



**SIMULASI GAYA PEMOTONGAN PADA PROSES BUBUT DENGAN
*SOFTWARE THIRD WAVE ADVANTEDGE***

SKRIPSI

Oleh:

Herninda Ayu Meylinda Sari

161910101048

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**SIMULASI GAYA PEMOTONGAN PADA PROSES BUBUT DENGAN
*SOFTWARE THIRD WAVE ADVANTEDGE***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Strata I Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Herninda Ayu Meylinda Sari

161910101048

PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan yang maha esa penguasa kehidupan dunia dan akhirat. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua saya Hadi Asari dan Suhernik, serta kakak dan adik saya yang telah mendo'akan dan memberikan semangat tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember;
2. Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan bapak Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D selaku pembimbing anggota yang telah memberikan saran dan arahan selama riset dan penulisan skripsi hingga selesai;
3. Bapak Ir. Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang banyak sekali yang telah memberikan saran dan arahan dalam proses penyelesaian skripsi;
4. Semua dosen dan teknisi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan studi strata satu (S1) sehingga mendapatkan gelar S.T.

MOTTO

Jadilah versi terbaik dari dirimu sendiri

Belajarliah mengucap syukur dari hal-hal baik di hidupmu. Belajarliah menjadi kuat dari buruk-buruk di hidupmu (B. J. Habibie)

Jangan menjelaskan tentang dirimu kepada siapapun. Karena yang menyukaimu tidak butuh itu, dan yang membencimu tidak percaya itu (Ali bin Abi Thalib)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Herninda Ayu Meylinda Sari

NIM: 161910101048

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Simulasi Gaya Pemotongan Pada Proses Bubut Dengan *Software Third Wave AdvantEdge*” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 November 2020
Yang menyatakan,

Herninda Ayu Meylinda Sari
NIM 161910101048

SKRIPSI

**SIMULASI GAYA PEMOTONGAN PADA PROSES BUBUT DENGAN
*SOFTWARE THIRD WAVE ADVANTEDGE***

Oleh:

Herninda Ayu Meylinda Sari

NIM 161910101048

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Simulasi Gaya Pemotongan Pada Proses Bubut Dengan *Software Third Wave AdvantEdge*” karya Herninda Ayu Meylinda Sari telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : Rabu, 18 November 2020

Tempat : diselenggarakan secara *online* (daring)

Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T.
NRP. 760014642

Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 197003221995011001

Penguji,

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji I,

Ir. Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP. 197002281997021001

Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.
NIP. 198501172012121001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S. T., M. T.
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

Simulasi Gaya Pemotongan Pada Proses Bubut Dengan *Software Third Wave AdvantEdge*; Herninda Ayu Meylinda Sari, 161910101048; 41 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Proses pembubutan merupakan salah satu proses pemesinan yang memiliki peranan penting dalam dunia manufaktur. Pada saat proses pembubutan, material yang terpotong akan menghasilkan gaya potong. Besar gaya potong dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya kecepatan potong, kedalaman potong, laju pemakanan, geometri alat potong, jenis material benda kerja dan cara pendinginan benda kerja. Gaya potong (*cutting force*) yang dihasilkan pada proses pembubutan ada tiga macam, yaitu gaya tangensial, gaya aksial, dan gaya radial. Gaya potong yang bereaksi pada pahat dan benda kerja, yang selanjutnya diteruskan pada bagian-bagian tertentu mesin perkakas, akan mengakibatkan lenturan. Lenturan menjadi penyebab kesalahan geometri produk maupun sumber getaran yang dapat memperpendek umur pahat. Untuk itu perlu mengetahui besarnya gaya potong setiap proses permesinan pada kondisi tertentu, sehingga perlu dilakukan simulasi proses permesinan untuk mendapatkan perkiraan gaya potong setiap kondisi.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi tiga dimensi dari pemodelan proses bubut menggunakan *software Third Wave AdvantEdge*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan putar spindle, laju pemakanan dan kedalaman potong terhadap gaya pemotongan pada proses bubut dengan pahat HSS dan benda kerja Al 6061. Hasil simulasi proses bubut menggunakan *software Third Wave AdvantEdge* adalah nilai gaya aksial, gaya radial, dan gaya tangensial. Setelah didapatkan data hasil simulasi, kemudian dilanjutkan dengan membandingkan hasil eksperimental menggunakan sensor *strain gauge (load cell)* yang terhubung dengan pahat. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui nilai *error* yang terjadi. Persentase rata-rata nilai *error* dari hasil gaya aksial, radial dan tangensial masing-masing sebesar 71%; 44,3%; dan 21,3%. Besarnya nilai *error* terjadi karena sensitivitas alat ukur yang kurang

