

LAPORAN TAHUNAN PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL



Judul : **Rancang Bangun Sistem Pahat Putar Modular
(*Modular Rotary Tool System*) Untuk Pemesinan
Material Alat Kesehatan Ortopedik (*Titanium Alloy*)**

Tahun **kesatu** dari rencana **tiga** tahun

Ketua : Dr. Eng. Suryadiwansa Harun (NIDN. 0001057002)

Anggota : 1. Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin (NIDN. 0006056402)
2. Dr. Gusri Akhyar Ibrahim (NIDN. 0017087103)

Dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian Strategis Nasional Nomor : 582/UN26/8/PL/2013

Lembaga Penelitian
Universitas Lampung
Nopember 2013

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Rancang Bangun Sistem Pahat Putar Modular (*Modular Rotary Tool System*)
Untuk Pemesinan Material Alat Kesehatan Ortopedik (Titanium Alloy)

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : Dr.Eng. Suryadiwansa Harun
NIDN : 197005012000031001
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Mesin
Nomor HP : 082181019857
Alamat surel (e-mail) : suryadiwansa.harun@eng.unila.ac.id

Anggota (1)

Nama Lengkap : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin
NIDN : 0006056402
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Anggota (2)

Nama Lengkap : Dr. Gusri Akhyar Ibrahim
NIDN : 0017087103
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Tahun Pelaksanaan : Tahun kesatu dari rencana 3 (tiga) tahun

Biaya Tahun Berjalan : Rp. 86.000.000

Biaya Keseluruhan : Rp. 253.250.000

Bandar Lampung, 29 Nopember 2013



Ketua

Dr. Eng. Suryadiwansa Harun
NIP. 197005012000031001

Menyetujui,
Ketua Lembaga penelitian
Unjersitas Lampung



RINGKASAN

Saat ini negara kita masih sangat tergantung terhadap produk alat kesehatan asal impor, dimana salah satunya adalah peralatan kesehatan ortopedik (*orthopedic*) implan. Peralatan kesehatan ortopedik umumnya terbuat dari material titanium dan paduannya, karena material ini mempunyai karakteristik tahan terhadap korosi bila bereaksi dengan cairan dan jaringan tubuh sehingga tidak menghasilkan sel logam beracun atau unsur-unsur yang memicu alergi pada tubuh manusia oleh karena itu logam ini dapat diterima oleh tubuh (*bio-compatible*). Selain itu material ini mempunyai kekuatannya tinggi serta massanya yang ringan oleh sebab itu sangat sesuai untuk menggantikan peralatan kesehatan orthopedik yang terbuat dari baja (*steel*) yang mempunyai kekuatan yang lebih rendah dan bobot yang berat yang membebani tulang. Akan tetapi, titanium dan paduannya juga dikenal sebagai material yang mempunyai sifat ketermesinan yang rendah (*low machineability*) atau sulit dimesin. Selama ini pembuatan peralatan kesehatan ortopedik dilakukan dengan pemesinan dengan *Electron Discharge Machine* (EDM) dan pahat Diamond yang mahal. Untuk menjawab kesulitan dan mahalnya pemesinan alat kesehatan ortopedik bermaterial titanium, maka pada penelitian ini diterapkan suatu metode pemesinan baru yaitu dengan penerapan sistem pahat putar modular.

Pada penelitian tahun pertama (2013) diperoleh suatu model pemesinan bubut dengan pahat berputar berdasarkan metode FEM. Model ini sudah diaplikasikan dalam pengujian secara simulasi ketermesinan (*machineability*) material Titanium Ortopedik (Ti-6Al-4V ELI) dan AISI 1045 dalam aspek gaya dan suhu pemotongan. Hasil simulasi sudah divalidasi dengan pengujian secara eksperimen dimana hasilnya menunjukkan hasil yang relatif sesuai dengan hasil pengujian eksperimen dan perbedaan nilai (*prosentase error*) antara hasil pengujian simulasi dengan eksperimen relatif kecil yaitu secara umum $\pm 10\%$. Oleh karena itu model simulasi ini dapat digunakan untuk pengujian atau optimasi parameter pemesinan material titanium ortopedik dengan sistem pahat putar dalam rangka rancang bangun peralatan sistem pahat putar modular.

Luaran penelitian tahun pertama ini adalah publikasi pada Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII) Sesi Internasional Paper, tanggal 23-24 Oktober 2013, dengan judul paper adalah *The Experimental Investigation of Cutting Forces and Chip Formation on Turning with Actively Driven Rotary Tool*, sedangkan luaran utama penelitian tahun pertama ini selesai adalah **jurnal internasional**. Untuk tahun selanjutnya adalah **purwarupa** (*prototype*) sistem pahat putar modular yang dapat **dipatenkan** dan digunakan oleh industri manufaktur logam dalam negeri untuk memproduksi peralatan kesehatan ortopedik bermaterial titanium alloy sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap produk impor peralatan tersebut.

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penelitian dan laporan kemajuan penelitian hibah strategis nasional mengenai Rancang Bangun Sistem Pahat Putar Modular (*Modular Rotary Tool System*) Untuk Pemesinan Material Alat Kesehatan Ortopedik (*Titanium Alloy*) ini dapat terlaksana dan tersusun. Penelitian ini merupakan rintisan bagi pengembangan sistem pemesinan turning dengan pahat berputar untuk aplikasi pemotongan *difficult to cut material* yang sangat sulit untuk dipotong tapi aplikasinya banyak dijumpai dalam dunia keteknikan maupun medis. Pemesinan jenis material ini merupakan suatu tantangan untuk diatasi karena aplikasinya sangat berguna diberbagai bidang misalnya bidang kesehatan ortopedik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memenuhi standard penelitian baik dari segi metodologi maupun mekanismenya, sehingga dapat dimanfaatkan dimanfaatkan oleh industri manufaktur logam dalam memproduksi peralatan kesehatan ortopedik bermaterial *titanium alloy*. Juga dengan kemandirian memproduksi peralatan kesehatan ortopedik bermaterial *titanium alloy* maka pemerintah dapat mengurangi devisa akibat pengurangan impor peralatan kesehatan ortopedik. Tidak lupa terima kasih kepada Direktorat Litabmas DIKTI yang telah mendanai penelitian ini sehingga penelitian ini terlaksana. Juga terima kasih kepada Prof. Toshiroh Shibasaka dari Lab. Computer Integrated Manufacturing Kobe University, Japan atas ijinnya melakukan pengambilan beberapa data eksperimen dalam penelitian ini.

Bandar Lampung, 29 Nopember 2013

Peneliti

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	1
RINGKASAN	2
PRAKATA	3
DAFTAR TABEL	5
DAFTAR GAMBAR	6
DAFTAR LAMPIRAN	7
BAB I. PENDAHULUAN	8
1.1. Latar Belakang	8
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Titanium Sebagai Material Peralatan Kesehatan Implant	10
2.2. Pemesinan Peralatan Kesehatan Ortopedik Bermaterial Titanium	11
2.3. Pemesinan dengan Sistem Pahat Berputar (<i>Rotary Tool System</i>)	12
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	15
BAB VI. METODE PENELITIAN	16
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
4.2 Tahapan Penelitian	16
4.3 Keluaran Penelitian	19
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
5.1 Pembuatan model 3D Pemesinan Turning dengan Pahat Berputar dengan Finite Element Method (FEM)	20
5.2 Simulasi Pemesinan Turning dengan Pahat Berputar	26
5.3 Verifikasi Hasil Simulasi Pemesinan Turning dengan Pahat Berputar	32
5.4 Simulasi Pemesinan Turning dengan Pahat Berputar untuk Material Titanium Ortopedik	42
BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	46
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	51
1. Personalia Tenaga Peneliti dan Kualifikasinya	
2. Publikasi Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII) Sesi Internasional Paper, tanggal 23-24 Oktober 2013, dengan judul paper adalah The Experimental Investigation of Cutting Forces and Chip Formation on Turning with Actively Driven Rotary	
3. Draft Publikasi Jurnal Internasional pada Journal of Material Processing Technology, Scopus Index	

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1	Parameter pemesinan yang dilibatkan dalam proses simulasi	25
Tabel 2	Parameter Jenis dan Geometri Material yang terlibat dalam proses simulasi	26
Tabel 3	Sifat mekanik dan termal serta kondisi batas dalam proses simulasi	26
Tabel 4	Pengujian kecepatan putar pahat terhadap suhu pemesinan (Kondisi pemesinan: $V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)	30
Tabel 5	Pengujian kecepatan putar pahat terhadap gaya potong utama (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)	30
Tabel 6	Kondisi Pemotongan	32
Tabel 7	Pengujian experimental pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemesinan (Kondisi pemesinan: $V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)	36
Tabel 8	Pengujian experimental pengaruh kecepatan putar pahat terhadap gaya potong (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)	37
Tabel 9	Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen pengujian pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemesinan (Kondisi pemesinan: $V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)	37
Tabel 10	Pengujian kecepatan putar pahat terhadap gaya potong utama (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)	38

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1	Ilustrasi pemanfaatan <i>devices</i> ortopedik titanium dalam bidang kesehatan	8
Gambar 2	Manfaat Material Titanium untuk Peralatan Medis (Sumber: http://www.supraalloys.com/medical-titanium.php)	11
Gambar 3	Ilustrasi pemesinan EDM jenis elektroda [Source: MTD Micro Molding]	12
Gambar 4	Ilustrasi proses pemesinan bubut dengan pahat berputar	12
Gambar 5	Aliran panas selama proses pemesinan bubut dengan pahat berputar [Harun, 2009]	13
Gambar 6	Diagram Alir Penelitian Tahun I	18
Gambar 7	Pemesinan aktual turning dengan pahat berputar	20
Gambar 8	Model Pahat Potong dan Benda Kerja.	21
Gambar 9.	Pemodelan kinematik pahat berputar (sudut inklinasi $i=0$ dan sudut offset $\theta=0$).	23
Gambar 10	Tetrahedral mesh dari pahat dan benda kerja	24
Gambar 11	Kondisi batas pemodelan pemesinan turning dengan pahat berputar berdasarkan FEM	25
Gambar 12	Deformasi pembentukan geram (<i>chip</i>) dari awal terbentuknya sampai kondisi <i>steady</i>	27
Gambar 13	Ilustrasi <i>self cooling</i> dari pemesinan turning dengan pahat berputar	28
Gambar 14	Daerah distribusi panas	29
Gambar 15	Contoh gaya pemotongan selama simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar	29
Gambar 16	Set-up eksperimen pemesinan turning dengan pahat berputar	32
Gambar 17	Pengukuran gaya pemesinan	33
Gambar 18	Skema pengukuran suhu pemotongan dalam penelitian ini	34
Gambar 19	Luaran pengukuran sinyal gaya dan suhu	35
Gambar 20	Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen, (a) suhu <i>interface work-tool</i> (b) gaya potong utama.	38
Gambar 21	Pengaruh kecepatan potong pahat terhadap suhu pemotongan	39
Gambar 22	Prosentase error pengujian simulasi dan eksperimen	40
Gambar 23	Contoh hasil simulasi pemesinan turning untuk material titanium ortopedik (Ti-6Al-4V ELI) dengan menggunakan pahat berputar	43
Gambar 24	Hasil simulasi pengujian pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemotongan rata-rata	44
Gambar 25	Hasil simulasi pengujian pengaruh kecepatan potong terhadap suhu pemotongan rata-rata	44
Gambar 26	Ilustrasi Sistem Pahat Putar Modular	47

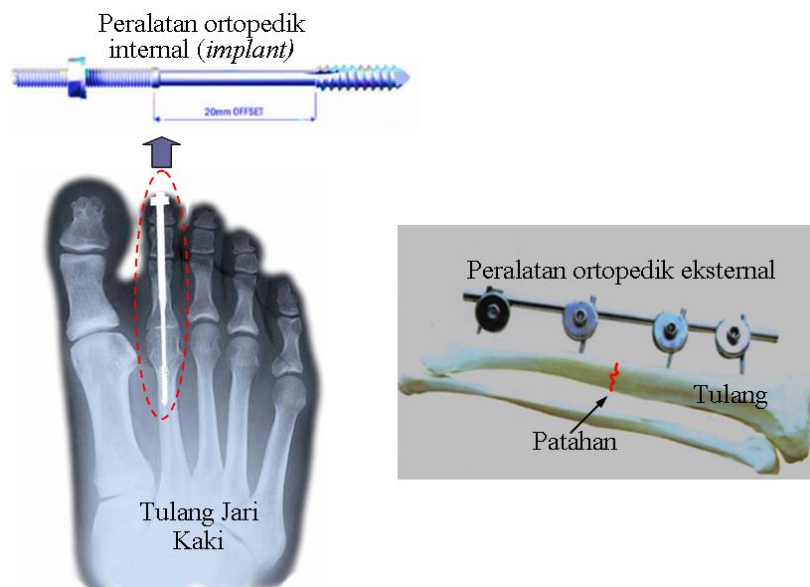
DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Personalia Tenaga Peneliti dan Kualifikasinya
- Lampiran 2 Internasional Paper pada Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII) Tahun 2013
- Lampiran 3 Draft Publikasi Jurnal Internasional pada *Journal of Material Processing Technology, Scopus Index*

BAB I.PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini negara kita masih sangat tergantung terhadap produk peralatan kesehatan asal impor. Data Kementerian Perdagangan Nasional Republik Indonesia menunjukkan bahwa nilai perdagangan peralatan kesehatan rata-rata 5 (lima) trilyun rupiah setiap tahun, dimana nilai perdagangan itu didominasi oleh perdagangan produk impor, dimana 80% dari nilai perdagangan itu berasal dari perdagangan produk impor [Kementerian Perdagangan, 2008] [1]. Salah satu peralatan kesehatan yang masih tergantung terhadap produk asal impor adalah peralatan ortopedik (*orthopaedic*). Peralatan kesehatan ortopedik biasanya ditanam (*implant*) dalam tubuh pasien yang berfungsi untuk menggantikan sendi akibat cacat bawaan, cedera karena olahraga atau cedera serius karena kecelakaan lalu lintas, dan lainnya. Selain itu, peralatan kesehatan orthopedik juga difungsikan sebagai alat untuk mendukung organ tulang tubuh yang patah.



Gambar 1. Ilustrasi pemanfaatan *devices* ortopedik titanium dalam bidang kesehatan

Peralatan kesehatan ortopedik umumnya terbuat dari material titanium dan paduannya, dimana pemanfaatannya adalah lebih dari 1000 (seribu) ton setiap tahun [sumber:www.titanium.com.sg/TitaniumforMedicalApplication]. Titanium dan paduannya adalah logam yang mempunyai karakteristik tahan terhadap korosi bila bereaksi dengan cairan dan jaringan tubuh sehingga tidak menghasilkan sel logam beracun atau unsur-unsur yang memicu alergi pada tubuh manusia oleh karena itu logam ini dapat diterima oleh tubuh (bio-kompatibel). Serta, tingkat penerimaan titanium dan paduannya dari segi kekuatan (*thoughness*) sebagai material implan adalah ada pada nilai 1,4 – 1,7 dari rasio antara kekuatan tarik dan daya tahan terhadap perambatan retak,

dimana adalah lebih besar dari ratio penerimaan minimum yaitu 1,1. Karakteristik lain yang dipunyai oleh titanium dan paduannya adalah kekuatannya tinggi serta massanya yang ringan oleh sebab itu sangat sesuai untuk menggantikan peralatan kesehatan orthopedik yang terbuat dari baja (*steel*) yang mempunyai kekuatan yang lebih rendah dan bobot yang berat. Bagaimanapun pengurangan berat peralatan orthopedik berdampak positif dalam mengurangi ukuran dan kuantitas tulang (*bone resorbtion*).

Di sisi lain, titanium dan paduannya juga dikenal sebagai material yang mempunyai sifat keternesinan yang rendah (*low machineabilty*) sehingga disebut *difficult to cut material*. Material ini mempunyai sifat afinitas kimia (*chemical affinity*) yang tinggi terhadap hampir semua material pahat potong (*cutting tool*) [Ibrahim, 2009] sehingga menyebabkan timbulnya BUE (*built-up edge*) pada mata pisau (*cutting edge*) pahat potong. Hal ini membuat sudut geser membesar selama proses pemesinan yang menyebabkan daerah kontak antara geram dan permukaan pahat menjadi relatif kecil. Akibatnya terjadi peningkatan panas yang terlokalisasi pada pahat potong. Panas yang dihasilkan ini tidak cepat ditransfer oleh material titanium dan paduannya disebabkan material ini mempunyai sifat penghantar panas yang rendah. Oleh karena itu, suhu panas terkonsentrasi pada mata pisau dan permukaan pahat potong yang menghasilkan keausan pahat yang relatif cepat.

Selama ini, metode pemesinan dengan pelepasan listrik (*electrical discharge machining, EDM*) adalah yang populer digunakan untuk memesis peralatan kesehatan ortopedik bermaterial titanium. Hal ini disebabkan pemesinan dengan EDM tidak dipengaruhi oleh kekerasan material benda kerja sehingga dapat digunakan untuk pemesinan material dan paduannya yang keras dan sulit dipotong. Hanya saja, selama proses pemesinan dengan pelepasan listrik, tetesan kecil tembaga dan seng dari kawat akan menempel pada permukaan material benda kerja. Tembaga dan seng adalah unsur kimia yang tidak bio-kompatibel sehingga harus dilakukan proses lebih lanjut untuk membersihkan unsur logam tersebut pada permukaan material peralatan implant ortopedik, dimana itu membutuhkan biaya tambahan yang mahal. Metode lain yang biasanya digunakan untuk memesis peralatan kesehatan ortopedik bermaterial titanium adalah pemesinan dengan penggunaan pahat bermaterial super-keras (*superhard tool material*) seperti *Polycrystalline Diamond, PCD*. Bagaimanapun harga pahat potong berbasis PCD masih relatif mahal.

Oleh karena itu untuk menjawab permasalahan seperti dijelaskan di atas yaitu kesulitan dan mahalnya pemesinan alat kesehatan ortopedik bermaterial titanium, maka pada penelitian ini menerapkan suatu metode pemesinan baru yaitu dengan penerapan sistem pahat putar [harun, 2008].

BAB II. Tinjauan Pustaka

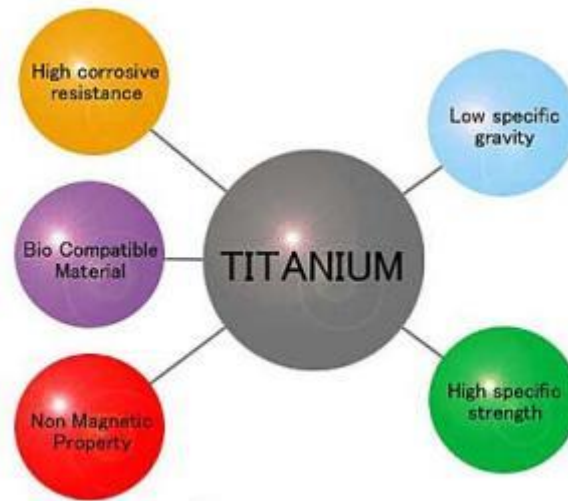
2.1 Titanium Sebagai Material Peralatan Kesehatan *Implant*

Peranan material titanium dan paduannya sangat penting dan berguna di dunia industri saat ini, utamanya dalam industri ruang angkasa, otomotif dan turbin. Karena titanium tahan terhadap korosi, adalah biokompatibel dan memiliki kemampuan bawaan untuk bergabung dengan tulang manusia, maka titanium dan paduannya juga menjadi sangat penting dalam bidang kesehatan. Peralatan kesehatan seperti instrumen bedah bermaterial titanium, batang titanium ortopedi, pin dan pelat, serta gigi titanium telah menjadi bahan dasar yang sangat berguna dalam dunia kedokteran.

Titanium 6AL4V dan 6AL4V ELI, paduannya terbuat dari Aluminium 6% dan 4% Vanadium, adalah jenis material titaanium yang paling umum digunakan dalam dunia kedokteran. Karena faktor harmonisasi dengan tubuh manusia, maka paduan titanium populer digunakan dalam prosedur medis, dan juga tidak membebani tubuh. Selain itu, material ini mempunyai *fracture resistance* yang baik ketika digunakan dalam implan ortopedik atau pun gigi. Berikut ini disarikan beberapa manfaat utama dari titanium medis [<http://www.supraalloys.com/medical-titanium.php>], yaitu:

- Kuat dan Ringan
- Tahan terhadap Korosi
- Tidak bersifat *toxic* dan *ferromagnetic*
- *Biocompatible* dan *Osseointegrated*
- Memungkinkan masa pakainya lama
- Fleksibel dan elastis sehingga cocok ditanam dalam tulang manusia

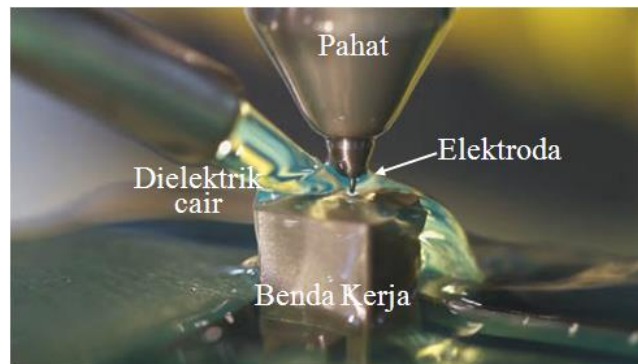
Manfaat utama material titanium dan paduannya adalah bobotnya yang ringan dan tahan terhadap korosi, serta tidak beracun. Oleh karena itu material ini mempunyai kemampuan untuk melawan korosi dari semua cairan tubuh, sehingga tidak heran apabila titanium menjadi logam pilihan dalam bidang kedokteran. Titanium juga sangat tahan lama, dimana kadang batang pin yang ditanam tubuh atau gigi titanium dalam rahang bisa bertahan selama 20 tahun bahkan lebih sehingga lebih ekonomis dibandingkan logam implan lainnya. Manfaat lain dari titanium untuk digunakan dalam pengobatan adalah sifat non-feromagnetik, yaitu memungkinkan pasien dengan implan titanium untuk diperiksa dengan aman dengan MRI dan NMRIs.



