan sangat efisien dengan cara mengendalikan pahat agar bergerak dan berputar secara dinamis terhadap permukaan normal benda. Untuk keperluan merepresentasikan permukaan pahat pada saat bergerak secara analitis, maka perlu dirumuskan operator yang digunakan untuk proses transformasi sistem koordinat. Oleh karena itu terdapat dua sistem koordinat sebagaimana yang diilustrasikan pada Gambar 5.1b yang digunakan untuk mewakili posisi dan orientasi pahat, yaitu sistem koordinat benda kerja atau disebut *Workpiece Coordinate System* (WCS) dan sistem koordinat pahat atau disebut juga Tool Coordinate System (TCS). Untuk menghitung transformasi koordinat, perlu ditentukan kinematika spesifik yang diperlukan. WCS adalah sistem koordinat tetap yang direpresentasikan dengan simbol x, y, z , sementara TCS dilambangkan dengan u, v, w . Sudut inklinasi (α) dan sudut screw (β) yang biasanya digunakan permesinan milling lima sumbu ketika benda yang akan dimesin berbentuk rumit. Keduanya adalah sudut yang dibentuk oleh TCS dan WCS sebagaimana yang diilustrasikan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 a) Geometri pahat datar, b) koordinat sistem, c) tampak atas



Gambar 5.2 a) bentuk scallop dari dua lintasan pahat dengan sudut orientasi yang sama scallop height form from two cutting path with the same tool orientation, dan b) dengan sudut orientasi yang berbeda

Permukaan pahat datar dianggap sebagai permukaan sebuah silinder sebagaimana yang bisa dilihat pada Gambar 5.1. Persamaan parametrik untuk menghitung silinder adalah sebagai berikut:

$$G(\varphi; l) = \begin{bmatrix} R \sin \varphi \\ R \cos \varphi \\ l_n \end{bmatrix} ; 0 < l_n < l \quad 1$$

Dimana R adalah radius pahat potong, φ adalah sudut rotasi pahat atau disebut juga sudut persinggungan, dan l_n adalah jarak sebuah titik pada sisi potong yang diukur dari dasar sisi potong dan digunakan untuk menghitung panjang pemotongan. Karena data lokasi pahat dan informasi permukaan benda kerja disajikan dalam sistem koordinat benda kerja atau WCS, maka permukaan pahat ditransformasikan dari TCS ke WCS. Dan rumus menjadi:

$$G'(x'_G, y'_G, z'_G) = [M] G(\varphi; l) \quad 2$$

Dimana $[M]$ adalah operator transformasi (*transfromation operator*) yang didalamnya terdapat dampak dari beberapa variabel seperti: sumbu rotasi pahat pada sumbu-X (θ_A), sumbu

rotasi pahat pada sumbu-Y (θ_B), dan translasi pada titik T . Dimana T adalah titik posisi pahat seketika (*the instantaneous cutter location point*) yang berada pada titik center di dasar pahat. Operator transformasi dirumuskan sebagai berikut:

$$[M] = \begin{bmatrix} \cos \theta_B & 0 & \sin \theta_B & x_S \\ \sin \theta_A \sin \theta_B & \cos \theta_A & -\sin \theta_A \cos \theta_B & y_S \\ \cos \theta_A \sin \theta_B & \sin \theta_A & \cos \theta_A \cos \theta_B & z_S \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 3$$

Rumus untuk menentukan titik singgung antara kurva lintasan pahat saat ini (curve 1) dan kurva pada lintasan pahat seberang (curve 2), yang disebut titik singgung lintasan atau *path intersection point* (I), diturunkan dengan mengacu kepada Gambar 5.2a dan Gambar 5.2b. Karena pahat memiliki orientasi relatif terhadap WCS, maka titik singgung berada di tengah-tengah antara C_1 and C_2 . Jarak antara titik singgung terhadap CC-point dihitung sebagai berikut:

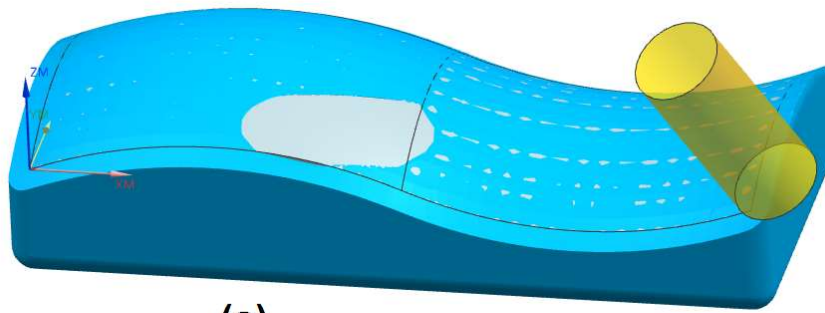
$$s(x_s; y_s; z_s) = |C_1 - C_2|/2 \quad 4$$

Koordinat titik singgung antara dua kurva $I(x_{I_C}, y_{I_C}, z_{I_C})$, dapat didefinisikan setelah sudut singgung (φ) diperoleh. Karena titik singgung berada di tengah-tengah antara C_1 and C_2 , maka kedua kurva tersebut memiliki sudut singgung yang sama. Dengan menganggap bahwa gerakan makan adalah pada sumbu-X, maka $I_{G1}(\varphi; \theta_{A1}; \theta_{B1}) = I_{G2}(\varphi; \theta_{A2}; \theta_{B2})$, dimana I_{G1} adalah persamaan untuk titik singgung menggunakan persamaan kurva 1, dan I_{G2} adalah persamaan untuk menghitung titik singgung menggunakan persamaan parametrik kurva 2. I_{G1} dan I_{G2} ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