baik, pergeseran titik nol (*gain* dan *offset*) pada rangkaian sistem akuisisi data mengakibatkan rentang hasil pengukuran berubah-ubah. Selain itu, keterbatasan kondisi komputasi pada saat dilakukan simulasi juga dapat mempengaruhi perbedaan nilai. Keterbatasan komputasi yang dimaksudkan adalah jumlah diskrit elemen yang kurang mewakili pada saat dilakukan simulasi.

Gaya pemotongan yang dihasilkan pada pemodelan simulasi proses bubut dengan benda kerja Al-6061 dan pahat HSS adalah gaya aksial memiliki nilai rata-rata tertinggi, kemudian diikuti gaya tangensial dan gaya radial. Nilai rata-rata gaya tangensial, aksial, dan radial masing-masing adalah 60,289 N; 32,319 N dan 21,56 N. Gaya pemotongan akan menurun dengan meningkatnya kecepatan putar spindle menyebabkan nilai gaya pemotongan menurun. Gaya pemotongan menurun karena peningkatan getaran pada performa pahat (*tool*), getaran yang terjadi dapat direduksi dengan menggunakan laju pemakanan yang rendah. Gaya pemotongan akan meningkat dengan meningkatnya laju pemakanan dan kedalaman potong, karena luas penampang geram akan semakin besar.

SUMMARY

Simulation of Cutting Force in Turning Process with Software Third Wave AdvantEdge; Herninda Ayu Meylinda Sari, 161910101048; 2020; 41 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The turning process is one of the machining processes that has an important role in the manufacturing world. During the turning process, the cut material will produce a cutting force. The magnitude of the cutting force is influenced by several parameters including cutting speed, depth of cut, infeed rate, cutting tool geometry, type of workpiece material and how to cool the workpiece. There are three types of cutting forces produced in the turning process, namely tangential force, axial force, and radial force. The cutting force that reacts to the chisel and workpiece, which is then passed on to certain parts of the machine tool, will result in bending. Flexibility is the cause of product geometry errors as well as a source of vibration which can shorten tool life. For this reason, it is necessary to know the magnitude of the cutting force of each machining process under certain conditions, so it is necessary to simulate the machining process to obtain an estimate of the cutting force for each condition.

The method used in this research is a three-dimensional simulation of the lathe process modeling using the Third Wave AdvantEdge software. The research was conducted to determine the effect of spindle rotational speed, infeed rate and depth of cut on the cutting force in the lathe with HSS chisel and Al 6061 workpiece. The simulation results of the lathe process using Third Wave AdvantEdge software are the values of axial force, radial force, and tangential force. . After obtaining the simulation data, then proceed by comparing the experimental results using a strain gauge sensor (load cell) connected to the tool. The comparison is done to find out the error value that occurs. The average percentage of error values from the results of axial, radial and tangential forces is 71%; 44.3%; and 21.3%. The magnitude of the error value occurs because the sensitivity of the measuring

instrument is not good, the shift to zero points (gain and offset) in the data acquisition system circuit causes the range of measurement results to fluctuate. In addition, the limitations of the computational conditions during the simulation can also affect the difference in values. The computational limitation referred to is the number of discrete elements that are less representative at the time of simulation.