Gambar 2. Manfaat Material Titanium untuk Peralatan Medis (Sumber: <http://www.supraalloys.com/medical-titanium.php>)

2.2 Pemesinan Peralatan Kesehatan Ortopedik Bermaterial Titanium

Selama ini, metode pemesinan dengan pelepasan listrik (*electrical discharge machining, EDM*) adalah yang populer digunakan untuk memoles peralatan kesehatan ortopedik bermaterial titanium. Hal ini disebabkan pemesinan dengan EDM tidak dipengaruhi oleh kekerasan material benda kerja sehingga dapat digunakan untuk pemesinan material dan paduannya yang keras dan sulit dipotong. Prinsip kerja pemesinan EDM adalah proses manufaktur dimana bentuk yang diinginkan diperoleh dengan menggunakan lucutan listrik (percikan api). Bagian material yang dihilangkan dari benda kerja melalui serangkaian lucutan listrik secara berulang diantara dua elektroda yang dipisahkan oleh dielektrik cair dan diberi tegangan listrik, lihat gambar 3. Ada dua jenis pahat potong (*cutting tool electrical discharge*) pada pemesinan EDM yang biasa digunakan untuk pembuatan peralatan kesehatan, yaitu berjenis elektroda dan kawat (*wire*). Pemesinan EDM elektroda umumnya dipakai untuk membentuk geometri suatu produk, sedangkan yang lainnya umum digunakan untuk membuat lubang dan memotong permukaan. Hanya saja, ada beberapa keterbatasan dalam penerapan pemesinan EDM. Diantaranya, pemesinan EDM dengan elektroda hanya bisa digunakan untuk membentuk produk dengan bentuk tertentu. Sedangkan pemesinan dengan kawat EDM adalah dibatasi kemampuannya untuk membuat bentuk geometri seperti bentuk permukaan cekung tertentu [Frank, 2008]. Selain itu, penerapan metode pemesinan EDM untuk pembuatan alat kesehatan ortopedik titanium menghadapi permasalahan, yaitu tetesan kecil tembaga dan seng dari elektroda atau kawat akan menempel pada permukaan material benda kerja [Benes, 2006]. Tembaga dan seng adalah unsur kimia yang tidak bio-kompatibel sehingga harus dilakukan proses lebih lanjut untuk membersihkan unsur logam tersebut pada permukaan material peralatan ortopedik implan, dimana itu membutuhkan biaya tambahan yang mahal.

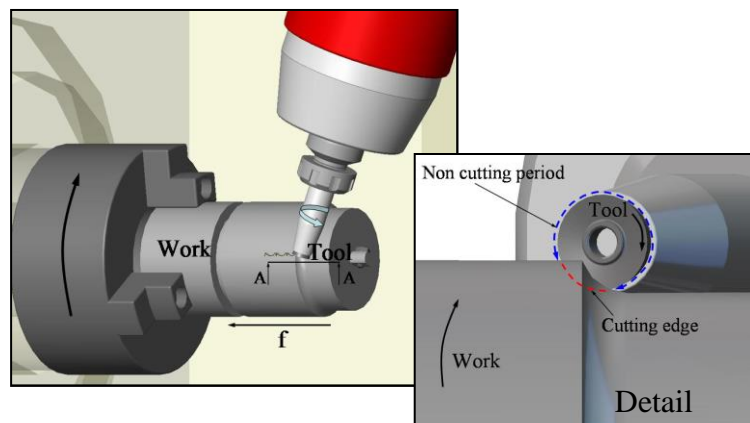


Gambar 3. Ilustrasi pemesinan EDM jenis elektroda [Source: MTD Micro Molding]

Metode lain yang biasanya digunakan untuk memesin peralatan kesehatan ortopedik bermaterial titanium adalah pemesinan CNC dengan penggunaan pahat bermaterial super-keras (*superhard tool material*) seperti *Polycrystalline Diamond*, PCD [Bejjani, 2011]. Bagaimanapun harga pahat potong berbasis PCD masih relatif mahal.

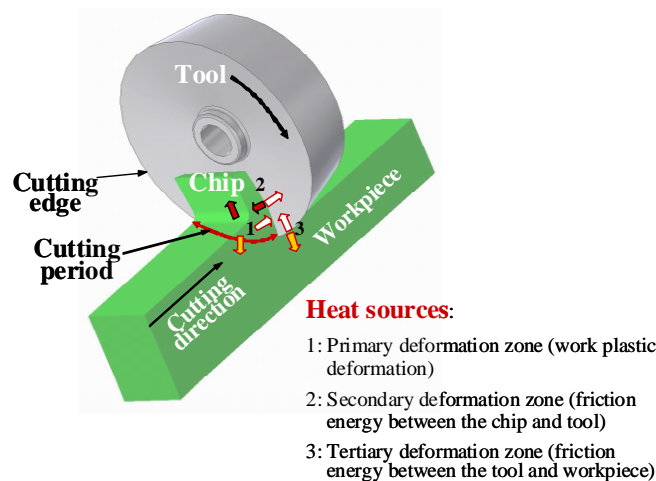
2.3 Pemesinan dengan Sistem Pahat Berputar (*Rotary Tool System*)

Salah satu metode untuk menurunkan suhu pemotongan serta untuk meningkatkan produktivitas pemesinan adalah dengan menggunakan pahat potong berputar dalam proses pemesinan bubut (Harun et al., 2009). Metode pemotongan ini diilustrasikan dalam gambar 4, dimana dengan pahat potong yang berputar maka mata pisau (*cutting edge*) akan didinginkan selama periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) dalam satu putaran pahat potong. Hal ini diharapkan bahwa suhu pahat potong akan menurun dibandingkan dengan proses pemesinan bubut konvensional (pahat potong diam). Selain itu juga diharapkan bahwa proses pemesinan dengan pahat berputar ini dapat digunakan untuk pemotongan kecepatan tinggi (*high speed cutting*) untuk material Magnesium (*Magnesium Alloy*) dan material yang sulit dipotong (*difficult to-cut materials*) seperti paduan Nikel (*Nickel Alloy*), Titanium (*Titanium Alloy*).



Gambar 4. Ilustrasi proses pemesinan bubut dengan pahat berputar

Panas yang dihasilkan akibat deformasi geram selama proses pemesinan bubut dengan pahat berputar berpotensi dihasilkan dari empat sumber panas (*heat source*). Sumber panas ini terdiri atas tiga zone deformasi yang dekat dengan mata pisau pahat (*tool cutting edge*) seperti terlihat pada Gambar 5, dimana biasanya disebut masing-masing dengan zone deformasi utama (*primary*), kedua (*secondary*), dan ketiga (*tertiary*). Selain itu, sumber panas yang lain adalah akibat akumulasi panas pada mata pisau pahat.



Gambar 5. Aliran panas selama proses pemesinan bubut dengan pahat berputar [Harun, 2009]

Pada daerah deformasi plastik (*primary deformation zone*), mata pisau (*cutting edge*) pahat berbentuk lingkaran berputar dan secara kontinyu memotong material benda kerja sehingga menyebabkan terjadinya deformasi plastik material benda kerja menjadi geram (*chip*). Usaha untuk mendeformasi material benda kerja menjadi geram membutuhkan deformasi yang besar dengan laju regangan yang tinggi sehingga menyebabkan timbulnya panas pada daerah deformasi geser. Harun (2008) dalam penelitiannya melakukan eksperimen pengaruh kecepatan putar pahat terhadap gaya potong pada pemesinan bubut material baja S45C dengan pahat berputar. Dari eksperimen tersebut diperoleh hasil yaitu peningkatan kecepatan putar pahat menyebabkan suatu penurunan kecepatan potong sehingga diharapkan dapat memicu reduksi daya geser. Hal ini dapat menyebabkan penurunan energi geser spesifik dan selanjutnya penurunan panas yang dihasilkan selama deformasi geser.

Material yang digeser kemudian terdeformasi menjadi geram selanjutnya mengalir di atas permukaan geram pahat pada daerah deformasi kedua (*secondary deformation zone*). Panas yang timbul dari daerah deformasi kedua adalah dihasilkan akibat deformasi plastik material benda kerja dan energi gesek antara pahat potong dan geram. Oleh karena itu panas yang tinggi biasanya terjadi pada daerah deformasi kedua ini. Panas yang timbul pada daerah deformasi ini dialirkan menuju geram dan pahat potong.

Selanjutnya pada daerah deformasi ketiga (*tertiary deformation zone*), panas yang dihasilkan pada daerah antarmuka (*interfece*) antara pahat dan benda kerja, dimana tepi pahat (*flank tool*) berputar sambil bergerak sepanjang permukaan benda kerja dan menghasilkan panas melalui energi gesek antara pahat dan benda kerja. Suhu yang meningkat akibat panas yang timbul oleh pembentukan permukaan baru benda kerja pada daerah deformasi ketiga adalah dialirkan kedalam benda kerja.

Pada pemesinan bubut dengan pahat berputar, periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) menjadi pendek dengan peningkatan kecepatan putar pahat, hal ini mengartikan bahwa periode pendinginan pahat menjadi pendek. Oleh karena itu pada batas kecepatan tertentu, suhu mata pisau pahat pada ujung periode pendinginan belum cukup dingin ketika masuk kembali kedalam daerah pemotongan sehingga suhu mata pisau pahat terus meningkat akibat akumulasi panas.

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian tahun I ini adalah :

- a. Membuat model 3-dimensi sistem pahat putar (*rotary cutting tool system*) untuk keperluan simulasi.
- b. Melakukan pemodelan dan simulasi pemesinan material paduan titanium dengan sistem pahat putar menggunakan perangkat lunak DEFORM-3D.
- c. Melakukan pengujian keternesinan (*machineability*) material paduan titanium dengan sistem pahat putar terhadap suhu pemotongan dan keausan pahat melalui proses simulasi pemesinan.
- d. Melakukan verifikasi secara ekperimental terhadap hasil pengujian secara simulasi keternesinan (*machineability*) material paduan titanium dengan sistem pahat putar.

Hasil penelitian ini nantinya diharapkan bermanfaat bagi dunia industri manufaktur logam, pemerintah dan perguruan tinggi untuk memecahkan masalah ketergantungan akan produk asal impor, khususnya peralatan kesehatan ortopedik. Lebih rinci manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini dari berbagai sisi:

- a. Sistem pahat putar modular nantinya dapat dimanfaatkan oleh industri manufaktur logam dalam memproduksi peralatan kesehatan ortopedik bermaterial *titanium alloy*.
- b. Hasil penelitian ini dapat berkontribusi dalam pengembangan iptek pemesinan material yang sulit dipotong (*difficult to cut material*) lainnya seperti inconel dan magnesium dimana kecenderungan pemanfaatannya meningkat pada industri *aerospace*, turbin dan otomotif.
- c. Dengan kemandirian memproduksi peralatan kesehatan ortopedik bermaterial *titanium alloy* maka pemerintah dapat mengurangi devisa akibat pengurangan impor peralatan kesehatan ortopedik.
- d. Dengan pemanfaatan paket teknologi sistem pahat putar modular dalam pembuatan alat kesehatan ortopedik bermaterial titanium diharapkan proses produksi peralatan kesehatan tersebut menjadi murah dan menghasilkan kualitas yang setara dengan produk impor. Sehingga produk kesehatan ortopedik ini mempunyai daya saing yang tinggi sehingga berpotensi untuk diekspor yang pada gilirannya akan menambah devisa Negara.

BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tahun pertama ini dilakukan selama 8 (delapan) bulan yaitu dari bulan April 2013 sampai dengan Nopember 2013. Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Produksi dan laboratorium CNC/CAD-CAM Fak. Teknik Universitas Lampung. Selain itu, beberapa data pengujian eksperimen dilakukan di laboratorium Computer Integrated Manufacturing (CIM) Kobe University, Japan.

4.2 Tahapan Penelitian

Pada penelitian tahun pertama (2013) dilakukan pemodelan yang meliputi model geometri dan sifat material pahat dan benda kerja (titanium dan paduannya), serta model kinematik pahat berputar terhadap benda kerja. Model tersebut kemudian dimasukkan dalam perangkat lunak (*software*) FEM DEFORM-3D untuk mensimulasikan ketermesinan material titanium dan paduannya dengan sistem pahat putar (*rotary cutting tool system*). Selanjutnya verifikasi hasil simulasi ketermesinan material titanium dan paduannya dengan sistem pahat putar dilakukan, yaitu dengan memvalidasi hasil pengujian secara simulasi dengan eksperimental melalui perbandingan pengaruh parameter pemesinan terhadap suhu pemotongan dan keausan pahat. Hasil simulasi dinyatakan valid apabila deviasi antara hasil simulasi dan eksperimen kecil (diasumsikan dibawah 10%).

Adapun detail tahapan kegiatan penelitian untuk mencapai sasaran penelitian tahun kesatu diuraikan berikut ini.

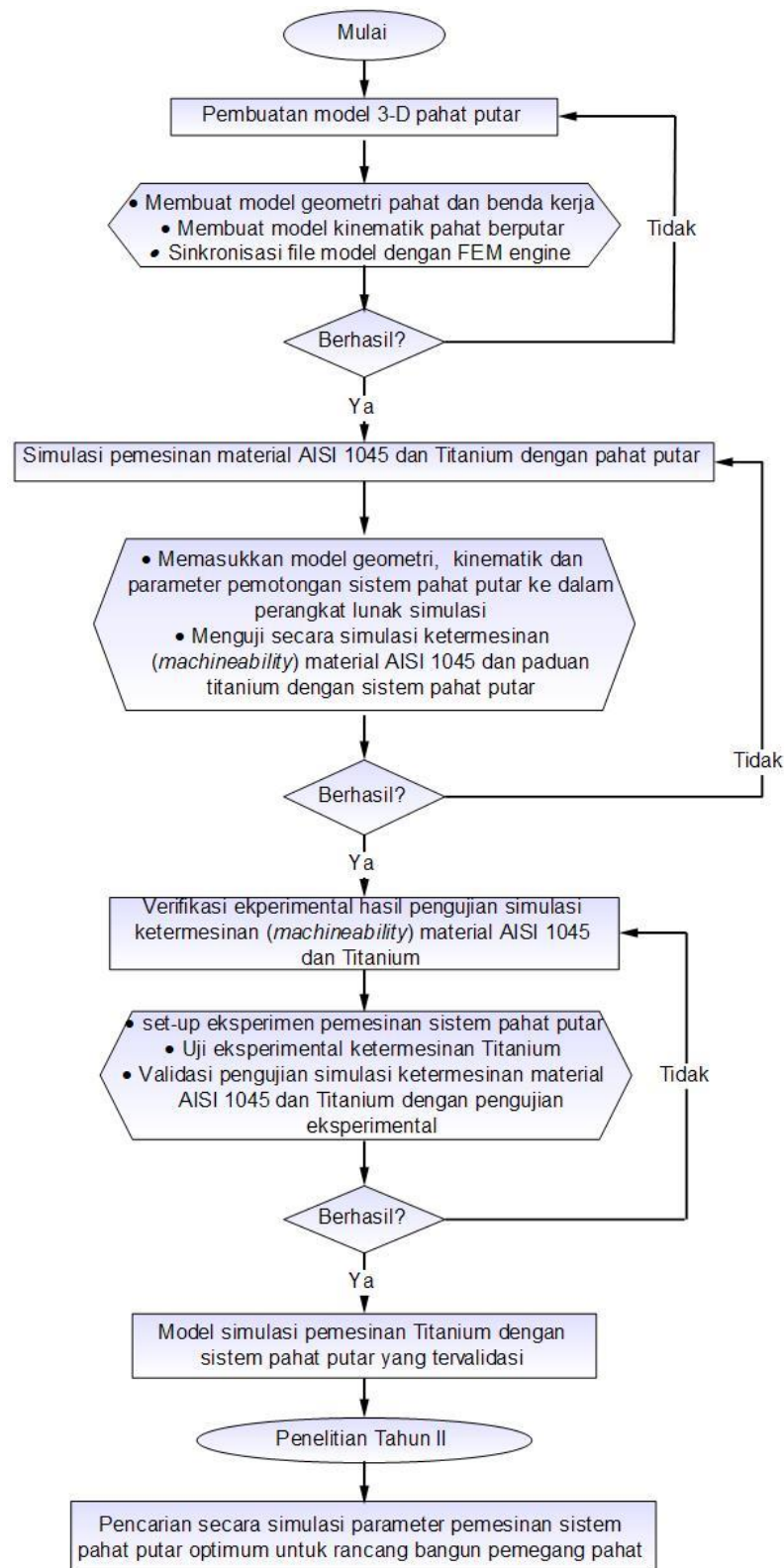
Tahapan Penelitian Tahun I

- a. Pemodelan 3-dimensi (3-D) sistem pahat putar (*rotary cutting tool system*) untuk keperluan simulasi, dengan rincian kegiatan, yaitu:
 - Membuat model geometri pahat dan benda kerja menggunakan *software* solidwork;
 - Membuat model kinematik sistem pahat putar terhadap benda kerja menggunakan *software* SolidMotion;
 - Menyimpan model kinematik ke dalam bentuk file yang bisa dibaca atau dimuat oleh perangkat lunak simulasi elemen hingga DEFORM-3D.

- b. Simulasi pemesinan menggunakan perangkat lunak (DEFORM-3D) untuk melihat ketermesinan (*machineability*) pemotongan material baja AISI 1045 dengan sistem pahat putar. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
 - Memasukkan model kinematik dan geometrik sistem pahat putar ke dalam perangkat lunak simulasi;
 - Memasukkan parameter pemotongan dan sifat material baja AISI dan pahat *round insert tool* ke dalam perangkat lunak simulasi;

- c. Pengujian secara simulasi ketermesinan (*machineability*) material AISI 1045 dengan sistem pahat putar. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
- Melakukan pengujian secara simulasi pengaruh parameter pemesinan meliputi kecepatan putar dan potong terhadap suhu pemotongan dan gaya potong.
- d. Verifikasi secara ekperimental hasil pengujian secara simulasi ketermesinan (*machineability*) material AISI 1045 dengan sistem pahat putar. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah sebagai berikut:
- Melakukan set-up eksperimen pemesinan dengan sistem pahat putar;
 - Melakukan pengujian eksperimental pengaruh parameter pemesinan meliputi kecepatan putar dan potong terhadap suhu pemotongan dan gaya potong.
- e. Simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar menggunakan perangkat lunak (DEFORM-3D) untuk melihat ketermesinan (*machineability*) pemotongan material paduan titanium dengan sistem pahat putar. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
- Memasukkan model kinematik dan geometrik sistem pahat putar ke dalam perangkat lunak simulasi;
 - Memasukkan parameter pemotongan dan sifat material paduan titanium dan pahat *round insert tool* ke dalam perangkat lunak simulasi.
- f. Pengujian secara simulasi ketermesinan (*machineability*) material paduan titanium dengan sistem pahat putar. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
- Melakukan pengujian secara simulasi pengaruh parameter pemesinan meliputi diameter pahat, rasio antara kecepatan putar dan potong, serta sudut potong pahat terhadap suhu pemotongan dan keausan pahat.
- g. Verifikasi secara ekperimental hasil pengujian secara simulasi ketermesinan (*machineability*) material paduan titanium dengan sistem pahat putar. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah sebagai berikut:
- Melakukan set-up eksperimen pemesinan dengan sistem pahat putar;
 - Melakukan pengujian eksperimental pengaruh parameter pemesinan meliputi diameter pahat, rasio antara kecepatan putar dan potong, serta sudut potong pahat terhadap suhu pemotongan dan keausan pahat.

Memvalidasi hasil pengujian simulasi keternesinan material AISI 1045 dan paduan titanium dengan pengujian secara eksperimen melalui perbandingan pengaruh parameter pengujian terhadap suhu pemotongan, gaya potong dan keausan pahat. Hasil simulasi dinyatakan valid apabila deviasi antara hasil simulasi dan eksperimen kecil (diasumsikan $\pm 10\%$).



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian Tahun I

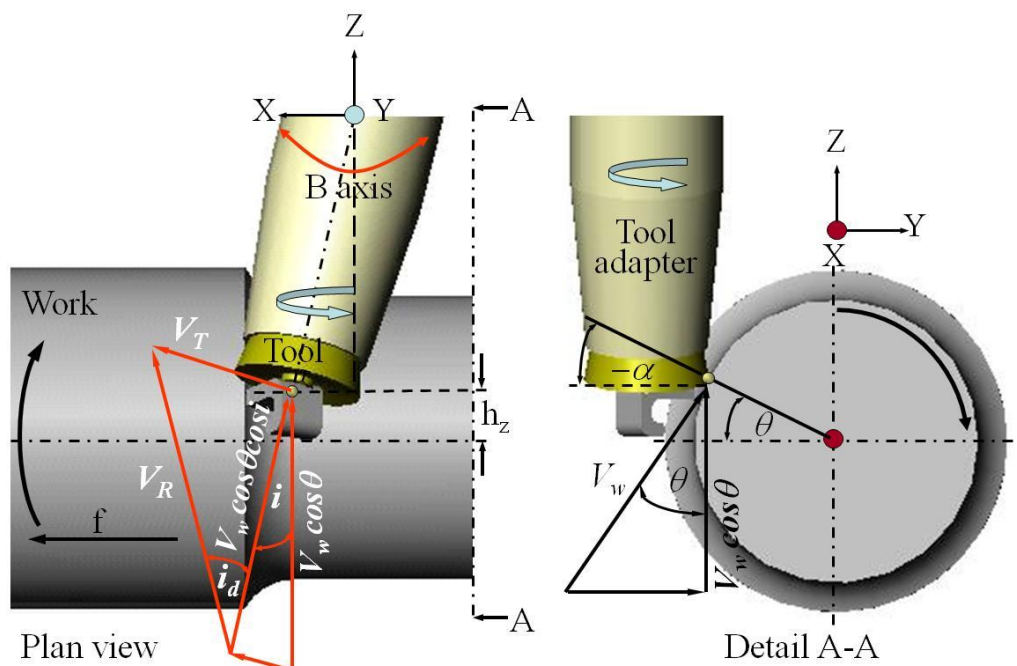
3.3 Keluaran Penelitian Tahun I

Keluaran Penelitian tahun I ditargetkan untuk mendapatkan model dan hasil simulasi pemesinan menggunakan sistem pahat putar. Beberapa hasil penelitian pada tahun I ini telah diseminarkan pada Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII) Sesi Internasional Paper, tanggal 23-24 Oktober 2013, dengan judul paper adalah *The Experimental Investigation of Cutting Forces and Chip Formation on Turning with Actively Driven Rotary Tool* (lebih detail lihat lampiran). Selain itu hasil penelitian tahun kesatu ini juga akan dipublikasikan pada jurnal **“International Journal of Machine Tools & Manufacture atau International Journal of Material Processing”** dengan judul **“An Experimental Investigation of Effects of Tool Rotational Speed on Chip Deformation during Turning with Actively Driven Rotary Tool”** dan **“Modeling and Simulation of Cutting Mechanics of Turning with Driven Rotary Tool”**.

