Dr Dr HENDRIKO S.T
Pengusul - Dosen

Menu Utama

- Beranda
- Penelitian
- Pengabdian
- Pelaksanaan Kegiatan
- Riwayat Usulan
- Pendaftaran Reviewer
- Logout

IDENTITAS | SINTA | PENELITIAN | PENGABDIAN | ARTIKEL JURNAL | HKI | ARTIKEL PROSIDING | BUKU | KARYA MONUMENTAL | NASKAH AKADEMIK/URGENSI

RIWAYAT PENELITIAN

1. Pengembangan Sistem Kontrol pada Reaktor Esterifikasi Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah
   Tahun: 2023 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
2. Pengembangan Sistem Kontrol pada Reaktor Esterifikasi Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah
   Tahun: 2022 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
3. Pengembangan Sistem Kontrol pada Reaktor Esterifikasi Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah
   Tahun: 2021 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
4. Pengembangan Kinematika Robot Paralel 5 Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Analytical Invers Kinematics Simulation
   Tahun: 2020 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Dasar
5. Pengembangan Metode Analytical Boundary Simulation untuk Menghitung Geometri Tatal pada Permesinan Milling Lima Sumbu Menggunakan Pahat Solid
   Tahun: 2019 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi
6. Pengembangan Kinematika Robot Paralel 5 Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Analytical Invers Kinematics Simulation
   Tahun: 2019 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Dasar
7. Pengembangan komposit poliester berpenguat limbah logam mesin bubut dan styrofoam
   Tahun: 2018 | **Peran:** Ketua TPM | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi
8. Pengembangan komposit poliester berpenguat limbah logam mesin bubut dan styrofoam
   Tahun: 2017 | **Peran:** Ketua TPM | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi
9. Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Tinggi Scallop Pada Permesinan Milling Multi Sumbu
   Tahun: 2017 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
   Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi
10. Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Kinematika Robot Paralel dengan 6 Derajat Kebebasan
    Tahun: 2017 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
    Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi
11. Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Tinggi Scallop Pada Permesinan Milling Multi Sumbu
    Tahun: 2016 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti
    Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi

SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN
PROGRAM PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
HIBAH DRPM
TAHUN ANGGARAN 2019
Nomor : 0005/KONTRAK-BP2M/PCR/2019

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

1. Dr. Hendri Novia Syamsir, S.T., M.Eng. : Kepala BP2M Politeknik Caltex Riau, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Politeknik Caltex Riau yang berkedudukan di Pekanbaru, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA.**

2. Dr. Hendriko, S.T., M.Eng. : Dosen Politeknik Caltex Riau dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2019 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA.**

Perjanjian penugasan ini berdasarkan pada Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian dan Pengabdian Masyarakat bagi Dosen Perguruan Tinggi Swasta di Lingkungan LLDIKTI Wilayah X Tahun Anggaran 2019 Nomor : 002/L10/AK.04/KONTRAK-PENELITIAN-J/2019 TANGGAL 29 Maret 2019.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2019 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagaimana diatur dalam pasal-pasal sebagai berikut:

BAB I
DASAR HUKUM
PASAL 1

Kontrak Penelitian ini berdasarkan kepada :
1. Undang-undang Republik Indonesia No. 17 tahun 2003 tentang Keuangan Negara;
2. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Indonesia;
3. Undang-undang Republik Indonesia No.01 Tahun 2004 tentang Perbendaharaan Negara;
4. Undang-undang Republik Indonesia No.15 Tahun 2004 tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara;
5. Undang-Undang Republik Indonesia No.12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
6. Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2015 tentang bentuk dan Mekanisme Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum;
7. Peraturan Presiden Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi;
8. Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah;
9. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 139/PMK.02/2015 tentang Tata Cara Penyediaan, Pencairan, dan Pertanggungjawaban Pemberian Bantuan Pendanaan Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum;

10. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 32/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Masukan Tahun 2019;
11. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 60/PMK.02/2018 tentang Persetujuan Kontrak Tahun Jamak oleh Menteri Keuangan;
12. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 69/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun 2019;
13. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015, tentang Organisasi dan tata Kerja Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;
14. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 69 Tahun 2016, tentang Tata Cara Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer Penelitian;
15. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2018 , tentang Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri;
16. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2018 tentang Penelitian;
17. Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan Republik Indonesia Nomor 15/PB/2017 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pembayaran Anggaran Penelitian Berbasis Standar Biaya Keluaran Sub Keluaran Penelitian;
18. Keputusan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 209/M/KPT/2018 tentang Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian Masyaraka Edisi XII;
19. Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Nomor 7/E/KPT/2019 tentang Penerimaan Pendanaan Penelitian di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2019.

BAB II
LINGKUP PERJANJIAN
PASAL 2

(1) **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut sebagai penanggungjawab pelaksanaan Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2019 dengan judul **"Pengembangan Metode Analytical Boundary Simulation untuk Menghitung Geometri Tatal pada Permesinan Milling Lima Sumbu Menggunakan Pahat Solid"**.

(2) **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab penuh atas pelaksanaan Administrasi dan keuangan serta 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**.

(3) Pelaksanaan Penugasan Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2019 sebagaimana dimaksud pada ayat (1) didanai dari Anggaran (DIPA) No SP DIPA-042.06.1.401516/2019 tanggal 5 Desember 2018.

BAB III
PENDANAAN
PASAL 3

(1) **PIHAK PERTAMA** akan membayarkan Dana Penelitian kepada **PIHAK KEDUA** secara sekaligus **(100%)** diawal.

(2) **PIHAK PERTAMA** menyerahkan dana Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 sebesar Rp. 105.300.000 ,- **(Seratus Lima Juta Tiga Ratus Ribu Rupiah)** yang berasal dari Anggaran (DIPA) No. SP DIPA-042.06.1.401516/2019 tanggal 5 Desember 2018.

BAB IV
SURAT PERNYATAAN PENYELESAIAN PEKERJAAN

PASAL 4

PIHAK KEDUA bertanggung jawab mengunggah ke laman **SIMLITABMAS** dokumen sebagai berikut :

1. revisi proposal penelitian;
2. catatan harian pelaksanaan penelitian;
3. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
4. SPTB atas dana penelitian yang telah ditetapkan;
5. laporan akhir penelitian;
6. iuran penelitian.

Paling lambat tanggal **16 November 2019** tiap Tahun Anggaran berjalan

BAB V
LAPORAN HASIL PROGRAM PENELITIAN

PASAL 5

(1) Laporan hasil penelitian ditulis dalam format *font Times Romans* ukuran 12 spasi 1,5 kertas A4 bagian bawah sampul *(cover)* ditulis:

Dibiayai oleh:
Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
sesuai Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2019

(2) *Softcopy* laporan hasil program penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (1) harus diunggah ke laman *(website)* SIMLITABMAS sedangkan *hardcopy* harus disimpan **PIHAK PERTAMA.**

BAB VI
PERUBAHAN PARA PIHAK

PASAL 6

(1) Perubahan terhadap susunan tim pelaksanaan dan subtansi penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.

(2) Apabila Ketua tim pelaksana penelitian tidak dapat menyelesaikan penelitian atau mengundurkan diri, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti Ketua Tim Pelaksana Penelitian yang merupakan salah satu anggota tim setelah mendapat persetujuan tertulis Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.

(3) Dalam hal tidak adanya penggantian Ketua tim pelaksana penelitian sesuai dengan syarat ketentuan yang ada, maka penelitian dibatalkan dan dana dikembalikan ke Kas Negara.

BAB VII
KEWAJIBAN PAJAK

PASAL 7

PIHAK KEDUA berkewajiban menyetorkan pajak ke kantor pelayanan pajak setempat yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa :

1. Pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh sebesar 1,5%
2. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku

BAB VIII
HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

PASAL 8

(3) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari Pelaksanaan Penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan.

(4) Setiap publikasi, makalah dan atau ekspos dalam bentuk apa pun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini wajib mencantumkan **Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan** sebagai pemberi dana.

(5) Hasil Penelitian berupa peralatan dan/atau peralatan yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik negara dan dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga melalui Berita Acara Serah Terima (BAST).

BAB IX
PERSELISIHAN

PASAL 9

(1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan Kontrak Penelitian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat.

(2) Dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat sebagaimana dimaksud pada ayat (1) maka penyelesaian dilakukan melalui proses Hukum yang berlaku dengan memilih domisili Hukum di Pengadilan Negeri Padang.

BAB X
KEADAAN MEMAKSA (*FORCE MAJEURE*)

PASAL 10

(1) **PARA PIHAK** dibebaskan dari tanggung jawab atas keterlambatan atau kegagalan atau dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam Kontrak Penelitian disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian diluar kekuasaan **PARA PIHAK** yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa *(force majeure)*.

(2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa *(force majeure)* dalam Kontrak Penelitian ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade, peledakan, sabotase, revolusi, pemberontakan, hura-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan kontrak ini.

(3) Apabila terjadi keadaan memaksa *(force majeure)* maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa *(force Majeure),* disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan **Para Pihak** dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

BAB XI
SANKSI

PASAL 11

1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Kontrak Penelitian telah berakhir, **PIHAK KEDUA** tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4, maka **PIHAK KEDUA** dikenai sanksi administratif.
2) Sanksi administrative sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.

BAB XII
PENUTUP

PASAL 12

1) Apabila terdapat hal lain yang belum diatur atau terjadi perubahan dalam **Kontrak Penelitian** ini, maka akan dilakukan amandemen **Kontrak Penelitian**
2) Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi ini dibuat rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA.**

PIHAK PERTAMA	**PIHAK KEDUA**
METERAI TEMPEL 7C016AFF724646429 6000 ENAM RIBU RUPIAH	
Dr. Hendri Novia Syamsir, S.T., M.Eng	**Dr. Hendriko, S.T., M.Eng**
NIP. 157001	**NIP. 007606**

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

1. IDENTITAS PENELITIAN(diisikan sesuai dengan proposal)

A. JUDUL PENELITIAN

Pengembangan Metode Analytical Boundary Simulation untuk Menghitung Geometri Tatal pada Permesinan Milling Lima Sumbu Menggunakan Pahat Solid

B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus RIRN/ Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Desain dan Manufaktur	……	CNC & CAM	Teknik Produksi (dan Atau Manufakturing)

C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi / Penugasan	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Desentralisasi	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	SBK Riset Dasar	SBK Riset Dasar	3	3

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
Dr. HENDRIKO	Politeknik Caltex	Teknik Mekatronika	……	210986	3
JUPRI YANDAZAIRA S.T, M.T	Politeknik Caltex	Teknik Mesin	……	6097573	0
AMNUR AKHYAN A.Md, M.T	Politeknik Caltex	Teknik Mesin	……	6134021	0

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Mitra	Nama Mitra

……	……

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2019	Jurnal Internasional	Accepted (In press)	Songklanakarin Journal of Science and Technology http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/ Link artikel: http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/Ar-Press/2018Nov/32.pdf

Luaran Tambahan

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2019	Seminar Internasional	Sudah dilaksanakan (paper masuk seleksi untuk dipublish pada Journal of Mechanical Engineering And Sciences (JMES)	https://best.untirta.ac.id/

5. KEMAJUAN PENELITIAN

Ringkasan penelitian berisi latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian yang diusulkan.