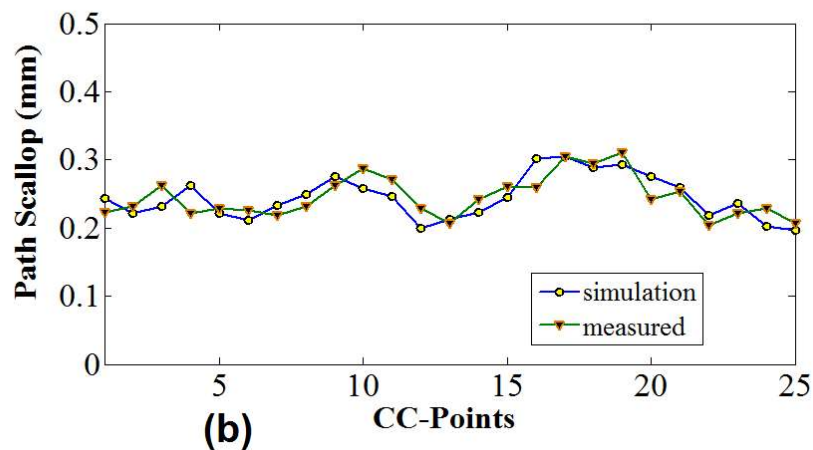
$$y_{I_C} = ((r_m + r \sin \lambda_C) \cos \varphi) \cos \tau - (r - r \cos \lambda_C) \sin \tau \quad 5$$

5.1.2. Implementasi dan Diskusi

Berdasarkan formula yang disusun pada subbab sebelumnya, program simulasi dengan menggunakan Matlab turut dibangun. Pada bagian ini, metode analitis yang diusulkan diverifikasi dengan menggunakan model benda kerja dan produk seperti terlihat pada Gambar 5.3a. Verifikasi dilakukan dengan menggunakan feedrate yang tinggi agar diperoleh scallop yang tinggi sehingga proses verifikasi dapat dilakukan dengan lebih mudah. Feedrate yang dipilih adalah 1 mm/gigi.



(a)



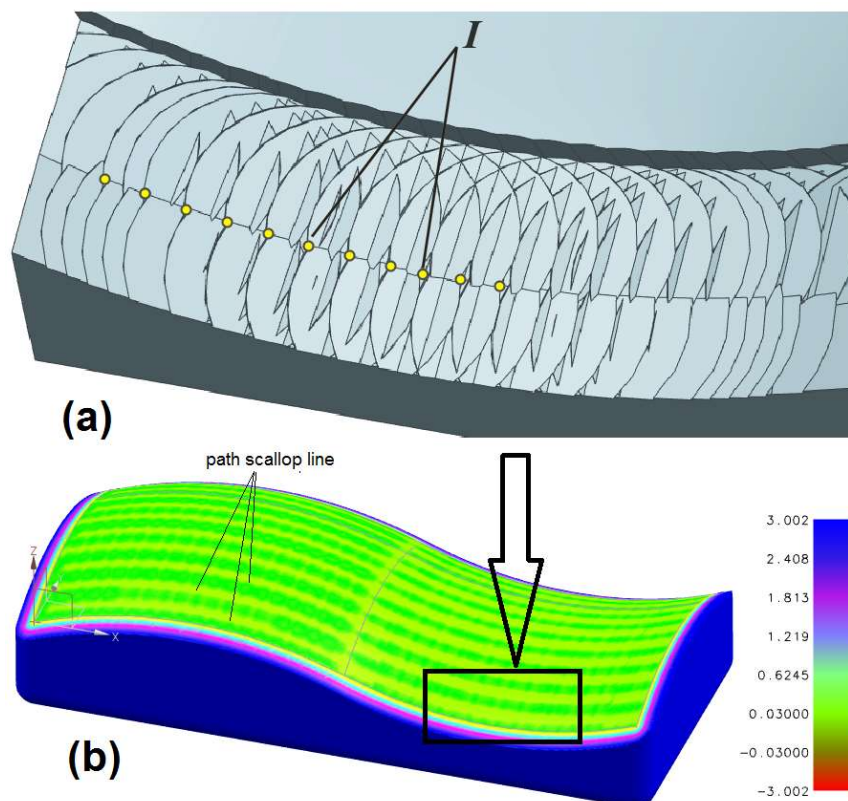
(b)

Gambar 5.3 a) Model test, b) tinggi scallop yang dihitung dan diukur

Pahat datar dengan dua gigi berdiameter 12.5 mm digunakan sebagai pahat potong. Pahat di atur dengan menggunakan sudut inklinasi 1° dan *step over* 8 mm. Dengan menggunakan program simulasi yang dikembangkan yang disebut Analytical Boundary Simulation (ABS), koordinat titik singgung dapat dihitung dan selanjutnya tinggi scallop dapat ditentukan. Tinggi scallop untuk setiap titik lokasi pahat dalam satu putaran yang telah dihitung menggunakan metode ABS ditampilkan pada Gambar 5.3.