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pembuatan model 3D Pemesinan Turning dengan Pahat Berputar dengan *Finite Element Method* (FEM)

Pemesinan aktual turning dengan pahat berputar dapat dilihat pada gambar 7. Secara geometri, metode pemesinan ini dikarakterisasi oleh beberapa parameter yaitu mata pisau pahat yang berbentuk sirkular (*circular cutting edge*), sudut geram normal (*normal rake angle*) dan *clearance angle*. Selain itu, seperti didefinisikan dalam gambar 7 bahwa posisi relatif antara mata pisau pahat dengan benda kerja (*workpiece*) dimungkinkan ada dua yaitu sudut inklinasi, i (*inclination angle of the tool holder*) dan tinggi offset, h (*offset angle θ*). Secara kinematik, ada tiga gerakan yang terlibat dalam metode pemesinan ini yaitu: (1) Gerak potong, kecepatan potong *workpiece*, V_w , (2) Gerak makan pahat, f (*feed rate of the tool*), dan (3) Kecepatan putaran pahat V_T (*tool rotation speed*), yang mana menyebabkan kecepatan tangensial pahat.



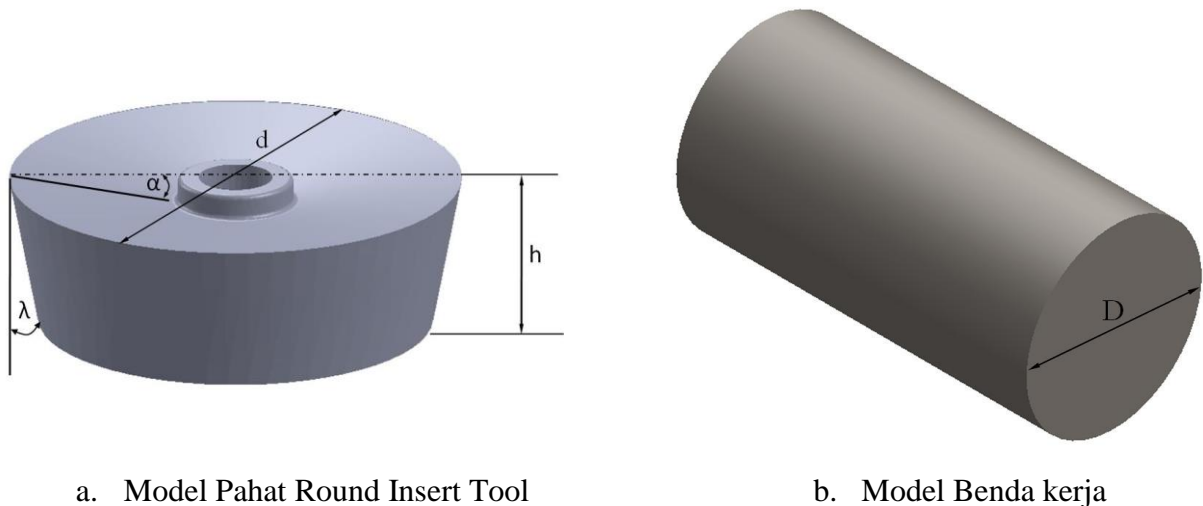
Gambar 7. Pemesinan aktual turning dengan pahat berputar

Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan model 3D pemesinan turning dengan pahat berputar berdasarkan metode FEM.

Model Solid Pahat Potong dan Benda Kerja

Pembuatan model pemesinan ini dengan FEM dimulai dengan penggambaran model solid pahat potong yang berbentuk bulat (*round tool insert*) dan model solid *workpiece*. Penggambaran model pahat ini meliputi geometri pahat yaitu sudut geram, sudut relief, dan diameter pahat. Harus dicatat

bahwa bentuk dan geometri pahat harus sama atau mendekati dengan *round tool insert* sebenarnya. Model solid yang dibuat selanjutnya adalah benda kerja (*workpiece*) yang meliputi bentuk silinder atau *round bar* dan diameternya. Hasil modeling pahat *round insert* dan benda kerja dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Model Pahat Potong dan Benda Kerja.

Pemodelan Material

Setelah pemodelan pahat potong dan benda kerja, selanjutnya dilakukan pemodelan material baik itu untuk pahat *round tool insert* maupun benda kerja. Material pahat potong *round tool insert* yang digunakan dalam penelitian ini adalah WC-Co (*Tungsten Carbide, Uncoated*). Untuk keperluan verifikasi pemesinan turning dengan pahat yang berputar, maka material benda kerja (*workpiece*) yang digunakan ada dua jenis, yaitu (1) AISI 1045 yang digunakan untuk verifikasi awal dalam aspek suhu dan gaya pemotongan, dan (2) material alat kesehatan ortopedik titanium alloy Ti-6Al-4V. Alasan dilakukannya verifikasi awal model pemesinan turning dengan pahat berputar menggunakan material potong AISI 1045 adalah karena harga material ini relatif murah sehingga pengambilan sampel pengujian dalam jumlah yang banyak bukan menjadi masalah secara ekonomis.

Dalam rangka memodelkan material pahat dan benda kerja, ada tiga parameter pemodelan yang harus didefinisikan dalam Perangkat Lunak FEM Deform 3D yang digunakan dalam penelitian ini. Tiga parameter itu meliputi yang pertama adalah sifat mekanis dan fisik material pahat potong *round tool insert* dan benda kerja AISI 1045 serta Titanium Alloy Ti-6Al-4V. Parameter yang kedua adalah model *flow stress materials* yang dalam penelitian ini digunakan model Oxley (*Oxley, 1989*), yang persamaannya didefinisikan sebagai berikut:

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\epsilon}, \dot{\bar{\epsilon}}, T) \quad (1)$$

dimana, $\bar{\sigma}$ adalah *Flow stress*, $\bar{\epsilon}$ adalah *Effective plastic strain*, $\dot{\bar{\epsilon}}$ adalah *Effective strain rate*, dan T adalah *Temperature* atau suhu. Metode ini sangat direkomendasikan untuk model *flow stress* material disebabkan kemampuannya mengikuti sifat material sebenarnya. Dengan metode ini, parameter yang dimasukkan adalah nilai *effective strain*, *effective strain rate* dan suhu (*temperature*).

Dan parameter yang ketiga adalah model *tool-chip interface*. Friksi sepanjang daerah kontak antara pahat dan benda kerja atau tool-work (lihat gambar 5) mempengaruhi pembentukan geram, *built-up edge formation*, suhu pemotongan, dan keausan pahat. Model matematis *tool-work interface* yang digunakan dalam pemodelan FEM ini adalah Model Coulomb Friction yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \tau &= \mu \sigma_n, & \text{jika } \mu \sigma_n < \bar{m} \frac{\sigma_{eq}}{\sqrt{3}} \\ \tau &= \bar{m} \frac{\sigma_{eq}}{\sqrt{3}}, & \text{jika } \mu \sigma_n > \bar{m} \frac{\sigma_{eq}}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (2)$$

dimana, τ adalah tegangan *frictional shear* dan σ_n adalah tegangan normal relatif terhadap permukaan kontak. σ_{eq} adalah *equivalent flow stress*. Sedangkan μ adalah koefisien *friction* dan \bar{m} *shear factor*, dimana itu diasumsikan konstan.

Pemodelan Kinematics Rotary Tool

Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa ada tiga gerakan utama dalam pemesinan turning dengan pahat berputar yaitu kecepatan putar pahat, kecepatan potong dan gerak makan. Hubungan antara kecepatan potong V_w dan kecepatan putar pahat V_T adalah didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tan i_d = \frac{V_T}{V_w \cdot \cos \theta \cdot \cos i} \quad (3)$$

dimana i_d adalah sudut inklinasi (*the incline angle*) yang disebut juga sudut inklinasi dinamik dimana adalah resultan vektor dari kecepatan potong dan kecepatan putar pahat. Peningkatan kecepatan putar pahat memicu peningkatan sudut inklinasi dinamik. Hal ini menyebabkan perubahan aliran geram (Shaw et al., 1952) sehingga mekanika pemotongan berubah dari pemotongan orthogonal menjadi oblique.

Kecepatan putar pahat V_T dalam pemesinan turning dengan dapat dimodelkan dengan persamaan sebagai berikut, yaitu:

$$V_T = \omega \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (4)$$

dimana ω adalah kecepatan sudut putar pahat dan x , y dan z adalah jari-jari pahat dalam arah sumbu x , y dan z , masing-masing. Pada pemodelan ini diasumsikan putaran pahat adalah dalam arah sumbu y sehingga nilai y dalam persamaan 4 menjadi nol.

Kecepatan potong V_w (m/min) yang merupakan kecepatan tangensial benda kerja (*workpiece*) dapat dimodelkan dengan persamaan sebagai berikut, yaitu:

$$V_w = \frac{\pi D N}{1000} \quad (5)$$

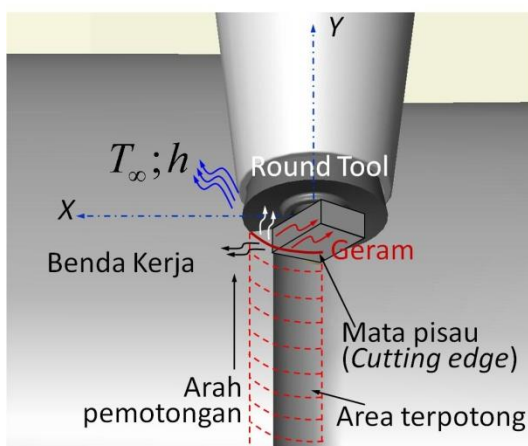
dimana D adalah diameter benda kerja dalam satuan mm dan N adalah kecepatan putar benda kerja dalam satuan rpm.

Selain parameter kecepatan di atas, gerak makan dari pahat terhadap benda kerja (lihat gambar 7) juga menjadi bagian dari sifat kinematik pemesinan turning dengan pahat berputar. Gerak makan f (mm/rev) ini dapat diubah dalam gerakan linear, dimana gerakan ini dapat dimodelkan dengan persamaan berikut ini.

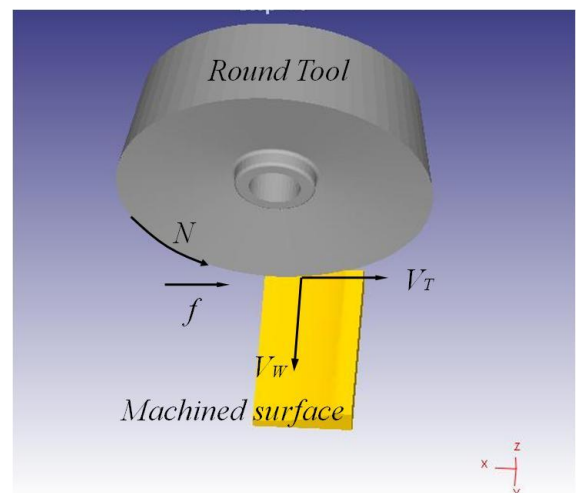
$$f_r = Nf \quad (6)$$

dimana f_r adalah kecepatan makan dengan satuan mm/min.

Kinematis pemesinan turning dengan pahat berputar dapat disederhanakan dalam rangka kemudahan dalam proses simulasi seperti diilustrasikan dalam gambar 9. Secara prinsip permukaan terpotong (*machined surface*) yang berbentuk lingkaran bisa diasumsikan sebagai bentuk persegi, dimana besaran dan arah kecepatan (gerakan) yang terlibat tidak berubah. Selain itu, kecepatan potong diasumsikan oleh gerakan pahat dalam arah sumbu Y . Sebagai catatan bahwa semua model persamaan gerakan tersebut di atas dilibatkan dalam pemodelan turning dengan pahat berputar.



a. Aktual kinematika turning dengan pahat berputar

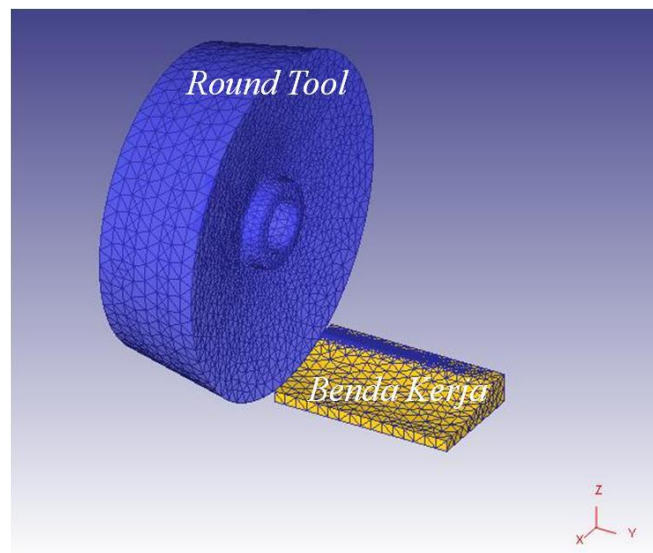


b. Penyederhanaan kinematika turning dengan pahat berputar

Gambar 9. Pemodelan kinematik pahat berputar (sudut inklinasi $i=0$ dan sudut offset $\theta=0$).

Pembuatan Meshing

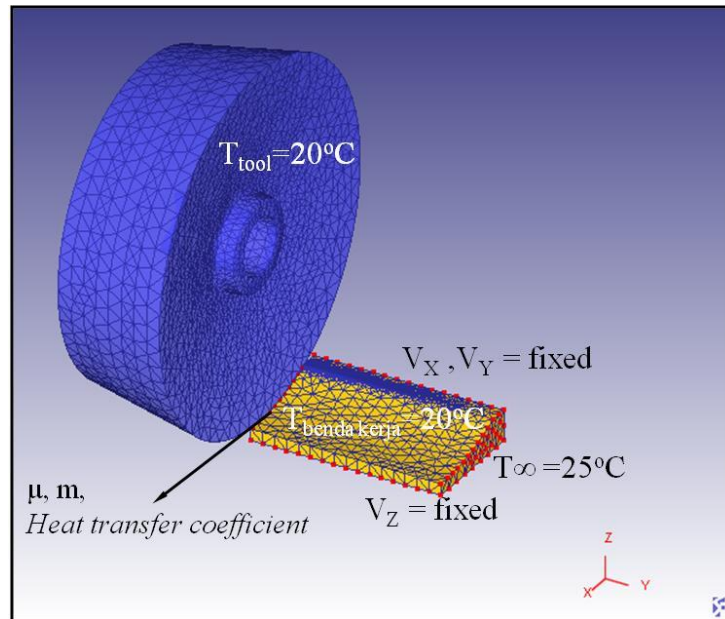
Dalam pemodelan berdasarkan *Finite Element Method*, pembagian benda menjadi beberapa bagian yang disebut *meshing* adalah hal yang sangat penting. Ukuran mesh yang sangat kecil adalah diperlukan utamanya daerah kontak antara pahat dan benda kerja. Hal ini disebabkan sangat besarnya *gradient* suhu dan tegangan dalam daerah tersebut selama simulasi pemesinan. Jenis elemen yang digunakan pada pemodelan FEM ini adalah elemen tetrahedral. Diasumsikan bahwa pahat *round tool insert* adalah kaku (*rigid*) memotong material benda kerja (*workpiece*) yang plastis. Untuk memproses mesh *round tool insert*, jumlah elemen tetrahedral yang diberikan berjumlah 25000 elemen, sedangkan jumlah element tetrahedral yang tersusun dalam benda kerja adalah diberikan 25% dari kecepatan makan (*feed rate*). Tetrahedral mesh dari *round tool insert* dan benda kerja dapat dilihat dalam gambar 10.



Gambar 10. Tetrahedral mesh dari pahat dan benda kerja.

Kondisi Batas

Kondisi batas (*boundary condition*) menentukan bagaimana batas suatu objek pahat berinteraksi dengan objek benda kerja (*workpiece*) dan dengan lingkungan. Dalam pemodelan ini, kondisi batas yang diberikan adalah (1) suhu awal pahat *round tool insert* dan *workpiece* adalah 20°C, (2) shear factor (\bar{m}) dan friction factor (μ) adalah 0.6, (3) koefisien perpindahan panas (*heat transfer coefficient*) pada daerah antar muka (*interface*) pahat dan benda kerja adalah tergantung pada jenis material kontak (material pahat dan benda kerja), (4) Suhu lingkungan diasumsikan 25°C, (5) Kecepatan benda kerja dalam arah sumbu X, Y dan Z adalah *fixed*, dan (6) Pahat berputar dan bergerak dalam arah sumbu Y. Ilustrasi dari kondisi batas dalam pemodelan FEM ini dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Kondisi batas pemodelan pemesinan turning dengan pahat berputar berdasarkan FEM.

5.2 Simulasi Pemesinan Turning dengan Pahat Berputar

Setelah pemodelan pemesinan turning dengan pahat berputar berdasarkan FEM selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar dengan kondisi pemotongan yang disesuaikan dengan kondisi pemesinan aktual. Ada beberapa parameter yang dilibatkan dalam proses simulasi ini, pertama adalah parameter pemesinan seperti kecepatan putar pahat, kecepatan potong, dan gerak makan. Parameter pemesinan turning dengan pahat berputar yang lain yaitu sudut inklinasi, i dan sudut offset, θ belum dilibatkan dalam simulasi ini. Lebih jelasnya parameter pemesinan yang terlibat dalam pemesinan ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter pemesinan yang dilibatkan dalam proses simulasi

Parameter Pemesinan	
Kecepatan Putar Pahat N, Rpm	0 ~ 4000
Kecepatan potong V_w , m/min	60 ~ 160
Gerak makan f , mm/rev	0.1; 0.2
Tebal pemotongan a , mm	0.5 dan 1
Sudut Inklinasi i , deg	0
Sudut Offset θ , deg	0

Parameter kedua adalah jenis dan geometri material benda kerja dan pahat *round tool insert*. Dalam simulasi ini, jenis material benda kerja adalah *Plain Carbon Steel* (AISI 1045), sedangkan jenis material pahat *round tool insert* adalah *uncoated tungsten carbide* (WC-Co). Informasi lebih jelas mengenai parameter ini bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter Jenis dan Geometri Material yang terlibat dalam proses simulasi.

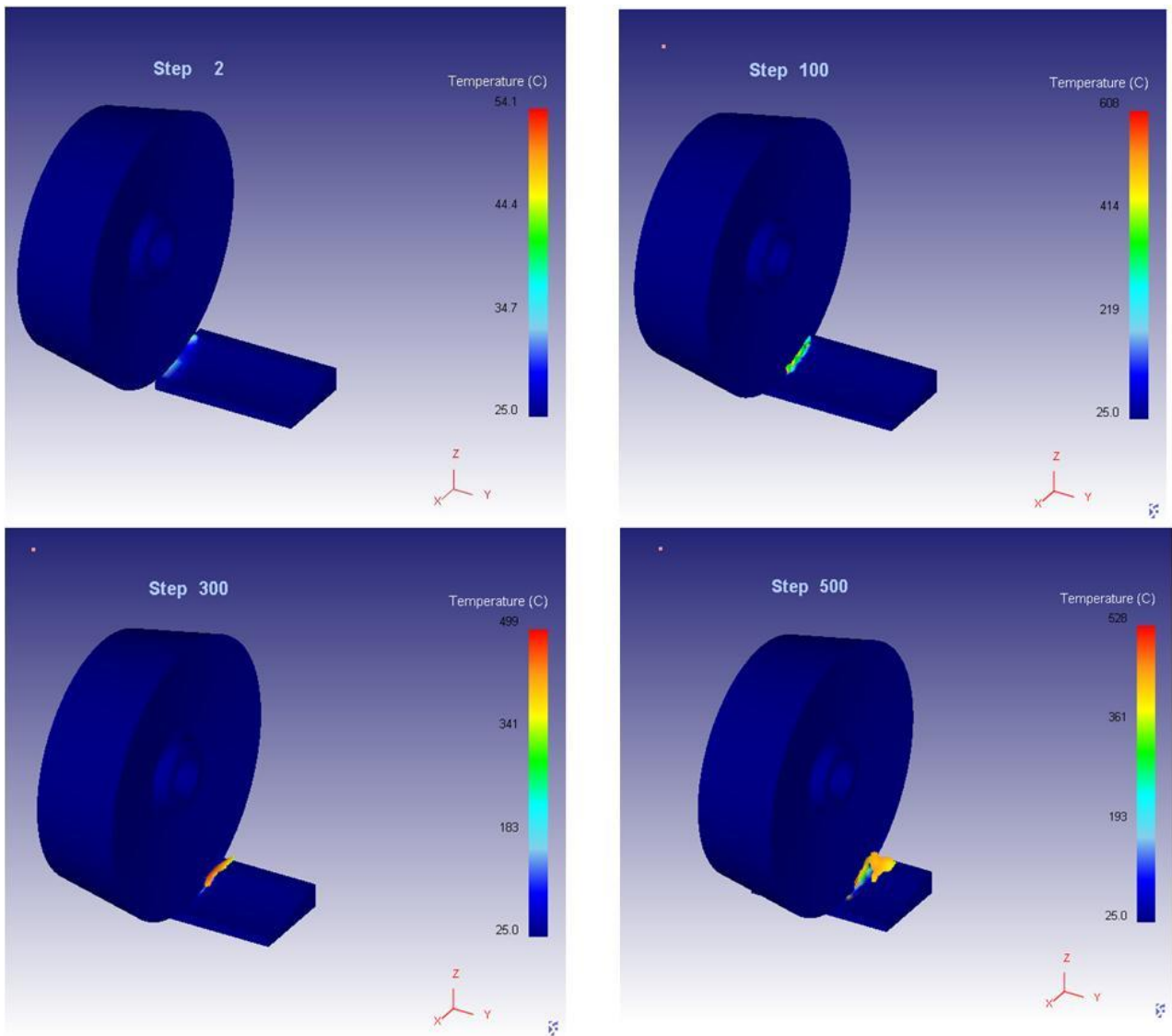
Benda Kerja (<i>Workpiece</i>)	
Jenis Material	Plain Carbon Steel (AISI 1045)
Geometri	Diameter 50 dan 100 mm
Pahat <i>Round Tool Insert</i>	
Jenis Material	Uncoated tungsten carbide, WC-Co
Geometri	Jenis RPMT 1604 MO-BB (Kyocera)
	Sudut relief $\alpha=11^\circ\text{C}$
	Diameter D=16 mm

Parameter selanjutnya adalah sifat mekanik dan termal serta kondisi batas dalam proses simulasi, dimana ini ditampilkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Sifat mekanik dan termal serta kondisi batas dalam proses simulasi

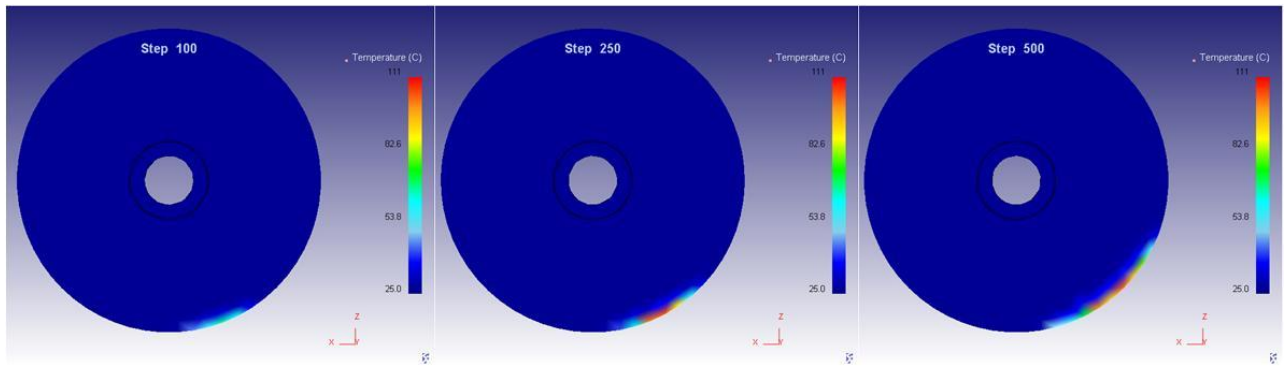
Sifat Material Pahat (<i>Uncoating Tungsten Carbide, WC-Co</i>)	
<i>Thermal Conductivity</i> (W/mK)	58.9888
<i>Heat capacity</i> (J/Kg K)	15.0018
<i>Ultimate tensile strength</i> (MPa)	3,000
<i>Modulus of elasticity</i> (GPa)	650
<i>Poisson's ratio</i>	0.25
Sifat Material Benda Kerja (AISI 1045)	
<i>Thermal Conductivity</i> (W/mK)	40
<i>Heat capacity</i> (J/Kg C)	432.6
<i>Ultimate tensile strength</i> (MPa)	565
<i>Modulus of elasticity</i> (GPa)	200
<i>Poisson's ratio</i>	0.290
Kondisi Batas	
Suhu awal $^\circ\text{C}$	20
<i>Shear friction factor</i>	0.6
<i>Heat transfer coefficient</i> pada <i>workpiece-tool interface</i> (N/s. mm°C)	45

Setelah simulasi selesai dilakukan, pembentukan geram (*chip deformation*) selama proses pemesinan turning dengan pahat berputar bisa diamati. Seperti terlihat pada gambar 12, deformasi plastis benda kerja (AISI 1045) dimulai setelah pahat memotong benda kerja dengan terbentuknya geram pada mesh awal sampai pada dimana geram sudah terbentuk sempurna pada kondisi yang *steady*.