A. RINGKASAN

Pada mesin lima sumbu, metode untuk menentukan geometri tatal yang akurat masih menjadi tantangan. Geometri tatal dibutuhkan sebagai data pendukung dalam menentukan gaya pemotongan (cutting force) dan kekasaran permukaan (surface roughness). Kemampuan untuk menghasilkan proses yang optimal secara otomatis menjadi sangat penting dalam industri manufaktur saat ini. Hal ini dimaksudkan untuk menghasilkan produktivitas proses permesinan yang lebih tinggi dengan tingkat akurasi yang lebih baik. Oleh karena itu maka penentuan gaya potong dan kekasaran permukaan sebelum proses permesinan dilakukan menjadi sangat penting. Geometri tatal yang presisi sangat dibutuhkan untuk menghitung gaya potong secara akurat. Model solid dan model diskrit adalah metode yang paling banyak digunakan untuk menghitung geometri tatal. Meskipun

metode tersebut menghasilkan perhitungan yang akurat, namun keduanya memiliki kelemahan dalam hal waktu komputasi yang panjang.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka pada penelitian terdahulu telah dikembangkan sebuah metode untuk menghitung geometri tatal yang disebut dengan Analytical Boundary Simulation (ABS). Metode ini adalah metode analitis yang dikembangkan untuk mesin milling lima sumbu. Metode ABS terbukti memiliki keunggulan dibanding metode lainnya dalam hal waktu komputasi yang sangat singkat. Algoritma yang dikembangkan juga telah diimplementasikana untuk menentukan geometri tatal yang digunakan untuk menghitung gaya pemotongan. Meskipun metode ABS telah terbukti mampu diaplikasikan secara baik dan unggul dalam hal waktu komputasi, namun algoritma yang dikembangkan hanya dapat digunakan untuk jenis pahat non-solid. Sehingga untuk jenis pahat solid metode ABS belum dapat digunakan. Pahat solid merupakan pahat yang paling banyak digunakan di industri manufaktur dan secara geometri jauh lebih rumit dibanding pahat non-solid.

Oleh karena itu maka pada penelitian ini metode ABS akan dikembangkan sehingga dapat digunakan untuk jenis pahat solid. Pengembangan algoritma matematika akan lebih menantang karena secara geometri bentuk pahat solid jauh lebih rumit dibanding pahat non-solid. Algoritma matematika yang disusun kemudian akan digunakan untuk mengembangkan program simulasi. Program simulasi diharapkan dapat digunakan untuk menghitung geometri tatal dari suatu proses permesinan dan sekaligus mampu menampilkan gambar 3D bentuk pemotongan.

Pada tahun pertama, metode matematika untuk menghitung geometri tatal pada proses permesinan kasar menggunakan pahat datar telah dikembangkan. Algoritma matematika telah digunakan untuk mengembangkan program simulasi menggunakan Matlab. Pengujian kemamputerapan metode yang dikembangkan telah dilakukan. Program simulasi mampu menghitung geometri tatal untuk setiap pergerakan pahat. Selain itu bentuk tatal untuk setiap posisi pahat dapat ditampilkan. Verifikasi untuk menguji keakuratan metode yang dikembangkan telah dilakukan. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan panjang tatal yang dihasilkan program simulasi dengan hasil pengukuran menggunakan program CAD.

Luaran yang dihasilkan pada tahun pertama adalah satu artikel pada jurnal internasional bereputasi (Songklanakarin Journal of Science and Technology, Scopus Q3) dengan status in press. Dan satu artikel lagi yang telah dipresentasikan pada seminar internasional. Artikel untuk seminar internasional tersebut terpilih untuk diteruskan ke jurnal dan akan dipublikasikan pada Journal of Mechanical Engineering And Sciences (Scopus Q2)

Untuk tahap selanjutnya penelitian akan diarahkan untuk: a) pengembangan metode dan analisis untuk menghitung geometri tatal pada mesin milling 5 sumbu untuk proses semi

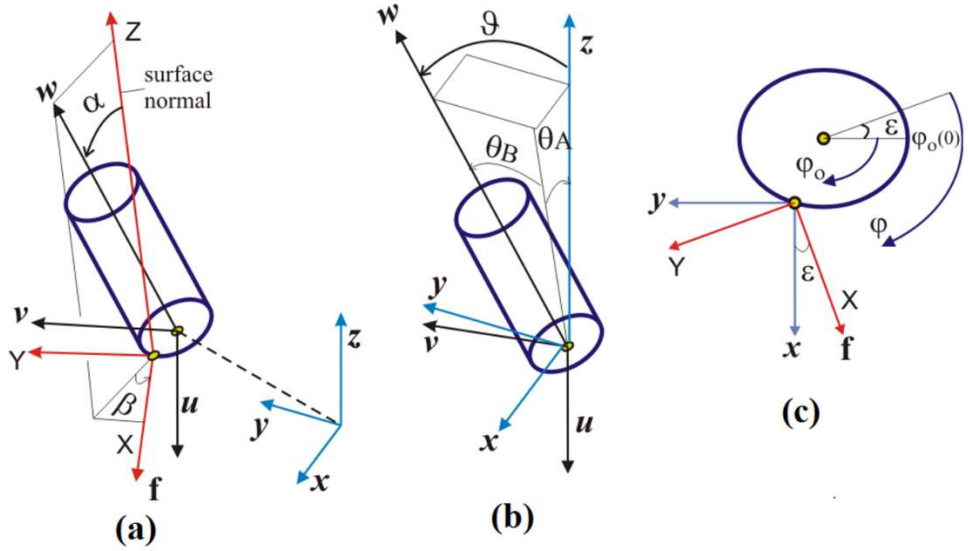
finis menggunakan pahat solid datar dan pahat solid toroidal, b) metode untuk menghitung gaya potong pada mesin milling 5 sumbu, dan 3) program simulasi untuk menghitung geometri tatal dan gaya potong pada mesin milling 5 sumbu.

Hasil penelitian berisi kemajuan pelaksanaan penelitian, data yang diperoleh, dan analisis yang telah dilakukan

B. HASIL PENELITIAN

1. Membangun Sistem Koordinat pada Milling 5 Sumbu

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 1a 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 trasnformasi 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 1b.



Gambar 1 Geometri pahat datar, b) koordinat sistem, c) tampak atas

Orientasi pahat potong relatif terhadap WCS (ϑ) dapat dilihat pada Gambar 1b dan cara menentukannya adalah menggunakan sudut putaran pahat terhadap *x-axis* (θ_A) dan *y-axis* (θ_B),

$$\vartheta = cos^{-1}(cos\,\theta_A\,cos\,\theta_B) \tag{1}$$

Operator [M] yang digunana untuk to map the coordinate system from the TCS to the WCS yang meliputi rotasi pahat pada *x-axis*, *y-axis* dan pergeseran pada *T* dituliskan sebagai berikut,

$$[M] = Rot(X,\theta_A)\,.\,Rot(Y,\theta_B) = \begin{bmatrix} cos\,\theta_B & 0 & sin\,\theta_B & x_T \\ sin\,\theta_A sin\,\theta_B & cos\,\theta_A & -sin\,\theta_A cos\,\theta_B & y_T \\ cos\,\theta_A sin\,\theta_B & sin\,\theta_A & cos\,\theta_A cos\,\theta_B & z_T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

dimana $T(x_T, y_T, z_T)$ adalah titik lokasi pahat (CL-point) yang terletak pada titik pusat pahat bagian bawah. TCS dengan vektor basis orthogonal *u, v, w,* diperoleh sebagai berikut,

$$\begin{aligned} w &= [M]\,[\,0 \quad 0 \quad 1 \quad 0\,]^T \\ &= [sin\,\theta_B \quad -sin\,\theta_A cos\,\theta_B \quad cos\,\theta_A cos\,\theta_B]^T \\ v &= \frac{w \times V_T}{|w \times V_T|}\ ; \\ u &= v \times w \end{aligned} \tag{3}$$

V_T adalah kecepatan linear dari satu titil point (CC-point) ke titik point berikutnya dan diperoleh sebagai berikut,

$$V_T = \frac{C_{C(i+1)} - C_{C(i)}}{f};\ \text{where (i = 1, 2, 3, ...)} \tag{4}$$

dimana $C_C(x_{C_C}, y_{C_C}, z_{C_C})$ dan f adalah lambang untuk koordinat CC-point dan feedrate. Untuk menghitung CWE pada titik sembarang, lintasan pahat ditentukan menggunakan metode interpolasi linear. Untuk menentukan interpolasi pergerakan pahat (translasi dan rotasi), posisi dan orientasi pahat di antara dua CC-points ditentukan sebagai berikut,

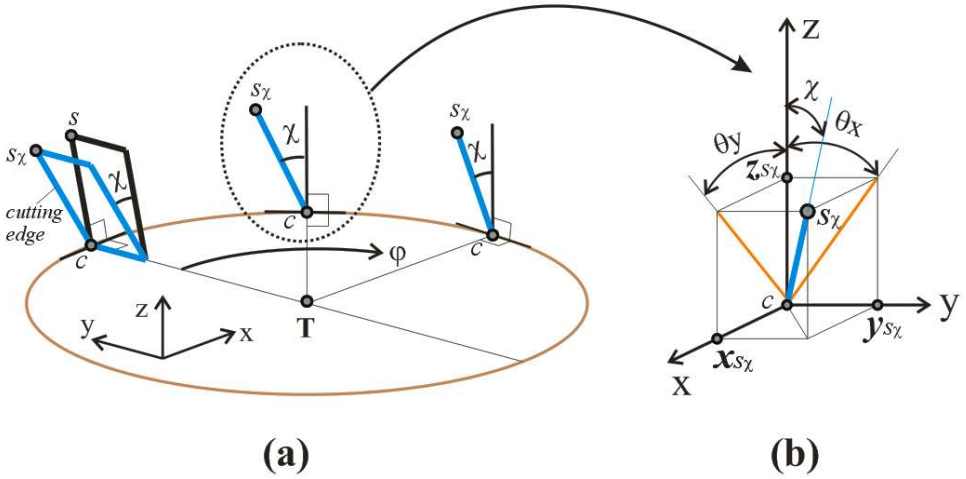
$$\begin{bmatrix} C_C \\ \theta_A \\ \theta_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{C(i)} \\ \theta_{A(i)} \\ \theta_{B(i)} \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} C_{C(i+1)} - C_{C(i)} \\ \theta_{A(i+1)} - \theta_{A(i)} \\ \theta_{B(i-1)} - \theta_{B(i)} \end{bmatrix} \text{ where } (0 \leq p < 1) \tag{5}$$

diman p melambangkan parameter interpolasi lintasan pahat.