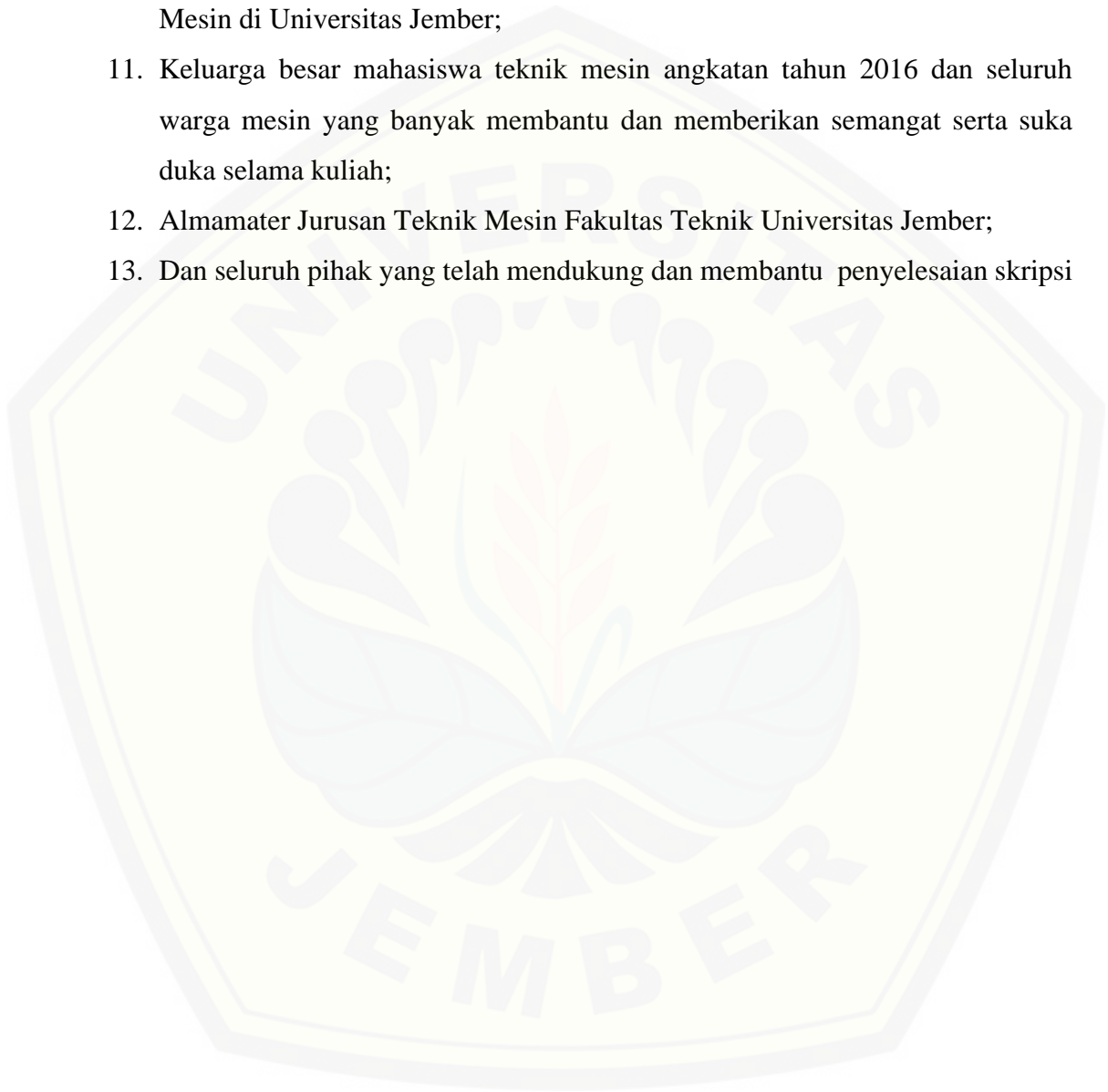
The cutting force generated in the lathe process simulation modeling with the Al-6061 workpiece and the HSS chisel is that the axial force has the highest average value, followed by tangential force and radial force. The average values of tangential, axial, and radial forces were respectively; 60.289 N, 32,319 N and 21,56 N. The cutting force will decrease with increasing spindle speed causing the cutting force value to decrease. The cutting force decreases due to the increased vibration in the tool performance, the vibration that occurs can be reduced by using a low infeed rate. The cutting force will increase as the infeed rate and the depth of cut increase, because the cross-sectional area of the rivets will increase.