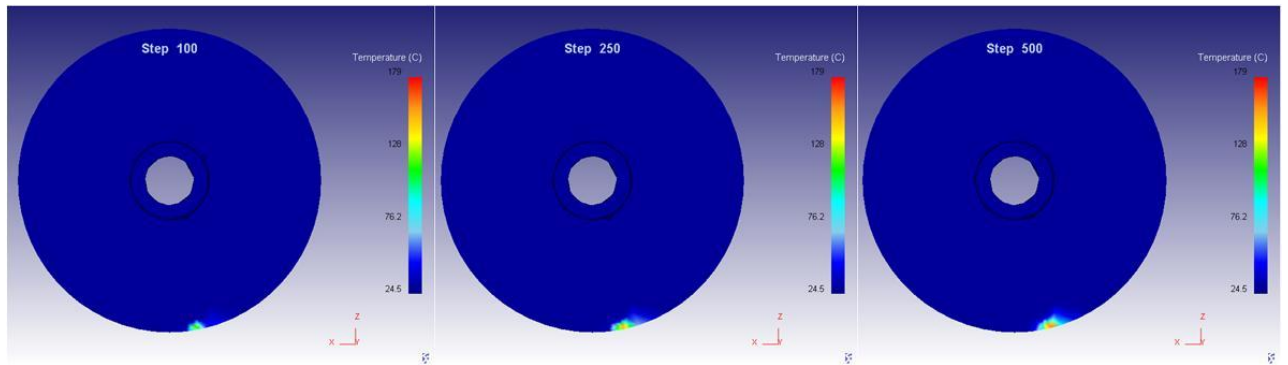


Gambar 12. Deformasi pembentukan geram (*chip*) dari awal terbentuknya sampai kondisi *steady*.

Hal yang menarik dari simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar seperti diilustrasikan pada gambar 13. adalah pahat potong yang mata pisaunya (*cutting edge*) berbentuk bulat (*round tool*) diputar sambil memotong benda kerja. Akibatnya ada indeks mata pisau yang secara kontinyu masuk dalam daerah pemotongan (*cutting zone*) untuk menyayat benda kerja dan kemudian keluar dari daerah pemotongan untuk didinginkan selama periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) selama satu putaran pahat potong. Panas yang dihasilkan akibat deformasi benda kerja menjadi geram tidak terakumulasi pada satu area pada mata pisau (*cutting edge*). Hal ini berbeda jika dibandingkan dengan pahat potong tidak berputar seperti pada pemesinan turning konvensional, dimana panas yang dihasilkan terakumulasi pada daerah pemotongan, lihat gambar 13.b. Hal ini diharapkan bahwa suhu pahat potong pada pemesinan turning dengan pahat berputar akan menurun dibandingkan dengan proses pemesinan bubut konvensional (pahat potong diam).



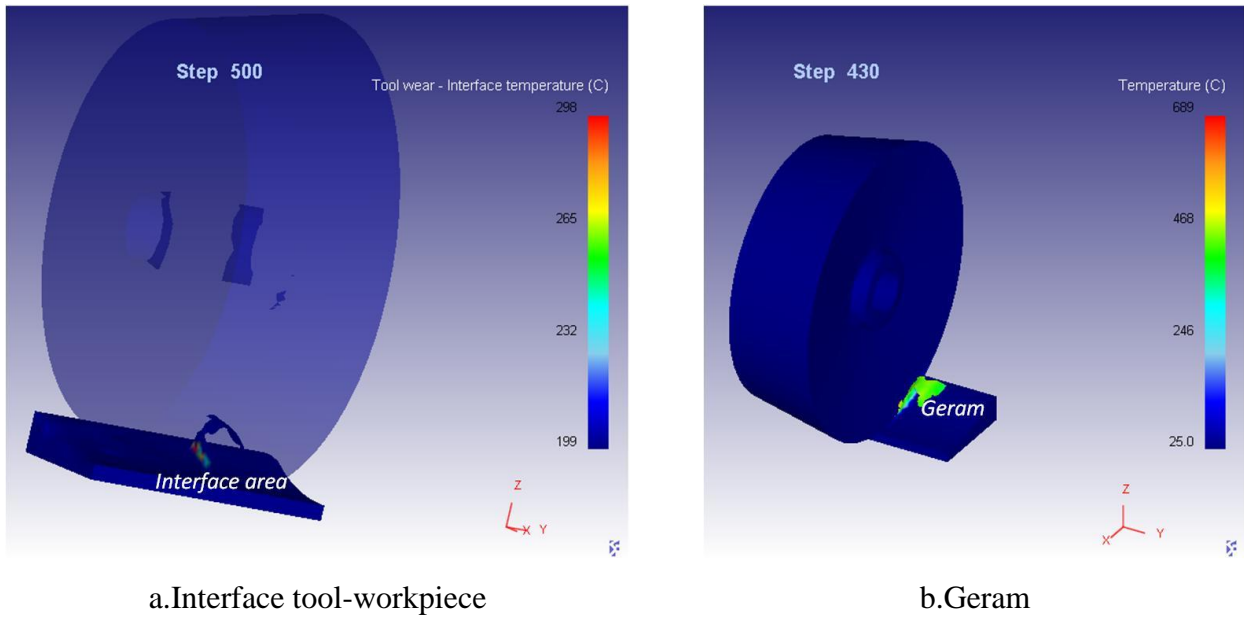
a. Pahat berputar



b. Pahat diam

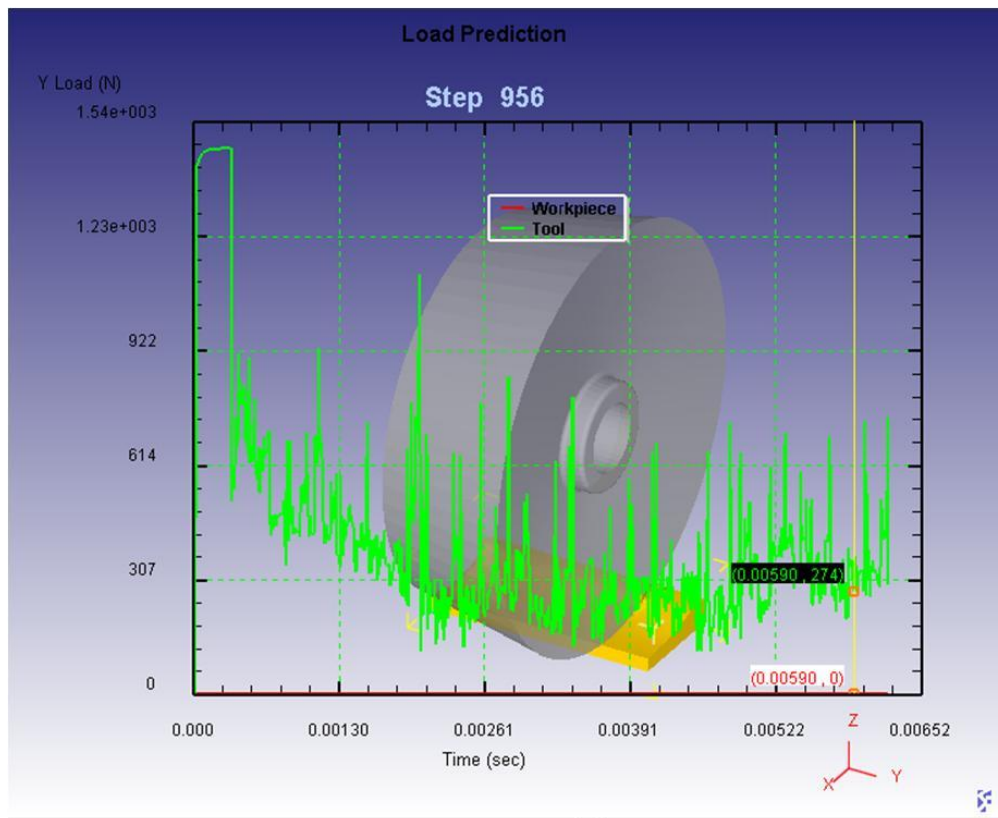
Gambar 13. Ilustrasi *self cooling* dari pemesinan turning dengan pahat berputar

Luaran dari proses simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar ada beberapa aspek, yang dianalisis dalam simulasi ini diantaranya suhu dan gaya pemotongan. Selama proses simulasi pemesinan, aliran panas didistribusikan pada tiga area yang bisa diamati, yaitu pertama area distribusi panas pada pahat *round insert tool*, dimana suhu pada indeks mata pisau pahat bergerak sepanjang putaran pahat seperti diilustrasikan pada gambar 13.a. Kedua adalah area distribusi panas pada interface pahat dan benda kerja seperti diilustrasikan pada gambar 14.a. Terakhir adalah area distribusi pada geram (*chip*) dimana suhu terbesar diamati di area ini, lihat gambar 14.b.



Gambar 14. Daerah distribusi panas

Gaya pemotongan yang bisa diamati dari proses simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar ini ada tiga, yaitu masing-masing pada arah sumbu X, Y, dan Z. Besaran gaya pada arah sumbu Y merupakan gaya potong utama F_Y yang mana nilainya paling besar. Contoh dari gaya pemotongan yang dihasilkan dari simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar bisa dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Contoh gaya pemotongan selama simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar.

Berikut ini adalah hasil pengujian parameter pemesinan kecepatan putar pahat terhadap aspek suhu pemesinan dan gaya pemotongan. Tabel 4 berisi tabulasi data pengujian kecepatan putar pahat terhadap suhu interface tool-workpiece dan suhu geram. Tabel 5 berisi tabulasi data pengujian kecepatan putar pahat terhadap gaya potong utama. Dan tabel 6 berisi tabulasi data pengujian kecepatan potong terhadap gaya potong utama.

Tabel 4. Pengujian kecepatan putar pahat terhadap suhu pemesinan (Kondisi pemesinan: $V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

No	Kecepatan putar pahat		Suhu pemotongan	
	N, Rpm	V_T , m/min	Interface Tool-workpiece, °C	Geram (<i>chip</i>), °C
1.	0	0	432	787
2.	50	2.5	384	755
3.	100	5.0	377	724
4.	200	10	371	708
5.	300	15	392	716
6.	500	25	389	711
7.	650	32.5	347	752
8.	700	35	332	737
9.	750	37.5	324	689
10.	800	40	371	742
11.	900	45	375	754
12.	1000	50	378	751
13.	1500	75	408	758
14.	2000	100	419	775
15.	2500	125	414	794
16.	3000	150	546	1070

Tabel 5. Pengujian kecepatan putar pahat terhadap gaya potong utama (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

No	Kecepatan putar pahat		Gaya pemotongan
	N, Rpm	V_T , m/min	Gaya potong utama F_Y , N
1.	0	0	340,832*
2.	100	5.0	367,820*
3.	200	10	348,427
4.	300	15	364,161*
5.	500	25	354,084*
6.	600	30	300,202
7.	700	35	281,639
8.	800	40	284,986
9.	1000	50	290,242*
10.	1500	75	283,339*
11.	2000	100	272,194*
12.	2500	125	226,195*
13.	3000	150	232,926*

14.	3500	175	231,912*
15.	4000	200	242,094*
16.	4500	250	238,029

Tabel 6. Pengujian kecepatan potong terhadap gaya potong utama dan suhu geram (Kondisi pemesinan: $V_N=5$ m/min, $f=0.1$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

No	Kecepatan potong	Gaya pemotongan	Suhu pemotongan
	V_w , m/min	Gaya potong utama F_Y , N	Suhu geram, deg. C
1.	60	257.223*	418.596
2.	80	202.047*	-
3.	100	181.212	-
4.	120	154.866	431.798
5.	140	136.081	-
6.	160	103.546*	443.136
7.	180	-	479.318

5.3 Verifikasi Hasil Simulasi Pemesinan Turning dengan Pahat Berputar

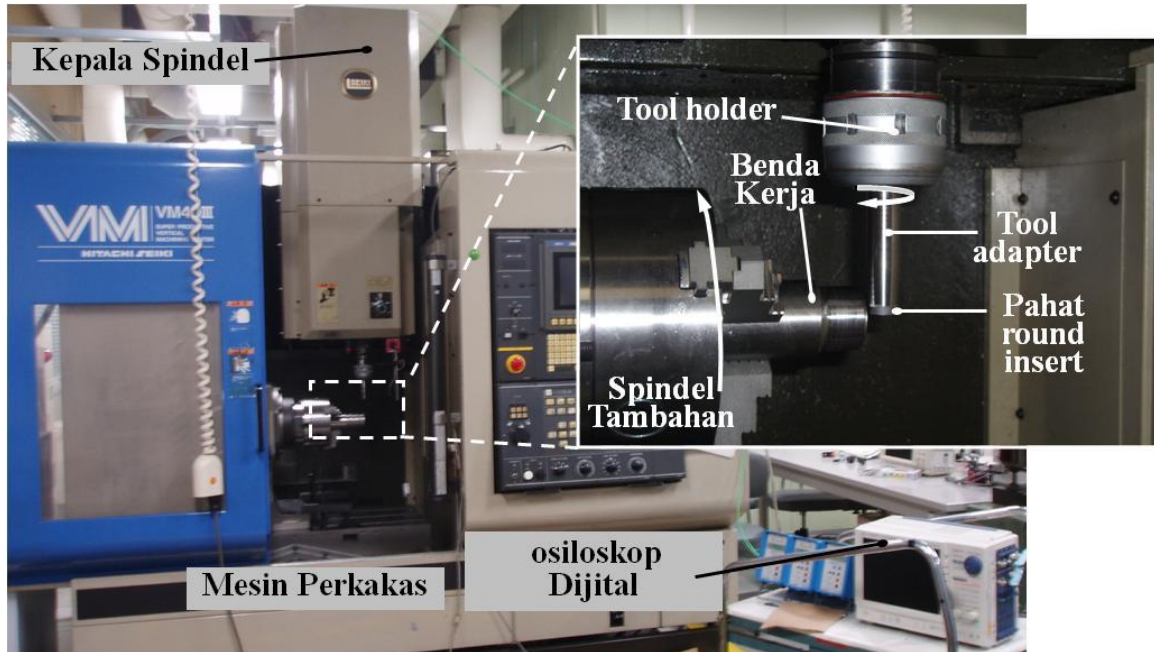
Setelah dilakukan pengujian parameter pemesinan turning dengan pahat berputar untuk material AISI 1045, maka selanjutnya adalah verifikasi secara ekperimental hasil pengujian secara simulasi keternesinan (*machineability*) material AISI 1045 dengan sistem pahat putar. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan set-up eksperimen pemesinan dengan sistem pahat putar;
- Melakukan pengujian ekperimental pengaruh parameter pemesinan meliputi kecepatan putar dan potong terhadap suhu dan gaya pemotongan.
- Memvalidasi hasil pengujian simulasi keternesinan material AISI 1045 dengan pengujian secara eksperimen melalui perbandingan pengaruh parameter pengujian terhadap suhu pemotongan dan gaya. Hasil simulasi dinyatakan valid apabila deviasi antara hasil simulasi dan eksperimen relatif kecil (diasumsikan $\pm 10\%$).

Set-Up Eksperimen Pemesinan dengan Sistem Pahat Putar

Gambar 16 memperlihatkan diagram skematik dari set-up eksperimen. Benda kerja (*workpiece*) berbentuk Silinder dari material Baja Karbon (AISI 1045) dengan ukuran diameter \emptyset 50 dan 100 mm dan panjang 120 mm dicekam oleh spindel benda kerja. Pahat Sisipan Round (RPTM 1604 MO-BB) yang digunakan berdiameter 16 mm dan mempunyai sudut geram normal 11° . Pahat sisipan ini dicekam pada suatu tool adapter khusus yang kemudian dipasang pada spindel utama mesin. Selama eksperimen pemesinan, cairan pemotong tidak digunakan atau pemesinan

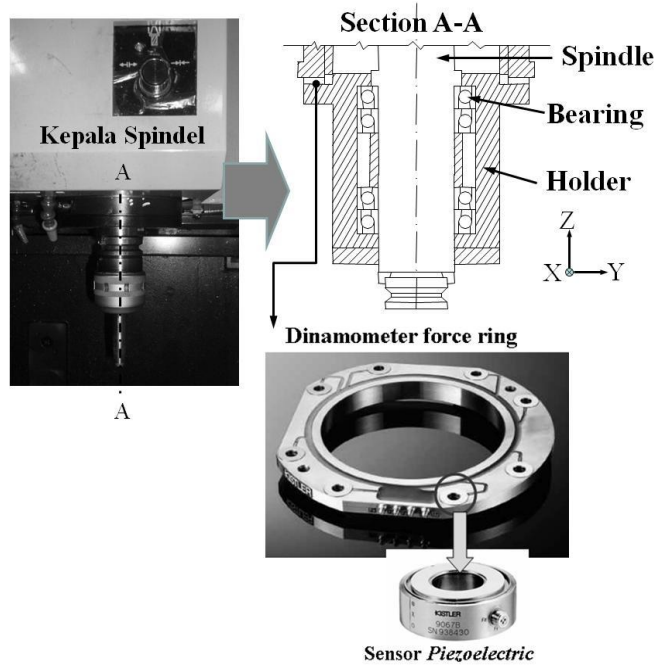
kering (*green machining*). Dijital osiloskop juga digunakan untuk mencatat besaran sinyal gaya dan suhu pemotongan. Kondisi pemotongan secara lengkap adalah dirangkum dalam Tabel 7.