Arah pergerakan pahat mempengaruhi luas bidang pahat yang bersentuhan dengan benda kerja. Pada permsinan sesungguhnya khususnya pada permesinan dengan permukaan yang kompleks, pahat pada mesin milling 5 sumbu dapat bergerak ke berbagai arah. Oleh karena itu maka *entry angle* (ε) perlu ditentukan. ε adalah pergeseran arah feedrate *f* dari *x-axis* sebagaimana ditunjukan pada Gambar 1c dan dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$\varepsilon = tan^{-1}\left[\frac{y_{C_C(i+1)} - y_{C_C(i)}}{x_{C_C(i+1)} - x_{C_C(i)}}\right] \tag{6}$$

dimana φ adalah sudut rotatsi pahat atau sudut persinggungan yang merupkan $\varphi_o + \varepsilon$, dan φ_o $(0 < \varphi_o < 180)$ adalah sudut persinggungan ketika pahat bergerak lurus pada *x-axis*.



Gambar **2** Efek sudut spiral terhadap orientasi sisi potong pahat untuk setiap perubahan sudut persinggungan

1.1. Efek Sudut Spiral Terhadap Oreintasi Pahat

Pahat milling dengan gigi lurus memiliki kelemahan dimana proses pemakanan dilakukan oleh gigi secara penuh sehingga membutuhkan energi yang sangat kuat. Hal ini dapat berdampak pada munculnya efek kejutan yang menyebabkan getaran yang berbahaya bagi kualitas permukaan mesin. Dengan pertimbangan tersebut maka pahat dengan sudut spiral digunakan untuk menghilangkan permasalahan tersebut. Sudut spiral (χ) yang juga disebut sebagai lag angle pada pahat pejal (*solid cutter*), menyebabkan pahat memotong benda kerja secara perlahan. Kehadiran sudut spiral membuat panjang sisi potong menjadi lebih besar. Pada bagian ini dampak hadirnya sudut spiral terhadap sudut orientasi pahat sebenarnya akan dibahas.

1.1.1. Identifikasi Operator Transformasi Koordinat dan Sudut Orientasi Pahat pada Permesinan Tegak

Ketika sudut spiral digunakan pada pahat potong, hal itu akan mengubah orientasi sisi potong pahat. Orientasi sisi potong pahat menjadi tidak sama dengan orientasi pahat. Dengan asumsi bahwa pahat bergerak pada arah sumbu *X*, sudut spiral akan menyebabkan pahat berputar pada sumbu *Y* seperti ditunjukan pada Gambar 2. Orientasi sisi potong pahat sebenarnya pada setiap engagement angel dapat ditentukan dengan cara menghitung koordinat dua buah titik perwakilan (*representative points*) yang terletak di sisi potong pahat, yaitu $s_\chi(x_{s_\chi}, y_{s_\chi}, z_{s_\chi})$

dan $c(x_c, y_{c,} z_c)$. Persamaan parametrik pahat potong berbentuk silindris digunakan untuk menentukan kedua titik tersebut. Titik s_χ adalah titik yang s yang diputar terhadap *Y-axis* sebesar sudut spiral. Titik s adalah titik sembarang pada sisi potong pahat pada saat $\varphi = 0$, sementara titik c adalah sebuah titik yang terletak di dasar sisi potong pahat. Dengan mengambil contoh bahwa titik s dan titik c untuk sebuah pahat rata (*flat-end tool*) dan pahat toroidal adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned} s &= (0, R, 10) \text{ and } c = (0, R, 0) \quad \rightarrow \text{pahat rata} \\ s &= (0, r_m, 10) \text{ and } c = (0, r_m, 0) \rightarrow \text{pahat toroidal} \end{aligned} \tag{7}$$

dimana R dan r_m merupakan lambang untuk radius dan minor radius pahat potong. Selanjutnya koordinat titik s_χ dan titik c terhadap sudut persinggungan ditentukan dengan cara melakukan transformasi pada titik *Z-axis*. Oleh karena itu maka kedua transformasi, yaitu rotasi pada *Y-axis* (helical angle) dan *Z-axis* (sudut persinggungan), disusun sebagai berikut,

$$s_\chi = Rot(Z, \varphi).Rot(Y, \chi).[s]$$

$$s_\chi \begin{bmatrix} x_{s_\chi} \\ y_{s_\chi} \\ z_{s_\chi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\,\varphi & -sin\,\varphi & 0 \\ sin\,\varphi & cos\,\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} cos\,\chi & 0 & sin\,\chi \\ 0 & 1 & 0 \\ sin\,\chi & 0 & cos\,\chi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$c = Rot(Z, \varphi).[c]$$

$$c \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\,\varphi & -sin\,\varphi & 0 \\ sin\,\varphi & cos\,\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} \tag{9}$$

Operator untuk transformasi titik koordinat ditentukan dengan cara menghitung rotasi sisi potong terhadap *X-axis* dan *Y-axis* seperti yang ditunjukan pada Gambar 2b. Kedua sudut rotasi dihitung sebagai berikut,

$$\theta_{A_\chi} = \theta_x = tan^{-1}\left(\frac{y_{s_\chi} - y_C}{z_{s_\chi}}\right)$$

$$\theta_y = tan^{-1}\left(\frac{x_{s_\chi} - x_C}{z_{s_\chi}}\right) \tag{10}$$

$$\theta_{B_\chi} = tan^{-1}\left(\frac{\left(x_{s_\chi} - x_C\right) cos\,\theta_x}{z_{s_\chi}}\right) = tan^{-1}\left(tan\,\theta_y\, cos\,\theta_x\right)$$

Orientasi sisi potong pahat relatif terhadap *Z-axis* pada WCS sebagaimana yang dirumuskan pada Persamaan **(1)** akan berubah menjadi,

$$\vartheta_\chi = cos^{-1}\left(cos\,\theta_{A_\chi}\,cos\,\theta_{B_\chi}\right) \tag{11}$$

Pada saat proses pemotongan tegak, dimana $\theta_A = \theta_B = 0$, sudut orientasi sisi potong pahat pada setiap sudut persinggungan adalah setara dengan besar sudut spiral ($\vartheta = \chi$). Operator untuk melakukan transformasi titik koordinat ketika pahat menggunakan sudut spiral terhadap θ_{A_χ}dan θ_{B_χ}dapat diekspresikan sebagai berikut,

$$[M]_h = Rot\left(X, \theta_{A_\chi}\right).Rot\left(Y, \theta_{B_\chi}\right)$$

$$[M]_h = \begin{bmatrix} cos\,\theta_{B_\chi} & 0 & sin\,\theta_{B_\chi} \\ sin\,\theta_{A_\chi} sin\,\theta_{B_\chi} & cos\,\theta_{A_\chi} & -sin\,\theta_{A_\chi} cos\,\theta_{B_\chi} \\ -cos\,\theta_{A_\chi} sin\,\theta_{B_\chi} & sin\,\theta_{A_\chi} & cos\,\theta_{A_\chi} cos\,\theta_{B_\chi} \end{bmatrix} \tag{12}$$

1.1.2. Identifikasi Operator Transformasi Koordinat dan Sudut Orientasi Pahat Pada Permesinan Kompleks

Karakteristik dari sebuah proses permesinan milling bentuk kompleks adalah dimana pahat dapat bergerak ke berbagai arah. Orientasi pahat didefiniskan menggunakan sudut orientasi pahat $\theta_A$and θ_B. Ketika sudut spiral digunakan pada pahat potong, maka orientasi sisi potong akan berubah. Hal ini menyebabkan orientasi sisi potong berbeda dengan orientasi pahat. Sama seperti sebelumnya, orientasi sisi potong yang sebenarnya dapat ditentukan dengan menggunakan bantuan titik s_χ dan titik c. Untuk memperoleh titik koordinat s_χ dan c sebagaimana yang ditunjukan pada Gambar 2, maka kedua titik tersebut diputar sebesar θ_A dan θ_B. Kemudian Persamaan (8) dan Persamaan (9) berubah menjadi,

$$s_\chi(x_{s_\chi}, y_{s_\chi}, z_{s_\chi}) = Rot(X, \theta_A).Rot(Y, \theta_B).Rot(Z, \varphi).Rot(Y, \chi).[s] \tag{13}$$

$$c(x_C, y_C, z_C) = Rot(X, \theta_A).Rot(Y, \theta_B).Rot(Z, \varphi).[c] \tag{14}$$

Jika titik s_χ dan titik c sudah ditentukan, maka semua sudut orientasi pahat $(\theta_x, \theta_y, \theta_{A_\chi}, \theta_{B_\chi}, \vartheta)$ dan operator untuk transformasi titik koordinat dapat ditentukan menggunakan Persamaan (8) – Persamaan (10).