Untuk kebutuhan verifikasi, tinggi scallop dihitung menggunakan ABS dibandingkan dengan tinggi scallop yang diukur dengan menggunakan software Siemens-NX. Koordinat titik singgung dicek dari model ekstraksi yang diperoleh dari interseksi antara pahat dan benda kerja. Model ekstraksi diperoleh dengan cara meletakkan model pahat pada lokasi pahat dan selanjutnya orientasi pahat diatur. Setelah itu persinggungan antara model benda kerja dan model pahat dapat diekstrak sebagaimana yang terlihat pada Gambar 5.4a. Setelah model ekstraksi diperoleh, koordinat titik interseksi (I) dapat diperiksa dan akhirnya tinggi scallop dapat diukur. Tinggi scallop lintasan untuk setiap lokasi pahat dalam satu putaran pahat

diverifikasi dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5.3b, Dapat dilihat bahwa semua pengujian menghasilkan kesalahan yang relatif kecil (secara umum lebih kecil dari 6%). Gambar 5.4b menunjukkan benda akhir yang diperoleh dari proses manufaktur di Siemens-NX. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa scallop lintasan masih dalam batasan tinggi scallop yang diijinkan, baik yang diperoleh melalui cara dihitung maupun diukur. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa metode analitis yang digunakan untuk menghitung scallop lintasan untuk pahat datar hasilnya akurat.



Gambar 5.4 a) verifikasi menggunakan model ekstraksi di Siemens-NX, b) verifikasi menggunakan proses manufaktur di Siemens-NX

5.2. Scallop Pemakanan Dengan Pahat Toroidal

Sebenarnya, scallop tidak hanya muncul diantara dua lintasan pahat, atau yang disebut scallop lintasan, tetapi juga ditemukan diantara dua lintasan pemakanan, atau yang disebut scallop pemakanan (*feed scallop*). Pada pahat bola, tinggi scallop pemakanan dapat mencapai tiga kali lebih besar dari scallop lintasan pada saat proses permesinan dengan feedrate yang tinggi [20]. Menaikan feedrate tentunya akan meningkatkan tinggi scallop pemakanan. Permesinan dengan pahat bola akan menghasilkan scallop lintasan dan juga scallop pemakanan meskipun pahat tidak menggunakan sudut inklinasi dan permukaan benda kerja datar. Sementara itu untuk

pahat toroidal dan pahat datar, scallop lintasan hanya muncul ketika pahat menggunakan sudut inklinasi atau ketika benda memiliki bentuk permukaan datar, atau kombinasi dari kedua kondisi tersebut. Agar diperoleh kualitas permukaan sebagaimana yang diharapkan, scallop harus dikendalikan dengan baik. Namun karena rumitnya bentuk permukaan benda yang akan dibuat dan orientasi pahat maka scallop sulit dihitung dan juga tidak mudah direpresentasikan. Dalam menentukan lintasan pahat pada proses permesinan dengan bentuk benda yang rumit, metode untuk menghitung tinggi scallop secara akurat masih menjadi tantangan.

5.2.1. Titik Singgung Pemakanan

Scallop pemakanan untuk dua jenis pahat toroidal, pahat bulat dan setengah bulat, diilustrasikan pada Gambar 1. Titik kontak antara gigi pahat (*cutting tooth*) saat ini dan titik pahat pada pergerakan pahat berikutnya disebut dengan titik singgung pemakanan atau disebut juga *feed intersection point* (FI-point) yang dilambangkan dengan I . Gambar ?? dan Gambar ?? menunjukkan scallop pemakanan dan FI-point ketika pahat diatur tanpa sudut inklinasi. Lokasi FI-point antara pahat bulat dan pahat setengah bulat berbeda. FI-point pahat bulat terletak diantara dua titik singgung terendah, titik singgung saat ini ($C(x_C, y_C, z_C)$) dan titik singgung berikutnya ($C'(x_{C'}, y_{C'}, z_{C'})$). Metode untuk mendefinisikan koordinat titik singgung pada setiap sudut singgung (φ) dideskripsikan pada [12, 37]. Jarak antara C dan I untuk pahat bulat dihitung sebagai berikut:

$$g = f/2 \quad 6$$

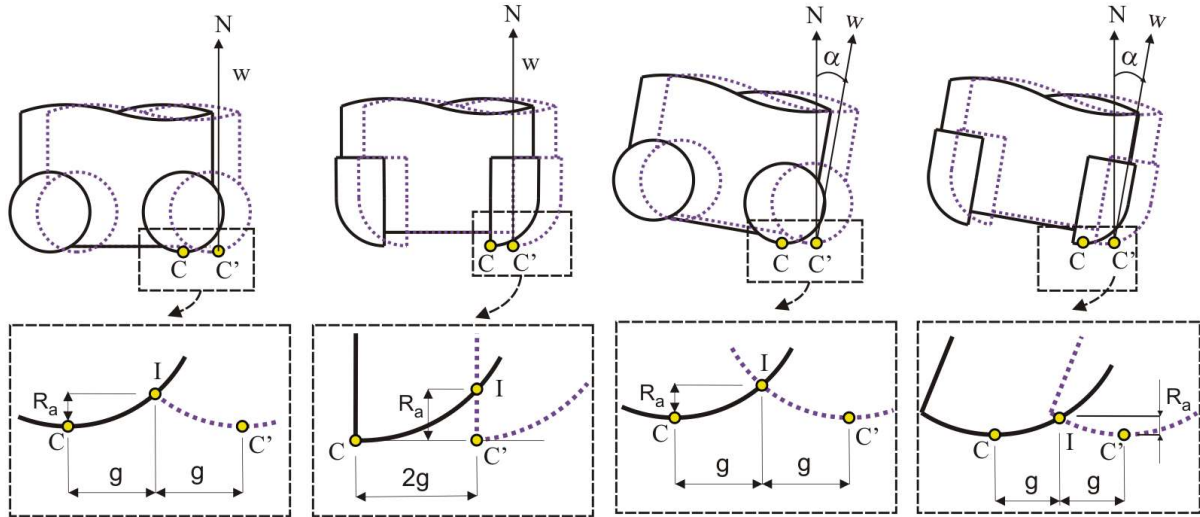
dimana f adalah pemakan per gigi. Sementara itu untuk pahat setengah bulat, persinggungan terjadi antara sisi bulat dari posisi pahat saat ini dan sisi lurus dari posisi pahat berikutnya. Jarak antara C dan I untuk pahat setengah lingkaran adalah $2g$.

Gambar 5.5 mengilustrasikan FI-point ketika terdapat sudut inklinasi. Untuk pahat bulat, lokasi FI-point sama dengan pahat tanpa sudut inklinasi. Pada sisi lain, putaran pahat akibat dari sudut inklinasi membuat FI-point dari pahat setengah lingkaran juga terletak pada sisi bulat dari pahat posisi berikutnya. Sehingga metode untuk menghitung lokasi titik singgung dari pahat bulat juga dapat digunakan untuk pahat setengah bulat.

Salah satu ciri dari pahat toroidal adalah: secara geometri pahat tersebut dibentuk oleh dua permukaan, permukaan silinder dan permukaan toroidal. Meskipun pahat toroidal dibentuk oleh dua permukaan, namun kurva tersapu (*swept curve*) pahat tersebut hanya terletak pada

permukaan toroidal. Representasi permukaan toroidak terhadap sistem koordinat pahat digambarkan oleh:

$$S_T(\varphi; \lambda) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r_m + r \sin \lambda) \sin \varphi \\ (r_m + r \sin \lambda) \cos \varphi \\ r - r \cos \lambda \end{bmatrix} \quad 7$$



Gambar 5.5 Variasi lokasi titik singgung pemakanan karena bentuk pahat dan sudut inklinasi yang berbeda

Gambar 5.6 menunjukkan pandangan atas dari titik singgung ketika terdapat sudut inklinasi. Sementara itu Gambar ?? memperlihatkan kondisi dimana pahat tanpa sudut inklinasi. Karena perubahan orientasi pahat selama proses permesinan dengan kecepatan tinggi sangat kecil, maka dianggap bahwa tidak ada perubahan orientasi pahat antara posisi pahat saat ini dengan posisi pahat berikutnya. Oleh karena itu, jarak antara $C(x_C, y_C, z_C)$ dan $I(x_I, y_I, z_I)$ pada setiap titik di kurva tersapu adalah tetap. Koordinat titik singgung terhadap gigi pahat posisi saat ini dapat ditentukan setelah sudut toroidal (λ_I) dan sudut singgung (φ_I) diperoleh. Dengan mengacu kepada Gambar 5.6 maka sudut-sudut tersebut diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$\varphi_I = \tan^{-1} \left(\frac{x_C + g}{y_C} \right) \quad 8$$

Setelah φ_I diperoleh, kemudian sudut toroidal dari FI-point dihitung dengan menggunakan rumus Eq.2 khusus untuk menghitung nilai x . Dimana sumbu-X dari titik persinggungan (x_I) adalah sama dengan $x_C + g$. Sehingga persamaan untuk menghitung λ_I adalah sebagai berikut:

$$x_c + g = (r_m + r \sin \lambda_I) \sin \varphi_I \quad 9$$

$$\lambda_I = \sin^{-1} \left(\frac{x_c + g - r_m \sin \varphi_I}{r \sin \varphi_I} \right) \quad 10$$