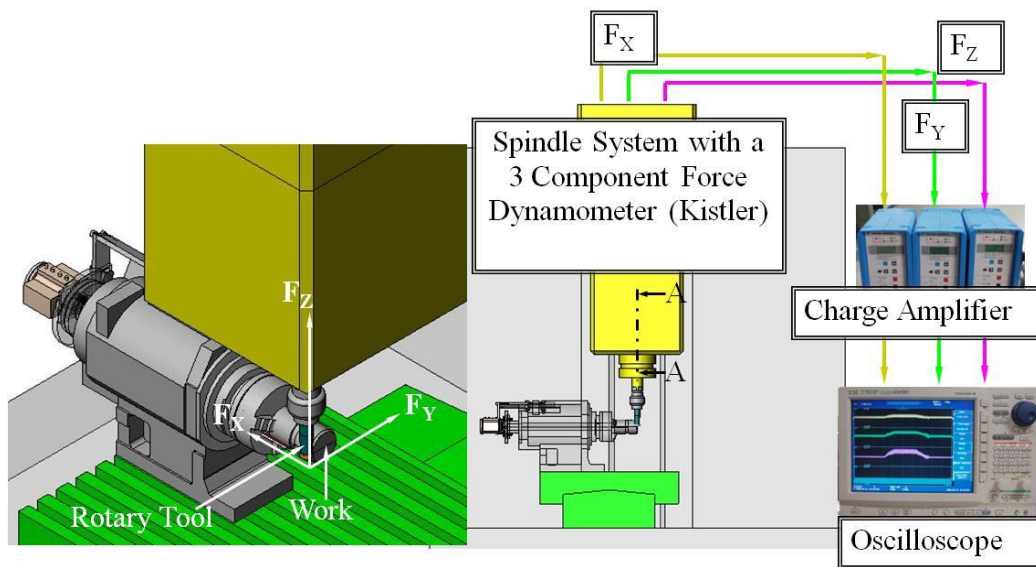
Gambar 16. Set-up eksperimen pemesinan turning dengan pahat berputar

Tabel 7. Kondisi Pemotongan

MATERIAL	<i>Plain Carbon Steel (AISI 1045)</i>
BENDA KERJA	Diameter=50 – 100 mm; Panjang=120mm
Pahat	Jenis: RPMT 1604 MO-BB (Kyocera)
	Material: <i>Uncoated Carbide</i>
	Geometri: <i>Normal rake</i> dan <i>relief angle$\alpha=11^{\circ}$, Diameter D=16 mm</i>
Kecepatan putar pahat N_T , min^{-1}	0 ~ 4000
Kecepatan potong V_w , m/min	60 ~160
Gerak makan f , mm/rev	0.1;0.2
<i>Depth of cut</i> a , mm	0.5; 1
Sudut Inklinasi i , deg.	0
Sudut Offset θ , deg.	0
Cairan Pendingin	Kering (<i>Dry</i>)
Arah putaran pahat	CW



a. Dynamometer force ring



b. Skema pengukuran gaya pemotongan

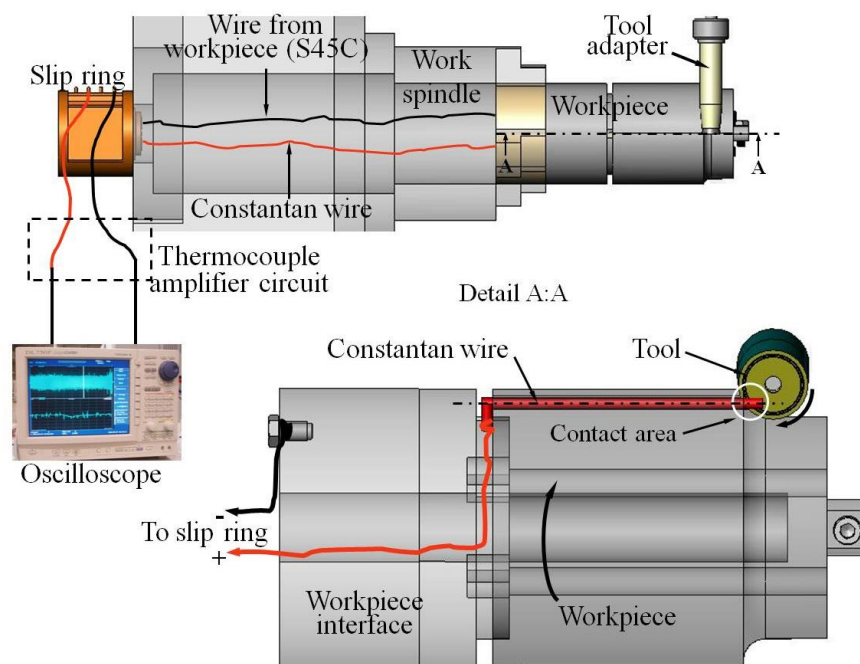
Gambar 17. Pengukuran gaya pemesinan

Data hasil unjuk kerja keterampilan material AISI 1045 dengan simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar meliputi aspek gaya dan suhu pemesinan akan diverifikasi secara eksperimental. Gaya pemesinan dari pemesinan aktual turning diukur dengan menggunakan *Dynamometer force ring* yang tersusun dari delapan transduser piezoelectric force yang ditanam dalam bingkai berbentuk ring yang dipasang antara front cap spindle dan spindle head pada mesin perkakas (*machining centre*), lihat gambar 17.a. Skema dari pengukuran gaya pemotongan pada pemesinan turning dengan pahat berputar dapat dilihat pada gambar 17.b. Komponen gaya yang

diukur ada tiga, yaitu gaya tangensial atau gaya potong utama, F_z , dimana merupakan gaya aksi akibat benda kerja berputar dalam arah tangensial. Gaya aksial, F_x adalah komponen gaya longitudinal yang bereaksi dalam arah paralel terhadap sumbu putar benda kerja. Dan gaya radial, F_y adalah komponen gaya yang bereaksi dalam arah radial benda kerja. Ketiga komponen gaya tersebut di atas kemudian diukur dengan menggunakan dinamometer force ring. Sinyal gaya-gaya yang dibaca oleh sensor dinamometer dikirim ke *charge amplifier* sebelum dicatat dengan menggunakan osiloskop digital. Setelah dilakukan proses kalibrasi dinamometer force ring (Harun, 2011), hubungan antara luaran sinyal gaya, V (mV) dengan gaya pemotongan, F (N) didefinisikan dengan persamaan berikut ini.

$$\begin{matrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{matrix} = \begin{pmatrix} 7,749 & -4,461 & 0,036 \\ -5,882 & -9,186 & -0,652 \\ -0,586 & -1,399 & 9,291 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

(Unit koefisien : mV/N)



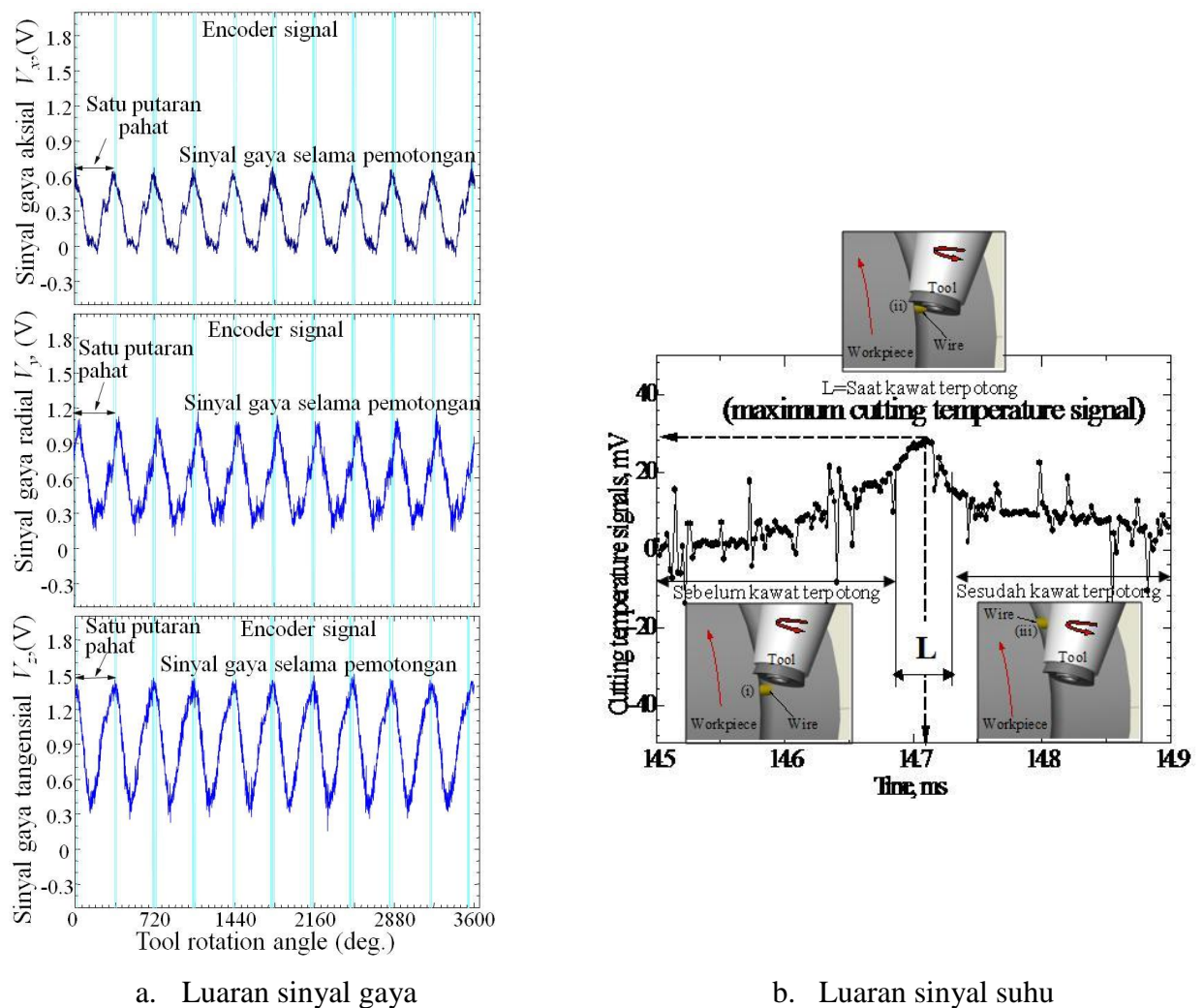
Gambar 18. Skema pengukuran suhu pemotongan dalam penelitian ini.

Prinsip dari pengukuran suhu pemotongan adalah termokopel dari pasangan kawat konstantan (*constantan wire*) dengan benda kerja (*work material*). Dengan prinsip termokopel ini, benda kerja dibagi menjadi dua bagian sehingga kawat konstantan bisa ditanam dalam benda kerja, seperti terlihat pada gambar 18. Ketika benda kerja dipotong oleh mata pisau pahat *round tool insert* pada daerah *interface tool-work*, kabel juga ikut terpotong dan seketika itu juga sinyal

thermoelectric (emf) akan terbentuk antara kawat konstantan dengan benda kerja. Sinyal *thermoelectric* ini merupakan representasi panas yang dihasilkan pada daerah *interface tool-work*. Berdasarkan pengujian kalibrasi termokopel wire-work, hubungan suhu T dan sinyal *thermoelectric* yang dihasilkan (emf) V (mV) pada daerah kontak antara kawat konstantan dengan pahat didefinisikan sebagai berikut:

$$T = 19.6V \tag{8}$$

Gambar 19 memperlihatkan contoh hasil pengukuran gaya dan suhu pemotongan. Gambar 19.a memperlihatkan hasil pengukuran sinyal gaya dalam unit mV, dimana itu akan dikonversi menjadi gaya dalam unit N dengan persamaan (7). Selain itu, pengukuran gaya mempunyai kepresisian sekitar $\pm 10\%$ (Harun, 2011). Gambar 19.b memperlihatkan hasil pengukuran suhu masih berupa sinyal *thermoelectric* (emf) dimana harus dikonversi menjadi besaran suhu dalam unit $^{\circ}\text{C}$ dengan persamaan (8).



Gambar19. Luaran pengukuran sinyal gaya dan suhu.

Pengujian Eksperimental Pengaruh Parameter Pemesinan

Hasil pengujian pengaruh parameter pemesinan turning dengan pahat berputar utamanya kecepatan putar pahat dan kecepatan potong terhadap gaya dan suhu pemotongan ketika pemesinan material AISI 1045 adalah disarikan dalam tabel 8,9 dan 10.

Tabel 8. Pengujian experimental pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemesinan (Kondisi pemesinan: $V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

No	Kecepatan putar pahat		Suhu pemotongan
	N, Rpm	V_T , m/min	Interface Tool-workpiece, °C
1.	0	0	452
2.	500	25	354
3.	1000	50	381
4.	1500	75	404
5.	2000	100	475

Tabel 9. Pengujian experimental pengaruh kecepatan putar pahat terhadap gaya potong (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

No	Kecepatan putar pahat		Gaya pemotongan
	N, Rpm	V_T , m/min	Gaya potong utama F_Y , N
1.	0	0	308
2.	40	2.5	279
3.	100	5.0	310
4.	300	15	314
5.	500	25	319
6.	1000	50	294
7.	1500	75	252
8.	2000	100	221
9.	2500	125	205
10.	3000	150	216
11.	3500	175	209
12.	4000	200	208

Tabel 10. Pengujian experimental pengaruh kecepatan putar pahat terhadap gaya potong (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

No	Kecepatan potong	Gaya pemotongan
	V_w , m/min	Gaya potong utama F_Y , N
1.	60	278.050
2.	80	229.060
3.	160	108.820

Validasi Pengujian Simulasi Ketersmesinan Material AISI 1045

Penafsiran suhu dan gaya pemotongan yang dilakukan pada proses simulasi selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian secara eksperimen. Nilai suhu pemotongan yang didapat dari hasil eksperimen mendekati hasil dari simulasi, begitu juga untuk nilai gaya pemotongan. Kedua

hasil pengujian (simulasi dan eksperimen) dapat dilihat pada tabel 11,12 dan 13 serta gambar 20.a,20.b dan 20.c

Tabel 11. Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen pengujian pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemesinan (Kondisi pemesinan: $V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

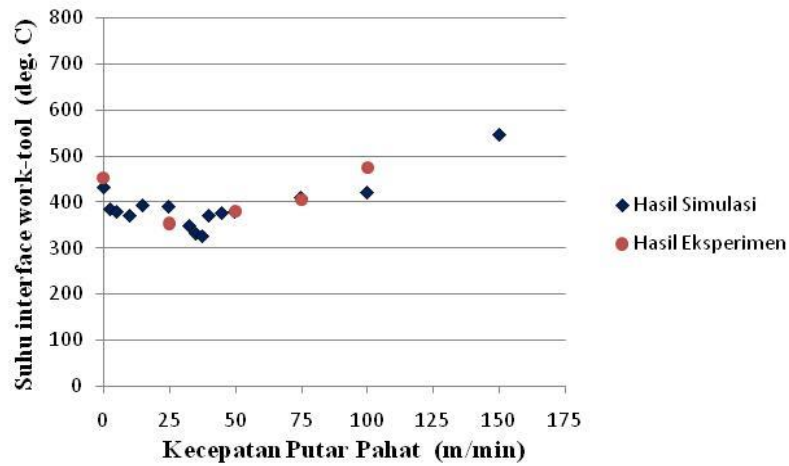
No	Kecepatan putar pahat		Suhu pemotongan (<i>Interface Tool-workpiece</i> , °C)		Prosentase <i>Error</i> %
	N, Rpm	V_T , m/min	Simulasi	Eksperimen	
1.	0	0	432	452	4,42
2.	500	25	389	354	-9,89
3.	1000	50	378	381	0,79
4.	1500	75	408	404	-0,99
5.	2000	100	416	475	12,42

Tabel 12. Pengujian kecepatan putar pahat terhadap gaya potong utama (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

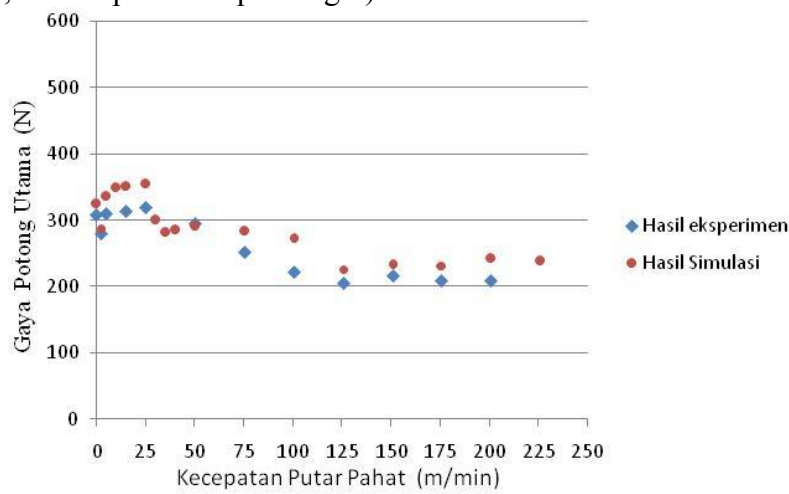
No	Kecepatan putar pahat		Gaya pemotongan (Gaya potong utama, N)		Prosentase <i>Error</i> , %
	N, Rpm	V_T , m/min	Simulasi	Eksperimen	
1.	0	0	324	308	4,83
2.	40	2.0	288	279	2,96
2.	100	5.0	336	310	7,69
3.	300	15	351	314	10,49
4.	500	25	354	319	9,95
5.	1000	50	290	294	-1,35
6.	1500	75	283	252	10,92
7.	2000	100	272	221	18,83
8.	2500	125	226	205	9,36
9.	3000	150	233	216	7,35
10.	3500	175	232	209	9,84
11.	4000	200	242	208	13,93

Tabel 13. Pengujian kecepatan putar pahat terhadap gaya potong utama (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

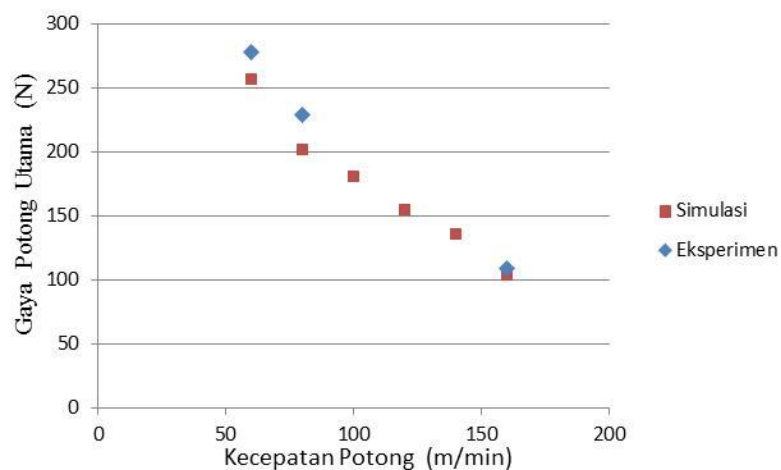
No	Kecepatan potong	Gaya pemotongan (Gaya potong utama, N)		Prosentase <i>Error</i> , %
	V_w , m/min	Simulasi	Eksperimen	
1.	60	257.223	278.050	7.489
2.	80	202.047	229.060	11.793
3.	160	103.546	108.820	4.847



- a. Suhu interface work-tool (Kondisi pemesinan: $V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)



- b. Gaya potong utama (Kondisi pemesinan: $V_w=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

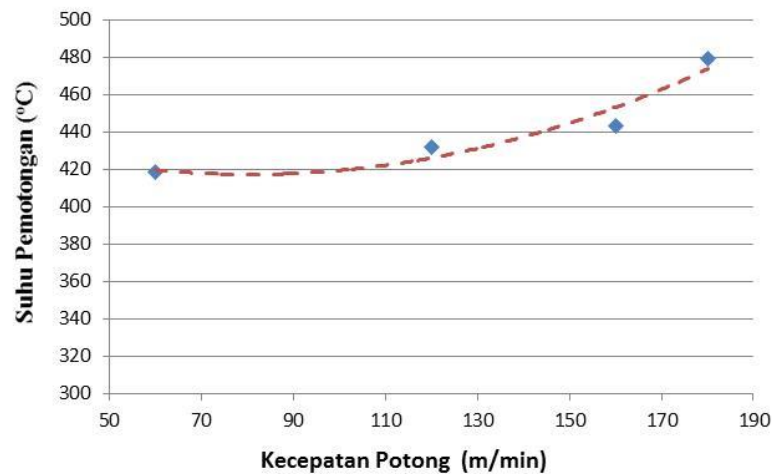


- c. Gaya potong utama (Kondisi pemesinan: $V_T= 5$ m/min, $f=0.1$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

Gambar 20. Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen, (a) suhu *interface work-tool* (b) gaya potong utama.

Gambar 20.a menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengujian secara simulasi dan eksperimen kecepatan putaran pahat terhadap suhu pemotongan pada kondisi pemesinan kecepatan potong $V_w=150$ m/min, gerak makan $f=0.2$ mm/rev, dan tebal pemotongan $a=1$ mm. Dari grafik pengujian secara simulasi terlihat bahwa suhu pada daerah *interface tool-work* saat pahat tidak berputar $V_T=0$ m/min yang bernilai sekitar 432 °C dimana adalah lebih tinggi dari suhu yang terukur ketika pahat diputar dengan kecepatan putar pahat $V_T=25$ m/min yang bernilai sekitar 389 °C. Menariknya suhu yang terukur dalam batas kecepatan putar pahat $V_T=50$ m/min sampai dengan $V_T=150$ m/min cenderung meningkat. Selain itu suhu pemotongan minimum yang ditafsir pada proses simulasi yaitu sekitar 324 °C pada kecepatan putar pahat $V_T=37.5$ m/min. Hasil ini tidak jauh berbeda ketika dilakukan pengujian secara eksperimen, dimana yang menjadi suhu minimum terukur pada batas kecepatan putar pahat 0 sampai dengan 50 m/min dan selanjutnya suhu pemotongan meningkat seiring peningkatan kecepatan putar pahat lebih dari 50 m/min.

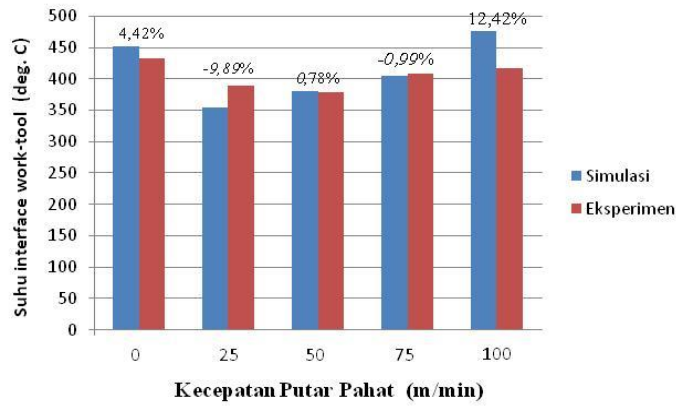
Gambar 20.b menunjukkan grafik hasil pengujian secara simulasi pengaruh kecepatan putar terhadap gaya pemotongan utama pada kondisi pemesinan kecepatan potong $V_w=80$ m/min, gerak makan $f=0.2$ mm/rev, dan tebal pemotongan $a=0.5$ mm. Seperti terlihat dalam grafik pada gambar 20.b, gaya potong utama pada batas kecepatan putar pahat $V_T=0$ sampai dengan $V_T=25$ m/min cenderung lebih besar dan perlahan-lahan turun pada kecepatan putar pahat lebih besar dari $V_T=25$ m/min dan kemudian konstan pada kecepatan putar lebih dari $V_T=100$ m/min. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang ditunjukkan oleh data eksperimen.



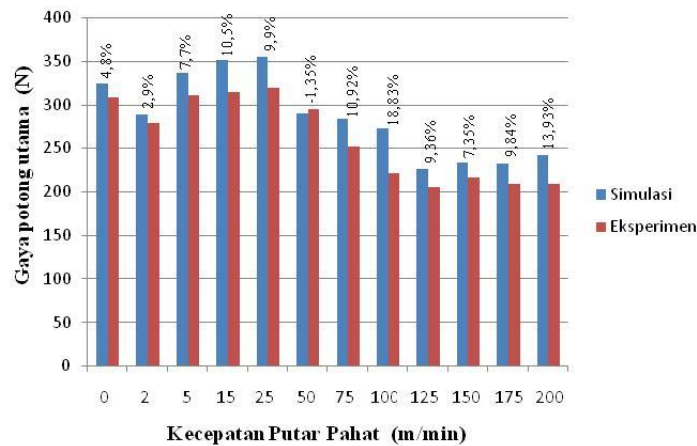
Gambar 21. Pengaruh kecepatan potong pahat terhadap suhu pemotongan
(Kondisi pemesinan: $V_T=5$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$,
dan tanpa cairan pendingin)

Sedangkan gambar 20.c menunjukkan grafik hasil pengujian secara simulasi pengaruh kecepatan potong terhadap gaya potong utama selama pemesinan bubut dengan pahat berputar pada kondisi pemesinan $V_T = 5$ m/min, gerak makan $f = 0.1$ mm/rev, dan tebal pemotongan $a = 1$ mm.