1.2. Menentukan Potongan Pada Permesinan Kasar (*Rough milling*)

Panjang tatal didefinisikan sebagai panjang sisi potong yang bersinggungan dengan benda kerja, yang diukur dari titik singgung tertinggi (UI-point) hingga ke titik singgung terendah

(LI-point). UI-point dan LI-point adalah ujung dari bagian persinggungan pahat dan benda kerja. UI-point dilambangkan dengan $n_f\left(x_{n_f}, y_{n_f,} z_{n_f}\right)$, sementara LI-point dilambangkan dengan $C_f(x_{C_f},\ y_{C_f,}\, z_{C_f}$. Panjang potongan dapat dihitung setelah kedua titik tersebut diperoleh.

Pada bagian ini akan dikembangkan algoritma untuk menentukan geometri tatal pada proses permesinan kasar multi lintasan sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3a. Algoritma yang dikembangkan menggunakan pahat rata yang berbentuk silindris seperti disajikan pada Gambar 3b. Pahat rata adalah jenis pahat yang paling banyak digunakan untuk proses kasar. Hal ini karena proses pemotongan menjadi lebih cepat karena sisi sentuh antara pahat dan benda kerja lebih luas. Bentuk benda yang dalam proses pemotongan ditentukan menggunakan titik koordinat yang ditemukan pada setiap sudut dari permukaan tangga (*stair surface*) seperti yang diilusstrasikan pada Gambar 3c. Pada setiap posisi pahat, $T\left(x_T, y_{T,} z_T\right)$, dinding batas benda kerja yang memiliki potensi untuk bersentuhan dengan benda kerja harus diidentifikasi. Dengan menganggap bahwa pahat bergerak dari *Y-axis*, maka dinding permukaan benda kerja yang berpotensi bersentuhan dengan pahat terletak diantara koordinat $\left((x_T + R), y_T\, , z_T\right)$ and $((x_T - R), y_T\, , z_T)$, dimana R adalah radius pahat. Untuk kondisi sebagaimana yang ditunjukan pada Gambar 3d, terdapat dua titik yang terdeteksi berdasarkan posisi pahat, masing-masing adalah $v_A(x_{v_A},\ y_{v_A,}\, z_{v_A})$ dan $v_B(x_{v_B},\ y_{v_B,}\, z_{v_B})$. Hal ini berarti terdapat hanya satu dinding benda kerja yang berpotensi bersentuhan dengan pahat. Dinding benda kerja tersebut dibangun oleh dua bagian benda kerja yang disebut bagian A dan bagian B. Bagian A adalah bagian benda kerja yang bersentuhan dengan titik kontak pahat $C(x_C,\ y_{C,}\, z_C)$, sementara bagian B adalah bagian benda kerja yang terletak setelah bagian A yang juga berpotensi bersentuhan dengan pahat.

Bentuk pahat rata seperti yang ditunjukan Gambar 3b dianggap sebagai silinder dan dihitung menggunakan persamaan parametrik sebagai berikut,

$$S_C\,(\varphi; l) = \begin{bmatrix} R\,sin\,\varphi \\ R\,cos\,\varphi \\ l_n \end{bmatrix} \quad ;\, 0 < l_n < l \tag{15}$$

dimana φ adalah sudut persinggungan and l_n adalah jarak sebuah titik pada permukaan pahat yang diukur dari dasar pahat.
Koordinat LI-point untuk setiap sudut persinggungan dirumuskan sebagai berikut,

$$C_f\left(x_{C_f}, y_{C_f,}\, z_{C_f}\right) = S_C(\varphi; l_n = 0) + T\mathrm{h} \tag{16}$$

Ketika proses permesinan milling kasar menggunakan sudut sporal, maka pahat akan melakukan proses pemotongan datar. Hal ini berarti bawah panjang tatal sama dengan

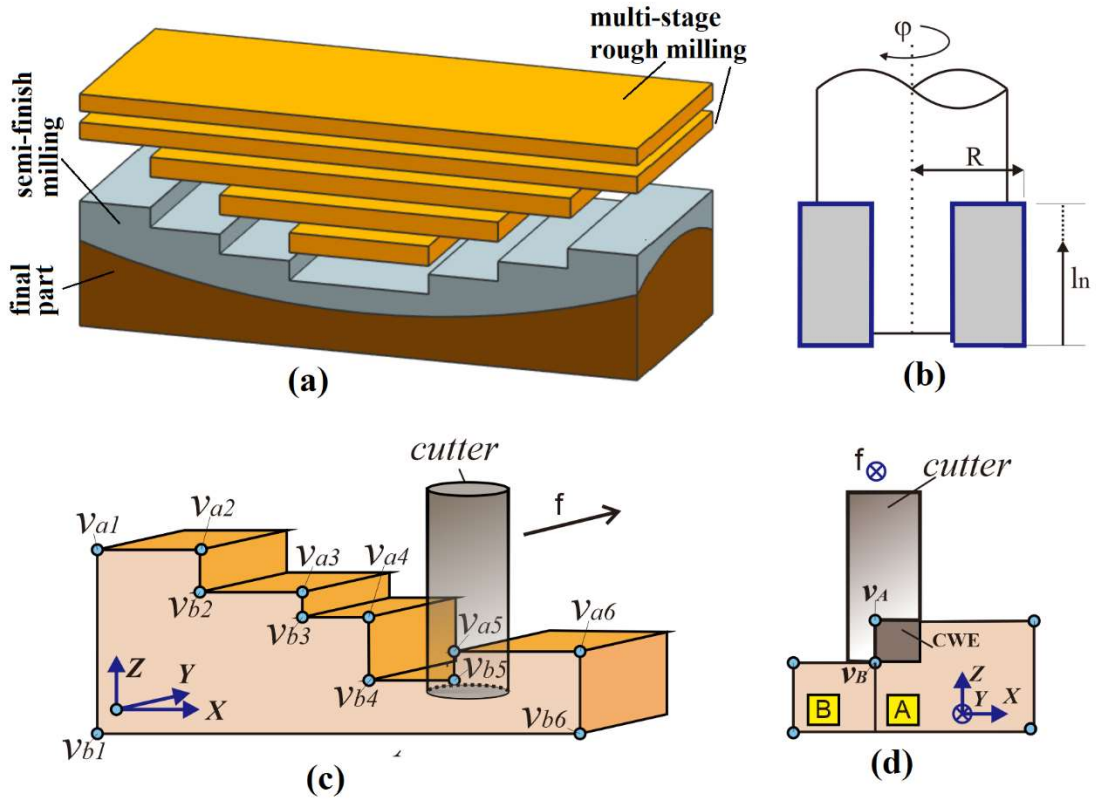
kedalaman pemakanan aksial. Sisi potong bersinggungan dengan hanya satu bagian benda kerja dan UI-point berhimpit dengan permukaan benda kerja bagian atas. Koordinat UI-point was determined as follow,

$$n_f\left(x_{n_f}, y_{n_f,}\, z_{n_f}\right) = S_C(\varphi; l_n = z_{v_A} - z_T) + T; \rightarrow \text{if } x_{C_f} < x_{v_A} \text{ and } z_{C_f} < z_{v_A} \qquad (17)$$

$$n_f\left(x_{n_f}, y_{n_f,}\, z_{n_f}\right) = S_C(\varphi; l_n = z_{v_B} - z_T) + T; \rightarrow \text{if } x_{C_f} > x_{v_A} \text{ and } z_{C_f} < z_{v_B} \qquad (18)$$

Then The length of cut (L) is calculated as follow,

$$L = z_{n_f} - z_{C_f} \qquad (19)$$



Gambar **3** a) multi-pass rough milling, b) flat-end tool, c) workpiece representation method for rough milling d) CWE region and workpiece sections,

Menentukan geometri tatal untuk pahat rata dengan sudut spiral selama proses permesinan kasar adalah lebih rumit dibandingkan pahat tanpa sudut spiral. Sudut spiral memiringkan orientasi sisi potong pahat dan membuat orientasi pahat potong terus berubah untuk setiap engagament angle. Hal ini membuat proses kalkulasi menjadi lebih kompleks. Dampak dari sudut spiral terhadap orientasi pahat potong telah dibahas pada subbab sebelumnya.

Kehadiran sudut spiral mempengaruhi koordinat UI-point. Oleh karena itu maka Persamaan (15) dapat digunakan untuk menghitung LI-point sisi potong dengan sudut spiral. Persamaan untuk menentukan UI-point sisi potong dengan sudut spiral berubah menjadi,

$$n_f\left(x_{n_f}, y_{n_f,}\, z_{n_f}\right) = [M]_h . S_C\left(\varphi; l_n = z_{v_A} - z_T\right) + T; \;\rightarrow\; \text{if}\;\; x_{C_f} < x_{v_A} \;\; \text{and} \;\; z_{C_f} < z_{v_A} \tag{20}$$

$$n_f\left(x_{n_f}, y_{n_f,}\, z_{n_f}\right) = [M]_h . S_C\left(\varphi; l_n = z_{v_B} - z_T\right) + T; \;\rightarrow\; \text{if}\;\; x_{C_f} > x_{v_A} \;\; \text{and} \;\; z_{C_f} < z_{v_B} \tag{21}$$

dimana $[M]_h$ adalah operator untuk mentransformasikan koordinat ketika sudut spiral digunakan. Operator tersebut dipengaruhi oleh sudut orientasi sisi potong pahat pada *X-axis* (θ_X) dan *Y-axis* (θ_Y). Sudut orientasi sisi potong pahat terhadap TCS disampaikan pada Gambar 1b. Metode untuk menentukan sudut orientasi sisi potong pahat, θ_X dan θ_Y dijelaskan pada subbab sebelumnya. Operator transformasi koordinat dirumuskan sebagai berikut,

$$[M]_h = Rot(X, \theta_X) \,.\, Rot(Y, \theta_Y)$$

$$[M]_h = \begin{bmatrix} cos\ \theta_Y & 0 & sin\ \theta_Y \\ sin\ \theta_X sin\ \theta_Y & cos\ \theta_X & -sin\ \theta_X cos\ \theta_Y \\ -cos\ \theta_X sin\ \theta_Y & sin\ \theta_X & cos\ \theta_X cos\ \theta_Y \end{bmatrix} \tag{22}$$