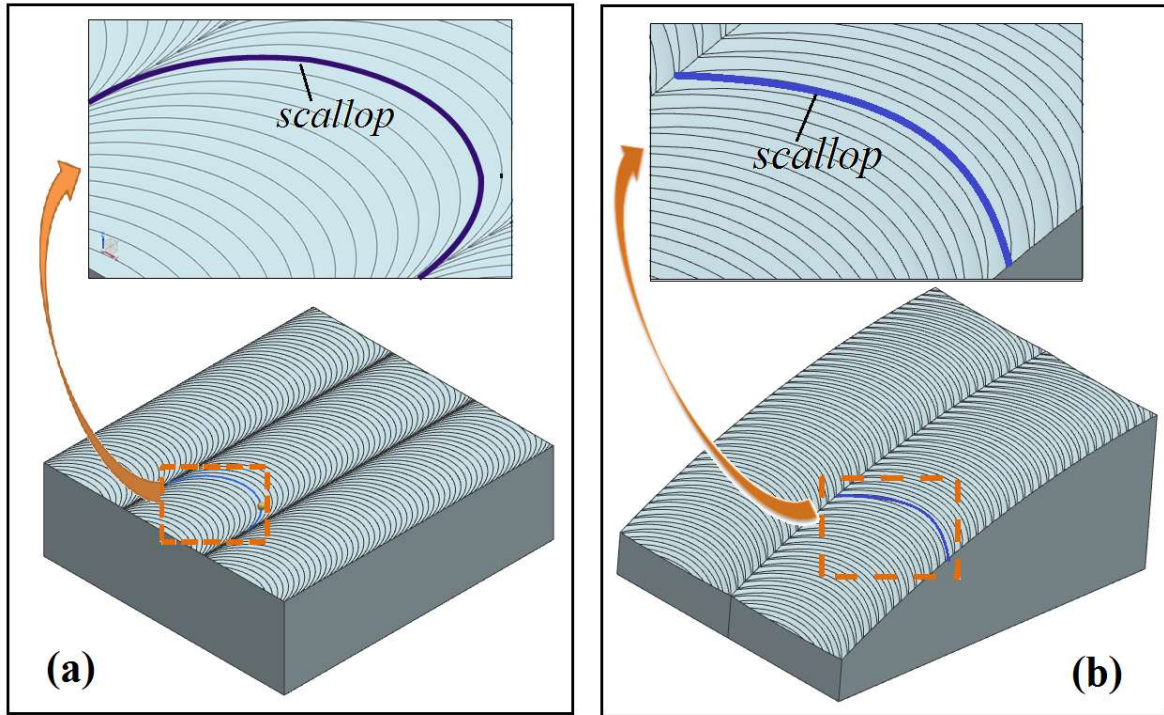
Setelah φ_I dan λ_I diperoleh, koordinate FI-point pada WCS dapat dihitung sebagai berikut:

$$I' (x_{I'}, y_{I'}, z_{I'}) = [M] S_T (\varphi_I; \lambda_I) \quad 11$$

Akhirnya tinggi scallop dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$h = r - r \cos(\lambda_I - \lambda_C) \quad 12$$

Dimana λ_C adalah sudut toroidal dari LE-point yang diperoleh dengan menggunakan metode grazing [12, 37].



Gambar 5.7 Model untuk verifikasi

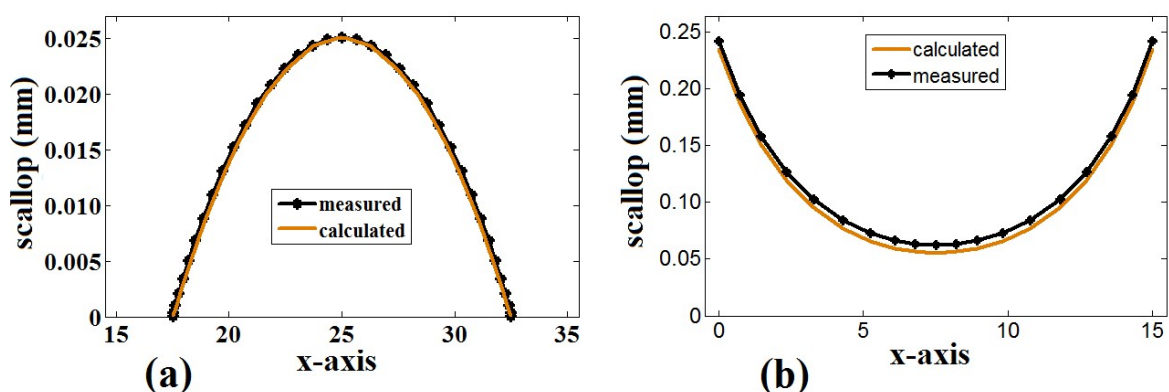
5.2.2. Application And Discussion

Berdasarkan formula yang diturunkan untuk menghitung scallop pemakanan pada subbab sebelumnya, maka simulasi program menggunakan Matlab dibangun. Pada bagian ini metode analitis yang disusun diuji dengan menggunakan dua model benda yang memiliki permukaan berbeda sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5.7. Pengujian dilakukan dengan

menggunakan feedrate yang tinggi agar scallop yang dihasilkan cukup besar sehingga proses verifikasi menjadi lebih mudah. Feedrate yang dipilih adalah 1 mm/gigi.

Pahat toroidal dengan diameter 30 mm dan radius minor 5 mm digunakan dalam proses pengujian metode. Pada pengujian pertama, pahat melakukan proses milling sederhana dengan permukaan benda kerja datar. Dalam permesinan ini sudut inklinasi pahat dipilih konstan sebesar 5°. Bentuk permukaan hasil permesinan ditampilkan pada Gambar 5.7. Lintasan pahat disusun dengan menggunakan *step over* sebesar 17.5 mm. Pada pengujian kedua, proses milling multi axis telah dilaksanakan dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3b. Pahat telah diatur tanpa menggunakan sudut inklinasi. Lintasan pahat disusun dengan mengatur jarak *step over* sebesar 15 mm.