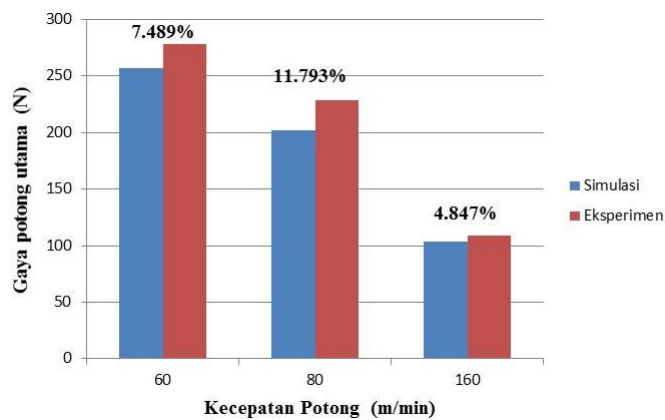
Dari grafik itu terlihat bahwa gaya potong utama menurun dengan peningkatan kecepatan potong dalam rentang kecepatan 60 sampai dengan 160 m/min. Hal ini dipahami bahwa peningkatan kecepatan potong memicu suhu pemotongan meningkat, lihat gambar 21. Itu dapat menyebabkan pelunakan dari material benda kerja sehingga menyebabkan penurunan gaya potong seiring dengan meningkatnya kecepatan potong.



- a. Prosentase *error* pengujian pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemotongan. ($V_W=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)



- b. Prosentase *error* pengujian pengaruh kecepatan putar pahat terhadap gaya potong. ($V_W=80$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)



- c. Prosentase *error* pengujian pengaruh kecepatan potong terhadap gaya potong. ($V_T=5$ m/min, $f=0.1$ mm/rev, $a = 0.5$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

Gambar 22. Prosentase *error* pengujian simulasi dan eksperimen

Tabel 9 dan 10 serta gambar 22 memperlihatkan prosentasi error dari hasil pengujian secara simulasi dan eksperimen. Perbandingan hasil prosentasi *error* pengujian pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemotongan dapat dilihat pada gambar 21.a, dimana perbedaan nilai (*prosentase error*) antara hasil pengujian simulasi dengan eksperimen relatif kecil yaitu secara umum sekitar $\pm 10\%$. Begitupun hasil yang sama diperoleh ketika pengujian pengaruh kecepatan putar dan kecepatan potong terhadap gaya pemotongan, lihat masing-masing gambar 21.b dan 21.c. Secara umum hasil pengujian secara simulasi lebih besar dibandingkan dengan eksperimen. Hal ini mungkin disebabkan pemilihan ukuran elemen mesh yang relatif besar pada benda kerja yang dekat dengan ujung mata pahat dibandingkan ujung pahat pemotongan sehingga perhitungan suhu dan gaya yang dihasilkan secara signifikan diperbesar oleh *remeshing* terus-menerus (Yanuar, 2010). Bagaimanapun, pengujian secara simulasi menunjukkan hasil yang relatif sesuai dengan hasil pengujian eksperimen. Oleh karena model simulasi ini dapat digunakan untuk optimasi parameter pemesinan material paduan titanium dengan sistem pahat putar dalam rangka rancang bangun peralatan sistem pahat putar modular.

5.4 Simulasi Pemesinan Turning dengan Pahat Berputar untuk Material Titanium Ortopedik

Ada beberapa parameter yang dilibatkan dalam proses simulasi proses pemesinan untuk material Titanium Ortopedik, pertama adalah parameter pemesinan seperti kecepatan putar pahat, kecepatan potong, dan gerak makan. Parameter pemesinan turning dengan pahat berputar yang lain yaitu sudut inklinasi, i dan sudut offset, θ belum dilibatkan dalam simulasi ini. Lebih jelasnya parameter pemesinan yang terlibat dalam pemesinan ini dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Parameter pemesinan yang dilibatkan dalam proses simulasi

Parameter Pemesinan	
Kecepatan Putar Pahat N, Rpm	0 ~ 2000
Kecepatan potong V_w , m/min	50 ~ 150
Gerak makan f , mm/rev	0.2
Tebal pemotongan a , mm	1
Sudut Inklinasi i , deg	0
Sudut Offset θ , deg	0

Parameter kedua adalah jenis dan geometri material benda kerja dan pahat *round tool insert*. Dalam simulasi ini, jenis material benda kerja adalah Material Titanium Ortopedik (Titanium Alloy, Ti-6Al-4V ELI), sedangkan jenis material pahat *round tool insert* adalah *uncoated tungsten carbide* (WC-Co). Informasi lebih jelas mengenai parameter ini bisa dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Parameter Jenis dan Geometri Material yang terlibat dalam proses simulasi.

Benda Kerja (<i>Workpiece</i>)	
Jenis Material	Titanium Ortopedik (Titanium Alloy Ti-6Al-4V ELI)
Geometri	Diameter 50mm
Pahat <i>Round Tool Insert</i>	
Jenis Material	Uncoated tungsten carbide, WC-Co
Geometri	Jenis RPMT 1604 MO-BB (Kyocera)
	Sudut relief $\alpha=11^\circ\text{C}$
	Diameter D=16 mm

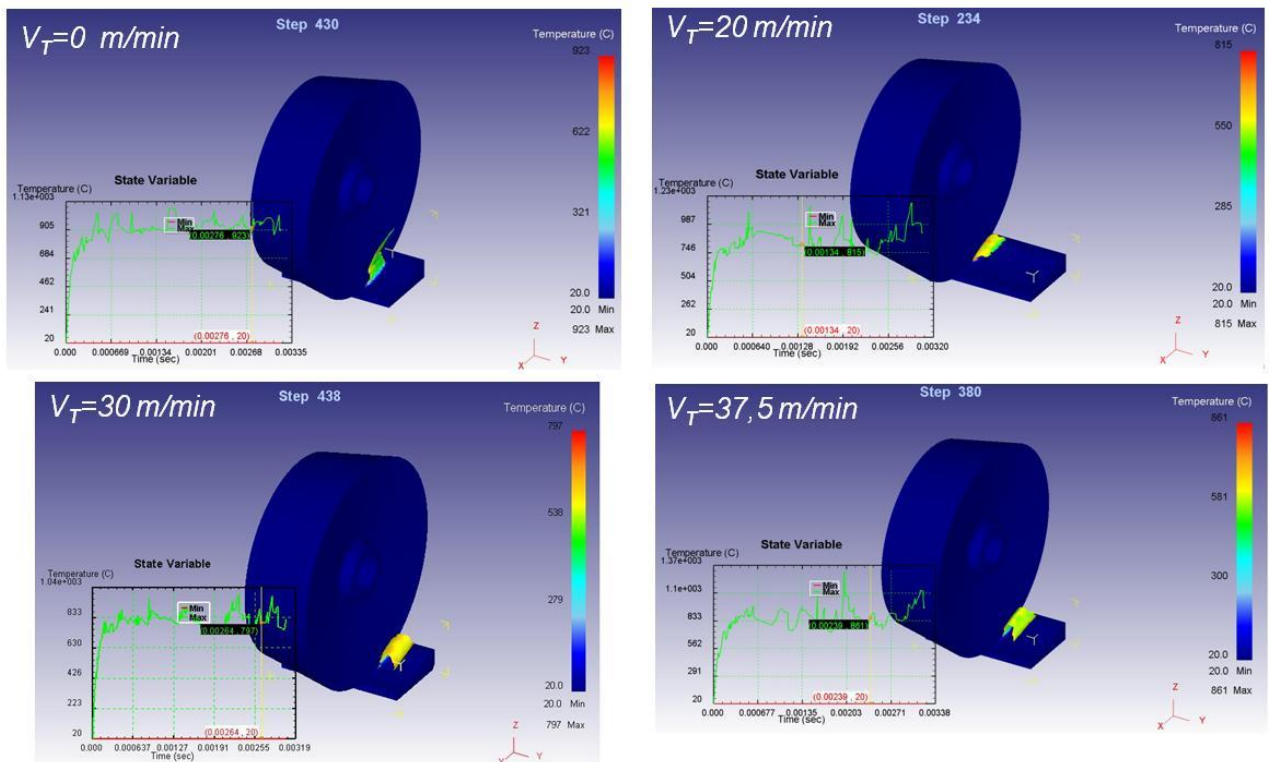
Parameter selanjutnya adalah sifat mekanik dan termal serta kondisi batas dalam proses simulasi, dimana ini ditampilkan dalam tabel 16.

Tabel 16. Sifat mekanik dan termal serta kondisi batas dalam proses simulasi

Sifat Material Pahat (<i>Uncoating Tungsten Carbide, WC-Co</i>)	
<i>Thermal Conductivity</i> (W/mK)	58.9888
<i>Heat capacity</i> (J/Kg K)	15.0018
<i>Ultimate tensile strength</i> (MPa)	3,000
<i>Modulus of elasticity</i> (GPa)	650
<i>Poisson's ratio</i>	0.25
Sifat Material Benda Kerja Titanium Ortopedik (Ti-6Al-4V ELI)	
<i>Thermal Conductivity</i> (W/mK)	21
<i>Heat capacity</i> (J/Kg C)	660
<i>Ultimate tensile strength</i> (MPa)	860
<i>Modulus of elasticity</i> (GPa)	114
Kondisi Batas	
Suhu awal $^\circ\text{C}$	20
<i>Shear friction factor</i>	0.6
<i>Heat transfer coefficient</i> pada <i>workpiece-tool interface</i> (N/s. mm°C)	50

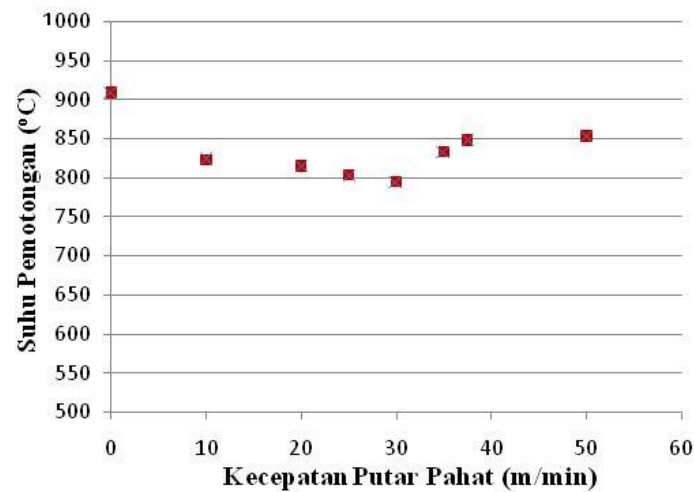
Contoh hasil simulasi pemesinan turning untuk material titanium ortopedik (Ti-6Al-4V ELI) dengan menggunakan pahat berputar dapat dilihat pada gambar 23. Dari hasil simulasi ini terlihat bahwa nilai suhu yang diperoleh ketika pahat berputar adalah umumnya lebih kecil dibandingkan pahat tidak diputar (konvensional). Selain itu, dari contoh hasil simulasi ini juga diamati bahwa penurunan suhu pemesinan seiring peningkatan kecepatan putar juga dibatasi oleh kecepatan putar pahat itu sendiri, dimana untuk kondisi pemesinan kecepatan potong $V_w=150$ m/min, gerak makan $f=0.2$ mm/rev, dan tebal pemotongan $a=1$ mm, suhu pemesinan akan meningkat ketika pahat diputar dengan kecepatan (V_T) lebih dari 30 m/min. Fenomena pemesinan ini tentu saja menjadi keuntungan

dalam rangka menurunkan suhu pemesian untuk material yang sulit dipotong termasuk material titanium ortopedik.



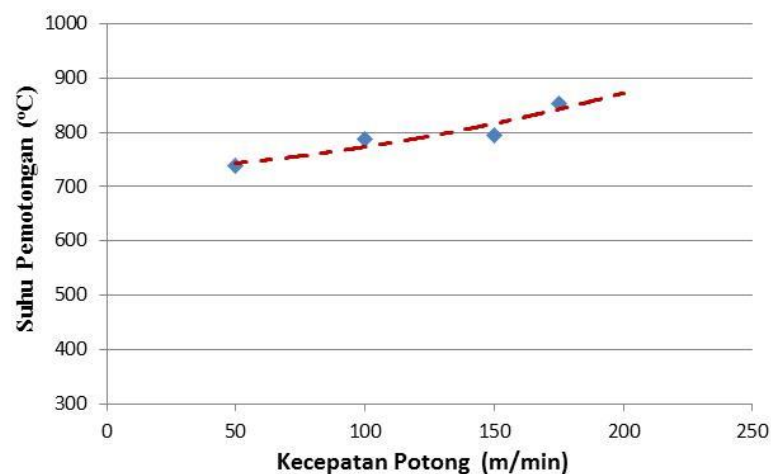
Gambar 23. Contoh hasil simulasi pemesian turning untuk material titanium ortopedik (Ti-6Al-4V ELI) dengan menggunakan pahat berputar ($V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

Gambar 24 menunjukkan grafik hasil simulasi pengujian pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemotongan (suhu geram) selama proses pemesian bubut untuk material titanium ortopedik dengan pahat berputar pada kondisi pemesian kecepatan potong $V_w=150$ m/min, gerak makan $f=0.2$ mm/rev, dan tebal pemotongan $a=1$ mm. Dari grafik menunjukkan bahwa kecepatan putar pahat mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap suhu pemotongan, dimana besarnya suhu pemotongan menurun seiring dengan peningkatan kecepatan putar pahat sampai pada nilai yang minimum yang berkisar 800°C ketika pahat diputar dengan kecepatan 30 m/min dan kemudian pada kecepatan selanjutnya nilai suhu pemotongan meningkat.



Gambar 24. Hasil simulasi pengujian pengaruh kecepatan putar pahat terhadap suhu pemotongan rata-rata. (Kondisi pemesinan: $V_w=150$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

Gambar 25 menunjukkan grafik hasil simulasi pengujian pengaruh kecepatan potong terhadap suhu pemotongan (suhu geram) selama proses pemesinan turning material titanium ortopedik dengan pahat berputar pada kondisi pemesinan kecepatan potong $V_w=150$ m/min, gerak makan $f=0.2$ mm/rev, dan tebal pemotongan $a=1$ mm. Dari grafik itu terlihat bahwa suhu pemotongan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan potong dalam rentang kecepatan 50 sampai dengan 200 m/min. Bagaimanapun peningkatan suhu pemotongan akibat peningkatan kecepatan potong dapat dilihat dalam dua aspek, pertama adalah terjadinya pelunakan dari material titanium ortopedik sehingga itu berpotensi penurunan gaya potong seiring dengan meningkatnya kecepatan potong. Kedua adalah peningkatan suhu pemotongan bisa berakibat umur pahat potong yang pendek.



Gambar 25. Hasil simulasi pengujian pengaruh kecepatan potong terhadap suhu pemotongan rata-rata. (Kondisi pemesinan: $V_T=30$ m/min, $f=0.2$ mm/rev, $a = 1$ mm, $i = 0$, $\theta = 0$, dan tanpa cairan pendingin)

Menariknya kecenderungan hasil simulasi pemesinan turning dengan pahat berputar untuk material titanium ortopedik ini adalah serupa ketika pemesinan turning material AISI 1045 seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Hanya saja, suhu pemotongan yang diperoleh ketika pemesinan turning material titanium ortopedik dengan pahat berputar adalah lebih tinggi dibandingkan dengan pemesinan turning material baja AISI 1045. Hal ini disebabkan sifat penghantar panas dari material titanium ortopedik yang rendah dibandingkan baja AISI 1045. Melihat fenomena hasil pemesinan bubut dengan pahat berputar seperti diuraikan sebelumnya yaitu utamanya pengaruh kecepatan putar pahat terhadap unjuk kerja ketemesinan material titanium ortopedik, maka optimalisasi parameter pemesinan bubut dengan pahat berputar dalam rangka meningkatkan produktifitas pemesinan material titanium ortopedik perlu dilakukan. Hasil optimasi parameter pemesinan nantinya akan digunakan untuk rancang bangun sistem pahat putar modular untuk pemesinan peralatan kesehatan ortopedik.

BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

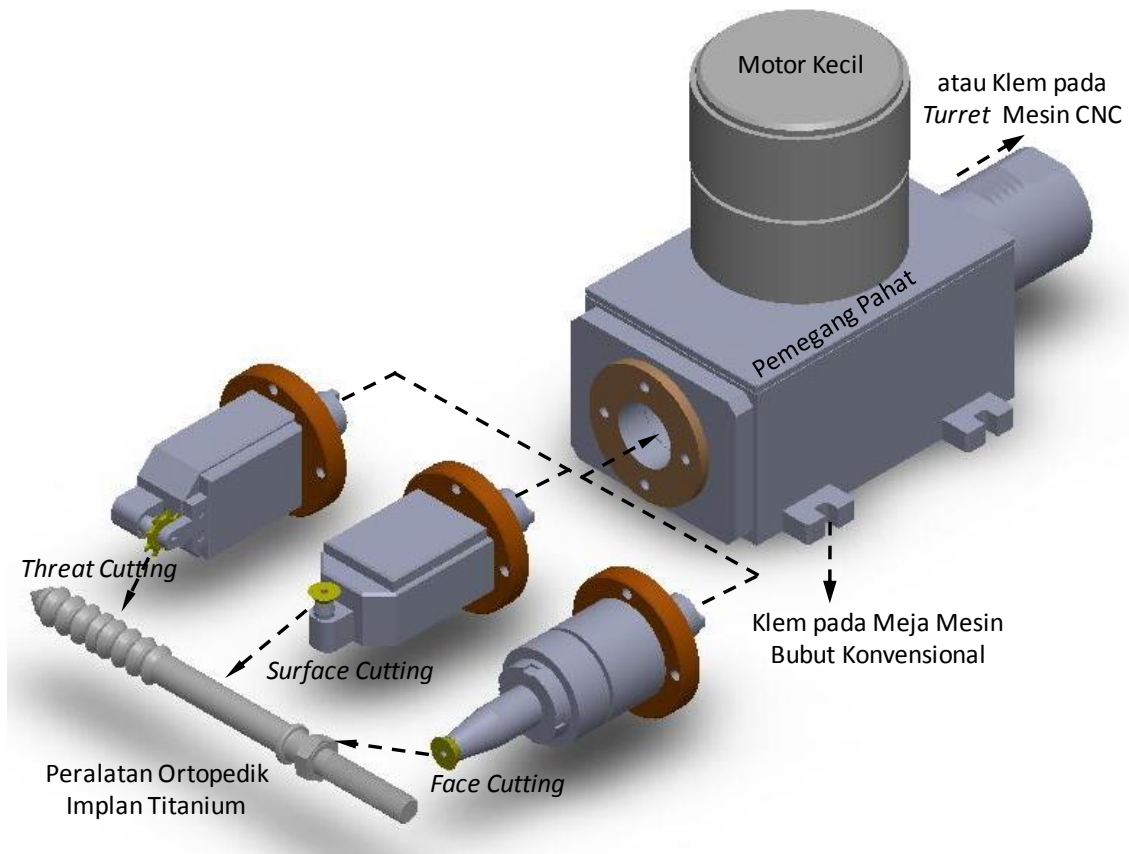
Pada penelitian tahun pertama ini, tahapan yang sudah dicapai adalah telah diperoleh suatu model pemesinan turning dengan pahat berputar berdasarkan metode FEM. Model sudah diaplikasikan dalam pengujian secara simulasi keternesinan material AISI 1045 dan Titanium Ortopedik (Ti-6Al-4V ELI) dalam aspek gaya dan suhu pemotongan. Hasil simulasi sudah divalidasi dengan pengujian secara eksperimen dimana hasilnya menunjukkan hasil yang relatif sesuai dengan hasil pengujian eksperimen dan perbedaan nilai (*prosentase error*) antara hasil pengujian simulasi dengan eksperimen relatif kecil yaitu secara umum sekitar $\pm 10\%$. Oleh karena itu model simulasi ini dapat digunakan untuk pengujian atau optimasi parameter pemesinan material paduan titanium dengan sistem pahat putar dalam rangka rancang bangun peralatan sistem pahat putar modular.

Pada penelitian tahun kedua, setelah model pemesinan turning dengan pahat berputar sudah tervalidasi maka model ini digunakan untuk melakukan optimasi parameter pemesinan material paduan titanium dengan sistem pahat putar dalam rangka rancang bangun peralatan sistem pahat putar modular. Secara detail tahapan kegiatannya adalah sebagai berikut:

Tahapan Penelitian Tahun II

- a. Pencarian parameter pemesinan material titanium dan paduannya dengan sistem pahat putar yang optimum yang ditinjau dari aspek suhu pemotongan dan umur pahat melalui simulasi proses pemesinan dengan sistem pahat putar yang sudah tervalidasi. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
 - Melakukan simulasi pemesinan material titanium dengan sistem pahat putar untuk mendapatkan data pengaruh parameter pemotongan meliputi diameter pahat, rasio antara kecepatan putar dan kecepatan potong terhadap suhu pemotongan dan keausan pahat.
 - Melakukan optimalisasi parameter pemesinan tersebut diatas ditinjau dari aspek suhu pemotongan dan keausan pahat dengan menggunakan metode Taguchi. Data parameter pemesinan optimum ini nantinya digunakan dalam perancangan pemegang pahat putar dan sistem penggerakannya.
- b. Perancangan pemegang pahat putar (*rotary tool holder*) modular yang mampu menangani beberapa macam proses pemesinan peralatan kesehatan ortopedik seperti *surface*, *cut*, *grooving*, dan *thread*. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
 - Merancang pemegang pahat putar yang memiliki beberapa modul pahat potong yang dapat menangani proses pemesinan peralatan kesehatan ortopedik *surface*, *cut*, *grooving*, dan *thread*, dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) Solidworks. Selain pertimbangan sistem modular pahat potong, rancangan bentuk, dimensi, dan pemilihan

elemen penggerak (roda gigi, motor dan lainnya) pemegang pahat putar juga mempertimbangan besarnya hasil optimasi pahat potong, rasio kecepatan pahat dan benda kerja, serta sudut potong pahat. Ilustrasi skematik sistem pahat putar modular dapat dilihat pada gambar 26.