Sudut spiral mengubah orientasi pahat potong. Karena adanya sudut kemiringan, sisi potong tidak hanya bersinggungan dengan satu bagian benda kerja, tapi dapat juga bersinggungan dengan dua atau lebih bagian benda kerja. Selain itu, UI-point tidak hanya terletak pada permukaan atas benda kerja, tapi dapat juga berada di permukaan dinding. Ketika arah sisi potong pahat tidak lurus secara vertikal terhadap WCS, maka UI-point ditentukan menggunakan sebuah metode yang disebut *Cylindrical-surface* method. Pada kondisi tersebut, informasi terkait panjang antara LI-point ke permukaan bagian benda kerja diperlukan untuk menentukan UI-point. Dengan asumsi bahwa arah pemakanan adalah searah dengan *Y-axis*, maka *Cylindrical-boundary* method terdiri dari dua metode yang ditentukan berdasarkan lokasi UI-point, yaitu *Z-Cylindrical method* dan *X-Cylindrical method.*

***X-Cylindrical method*:** metode ini diterapkan ketika UI-point berhimpit dengan permukaan dinding, sehingga panjang antara LI-point ke permukaan dinding pada *X-axis* (l_n) seperti yang ditunjukan pada **Error! Reference source not found.**a dapat ditentukan sebagai berikut,

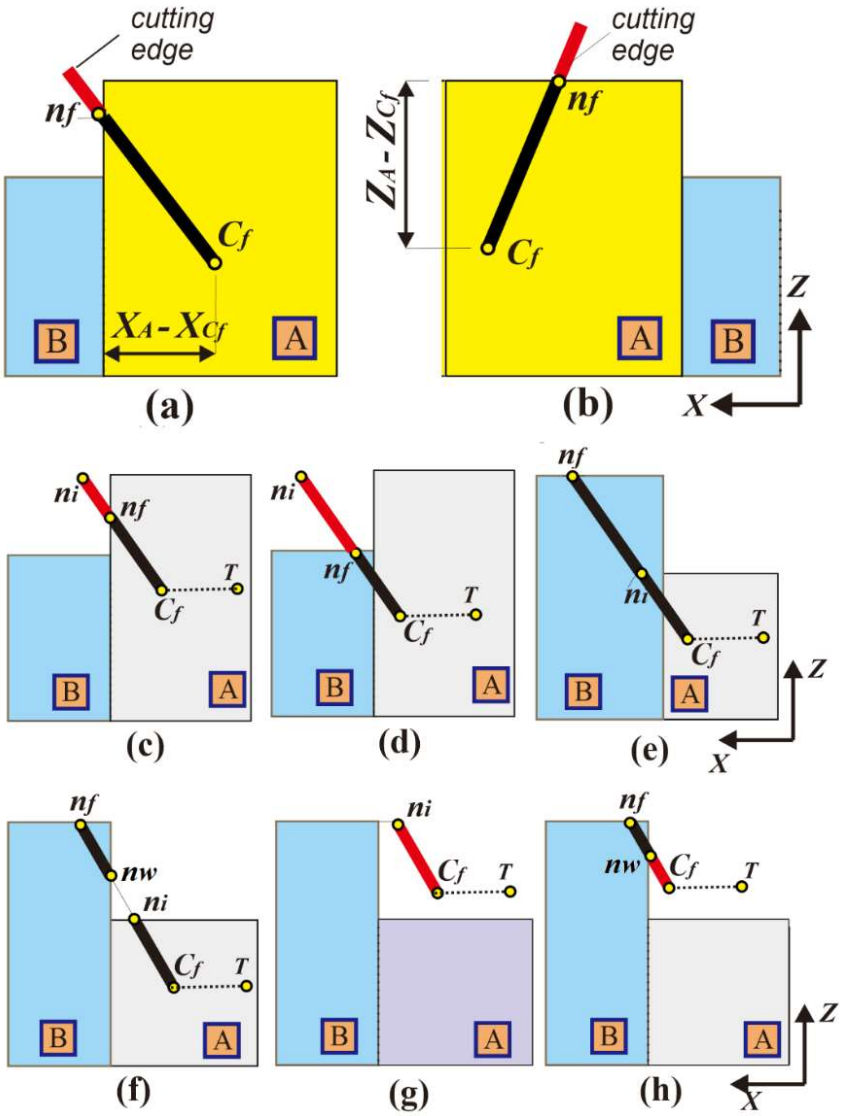
$$l_n = \left(x_A - x_{C_f}\right) / \, tan\ \theta_X \;\; cos\ \chi = \left(x_A - x_{C_f}\right) / \, sin\ \theta_Y \tag{23}$$

dimana χ adalah sudut spiral. Sedangkan x_{C_f} dan x_A adalah *X-axis* dari LI-point dan *X-axis* dari permukaan dinding bagian benda kerja.

***Z-Cylindrical method*:** metode in diterapkan ketika UI-point berhimpit dengan permukaan atas bagian benda kerja. Pada kondisi ini maka panjang antara LI-point ke permukaan atas bagian benda kerja pada *Z-axis* (l_n), seperti yang ditunjukan pada Gambar **4**b, dihitung dengan rumus berikut,

$$l_n = \left(z_A - z_{C_f}\right) / \cos\chi \tag{24}$$

dimana z_{C_f} dan z_A adalah *Z-axis* dari LI-point dan *Z-axis* permukaan atas benda kerja.



Gambar **4**. Various possible location of the UI-point on the workpiece sections during tool rotation

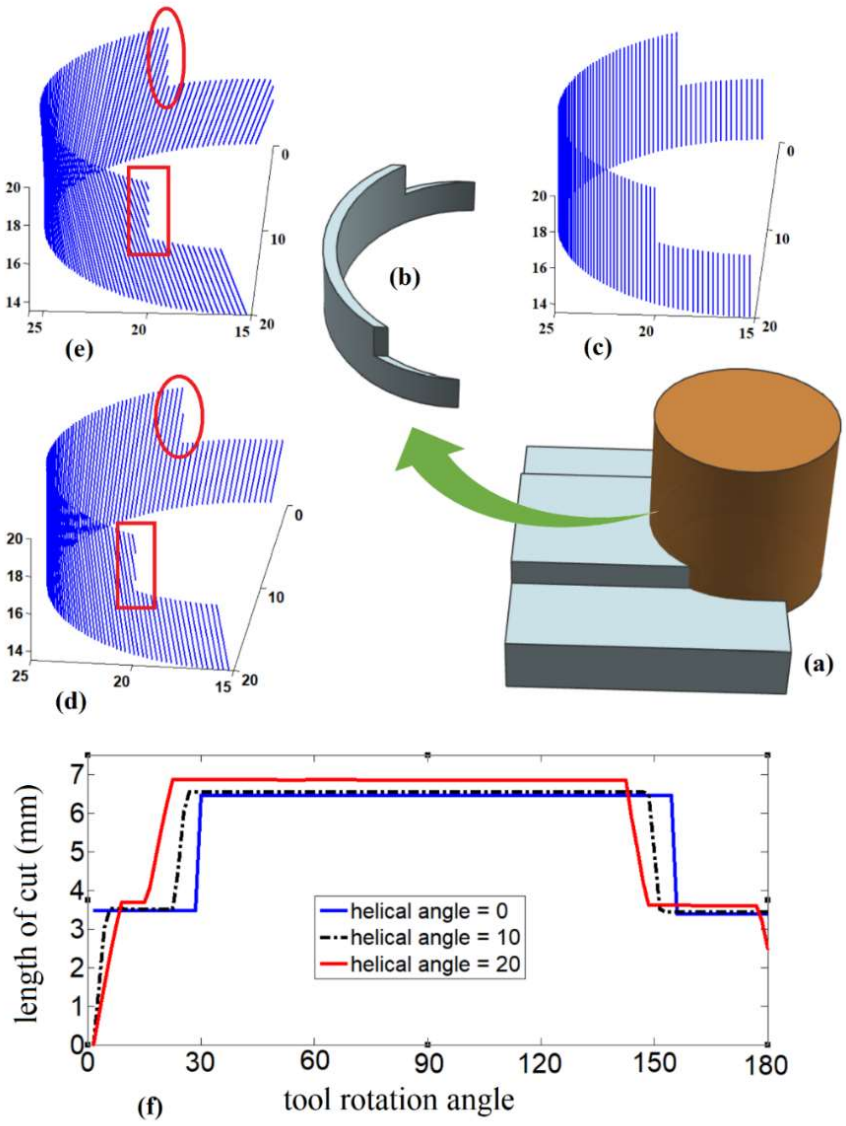
Perhitungan geometri tatal diawali dengan asumsi bahwa UI-point berada pada permukaan atas bagian benda kerja A. Kemudian, *Z-Cylindrical method* digunakan untuk menentukan UI-point awal $n_i(x_{n_i}, y_{n_i,} z_{n_i})$. Disebut UI-point awal karena selanjutnya harus diverifikasi untuk memastikan apakah memang berada di permukaan atas bagian A atau bukan. UI-point awal dinyatakan salah jika $x_{n_i} < x_A$, pada kondisi ini UI-point sebenarnya, $n_f\left(x_{n_f}, y_{n_f,} z_{n_f}\right)$, perlu untuk ditentukan. Pada kondisi ini, beberapa pengecekan perlu dilakukan untuk memperoleh UI-point sebenarnya. Langkah-langkah untuk memperoleh UI-point sebenarnya dijelaskan di bawah ini,

1. Ketika $\boldsymbol{z_A > z_B}$ dan $\boldsymbol{x_{n_i} > x_B}$ dan $\boldsymbol{z_{n_i} > z_B}$, maka UI-point kemungkinan berada pada permukaan dinding bagian A, seperti yang diilustrasikan pada **Error! Reference source not found.**c, atau pada permukaan atas bagian B, seperti yang digambarkan pada **Error! Reference source not found.**d. Kedua kemungkinan tersebut perlu diperiksa untuk menentukan lokasi UI-point sebenarnya.
2. Ketika $\boldsymbol{z_A < z_B}$ dan $\boldsymbol{x_{n_i} > x_B}$ dan $\boldsymbol{z_{C_f} < z_A}$, maka UI-point berhimpit dengan permukaan atas bagian B seperti yang diilustrasikan pada **Error! Reference source not found.**e.
3. Ketika $\boldsymbol{z_A < z_B}$ dan $\boldsymbol{x_{n_i} < x_B}$ dan $\boldsymbol{z_{C_f} < z_A}$, maka UI-point sebenarnya dapat ditentukan setelah titik singgung pada permukaan dinding, $n_w(x_w, y_{w,} z_w)$, diperoleh. Jika $z_w < z_B$, maka UI-point sebenarnya berhimpit dengan permukaan atas bagian B seperti yang ditunjukan pada **Error! Reference source not found.**f. Pada kondisi ini, sisi potong pahat bersinggung dengan dua bagian benda kerja, namun beberapa bagian dari sisi potong pahat diantara dua titik singgung berada di luar benda kerja. UI-point sebenarnya terletak pada permukaan atas bagian A.
4. Ketika $\boldsymbol{z_A < z_B}$ dan $\boldsymbol{z_{C_f} > z_A}$ dan $\boldsymbol{z_w > z_B}$: pada kondisi ini tidak ada terjadi singgungan antara sisi potong pahat dengan benda kerja seperti yang ditunjukan pada **Error! Reference source not found.**g.
5. Ketika $\boldsymbol{z_A < z_B}$ dan $\boldsymbol{z_{C_f} > z_A}$ dan $\boldsymbol{z_w < z_B}$: maka UI-point berhimpit dengan permukaan dinding bagian B sebagimana yang diilustrasikan pada **Error! Reference source not found.**h.