Dengan menggunakan program simulasi yang dibangun, scallop dapat dihitung sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 4. Untuk memeriksa akurasi model yang diusulkan, scallop untuk satu putaran pahat sebagaimana yang disorot pada Gambar 5.7a dan Gambar 5.7b telah diuji. Verifikasi dilakukan dengan cara membandingkan scallop yang dihitung dengan menggunakan ABS dan scallop yang diukur menggunakan software komersil Siemens-NX. Tinggi scallop telah diperiksa pada persinggungan antara model benda kerja dan model pahat dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5.8. Dari grafik yang ditunjukkan terlihat bahwa hasil pengujian menghasilkan perbedaan yang relatif kecil atau secara umum lebih kecil dari 6%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa metode analitis yang dibangun menghasilkan perhitungan yang akurat.



Gambar 5.8 Grafik hasil pengujian a) untuk model uji 1, b) untuk model uji 2

5.3. Luaran Yang Dicapai

Dari penelitian ini telah dihasilkan 3 buah artikel yang disajikan pada Seminar Internasional, yaitu:

1. International Conference on Engineering Innovation (ICEI 2016), Bangkok, Thailand, 6-7 Juni 2016
2. International Symposium on Advances in Materials Science (IAMS 2016), Shanghai, China, 20-21 Agustus 2016
3. Internaional Conference on Advanced Materials Research and Manufacturing Technology (AMRMT 2016)
4. Hendriko, Hendriko, Amnur Akhyan, Ganjdar Kiswanto, and Emmanuel Duc. "The Effect of Tool Orientation to Cut Geometry in Five-Axis Milling Using Analytical Boundary Simulation." In Key Engineering Materials, vol. 719, pp. 149-153. Trans Tech Publications, 2017.
5. Draft Artikel untuk nternational Conference on Applied Science and Technology (ICAST), Langkawi, Malaysia, 2017

BAB VI

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

4.1 Jadwal Kegiatan

Penelitian ini direncanakan akan dilaksanakan dalam dua tahun. Di tahun pertama fokus kegiatan pada pengembangan model matematika scallop pemakanan untuk pahat toroidal dan scallop lintasan untuk pahat datar. Untuk tahun kedua adalah pengembangan model matematika untuk scallop lintasan pada pahat toroidal. Model yang akan dikembangkan juga akan melihat dampak dari penggunaan sudul helikal pada pahat potong.

Saat ini model matematika untuk scallop pemakanan pada pahat toroidal dan scallop lintasan pada pahat datar telah dibangun. Algoritma matematika juga sudah selesai dikerjakan. Model matematika tersebut baru hanya diuji dan diverifikasi dengan menggunakan Siemens-NX. Pengujian dan verifikasi akan dilanjutkan dengan cara pengujian ekperimental.

Kegiatan	2016											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Studi Literatur												
Pengembangan model kurva tersapu (<i>swept curve model development</i>)												
Pengembangan algoritma <i>path scallop</i> untuk pahat datar												
Pengembangan algoritma <i>feed scallop</i> untuk pahat toroidal												
Pengembangan program simulasi												
Pengujian model dengan Siemens-NX												
Uji Eksperimen untuk validasi awal												
Persiapan paper untuk seminar internasional												
Laporan perkembangan dan laporan akhir tahun ke-1												

Gambar 6.1 Jadwal kegiatan tahun 2016

Kegiatan	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Studi Literatur												
Pengembangan algoritma <i>path scallop</i> untuk pahat toroidal												
Pengembangan algoritma matematika dampak penggunaan sudut helix												
Membangun program simulasi untuk menampilkan bentuk scallop												
Validasi Model dengan menggunakan Siemens NX												
Validasi Model dengan cara uji eksperimen.												
Persiapan paper untuk jurnal internasional												
Laporan perkembangan dan laporan akhir tahun ke-2												