Gambar 26. Ilustrasi Sistem Pahat Putar Modular

- Menilai (*assesment*) keselamatan desain (aspek kekuatan rancangan, dan daya tahan terhadap defleksi) pemegang pahat putar menggunakan perangkat lunak FEA CosmosWork.
 - Membuat *blue print* pemegang pahat putar sistem modular untuk keperluan fabrikasi.
- c. Fabrikasi pahat putar sistem modular berdasarkan rancangan untuk pemesinan peralatan kesehatan ortopedik. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
- Membuat dan mengadakan komponen-komponen pahat putar sistem modular;
 - Merakit komponen pahat putar sistem modular.
- d. Pengujian teknis pahat putar sistem modular untuk pemesinan peralatan kesehatan ortopedik. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
- Melakukan pengujian kekakuan sistem pahat putar modular dengan menggunakan *hammer test*.

- Melakukan pengujian *run out* sistem pahat putar dengan menggunakan *dial indicator*.

Tahapan Penelitian Tahun III

- a. Evaluasi dan analisis kinerja sistem pahat putar modular untuk pemesinan peralatan kesehatan ortopedik berbasis material paduan titanium. Rincian kegiatan pada tahap ini adalah:
 - Melakukan uji coba pemesinan material paduan titanium menggunakan sistem pahat putar modular dalam rangka membuat purwarupa (*prototype*) peralatan kesehatan ortopedik implan.
 - Menganalisis kualitas produk purwarupa peralatan kesehatan ortopedik implan yang dihasilkan dari pemesinan dengan sistem pahat putar modular dalam aspek bentuk dan dimensi.

- b. Optimalisasi parameter pemesinan ditinjau dari aspek keausan pahat dan morfologi permukaan (*surface morphology*) produk.
 - *Setup* perangkat eksperimen pemesinan titanium dan paduannya dengan sistem pahat putar modular.
 - Menguji parameter pemesinan meliputi kecepatan potong, kecepatan makan, dan tebal pemotongan terhadap aspek morfologi permukaan (*surface roughness* dan ukuran partikel) dan keausan pahat.
 - Mengukur keausan pahat dengan *tool maker microscope*, *surface roughness* dengan *surface tester*, dan ukuran partikel dengan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.
 - Menganalisis hasil pengujian pengaruh parameter pemesinan terhadap umur pahat, kekasaran permukaan dan ukuran partikel secara kualitatif dan kuantitatif.
 - Mencari kondisi optimum pemotongan berdasar kriteria umur pahat dan *surface morphology* dengan metode Taguchi.
 - Menerapkan kondisi parameter pemesinan optimum dalam pemesinan purwarupa peralatan kesehatan ortopedik implan bermaterial titanium dan paduannya.
 - Membandingkan kualitas dimensi, bentuk dan *surface morphology* produk alat kesehatan ortopedik titanium implan yang dihasilkan melalui pemesinan sistem pahat putar modular dengan produk sejenis yang ada dipasaran.

BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian tahun pertama Hibah Strategis Nasional dengan judul Rancang Bangun Sistem Pahat Putar Modular (*Modular Rotary Tool System*) untuk Pemesinan Material Alat Kesehatan Ortopedik (Titanium Alloy) telah selesai dilakukan, dimana untuk periode ini difokuskan untuk membuat model sistem pemesinan turning dengan pahat berputar berdasarkan metode FEM. Berikut ini beberapa kesimpulan yang bisa diambil, yaitu:

1. Model sistem pemesinan turning dengan pahat berputar sudah diperoleh dan sudah diaplikasikan untuk material titanium ortopedik dan AISI 1045. Perbandingan hasil prosentasi error antara pengujian simulasi dengan eksperimen relatif kecil yaitu secara umum sekitar $\pm 10\%$.
2. Oleh karena itu model simulasi ini dapat digunakan untuk pengujian atau optimasi parameter pemesinan material paduan titanium dengan sistem pahat putar dalam rangka rancang bangun peralatan sistem pahat putar modular

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebaiknya pendanaan penelitian dimulai awal tahun sesuai dengan jadwal pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perdagangan Nasional Republik Indonesia, 2008, Laporan Tahunan
- [2] www.titanium.com.sg/TitaniumforMedicalApplication, diakses tanggal 26 Nopember 2011 jam 12.04 WIB.
- [3] Ibrahim, 2009, Surface Integrity of Ti-6Al-4V ELI when machined using coated carbide tools under dry cutting condition. International Journal of Mechanical and Materials Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 92-97, 2009.
- [4] <http://www.supraalloys.com/medical-titanium.php>, diakses tanggal 20 Maret 2012 jam 17.04 WIB.
- [5] Frank, M.C., 2008, Rapid Manufacturing in Biomedical Materials: Using Subtractive Rapid Prototyping for Bone Replacement, J Am Acad Orthop Surg October 2011; 19:644-647.
- [6] Bene, J., 2006, Machining Titanium Implants, NTMA Precesion online magazine
- [7] Bejjani, R., 2011, Machinability and Chip Formation of Titanium Metal Matrix Composites, International Journal of Advanced Manufacturing System, Volume 13 Issue 1
- [8] Oshida, 2010, Dental Implant Systems, International Journal ofMolecular Sciences, Vol. 11, 1580-1678.
- [9] Harun, S., 2009, Cutting Temperature Measurement in Turning with Actively Driven Rotary Tool.Key Engineering Materials. Vols. 389-390, pp. 138-14.
- [10] Harun, S., 2008, Study Cutting Mechanics of Turning with Actively Driven Rotary Tool. The Journal of Advanced Mechanical Design, System and Manufacturing.Vol.2 No. 4, pp. 579-586.
- [11] S. Harun, 2009, Turning with Actively Driven Rotary Tool, Reseachr Report, Mori Seiki - Kobe University.
- [12] Oxley, P.L.B., Mechanics of Machining: An Analytical Approach toAssessing Machinability, Ellis Horwood, Chichester, West Sussex, pp.223-227, 1989
- [13] Yanuar, B., Suryadiwansa, H., dan Arinal, H., 2010, Effect of Cutting Speed Variation on Temperature when Drilling AISI1045: Simulation and Experiment, Jurnal Mechanical, Vol. 1 No. 1, pp. 45-50

LAMPIRAN

Lampiran 1: Personalia Tenaga Peneliti dan Kualifikasinya

PENELITI UTAMA

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr.Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T.	L
2	Jabatan Fungsional	Lektor	
3	Jabatan Struktural	-	
4	NIP/NIK/No. Identitas lainnya	197005012000031001	
5	NIDN	0001057002	
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Palopo/ 1 Mei 1970	
7	Alamat Rumah	Perumahan Griya Kencana Blok D. No.3, Rajabasa Bandar Lampung, 35144	
8	Nomor Telepon/Faks /HP	082181019857	
9	Alamat Kantor	Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung	
10	Nomor Telepon/Faks	072135555519/0721-704947	
11	Alamat e-mail	suryadiwansa.harun@eng.unila.ac.id	
12	Lulusan yang Telah Dihilangkan	S-1= 15 orang; S-2= - Orang; S-3=- Orang	
13	Mata Kuliah yg diampu	1. Sistem Produksi	
		2. Proses Produksi	
		3. Teknologi Pemesinan	
		4. Mesin Perkakas NC	
		5. Teknik Pembentukan	
		6. CAD/CAM	

B. Riwayat Pendidikan

Program	S1	S2	S3
Nama PT	ITS	ITB	Kobe University
Bidang Ilmu	Teknik Produksi	Sistem Produksi	Machining Process
Tahun Masuk/Lulus	1994/1997	1998/2001	2005/2009
Judul Skripsi/ Tesis/Disertasi	Analisis Unjuk Kerja Cairan Pendingin pada Proses Gurdi	Pemodelan dan Simulasi Virtual Equipment pada Pengembangan Factory Virtual	Study on Turning with Actively Driven Rotary Tool
Nama Pembimbing/ Promotor	Dr. Ir. Bobby Oedy Supangkat, MSc.	Prof. Dr. Yatna Yuana Martawirya	1. Prof. Dr. Toshimichi Moriwaki 2. Prof. Dr. Toshiro Shibasaka

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

(Bukan Skripsi, Tesis, maupun Disertasi)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1	2011	Anggota: Pemanfaatan Sistem Pahat Putar (Rotary Tool System) dan Udara	Hibah Bersaing, DP2M Dikti	40.000.000

		Bertekanan (Pressurised Air) Pada Pemesinan Magnesium Dalam Rangka Menaikkan Produktifitas dan Pengurangan Pencemaran Lingkungan (Green Manufacturing), Sub-Judul: Akuisisi suhu pemotongan dan citra geram pada pemesinan magnesium menggunakan metode termograf		
2	2010	Ketua: Sinergitas Perencanaan Pengembangan Industri Kecil Logam Provinsi Lampung Melalui Diversifikasi Produk Logam Dengan Menggunakan Metode <i>Net Shape Manufacturing</i> dalam Rangka Meningkatkan Daya Saing dan Mutu Produk	Hi-Link, DP2M Dikti	150.000.000
3	2009	Ketua: Pengukuran keausan pahat dengan pencitraan menggunakan kamera digital	Hibah Pemda	5.000.000

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Program	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1	2011	IbM IK Logam Prinsewu	Dikti	40.000.000
2	2010	Pelatihan Pengelasan Pada IKM Logam di Pagelaran, Pringsewu	DIPA UNILA	5.000.000
3	2009	Pelatihan Kendali Logika Terprogram (PLC/Programmable Logic Control) SMK Negeri 2 Bandar Lampung Terdaftar di LPM No. 26 /H26/9/FT/2009 Tanggal 28 - 10 - 2009	DIPA UNILA	5.000.000

E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah Dalam Jurnal Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
1	2008	Cutting Mechanics of Turning with Actively Driven Rotary Tool	Vol. 2 No. 4, pp. 579-586	The Journal of Advanced Mechanical Design, System and Manufacturing
2	2009	Cutting Temperature Measurement in Turning with Actively Driven Rotary Tool	Vols. 389-390, pp. 138-14	Key Engineering Materials
3	2009	Effect of cutting tool sliding on cutting phenomena (1 st Report)- Influence on chip formation and cutting force	Vol. 75, No. 12, December 2009, pp. 1413-1417	Journal of the Japan Society for Precision Engineering
4	2010	Effect of Cutting Speed Variation on Temperature When Drilling AISI 1045	Volume 1 No. 1 ISSN 2087-1880	Mechanical Jurnal Ilmiah

		: Simulation and Experiment (anggota)		Teknik Mesin Fakultas Teknik Unila
5	2010	Pemodelan dan Simulasi Urutan Pengelasan Bilah Roda Traktor Berbasis Metoda Elemen Hingga	Vol 12, No 2: Oktober 2010 ISSN 1410-9867	Jurnal Teknik Mesin, Universitas Petra, Surabaya

F. Pengalaman Penyampaian Makalah Secara Oral Pada Pertemuan / Seminar Ilmiah Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	2007	The 4th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century.	Cutting Mechanics of Turning with Actively Driven Rotary Tool	Fukuoka, Japan 7 – 9 Nopember 2007
2	2008	The 11th International Symposium on Advances in Abrasive Technology	Cutting Temperature Measurement in Turning with Actively Driven Rotary Tool	Hyogo, Japan, 2008
3	2009	the 20th International DAAAM Symposium " Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Theory, Practice and Education	Machining with Active Driven Rotary Tool on Compound Multiaxis Machine Tool	Vienna-Austria, 25 - 28 Nopember 2009

G. Pengalaman Penulisan Buku Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit
1	2009	Penuntun Praktikum CNC/CAM	40	Sendiri (Naskah Terdaftar di Perpustakaan Unila)
2	2010	Modul Menggambar dengan Bantuan Komputer (CAD)	130	Sendiri (Naskah Terdaftar di Perpustakaan Unila)

H. Pengalaman Perolehan Hki Dalam 5-10 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul/Tema HKI	Jenis	Nomor P/ID

I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tempat Penerapan	Respons Masyarakat

J. Penghargaan Yang Pernah Diraih Dalam 10 Tahun Terakhir (Dari Pemerintah, Asosiasi Atau Institusi Lainnya)

No	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Bersaing.

Bandar Lampung, 29 Nopember 2013

Peneliti Utama,

(Dr.Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T)
NIP 197005012000031001

PENELITI ANGGOTA 1

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. (L) /P
2	Jabatan Fungsional	Asisten Ahli
3	Jabatan Struktural	-
4	NIP/NIK/No. Identitas lainnya	196405062000031001
5	NIDN	0006056402
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Tj. Karang/6 Mei 1964
7	Alamat Rumah	Jl. Purnawirawan VII Gg. H. Latif 2 No. 26A Bandar Lampung 35145
8	Nomor Telepon/Faks /HP	0721 9762245/081977915670
9	Alamat Kantor	Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung
10	Nomor Telepon/Faks	07213555519/0721-704947
11	Alamat e-mail	yanuar@unila.ac.id
12	Lulusan yang Telah Dihilangkan	S-1= 20 orang; S-2= - Orang; S-3=- Orang
13	Mata Kuliah yg diampu	1. Metodologi Penelitian
		2. Teknik Pembentukan
		3. Rekayasa Mutu
		4. CNC/CAM
		5. Metodologi Penelitian
		6. Teknik Pembentukan

B. Riwayat Pendidikan

Program	S1	S2	S3
Nama PT	Institut Teknologi Bandung	Institut Teknologi Bandung	Universiti Kebangsaan Malaysia
Bidang Ilmu	Teknik Mesin	Teknik Mesin	Teknik Mesin dan Material
Tahun Masuk/Lulus	1984/1990	1998/2001	2003/2010
Judul Skripsi/ Tesis/Disertasi	Pengembangan Teknologi Kelompok Berdasarkan Kemampuan Pemrograman Mesin Bubut CNC	Analisis Ketelitian Pemosisian Low Cost High Quality Machining Center Dengan Sistem Pengukuran Mesin Perkakas Berbasis Laser Interferometer	The Performance of PCBN Cutting Tool in Titanium Alloy Ti-6Al-4V Turning Process
Nama Pembimbing/ Promotor	Dr. Ir. Taufiq Rochim	Prof. Dr. Komang Bagiasna	Prof. Dr. Che Hassan Che Haron

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

(Bukan Skripsi, Tesis, maupun Disertasi)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1	2011	Ketua: Pemanfaatan Sistem Pahat	Hibah Bersaing,	40.000.000

		Putar (Rotary Tool System) dan Udara Bertekanan (Pressurised Air) Pada Pemesinan Magnesium Dalam Rangka Menaikkan Produktifitas dan Pengurangan Pencemaran Lingkungan (Green Manufacturing), Sub-Judul: Akuisisi suhu pemotongan dan citra geram pada pemesinan magnesium menggunakan metode termograf	DP2M Dikti	
2	2010	Anggota: Sinergitas Perencanaan Pengembangan Industri Kecil Logam Provinsi Lampung Melalui Diversifikasi Produk Logam Dengan Menggunakan Metode <i>Net Shape Manufacturing</i> dalam Rangka Meningkatkan Daya Saing dan Mutu Produk	Hi-Link, DP2M Dikti	150.000.000
3	2010	Ketua : pemodelan dan simulasi urutan pengelasan bilah roda traktor berbasis metoda elemen hingga	DIPA Unila	5.500.000
4	2009	Anggota: Pengukuran keausan pahat dengan pencitraan menggunakan kamera digital	Hibah Pemda	5.000.000

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Program	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1	2011	IbM IK Logam Prinsewu	Dikti	40.000.000
2	2010	Pelatihan Pengelasan Pada IKM Logam di Pagelaran, Pringsewu	DIPA UNILA	5.000.000
3	2009	Pelatihan Pembuatan Komponen Saringan Udara Sepeda Motor Mampu Hemat Bensin Bagi Tukang Ojek Simpang Unila	DIPA Unila	4.000.000
4	2009	Pelatihan Pembuatan Briket Arang Sekam Padi Kepada Masyarakat Desa Wonokerto, Kec. Gadingrejo, Kab. Tanggamus	DIPA Unila	3.000.000

E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah Dalam Jurnal Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
1	2008	Copper and graphite electrodes performance in electrical-discharge machining of XW42 tool steel.	Vol. 201/No.1-3	Journal of Materials Processing Technology (Elsevier)
2	2008	The Effects of CBN Cutting Tool Grades on the Tool Life and Wear Mechanism When Dry Turning of	Vol. 1/No.2	Asian International Journal of Sci.

		Titanium Alloy		and Tech. in Production and Manufacturing
3	2010	Pemodelan dan Simulasi Urutan Pengelasan Bilah Roda Traktor Berbasis Metoda Elemen Hingga	Vol 12, No 2: Oktober 2010 ISSN 1410-9867	Jurnal Teknik Mesin, Universitas Petra, Surabaya

F. Pengalaman Penyampaian Makalah Secara Oral Pada Pertemuan / Seminar Ilmiah Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	2009	12th CIRP Conf. on Modeling of Mach. Process	Effects of Edge Geometry on the Performance of CBN Tools When Cutting Titanium 6Al-4V by Utilizing Machining Tests and Finite Element Simulations	Monderagon, Spain, 2009
2	2008	Seminar on Engineering Mathematics	Tool life assessment using fractional factorial method in turning of titanium alloy with CBN cutting tool	Kualalumpur, Malaysia, 2008

G. Pengalaman Penulisan Buku Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit
1	2009	Penuntun Praktikum CNC/CAM	40	Sendiri (Naskah Terdaftar di Perpustakaan Unila)

H. Pengalaman Perolehan HKI Dalam 5-10 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul/Tema HKI	Jenis	Nomor P/ID

I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tempat Penerapan	Respons Masyarakat

J. Penghargaan Yang Pernah Diraih Dalam 10 Tahun Terakhir (Dari Pemerintah, Asosiasi Atau Institusi Lainnya)

No	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Bersaing.

Bandar Lampung, 26 Maret 2012

Peneliti Anggota,

(Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.)
NIP 196405062000031001

PENELITI ANGGOTA 2

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Gusri Akhyar Ibrahim, ST. MT. PhD.	L
2	Jabatan Fungsional	Lektor	
3	Jabatan Struktural	-	
4	NIP/NIK/No. Identitas lainnya	197108171998021003	
5	NIDN	0017087103	
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Kawai Batu Bulat, 17 Agustus 1971	
7	Alamat Rumah	Perum Griya Kencana Blok A no 4 Raja Basa Bandar Lampung	
8	Nomor Telepon/Faks /HP	082170862075	
9	Alamat Kantor	Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung	
10	Nomor Telepon/Faks	07213555519/0721-704947	
11	Alamat e-mail	gusriakhyar@yahoo.com	
12	Lulusan yang Telah Dihilangkan	S-1= 5 orang; S-2= - Orang; S-3=- Orang	
13	Mata Kuliah yg diampu	1. Mesin-mesin perkakas dan proses pemesinan 2. Pengendalian Kualitas 3. Pemilihan bahan dan proses 4. Manufaktur Non Logan	

B. Riwayat Pendidikan

Program	S1	S2	S3
Nama PT	Universitas Sriwijaya	Univeristas Gadjah Mada	National University of Malaysia
Bidang Ilmu	Konversi Energi	Mekanika Kekuatan Bahan	Manufacturing and process machining
Tahun Masuk/Lulus	1992/1997	2002/2005	2005/2010
Judul Skripsi/ Tesis/Disertasi	Efect proses thotting terhadap prestasi kompresor	Pelapisan pahat bubut HSS dengan Teknik Sputering DC	Turning of Titanium Ti-6Al-4V ELI using carbide tools under dry cutting condition
Nama Pembimbing/ Promotor	Prof. Dr. Hasan Basri	Ir. Mudjijana M.Eng	Prof. Dr. Che Hassan Che Haron

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

(Bukan Skripsi, Tesis, maupun Disertasi)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1	2010	Machining of aerospace material inconel 718 using carbide tools under dr cutting condition	National University of Malaysia	
2	2009	Turning of Ti-6Al-4V ELI using	National	

		carbide tools under dry machining	University of Malaysia	
3	2008	Investigation of Surface integrity when turning of super alloy material using carbide insert under dry cutting condition	National University of Malaysia	
4	2007	Pengaruh Himbauan Pemerintah Kota Tentang Kebersihan Lingkungan Terhadap Perilaku Wanita Dalam Penanganan Sampah di Kota Bandar Lampung	DIKTI / SKW	7.500.000

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Program	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)

E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah Dalam Jurnal Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
1	2011	Performance of PVD coated carbide tools when turning inconel 718 in dry machining.	Vol. 264-265, pp. 1050-1055	Advanced Materials Research
2	2011	Sustainable rural energy: Traditional water wheels in Padang	Vol. 2, No.1, pp. 23-31	International Journal of Renewable Energy Technology
3	2011	Surface integrity of Inconel 718 under MQL condition	Vol. 150-151, pp. 1667-1672	Advanced Materials Research
4	2010	Cutting force analysis when milling Ti-6Al-4V under dry and near dry condition using coated tungsten carbides	Vol. 129-131, pp. 993-998	Advanced Materials Research
5	2010	Tool wear mechanism in continuous cutting of difficult-to-cut material under dry machining	Vol. 126-128, pp. 195-201.	Advanced Materials Research
6	2010	Tool wear performance of CVD-insert during machining of Ti-6% Al-4% V ELI at high cutting speed	Vol. 443, pp. 371-375	Key Engineering Materials
7	2010	Taguchi optimization method for surface roughness and material removal rate in turning of Ti-6Al-4V	Vol. 4, No. 3, pp. 216-221	International Review of Mechanical Engineering
8	2009	Surface Integrity of Ti-6Al-4V ELI when machined using coated carbide tools under dry cutting condition.	Vol. 4, No. 2, pp. 92-97.	International Journal of Mechanical and Materials Engineering

9	2009	Progression and wear mechanism of CVD carbide tools in turning Ti-6Al-4V ELI	Vol. 4, No. 1, pp. 35-41	Journal of Mechanical and Materials Engineering
10	2009	Machinability of Ti-6Al-4V under dry and near dry condition using cemented carbide tools	Vol. 2, pp. 1-9	The Open Journal for Manufacturing and Industrial Engineering
11	2008	The effect of CBN cutting tool grades on the tool life and wear mechanism when dry turning of titanium alloy.	Vol. 1, No. 2.	Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering,

F. Pengalaman Penyampaian Makalah Secara Oral Pada Pertemuan / Seminar Ilmiah Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat

G. Pengalaman Penulisan Buku Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit

H. Pengalaman Perolehan Hki Dalam 5-10 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul/Tema HKI	Jenis	Nomor P/ID

I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tempat Penerapan	Respons Masyarakat

J. Penghargaan Yang Pernah Diraih Dalam 10 Tahun Terakhir (Dari Pemerintah, Asosiasi Atau Institusi Lainnya)

No	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Bersaing.