Ketika UI-point terletak di permukaan atas bagian benda kerja, maka *Z-Cylindrical method* digunakan untuk menentukan koordinat titik singgung. Sebaliknya, ketika UI-point terletak pada permukaan dinding bagian benda kerja, maka koordinat UI-points dihitung menggunakan X-*Cylindrical method.*

Untuk kondisi dimana ukuran tangga material kecil dan rapat (high staircase) dimana pahat yang digunakan berukuran besar, maka ada kemungkinan sisi potong pahat bersinggungan dengan lebih dari dua bagian benda kerja. Pada kasus tersebut maka UI-point mungkin saja

bersinggungan dengan permukaan bagian benda kerja yang berada setelah bagian B. Dengan demikian maka perhitungan dilakukan dengan cara melakukan pengecekan secara berkelanjutan hingga UI-Point sebenarnya diperoleh.

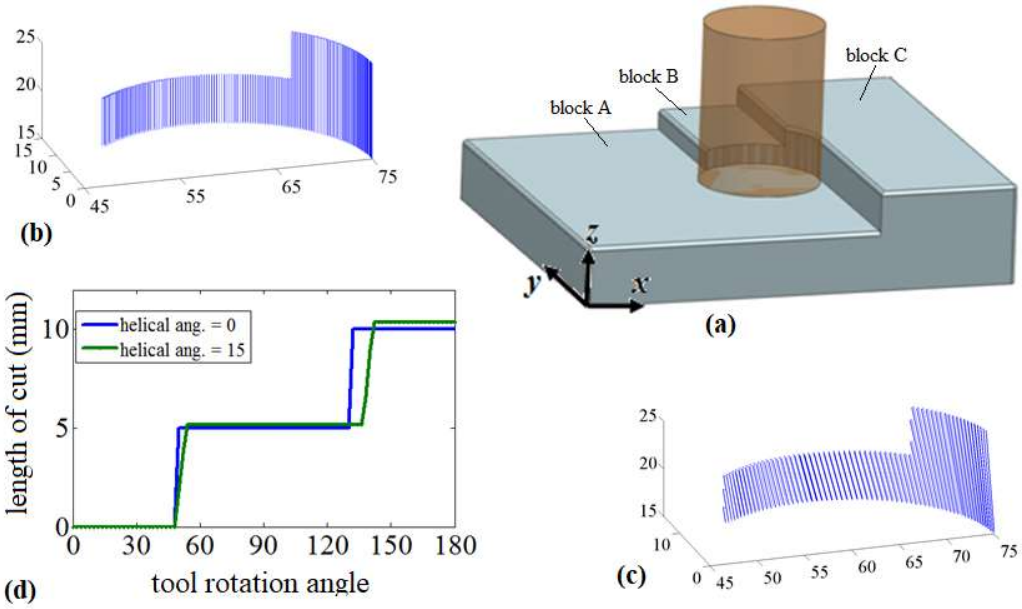


Gambar **5**. Test model, a) part model, b) cutter workpiece engagement model, c) cut geometry of cutter without helix angle, d) cut geometry of cutter with helix angle 10, e) cut geometry of cutter with helix angle 20, f) the length of cuts

2. Implementasi Dan Analisa Metode

Semua algoritma yang dikembangkan pada penelitian ini telah digunakan untuk membangun program untuk menghitung geometri tatal dengan menggunakan Matlab. Metode yang diusulkan telah diuji menggunakan dua model dengan kondisi yang berbeda. Pada pengujian pertama, proses permesinan kasar sebagaimana yang ditunjukan pada Gambar 5a dijalankan menggunakan pahat rata dengan dua gigi yang berdiameter 20 mm. Kondisi pemotongan yang

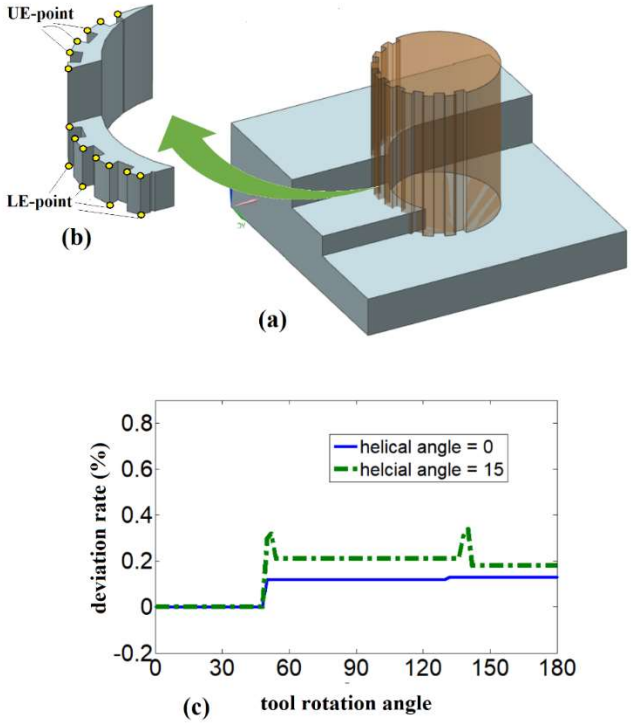
digunakan pada pengujian ini adalah kecepatan putar 5000 rpm dan kecepatan pemakanan 0.3 mm/gigi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh sudut spiral terhadap panjang tatal. Oleh karena itu maka dua jenis pahat digunakan untuk memastikan bahwa metode yang dikembangkan dapat diterapkan, yaitu pahat tanpa sudut spiral dan pahat dengan sudut spiral. Untuk pengujian ini digunakan tiga jenis sudut spiral, yaitu 0, 10, and 20



Gambar **6**. Test model, a) part model, b) cut geometry of cutter without helix angle,c) cut geometry of cutter with helix angle, d) the length of cuts

Model pengujian seperti yang ditunjukan pada Gambar 5a telah dibuat menggunakan Siemens-NX. Bentuk persinggungan antara pahat dan benda kerja untuk satu putaran pahat telah diekstraksi dan disajikan pada Gambar 5b. Bentuk geometri tatal dapat diperoleh menggunakan program yang dikembangkan sebagaimana contoh yang ditunjukan pada Gambar 5c - Gambar 5e. Gambar 5c menunjukan geometri tatal untuk pahat tanpa sudut spiral. Geometri tatal ketika pahat menggunakan sudut spiral ditunjukan pada Gambar 5c (sudut spiral 10) dan Gambar 5e (sudut spiral 20). Bentuk tatal yang diperoleh dari program simulasi sebagaimana disajikan pada Gambar 5c - Gambar 5e menunjukan hasil yang sama dengan bentuk model ekstraksi yang dihasilkan menggunakan Siemens-NX sebagaimana yang ditunjukan pada Gambar 5b. Hal ini merupakan indikasi bahwa algoritma yang dikembangkan akurat. Dalam kondisi dimana pahat tanpa sudut spiral, semua UI-points terletak pada permukaan atas bagian benda kerja. Namun, ketika sudut inklinasi muncul, UI-point bisa berada apakah di permukaan atas bagian benda kerja atau pada permukaan dinding bagian benda kerja. Bentuk tatal sebagaimana yang ditandai menggunakan lingkasan elips pada Gambar 5d dan Gambar 5e, menunjukan kondisi ketika UI-point terletak pada permukaan dinding bagian benda kerja. Sementara itu, tatal yang ditandai menggunakan kotak pada Gambar 5d dan Gambar 5e, menunjukan kondisi ketika sebagian sisi potong pahat yang terletak diantara dua titik singgung berada di luar bagian benda kerja sebagaimana diilustrasikan oleh Gambar 5f.

Panjang tatal untuk semua tes disajikan pada Gambar 5f. Grafik tersebut menunjukan bahwa sisi potong pahat dengan sudut spiral bersinggungan dengan benda kerja secara penuh sejak awal. Di sisi lain, sisi potong pahat bersinggungan dengan benda kerja sedikit demi sedikit. Ini adalah salah satu tujuan digunakannya sudut spiral.



Gambar **7**. a) test model, b) extraction model, c) deviation rate

Pengujian kedua dilakukan untuk kondisi proses permesinan sebagaimana yang ditunjukan pada Gambar 6a. Pada pengujian ini, dua buah pahat dengan diameter 30 mm digunakan, yaitu pahat tanpa sudut spiral dan pahat dengan sudut spiral 15^{o}. Bentuk tatal untuk satu putaran pahat dihasilkan dari program simulasi disajikan pada Gambar 6b dan Gambar 6c. Pada kasus ini, pahat berada pada tiga bagian benda kerja (bagian A, bagian B, dan bagian C). Namun hanya dua bagian benda kerja (bagian B dan bagian C) yang bersinggungan dengan sisi potong pahat. Pahat berada di atas bagian A sehingga tidak ada persinggungan antara sisi potong pahat dan bagian A. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6d dimana tidak ada persinggungan pada awal putaran pahat. Kondisi ini merupakan kasus sebagaimana diilustrasikan pada **Error! Reference source not found.**g. Sekali lagi, pengujian ini menunjukan bahwa pahat dengan sudut spiral cenderung menghasilkan tatal yang lebih panjang.