Gambar 6.2 Jadwal kegiatan tahun 2017

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini metode analitis untuk menghitung *path scallop* untuk pahat datar dan *feed scallop* untuk pahat toroidal telah dikembangkan. Dari hasil implementasi dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Metode yang dikembangkan dapat diaplikasikan untuk menghitung *path scallop* untuk pahat datar dan *feed scallop* untuk pahat toroidal pada proses permesinan bentuk permukaan bebas.
2. Hasil validasi membuktikan bahwa metode yang dikembangkan akurat. Uji perbandingan menunjukkan bahwa tinggi scallop hasil perhitungan dengan metode analitis yang dikembangkan dan hasil uji menggunakan Siemens-NX menunjukan hasil yang hampir sama.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Mason, F. (1995). Die and mold finishing, how fast? *Manufacturing Engineering* 115 (3) 35:48.
- 2 Kurt M, Bagci E (2011) Feedrate optimisation/scheduling on sculptured surface machining: a comprehensive review, applications and future directions. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 55(9-12):1037-1067.
- 3 Altintas Y, Spence A, Tlustý J. (1991) End milling force algorithms for CAD systems. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 40(1): 31-34.
- 4 Spence A.D. and Altintas Y. (1994) A solid modeler based milling process simulation and planning system. *Trans ASME J. Eng.Ind.* 116(1): 61–69
- 5 Fleisig R.V., Spence A.D. (2005) Technique for accelerating B-rep based parallel machining simulation. *Computer Aided Design*. 37 (12): 1229-1240
- 6 Can A. and Ali Ü. (2010). A novel iso-scallop tool-path generation for efficient five-axis machining of free-form surfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 51.9-12: 1083-1098.
- 7 Park J.W., Shin Y.H., Chung Y.C. (2005) Hybrid cutting simulation via discrete vector model. *Computer Aided Design* 37(4):419-430
- 8 Lee, Sung-Gun, Hyun-Chul Kim, and Min-Yang Yang. (2008) Mesh-based tool path generation for constant scallop-height machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 37.1-2: 15-22.
- 9 Zhu, Hu, Zhijun Liu, and Jianhui Fu. (2011). Spiral tool-path generation with constant scallop height for sheet metal CNC incremental forming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 54.9-12: 911-919.
- 10 Tunc LT, Budak E (2009) Extraction of 5 axis milling conditions from CAM data for process simulation. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 43(5-6):538-550
- 11 Kiswanto G, Hendriko H, Duc E. (2014). An analytical method for obtaining cutter workpiece engagement during a semi-finish in five-axis milling. *Computer-Aided Design* 55:81-93.
- 12 Hendriko, Duc E, Kiswanto G. (2013). Analytical method for obtaining Cutter Workpiece Engagement in Five-Axis Milling. Part 3: Flat-end Cutter and Free-Form Workpiece Surface. *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems*. Springer International Publishing: 705-716.
- 13 Gupta SK, Saini SK, Spranklin BW, Yao Z. (2005). Geometric algorithms for computing cutter engagement functions in 2.5D milling operations. *Computer Aided Design* 37(14): 1469-1480
- 14 Vickers G.W., and Quan, K.W. (1989). Ball mills versus end mills for curved surface machining. *ASME journal of Engineering in Industry*, 111 (22).
- 15 Ralph W.L. and Loftus, M. (1992) Cusp geometry analysis in free-form surface machining", *International Journal of Production Research*, 30 (2697).

- 16 Cho H.D., Juan Y.T., Yang M.Y. (1993), Five axis CNC milling for effective machining of sculptured surface", *International Journal of Production Research*, 31 (11).
- 17 Bedi S., Ismail F, Mahjoob M.J, Chen Y. (1997) . Toroidal versus Ball Nose and Flat Bottom-End Mill", *Int. Journal of Advance Manufacturing Technology* 13: 326-332.
- 18 Feng, H.Y. and Li H. (2002). Constant scallop-height tool path generation for three-axis sculptured surface machining. *Computer-Aided Design* 34 (9):647-654
- 19 Lin R. and Koren Y. (1996) Efficient tool-path planning for machining free-form surfaces. *ASME Journal of Engineering For Industry* 118 : 20-28
- 20 Sarma R. and Dutta D. (1997). The geometry and generation of NC tool path" *Journal of mechanical design* 119 : 253-258.
- 21 Suresh K. and Yang, D.C.H. (1994). Constant scallop height machining of free-form surfaces. *Journal of Engineering for Industry* 116 : 253-259.
- 22 Warkentin A, Bedi S, Ismail F. (1996). 5-axis milling of spherical surfaces. *International journal of machine Tools and Manufacture* 36: 229-43.
- 23 Ozturk E, Tunc L.T., Budak B. (2009). Investigaton of lead and tilt angle effect in 5-axis ball-end milling processes. *Int. Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49: 1053-1062.
- 24 Senatore J, Segonds S, Rubio W, Dessin G. (2012) Correlation between machining direction , cutter geometry and step over distance in 3-axis milling: Application to milling by zones. *Computer-Aided Design* 44: 1151-1160.
- 25 Wang XC and Yu Y. (2002). An approach to interference-free cutter position for five-axis free-form surface side finishing milling" *Journal of Materials Processing Technology* 123 (2):191-196
- 26 Chen Z.C. and Song D. (2006) A practical approach to generating accurate iso-cusped tool paths for three-axis CNC milling of sculptured surface parts, *Journal of Manufacturing Process* 8(1): 29-38.
- 27 Tsao C.C. and Chen W.C. (1997). Effects of cutting parameters on the scallop size during the milling processes, *Journal of Material Processing Technology* 72(2): 208-213
- 28 Zhang X.F., Hie J., Li L.H. (2012). Experimental investigation on various tool path strategies influencing surface quality and form accuracy of CNC milled complex freeform surface, *Int. J. Adv. Manuf. Technology* 58 (5-8): 647-654.
- 29 Hendriko, Duc, Emmanuel, and Kiswanto G. (2013). Analytical Cut Geometry Prediction for Free Form Surface During Semi-Finish Milling. *ASME 2013 International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the 41st North American Manufacturing Research Conference. American Society of Mechanical Engineers.*
- 30 Lin, R. and Koren, Y. (1996). Efficient tool-path planning for machining free-form surfaces. *ASME Journal of Engineering For Industry*. (118): 20-28

LAMPIRAN 1 : JUSTIFIKASI ANGGARAN



Acceptance Notification

Mar. 23, 2016

Dear Hendriko Hendriko,

Thank you very much for your submission to the *International Symposium on Advances in Materials Science (IAMS 2016)*.