PRAKATA

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi ini termasuk rekan-rekan sekalian yang telah memberikan banyak dukungan kepada penulis selama perkuliahan dan penyusunan skripsi, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya Hadi Asari dan Suhernik, serta kakak dan adik saya yang telah mendo'akan dan memberikan semangat tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember;
2. Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan bapak Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D selaku pembimbing anggota yang telah memberikan saran dan arahan selama riset dan penulisan skripsi hingga selesai;
3. Bapak Ir. Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang banyak sekali yang telah memberikan saran dan arahan dalam proses penyelesaian skripsi;
4. Semua dosen dan teknisi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan studi strata satu (S1) dan mendapatkan gelar S.T.
5. Teman – teman pembedangan DESAIN'16, Veli, Fahrul, Abim, Ibad, Guntur, Royan, Agung, Ega, Rohman, Syahrul, Alief, yang telah memberi semangat, dukungan dan menghibur selama perkuliahan hingga menjadi sarjana;
6. Teman – teman kontrakan O-23, Silfi, Elok dan Rury yang selalu membantu dalam hal apapun;
7. Teman-teman belajar dan diskusi, Rozi, Andreas, Kurniawan, Qonang, Dadung yang telah banyak membantu selama perkuliahan dan proses penyelesaian skripsi
8. Teman – teman cewek mesin angkatan 2016, khususnya Uul, Putri, Cici, Japik yang telah membantu dan memberi dukungan selama perkuliahan;

9. Teman-teman sepermainan, Zila, Ira, Reyza, Novi, Dysa, Chum yang telah memberi semangat selama proses penyelesaian skripsi;
10. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Mesin periode 2018-2019 yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember;
11. Keluarga besar mahasiswa teknik mesin angkatan tahun 2016 dan seluruh warga mesin yang banyak membantu dan memberikan semangat serta suka duka selama kuliah;
12. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
13. Dan seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu penyelesaian skripsi



DAFTAR ISI

SKRIPSI	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mesin Bubut	5
2.2 Parameter Pemotongan Mesin Bubut	5
2.2.1 Parameter Proses Pembubutan	5
2.2.2 Rumus Parameter Pembubutan	7
2.3 Gaya Pemotongan Proses Bubut	8
2.4 Geometri Pahat	12
2.5 Material Pahat	15
2.6 Material Al 6061	16
2.7 Software <i>Third Wave AdvantEdge</i>	17
2.8 Hipotesis	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Alat dan Bahan Penelitian	18

3.2	Prosedur Penelitian	18
3.3	Pelaksanaan Penelitian	19
3.3.1	Proses Pemodelan dan Simulasi.....	19
3.3.2	Pengambilan Data	22
3.3.3	Variabel Penelitian.....	23
3.4	Diagram Alir Penelitian	24
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1	Gaya Pemotongan Pada Proses Bubut	26
4.1.1	Hasil Eksperimen Gaya Pemotongan Pada Proses Bubut....	26
4.1.2	Simulasi Gaya Pemotongan Pada Proses Bubut	27
4.2	Analisa	29
4.2.1	Gaya Pemotongan	29
4.2.2	Pengaruh Parameter	33
BAB 5.	PENUTUP	40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gerakan pada proses pembubutan (Groover, 2010)..... 5

Gambar 2.2 Parameter pada proses bubut (Rochim, 2007) 7

Gambar 2.3 Pemotongan *orthogonal* (A) dan pemotongan *oblique* (B)..... 9

Gambar 2.4 Komponen gaya pemotongan (Radovanovic dkk., 2006). 10

Gambar 2.5 Resolusi 3D *force turning*. (Grzesik, 2017) 11

Gambar 2.6 Geometri pahat bubut HSS (Kalpakjian, 2003) 12

Gambar 2.7 Resultan gaya yang ditimbulkan oleh sudut potong utama..... 14

Gambar 2.8 Kekerasan dari beberapa macam material pahat sebagai fungsi dari temperatur (a) dan jangkauan sifat material pahat (b) 15

Gambar 3.1 Pemodelan simulasi gaya pemotongan (Parihar, 2019) 19

Gambar 3.2 Pemilihan *project* 19

Gambar 3.3 Pemodelan pahat 20

Gambar 3.4 Pemodelan benda kerja..... 20

Gambar 3.5 Pemilihan material pahat dan benda kerja..... 21

Gambar 3.6 Pengaturan parameter pemesinan..... 21

Gambar 3.7 *Meshing* pemodelan proses bubut 22

Gambar 3.8 Pemodelan simulasi proses bubut pada *software Third Wave AdvantEdge 7.1* 22

Gambar 3.9 Komponen gaya pemotongan (Radovanovic dkk., 2006). 24

Gambar 3.10 Diagram alir penelitian 25

Gambar 4.1 *Meshing* proses pembubutan 27

Gambar 4.2 Grafik *output* data dari simulasi gaya aksial pada variasi ($n = 140$; $f = 0,043$; $a = 0,2$) 28