Walaupun geometri tatap yang diperoleh menggunakan program simulasi menunjukan hasil yang sama dengan geometri tatal yang diekstrak menggunakan Siemens-NX, namun akurasi metode yang dikembangkan perlu untuk divalidasi. Pengecekan akurasi dilakukan dengan cara mengukur panjang tatal menggunakan Siemens-NX dan selanjutnya dibandingkan dengan panjang tatal yang dihitung menggunakan program simulasi. Untuk melakukan pengujian akurasi tersebut, bentuk pahat dimodifikasi sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 7a.

Bentuk alur pada bagian depan pahat dimaksudkan agar mudah untuk mengidentifikasi panjang tatal pada sudut persinggungan tertentu. Ketika geometri tatal diekstraksi seperti yang ditunjukan pada Gambar 7b, panjang tatal untuk setiap alur dapat diukur. Validasi telah dilakukan untuk setiap dua derajat sudut persinggungan dan hasilnya disajikan pada Gambar 7c. Dari grafik pada Gambar 7c terlihat bahwa panjang tatal yang diperoleh menggunakan metode yang dikembangkan dan panjang tatal yang diukur menggunakan Siemens-NX memiliki perbedaan yang kecil, atau kurang dair 1%. Oleh karena itu maka dapat diambil kesimpulan bahwa metode yang dikembangkan akurat.

Status Luaran berisi status tercapainya luaran wajib yang dijanjikan dan luaran tambahan (jika ada). Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran dengan bukti tersebut di bagian Lampiran

C. STATUS LUARAN

Luaran wajib: 1artikel pada Jurnal Internasional bereputasi

Judul Paper : Analytical Method For Calculating Scallop Height Of Helical Toroidal Cutter In Five Axis Milling

Jurnal : Songklanakarin Journal of Science and Technology

Status : In Press

Link artikel : http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/Ar-Press/2018Nov/32.pdf

Luaran tambahan: 1 artikel pada Seminar Internasional

Judul Paper : Analytical cut geometry calculation for multi-pass rough milling of a free-form surface machining

Conference : Broad Exposure to Science and Technology 2019 (BEST 2019)

Status : Presented dan masuk dalam Selected to be published in Journal of Mechanical Engineering And Sciences (JMES)

Peran Mitra (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PDUPT serta KRUPT) berisi uraian realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra, baik *in-kind* dan *in-cash*.

D. PERAN MITRA

…

Kendala Pelaksanaan Penelitian berisi kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan

E. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN

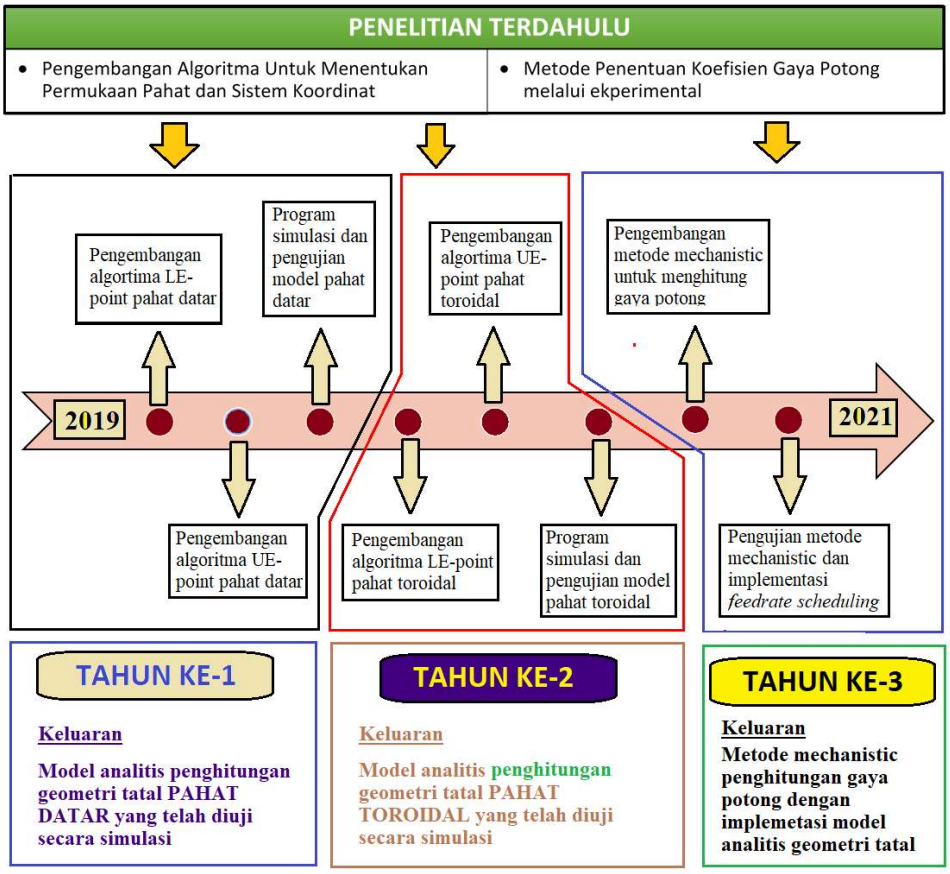
Sejauh ini belum ada kendala yang berarti dalam menjalankan penelitian

Rencana Tahapan Selanjutnya berisi tentang rencana penyelesaian penelitian dan rencana untuk mencapai luaran yang dijanjikan

F. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA

Pengembangan Algoritma Matematika

Peneltian ini dimaksudkan untuk mengembangkan model matematika agar parameter permesinan yang optimal pada proses permesinan lima sumbu dapat diperoleh. Algoritma matematika untuk menghitung geometri tatal dikembangkan dari kombinasi persamaan parametrik geometri pahat solid dan data lintasan pahat yang diperoleh dari software Siemen-NX. Algoritma matematika yang dikembangkan dirancang untuk dua jenis pahat, yaitu pahat solid datar dan pahat solid toroidal. Pada Tahun kedua akan dikembangkan model matematika untuk Pahat Toroidal. Secara geometri pahat toroidal jauh lebih kompleks dibanding pahat datar.



Gambar 3 Tahapan Penelitian

2. Pengembangan Program Simulasi

Algoritma matematika yang disusun selanjutnya akan digunakan untuk membuat program simulasi komputer yang dikembangkan menggunakan Software Matlab. Bentuk material awal dan data lintasan pahat diperoleh menggunakan software Siemens NX. Program simulasi melakukan perhitungan geometri tatal berdasarkan input berupa bentuk dan ukuran pahat, lintasan pahat, dan parameter permesinan lainnya seperti laju pemakanan dan kecepatan potong. Program simulasi yang dibangun selain tidak hanya dapat menghitung geometri tatal pada setiap posisi pahat, namun juga dapat menampilkan visualisasi bentuk geometri tatal.

3. Validasi Model

Untuk memastikan bahwa model matematika dan program simulasi yang dikembangkan akurat maka perlu dilakukan validasi. Oleh karena itu maka data yang dihasilkan selanjutnya diverifikasi menggunakan dua model validasi, yang pertama adalah menggunakan Siemens-NX, dan yang kedua adalah melalui uji laboratorium menggunakan mesin milling lima sumbu. Validasi akan dilaksanakan menggunakan pahat solid datar dan pahat solid toroidal dengan beberapa ukuran diameter. Selain itu, kemampuanterapan metode yang dikembangkan juga akan diuji untuk menghitung gaya potong. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa gaya potong yang dihasilkan dari program simulasi sesuai dengan gaya potong yang dihasilkan oleh ekperimental. Gaya potong akan diukur menggunakan alat pengukur gaya potong yaitu Dynamometer Kystler.

Daftar Pustaka disusun dan ditulis berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

G. DAFTAR PUSTAKA

1. Lee, A. C., Lin, M. T., Pan, Y. R., & Lin, W. Y. (2011). The feedrate scheduling of NURBS interpolator for CNC machine tools. *Computer-Aided Design*, *43*(6), 612-628.

2 Erdim, H., & Lazoglu, I. (2012). Offline force control and feedrate scheduling for complex free form surfaces in 5-axis milling. *Procedia CIRP*, *1*, 96-101.

3 Liu, M., Huang, Y., Yin, L., Guo, J., Shao, X., & Zhang, G. (2014). Development and implementation of a NURBS interpolator with smooth feedrate scheduling for CNC machine tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *87*, 1-15.

4 Sun, Y., Zhao, Y., Xu, J., & Guo, D. (2014). The feedrate scheduling of parametric interpolator with geometry, process and drive constraints for multi-axis CNC machine tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *85*, 49-57.

5 Liang, Y., Ren, J., Zhang, D., Li, X., & Zhou, J. (2015). Mechanics-based feedrate scheduling for multi-axis plunge milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *79*(1-4), 123-133.

6 Huang, J., & Zhu, L. M. (2017). Feedrate scheduling for interpolation of parametric tool path using the sine series representation of jerk profile. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, *231*(13), 2359-2371.

7 Han, Z., Jin, H., Fu, Y., & Fu, H. (2017). Cutting deflection control of the blade based on real-time feedrate scheduling in open modular architecture CNC system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *90*(9-12), 2567-2579.

8 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.

9 Hendriko, O., 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. In Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems (pp. 705-716). Springer, Heidelberg.

10 Kiswanto, G.; Hendriko, H.; Duc, E. (2015) A hybrid analytical and discrete based methodology for determining cutter workpiece engagement in five axis milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(9): 2083–2096.

11 Hendriko, Duc, E., & Kiswanto, G. (2013, June). Analytical Cut Geometry Prediction for Free Form Surface During Semi-Finish Milling. In *ASME 2013 International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the 41st North American Manufacturing Research Conference* (pp. V001T01A024-V001T01A024). American Society of Mechanical Engineers.

12 Kiswanto, G.; Hendriko, H.; Duc, E. (2014) Analytical method for obtaining cut geometry of helical toroidal cutter during semi-finish in 5-axis milling.*AppliedMechanics andMaterials*,541: 780–784.

13 Hendriko (2015) "Mathematical model for chip geometry calculation in five-axis milling." *Jurnal Teknologi* 77.23: 107-112.

14. Hendriko, H., Akhyan, A., Kiswanto, G., & Duc, E. (2017). 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.

15 Hendriko, H. (2016). An Implementation of Analytical Boundary Simulation on Feedrate Scheduling during Semi-Finish Milling. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 851, pp. 211-215). Trans Tech Publications.