We are pleased to inform you that your paper:

ID: IAMS8037

Title: Path Scallop Calculation During Free-Form Surface Machining with Flat-End Cutter in Five-Axis Milling

Author(s): Hendriko Hendriko

has been accepted as a full paper for the final program. Congratulations! The review process was extremely selective and many good papers could not be included in the final program. All the papers accepted by IAMS will be published on international journal "**Key Engineering Materials** (ISSN Print: 1013-9826, ISSN Web: 1662-9795)" and will be indexed in the major academic databases, including **EI Compendex**, Thomson ISIP (CPCI), Elsevier SCOPUS, Chemical Abstracts (CA), and other indexing services.

The registration fee (including the fee for attending the conference and paper publication) is RMB 2500 or \$ 420 for a regular paper. If your paper exceeds 5 pages, you are then required to pay RMB 300 or \$ 50 for each extra page.

Please login to the "Author Registration" system <http://www.iamsconf.org/submission/index.html> by typing your username and password, and click on "Registration Instructions" for more details.

If you have any questions, please feel free to contact us:

Email: iamsconf@yeah.net

Best regards,

IAMS Organizing Committee





**International Conference on Engineering and Innovation 2016
(ICEI – 2016)**

June 6 - 7, 2016

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

1518 Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

Tel. +66 2 555-2000 Fax +66 2 587-4350

Conference E-mail: icei2016@eng.kmutnb.ac.th

Website: <http://www.eng.kmutnb.ac.th/icei2016/>

Phone Per: +66 2 555-2000, Fax: +66 2 587-4350

Date: 11/04/2016

Hendriko Hendriko

Mechatronics Department,

Politeknik Caltex Riau,

Pekanbaru, Riau, Indonesia

hendriko@pcr.ac.id

Dear. Dr., Hendriko Hendriko

Congratulations, we are pleased to inform you that your paper with paper code "IMP_18_K"

entitled: "Analytical Boundary Method for Obtaining Feed Scallop of Toroidal Cutter in Multi-Axis Milling"

The authors are "Hendriko Hendriko"

has been ACCEPTED for presentation at the **International Conference on Engineering and Innovation 2016 (ICEI – 2016)**.

On behalf of the ICEI – 2016 program committee, it is our great honor to invite you to present your paper in the **International Conference on Engineering and Innovation 2016 (ICEI – 2016)**, which will be held at the **Sukosol Hotel, Bangkok, Thailand**, on **June 6 - 7, 2016**. Your proposed talk is very important for the conference. Your experience in the various fields will greatly contribute to enrich the conference. Your participation would lead to future collaboration with your institute in areas of mutual interest and expertise. We look forward to seeing you at the conference.

With Warmest Regards,

Assoc. Prof. Somrerk Chandra-ambhorn

**CHAIRMAN
ICEI-2016, THAILAND**

Acceptance Notification of AMRMT 2016

2016 International Conference on Advanced Materials Research and
Manufacturing Technologies
(AMRMT 2016)

Hotel Royal, Singapore

<http://www.amrmt.org>



Dear Hendriko Hendriko, Gandjar Kiswanto and Emmanuel Duc,

We are pleased to inform you that, after our double-blind peer review (please refer to the attached files), your manuscript identified below has been accepted for publication and oral presentation by 2016 Advanced Materials Research and Manufacturing Technologies (AMRMT 2016) to be held in Singapore during August 18-20, 2016.

Paper ID: **A1005**

Paper Title: **The Effect of Tool Orientation to Cut Geometry in Five-Axis Milling Using Analytical Boundary Simulation**

Accepted papers related to Material Science and Engineering will be published in the volume of Key Engineering Materials. (ISSN: 1662-9795), which will be Indexed by **Ei Compendex**, **SCOPUS**, Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar, Cambridge Scientific Abstracts (CSA), Inspec, SCImago Journal & Country Rank (SJR), EBSCO, **Thomson Reuters (WoS)**, all volumes are submitted and selected ones will be indexed. (<http://www.ttp.net/1013-9826.html>).



Yours Sincerely,

AMRMT 2016 Organizing Committees
May 11, 2016

The Effect of Tool Orientation to Cut Geometry in Five-Axis Milling Using Analytical Boundary Simulation

Hendriko Hendriko^{1,a}, Amnur Akhyan^{1,b}, Gandjar Kiswanto^{2,c}
and Emmanuel Duc^{3,d}

¹Mechatronic Department, Politeknik Caltex Riau

²Laboratory of Manufacturing Technology and Automation Department of Mechanical Engineering,
Universitas Indonesia

³Clermont Université, IFMA, UMR 6602, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand,
France

^ahendriko@pcr.ac.id, ^bakhyan@pcr.ac.id, ^cgandjar_kiswanto@ng.ui.ac.id, ^demmanuel.duc@ifms.fr

Keywords: Five-axis milling, cutter workpiece engagement, analytical boundary method

11/29/2016

Politeknik Caltex Riau Mail - [ICAST 2016] List of submissions made

Politeknik Caltex Riau

hendriko . <hendriko@pcr.ac.id>

[ICAST 2016] List of submissions made

1 message

ICAST 2016 <icast.uum@gmail.com>
Reply-To: icast.uum@gmail.com
To: hendriko@pcr.ac.id

Tue, Nov 22, 2016 at 8:22 AM

Per your request, here is a list of submissions made to the ICAST 2016 OpenConf system with you listed as the contact:

ID: 422

Title: Effect of Helix Angle on Path Scallop Calculation of Flat End Cutter in Multi Axis Milling

IP Address: 162.158.165.229