Bandar Lampung, 26 Maret 2012

Peneliti Anggota,

(Gusri Akhyar Ibrahim, ST. MT. PhD)
NIP. 197108171998021003

Lampiran 2: Publikasi Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII) Sesi Internasional Paper, tanggal 23-24 Oktober 2013, dengan judul paper adalah The Experimental Investigation of Cutting Forces and Chip Formation on Turning with Actively Driven Rotary

Nomor	NAMA PEMAKALAH DAN JUDUL MAKALAH
JSME 287	<u><i>The Experimental Investigation of Cutting Forces and Chip Formation on Turning with Actively Driven Rotary Tool</i></u> Suryadiwansa Harun, Toshiroh Shibasaka (<i>Hal.1519-1524</i>)

An Experimental Investigation of Effects of Tool Rotational Speed on Chip Deformation during Turning with Actively Driven Rotary Tool

SuryadiwansaHarun¹, Toshiroh Shibasaka²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

²Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe, Japan

Abstract: This paper presents an experimental investigation on chip deformation of the actual turning with actively driven rotary tool. The main purpose of present work is to make clearly the effect of tool rotational speed and its direction upon the cutting force components, and the chip formation. In order to investigate the effect of tool rotation with a wide range of speed, the cutting tool is driven by the high speed motor of main spindle machine and its rotation is controlled by NC Programmable. The components of cutting force were measured using the piezoelectric force transducers of the force ring dynamometer. Experimental results show that the tool rotational speed can lead an increase in the dynamic inclination angle so that causes the helix angle and the pitch of chip were increased. This indicates the cutting mechanics changed from the orthogonal to the oblique cutting. It was also found that the tool rotational speed has a significant effect on the cutting forces. The resultant and tangential cutting forces decrease with increasing the tool rotational speed to certain value and then constant. The resultant cutting force of rotary tool was approximately 18% lower than the resultant cutting force recorded by the cutting with a non-rotating tool. The axial force increases with an increase in tool rotational speed in a certain speed range and then constant. Interestingly, the constant of the cutting forces as mentioned above along with the increase of the tool rotational speed was obtained at the dynamic inclination angle higher than 45deg. or the velocity ratio higher than 1.

Keywords: Turning with actively driven rotary tool, Tool rotational speed, Cutting forces, and Chip formation.

1. Introduction

High speed cutting has become one of the most promising advanced manufacturing technologies in recent years. The advantages of high speed cutting are high productivity and lower cost. However, as a consequence of high speed cutting, the cutting temperature rises and the life of the cutting tool is shortened. Many researches have been carried out to seek for effective methods to overcome the cutting temperature rise when high speed cutting is applied. One of the possible novel methods to decrease the cutting temperature as well as to increase the machining productivity is to use a rotary cutting tool in turning (Shaw et al., 1952). As the cutting tool rotates and it is cooled during the non-cutting time in one rotation of the tool, it is expected that the temperature of the tool will decrease compared with conventional turning. It is also expected that the rotary cutting tool can be used for high speedcutting of difficult-to-cut materials such as nickel based and titanium based alloys (Lei et al., 2002). However, The state of art of cutting with rotary tools in turning is still at pre-matured stage, and it requires systematic researchesbeforeapplying the technology to actual production.

The forces acting on the tool are the important aspect of the machining, which is needed for estimating the required power. Also, they have a significant effect on the quality of machined part. In

¹Corresponding author. Tel.: +62-721-3555519; fax: +62-721-704947.

E-mail addresses: suryadiwansa.harun@eng.unila.ac.id (S. Harun)

case of the actual turning with circular cutting edge, the tool-workpiece contact arc is long, thus it can lead to the larger trust radial force (Chou et al., 2004). Therefore, if the structure of the rotary turning tool-holder is lack in stiffness; the deflection of tool could possibly occur. In fact, it is quite often that the occurrence of chatter or poor surface finish can be directly traced to deflection of the tool due to the lack of tool stiffness itself. In order to enhance the stiffness of tool holder system so that the deflection of the tool can be prevented, knowledge about the forces acting on the tool during machining process of the actual turning by circular cutting edge motion is essentially required. Therefore, investigation of cutting force on chip deformation mechanism of the actual turning with rotary tool should be carried out.

This paper presents an experimental investigation on chip deformation of the actual turning with actively driven rotary tool. The main purpose of the present work is to make clearly the effect of tool rotational speed and its direction upon the cutting force components, and the chip formation. In order to investigate the effect of tool rotation with a wide range of speed, the cutting tool is driven by the high speed motor of main spindle machine and its rotation is controlled by NC Programmable.

2. A Feature of Turning With Actively Driven Rotary Tool

Figure 1 shows the basic feature of the turning with actively driven rotary tool process used in this work. Geometrically, this method is characterized by the circular cutting edge, the normal rake angle and the clearance angle. In addition, it is possible to have two positions of the tool cutting edge relative to the work. The inclination angle i of the tool holder and offset height h (offset angle θ) are defined in Fig. 1. Kinematically, three motions are involved in this method: (1) Cutting motion, work velocity V_w , (2) Feed rate of the tool f into workpiece, and (3) The tool rotation speed V_T as the main feature in this method, which causes sidewise motion of tool. It is assumed that when the tool rotates from point of large chip thickness to point of small chip thickness, the rotational direction of the tool is defined to be counterclockwise. Further, the incline angle (that called as the dynamic inclination angle i_d) of the resultant vector of both cutting velocity of work and tool rotational speed was also formed, which it can be expressed as shown in Eq. 1. The increase of the tool rotational speed can leads an increase in the dynamic inclination angle. This causes the change of chip flow direction (Shaw et al., 1952) so that the cutting mechanics change from orthogonal to oblique cutting.

$$\tan i_d = \frac{V_T}{V_w \cdot \cos \theta \cdot \cos i} \quad (1)$$

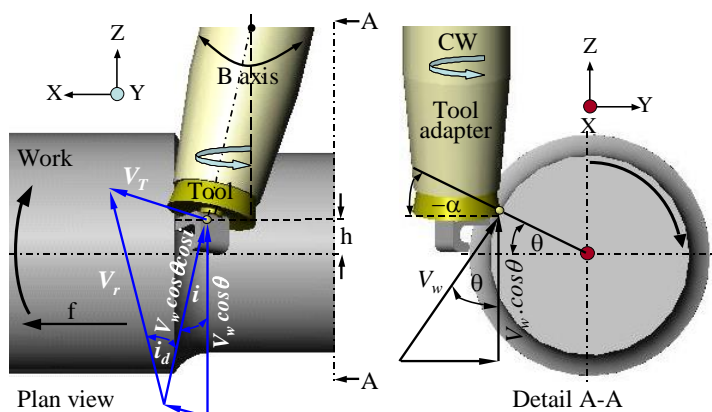


Fig. 1. Principle of turning with actively driven rotary tool

3. Experimental Procedure

3.1 Experimental Equipment and Condition

Figure 2 shows a photograph of the experimental equipment. In order to measure the cutting force in this equipment, an additional spindle is mounted on the table of a vertical machining center (Hitachi Seiki VM-3) to which the workpiece is attached as shown in Fig. 2. A 16 mm diameter insert tool made of PVD Coated Cermet having a normal rake angle of 11° was used. The insert tool was clamped on the special tool adapter, and then they were fixed on the milling spindle, which is its rotation changed easily and elevated by the programmable control. The work materials employed for the cutting experiment were plain carbon steel JIS:S45C, which were finished prior to the cutting test in the form of solid bar of 50mm diameter and 120mm length. Cutting forces were measured using the piezoelectric force transducers of the force ring dynamometer. The major cutting conditions are summarized in Table 1.



Fig. 2 Photograph of experimental equipment of the vertical machine center

Table 1 Major cutting condition

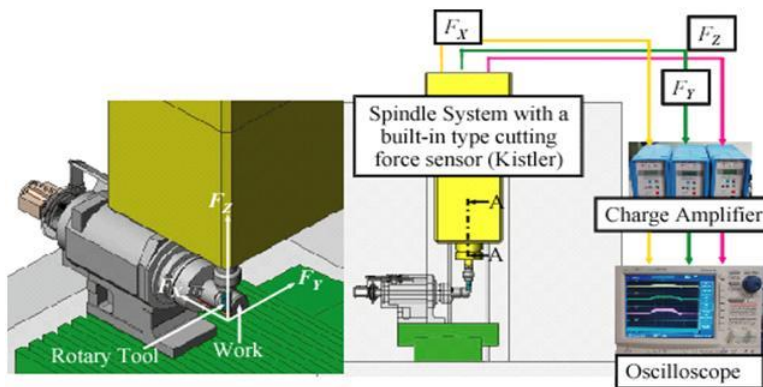
Work material	Plain Carbon Steel (JIS:S45C)
	Diameter=50mm
Tool	Type: RPMT 1604 MO-BB (Kyocera) Material: PVD Coated Cermet Geometry: Normal rake and relief angle $\alpha=11^\circ$, Diameter D=16 mm
Tool rotational speed N_T , min^{-1}	0 ~ ± 4000
Work speed V_W , m/min	60 ~ 160
Feed f , mm/rev	0.1 ~ 0.25
Depth of cut a , mm	0.5; 1
Inclination angle i , deg.	0
Offset angle θ , deg.	0
Cutting fluid	Dry
Direction of the spindle rotation	Tool spindle: CW; CCW

3.2 Cutting Force Measurement

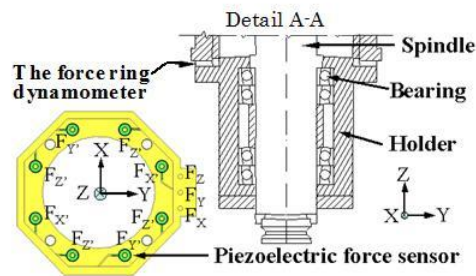
Figure 3 shows a schematic illustration of the cutting force measurement system in turning with the rotary cutting tool. There are three components of the cutting forces, consist of the tangential force, F_Z , which acts in the tangential direction of the rotating work and represents the resistance to the rotation of the work. The axial fore, F_X is longitudinal force component acting in the direction parallel to the axis of the work rotation. The radial force, F_Y is acting in the radial direction of the work from the centre of rotation. The resultant force, F_R is given by,

$$F_R = \sqrt{(F_X)^2 + (F_Y)^2 + (F_Z)^2} \quad (2)$$

The three cutting force components as mentioned above were measured with the force ring dynamometer as shown in Fig. 3.b. The force ring is composed of eight piezoelectric force sensors embedded in ring like frame, which is installed at the fixing point of the main spindle head as shown in Fig. 3.b. In order to record the output of cutting force signal from those sensors, they should be sent to charge amplifiers prior they recorded by using the digital oscilloscope. In order to get an accurate measurement of the cutting force components, calibration of the dynamometer was carried out prior to the cutting tests to calibrate the sensitivities of the dynamometer with use of the table-type dynamometer and also the cross talks of the output signals was compensated (Harun, 2011).

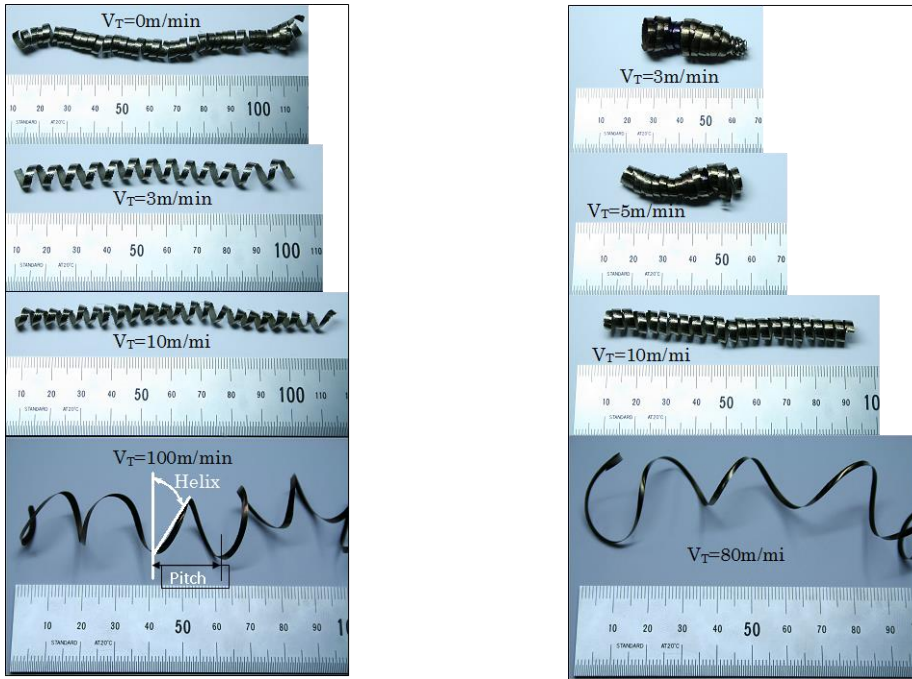


a. Principle of cutting force measurement



b. Built-in type cutting force sensor system

Fig. 3 Schematic illustration of cutting force measurement



a. Tool rotational direction of clockwise, CW

b. Tool rotational direction of counterclockwise, CCW

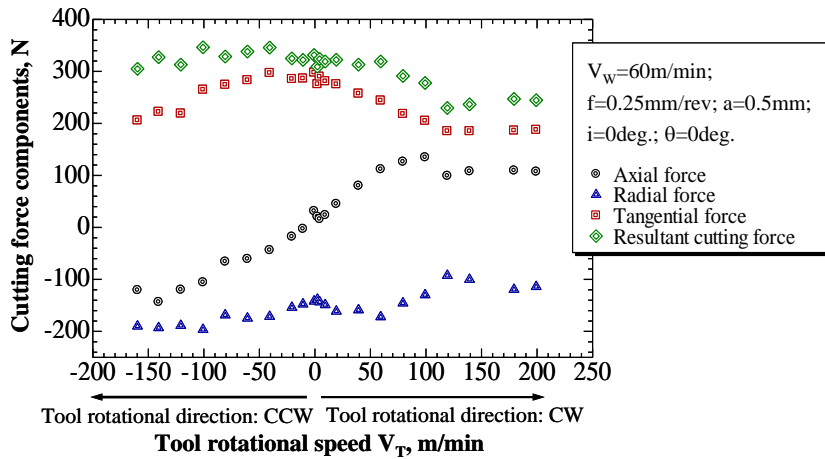
Fig. 4 Photographs of chip obtained during machining with various tool rotational speed (cutting conditions: $V_w=60\text{m/min}$; $a=0.5\text{mm}$; $i=0\text{deg.}$; $\square=0\text{deg.}$)

4. Result and Discussion

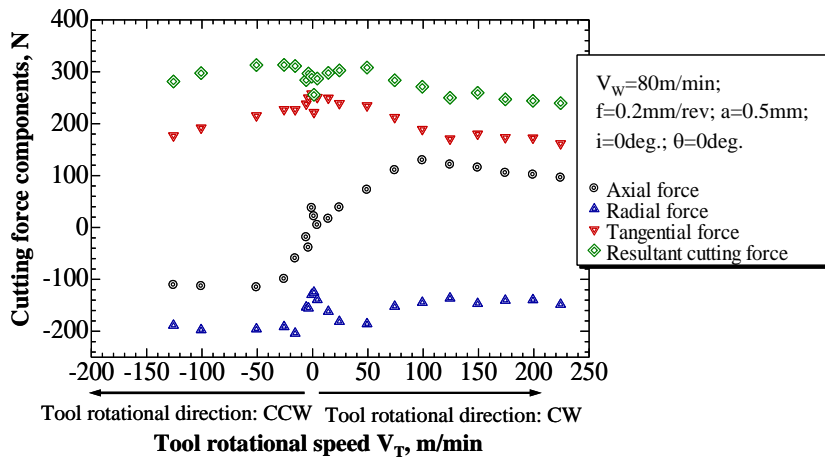
4.1 Chip formation

Figure 4 shows the photograph of chips obtained during machining with various tool rotational speeds and in either direction of the clockwise (CW) and the counterclockwise (CCW). In case of the tool was rotated in CW direction, see Fig. 4.a, with increasing the tool rotational speed, the helix angle of chips and the pitch of chip were increased, and then it seems that the chip flow becomes smooth, also its flow direction was changed. This indicates the cutting mechanics change from the orthogonal to the oblique cutting.

Interestingly, the chip produced during machining when the tool was rotated in CCW is somewhat different as compared to the opposite direction as shown in Fig. 4.b. As observed in this figure, it was rather broken especially at the low tool speeds (3 and 5 m/min). It is further observed that its helix angle and its pitch were smaller as compared to the case of the tool rotate in opposite direction. This caused by the chip stacked on the work surface so that the chip flow becomes not smooth.



a. Case of $V_W = 60$ m/min



b. Case of $V_W = 80$ m/min

Fig. 5 Effect of tool rotational speed on cutting forces

4.2 Cutting Force

Figure 5 shows the effect of the tool rotational speed on cutting forces when the tool was rotated in either direction of the clockwise (CW) and the counterclockwise (CCW). In case of the cutting speed V_W of 60 m/min, the tangential force decreases with increasing the tool rotational speed in either tool rotation direction of CCW and CW, see Fig. 5.a. This can be attributed to reduced amount of work done in chip deformation of turning with actively driven rotary tool. According to Eq.1, the increase of tool rotational speed can lead an increase in the dynamic inclination angle so that causes the helix angle and the chip pitch increased. This indicates an increase in chip flow angle, and then leads the effective rake and shear angle was increased. These factors cause the cutting force decreases along with the increase of tool rotational speed. Interestingly, the decrease of the tangential force with an increase in clockwise tool rotational speed was effective to a speed limit of approximately 100 m/min or the velocity ratio is higher than 1 (calculated from Eq.1) and then constant. It means that the decrease of that cutting force based on the increase of tool rotational speed already reaches the saturation state. In others word, the effect of effective rake and shear angle to decrease the cutting force was limited by the increase of tool speed cutting itself. Furthermore, it is interested that the variation of tangential force along with the increase of counterclockwise tool rotational speed was almost constant in a speed range from 0 to 40 m/min. This seems caused by the chip stacked on the work surface so that the chip flow becomes not smooth.

In contrast to those cutting forces, the axial force increases with an increase in clockwise tool rotational speed and then constant as shown in Fig. 5.a. When the tool is rotated in CW direction,

the tangential velocity of the tool has the same direction with feed direction. That results in large axial direction velocity, which is the sum of the tangential velocity of tool and feed speed. This factor increases the axial force component with an increase in the tool rotational speed (Harun et al., 2008). However, the change of axial force with increasing the tool rotational speed was almost constant in a speed range is higher than approximately 60m/min, which is the equal to the dynamic inclination angle of 45deg (case of $V_w=60\text{m/min}$) or the velocity ratio of 1 as calculated from Eq.1. When the tool rotational speed is higher than the work cutting speed V_w (the dynamic inclination angle is higher than 45deg.), the chip will sliding on the rake face of the tool. It is seemed that the sticking region at chip-tool interface is eliminated, and this tends to reduce of the frictional drag. The drop in the frictional drag was invoked to explain the observed constant change in the magnitude axial cutting force at the velocity ratio range is higher than 1.

The radial force decreases slightly as increasing tool rotational speed in clockwise tool rotation direction, while it was almost constant as increasing tool rotational speed in opposite direction. As consequence of magnitude all cutting force components, the resultant cutting force also decreases along with the increase of tool rotational speed in experimental range of the tool rotational speed.

In addition, the resultant cutting force of rotary tool was found to be smaller, which was approximately 18% lower than the resultant cutting force recorded by the cutting with a non-rotating tool. The similar trend was also observed at the case of the cutting speed was changed from 60 to 80m/min as shown in Fig. 5.b. It is importantly noted that the results as mentioned above were not reported by the past researchers.

5. Conclusion

In this paper, an experimental examination of the effects of the tool rotational speed and direction upon the chip formation and the cutting forces during turning with the actively driven rotary toolswere carried out. The following remarks are concluded in this paper from the experiments.

1. It was found that the increase of the tool rotational speed can lead an increase in the dynamic inclination angle so that causes the helix angle and the pitch of chip were increased.
2. It was further found that the tool rotational speed has a significant effect on the cutting forces. The resultant and tangential cutting forces decrease with increasing the tool rotational speed to certain value and then constant. The resultant cutting force of rotary tool was approximately 18% lower than the resultant cutting force recorded by the cutting with a non-rotating tool.
3. The axial force increases with an increase in tool rotational speed in a certain speed range and then constant.
4. Interestingly, the constant of the cutting forces as mentioned above along with the increase of the tool rotational speed was obtained at the dynamic inclination angle higher than 45deg. or the velocity ratio higher than 1.
5. However, the radial force decreases slightly as increasing tool rotational speed in clockwise tool rotation direction, while it was almost constant as increasing tool rotational speed in opposite direction.

Acknowledgement

The Experiment presented in this paper is done in the Lab. CIM Kobe University in the framework of a cooperative research project "The Turning Spinning Tool" with Mori Seiki Co..Ltd.I would like to thank Prof. Toshimichi Moriwaki, K. Okura and Gregory Hyatt who contributed to the success of this research project.

6. References

- [1] Shaw, M.C., Smith, P.A., and Cook, N.H., the Rotary Cutting Tool, Transactions of the ASME.1952:74:1065-1076.
- [2] Lei, S.T. and Liu, W.J., High-speed Machining of Titanium Alloys Using the Driven Rotary Tool, International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002:42:653-661.
- [3] Chou, Y. K.and. Song, H., Tool nose radius effects on finish hard turning, Journal of Materials Processing Technology. 2004:148(2):259-268.
- [4] Harun, S., Evaluasi dan Aplikasi Dinamometer Force Ring untuk Mengukur Gaya Pemotongan pada Pemesinan Bubut dengan Sistem Pahat Berputar, Jurnal Teknik Mesin FTI ITS. 2011:11(3):173-257.
- [5] Harun, S., Shibasaka, T., and Moriwaki, T., Cutting Mechanics of Turning with Actively Driven Rotary Tool.The Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing.2008:2(4):579-586.