16 Hendriko, H., Kiswanto, G., Istiyanto, J., & Duc, E. (2018). Implementation of analytical boundary simulation method for cutting force prediction model in five-axis milling. *Machining Science and Technology*, *22*(1), 163-179.

17 Hendriko, H. (2017, October). Effect of helical angle on path scallop calculation of flat-end cutter in multi axis milling. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1891, No. 1, p. 020052). AIP Publishing.

18 Hendriko, H. (2017). Analytical Boundary Method for Obtaining Feed Scallop of Toroidal Cutter in Multi-Axis Milling. *Key Engineering Materials*, *728*.

19 Hendriko, H. (2017). Path scallop calculation during free-form surface machining with flat-end cutter in five-axis milling. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*, (apetc).

20 El-Mounayri H, Spence AD, ElbestawiMA (1998) Milling process simulation—a generic solid modeller based paradigm. J Manuf Sci Eng 120(2):213–221

21 Ko JH, Yun WS, Cho D W, Ehmann KF (2002) Development of a virtual machining system, part 1: approximation of the size effect for cutting force prediction. International Journal of Machine Tools and Manufacture42(15), 1595–1605.

22 Yun WS, Ko JH, Cho DW, Ehmann KF (2002) Development of a virtual machining system, part 2: prediction and analysis of a machined surface error. Int J Mach Tools Manuf 42(15):1607–1615

23 Merdol SD, Altintas Y (2008) Virtual cutting and optimization ofthree axis milling processes. Int J Mach Tool Manuf 48(10):1063–1071

24 Kurt, M., & Bagci, E. (2011). Feedrate optimisation/scheduling on sculptured surface machining: a comprehensive review, applications and future directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *55*(9-12), 1037-1067.

25 Cheng, Y., Xiong, C., Ye, T., & Cheng, H. (2011, December). Five-axis milling simulation based on B-rep model. In *International Conference on Intelligent Robotics and Applications* (pp. 22-32). Springer, Berlin, Heidelberg.

26 Merdol, S.D.; Altintas, Y. (2008) Virtual cutting optimization of three-axis milling processes.*International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48: 1063–1071

27 Lazoglu, I.; Boz, Y.; Erdim, H. (2011) Five-axismilling mechanics for complex free formsurfaces. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60(1): 117–120

28 Zhang, X.; Yu, T.; Wang, W. (2014) Modeling, simulation, and optimization of five-axis milling processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74(9–12): 1611–1624.

29 Aras, E., & Yip-Hoi, D. (2008). Geometric modeling of cutter/workpiece engagements in three-axis milling using polyhedral representations. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, *8*(3), 031007.

30 Boz, Y., Erdim, H., Lazoglu, I. (2011). Modeling cutting forces for five axis milling of sculptured surfaces. *J. Advanced Materials Research*, 223, 701-712.

31 Shao, Z., Guo, R., Li, J., & Peng, J. (2011). Accurate Modeling Method for Generalized Tool Swept Volume in 5-axis NC Machining Simulation. *JSW*, *6*(10), 2056-2063.

32 Budak, E.; Ozturk, E.; Tunc, L.T. (2009) Modeling and simulation of 5-axis milling processes.*CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(1): 347–350

33 Tunc, L.T.; Budak, E. (2009) Extraction of 5 axis milling conditions from CAM data for process simulation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 535–550.

Lampiran berisi bukti pendukung luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) sesuai dengan target capaian yang dijanjikan

H. LAMPIRAN

1. Acdeptance Email dari Songklanakarin Journal of Science and Technology

Status : In Press

Link artikel : http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/Ar-Press/2018Nov/32.pdf

9/26/2019 Politeknik Caltex Riau Mail - Songklanakarin Journal of Science and Technology - Decision on Manuscript ID SJST-2017-0501.R1

Politeknik Caltex Riau

hendriko . <hendriko@pcr.ac.id>

Songklanakarin Journal of Science and Technology - Decision on Manuscript ID SJST-2017-0501.R1

1 message

Songklanakarin Journal of Science and Technology <onbehalfof@manuscriptcentral.com>
Reply-To: proespichaya.k@psu.ac.th
To: hendriko@pcr.ac.id, h3ndriko@gmail.com

Tue, Sept 24, 2019 at 11:11 AM

24-Sept-2019

Dear Dr. hendriko:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "ANALYTICAL METHOD FOR CALCULATING SCALLOP HEIGHT OF HELICAL TOROIDAL CUTTER IN FIVE-AXIS MILLING" in its current form for publication in the Songklanakarin Journal of Science and Technology. The comments of the reviewer(s) who reviewed your manuscript are included at the foot of this letter.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the Songklanakarin Journal of Science and Technology, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,
Assoc. Prof. Dr. Proespichaya Kanatharana
Editor in Chief, Songklanakarin Journal of Science and Technology
proespichaya.k@psu.ac.th

Reviewer(s)' Comments to Author:

Reviewer: 1

Comments to the Author
it is a very good article.

Associate Editor
Comments to the Author:
(There are no comments.)

2. Artikel pada Seminar Internasional

Status : Artikel sudah dipresentasikan BEST 2019

Artikel masuk salah satu selested paper untuk dipublikasikan di Journal of Mechanical Engineering And Sciences (JMES)

Politeknik Caltex Riau

hendriko . <hendriko@pcr.ac.id>

Acceptance of selected paper to JMES

BEST 2019 <best2019@untirta.ac.id> Mon, Sep 2, 2019 at 11:15 AM
To: jamila.rahmoun@uphf.fr, Bambang Iskandriawan <iskandriawan100@gmail.com>, hendriko <hendriko@pcr.ac.id>, Husaini Husaini <husainiftm@unsyiah.ac.id>, nsinaga.ccfed@yahoo.com, Teuku Edisah Putra <edi@unsyiah.ac.id>, Syaiful Laila <syaiful.undip2011@gmail.com>, I WAYAN WIDHIADA <wynwidhiada@unud.ac.id>, n4wati@untirta.ac.id, y_martiningsih@untirta.ac.id, brario.anindito@gmail.com, mohammadeffendy@unesa.ac.id, soelarso@untirta.ac.id, dhiyaul.ihsanti@gmail.com, Muhammad Rifai <iamrifai@yahoo.com>

Dear Participants

We are pleased to inform you that your manuscripts based on your submitted in BEST-2019 **is selected to submit in Journal Mechanical Engineering & Science, JMES** (SCOPUS, Q2).

All information about JMES you can find, directly to (https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100398858&tip=sid&clean=0).

Because of an open access journal, there is an additional charge for the submission (Rp. 1.500.000). The Committee now needs to have confirmation from you 1 x 24h by replying to this email. As a consequence, your submission in IOP will be retracted.

If you agree, you will be able to submit your manuscript to us by September, 8th 2019.

For your consideration, all the papers must obey the following:

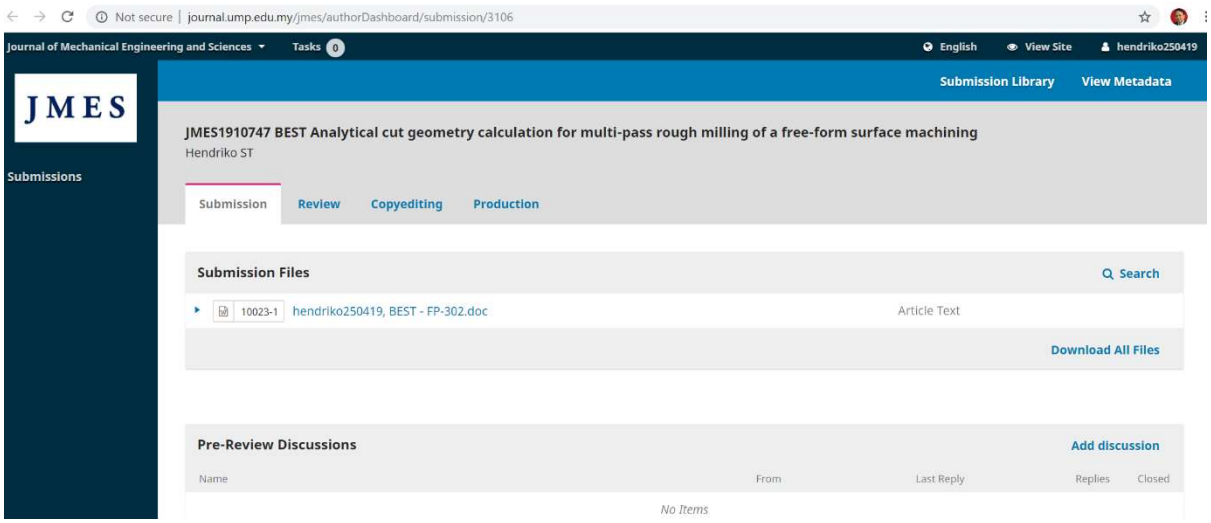
1. Full length paper must not be published in any conference proceedings or elsewhere.
2. All papers will be further review by JMES reviewers. Author needs to improve their paper based on reviewer comments. The paper will not be published if reviewer comments not adhered by the author.
3. References much be good quality (60% with the last 5 years) and up to date (Referencing should be using Endnote or Mendeley).
4. Length of the formatted manuscripts not less than 11 pages.
5. The manuscript should follow the latest JMES manuscript template (attached)
6. The published volume will be depending on JMES editors.
7. Conference organizer will send all manuscripts to us, we are selecting papers for further reviewing.
8. Similarity index should be less than 15%. Paper with higher similarity index will be rejected.

Thank you very much for your attention. We are looking forward to hearing from you.

With Warmest Regards

Dr. Endarto WARDHONO

JMES_template 2018.doc
1108K


Not secure | journal.ump.edu.my/jmes/authorDashboard/submission/3106
Journal of Mechanical Engineering and Sciences
Tasks 0
English
View Site
hendriko250419
JMES
Submissions
Submission Library
View Metadata
JMES1910747 BEST Analytical cut geometry calculation for multi-pass rough milling of a free-form surface machining
Hendriko ST
Submission
Review
Copyediting
Production
Submission Files
Search
10023-1
hendriko250419, BEST - FP-302.doc
Article Text
Download All Files
Pre-Review Discussions
Add discussion
Name
From
Last Reply
Replies
Closed
No Items