Gambar 4.3 Grafik perbandingan hasil simulasi dan eksperimental gaya pemotongan 32

Gambar 4.4 Respon gaya pemotongan pada setiap parameter..... 36

Gambar 4.5 Tegangan pada pahat dengan laju pemakanan $0,043$ mm/r 38

Gambar 4.6 Tegangan pada pahat dengan putaran spindle 140 rpm 38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat mekanik dan thermal HSS-M2 (Metal Ravne d.o.o, 2020).....	16
Tabel 2.2 Sifat Mekanis Al-6061 (Okokpujie, 2017)	17
Tabel 3.1 Parameter data yang ditentukan	23
Tabel 4.1 Data hasil eksperimen gaya pemotongan.....	26
Tabel 4.2 Tabel hasil simulasi gaya pemotongan	29
Tabel 4.3 Perbandingan hasil simulasi dan eksperimental gaya pemotongan	31
Tabel 4.4 Variasi parameter pemotongan	33
Tabel 4.5 Respon rata-rata gaya pemotongan setiap level parameter	36

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur adalah suatu kegiatan industri yang mengubah bahan mentah secara mekanis atau manual menjadi produk jadi ataupun setengah jadi. Industri manufaktur meliputi industri permesinan, industri otomotif, industri tekstil dan lain sebagainya. Menurut data BPS (2019) pertumbuhan industri manufaktur besar dan sedang tahun 2018 naik sebesar 4,07 persen terhadap tahun 2017. Data BPS (2018) menginformasikan perusahaan industri manufaktur besar dan sedang yang masih aktif berproduksi tahun 2018 yaitu sejumlah 37.929 perusahaan.

Industri pemesinan adalah industri yang menggunakan mesin perkakas dalam proses pengerjaannya. Mesin perkakas adalah mesin atau alat yang menggunakan pahat (*cutting tool*) untuk memotong benda kerja sesuai dengan bentuk yang dikehendaki. Mesin bubut merupakan mesin pemotongan logam yang memiliki fungsi utama untuk memproses benda kerja dengan gerak utama berputar kemudian alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja sehingga terjadi pemotongan yang membentuk geram (Susila dkk, 2013). Proses pembubutan merupakan salah satu proses pemesinan yang memiliki peranan penting dalam dunia manufaktur. Pada saat proses pembubutan, material yang terpotong akan menghasilkan gaya potong. Besar gaya potong dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya kecepatan potong, kedalaman potong, laju pemakanan, geometri alat potong, jenis material benda kerja dan cara pendinginan benda kerja (Korkut dan Boy, 2008).

Gaya potong (*cutting force*) yang dihasilkan pada proses pembubutan ada tiga macam, yaitu gaya tangensial, gaya aksial, dan gaya radial. Gaya tangensial yaitu gaya yang dihasilkan pada arah kecepatan potong. Gaya aksial yaitu gaya yang terjadi pada arah gerak makan. Gaya radial yaitu gaya yang arahnya menuju bidang normal pada kecepatan potong (Kosaraju dkk, 2011). Gaya potong yang bereaksi pada pahat dan benda kerja, yang selanjutnya diteruskan pada bagian-bagian tertentu mesin perkakas, akan mengakibatkan lenturan. Lenturan menjadi penyebab kesalahan geometri produk maupun sumber getaran yang dapat

memperpendek umur pahat. Untuk itu perlu mengetahui besarnya gaya potong setiap proses pemesinan pada kondisi tertentu, sehingga perlu dilakukan simulasi proses pemesinan untuk mendapatkan perkiraan gaya potong setiap kondisi (Rusnaldy dkk, 2009).

Gaya potong adalah kriteria penting pada pemesinan karena secara langsung memengaruhi mekanika pemesinan, kebutuhan energi, dan stabilitas alat. Analisis proses pemotongan metode *Finite Element Method* (FEM) digunakan untuk mempelajari tentang proses pemotongan dan pembentukan geram dengan kemungkinan semua parameter pada saat proses bekerja. Analisis komputasional dapat digunakan sebagai alat praktis oleh para peneliti maupun pembuat mesin dan alat (Ceretti dkk, 2000). Data statistik menunjukkan 15% kerusakan alat disebabkan oleh pemilihan parameter pemotongan yang salah. Pemilihan bahan pahat dan parameter pemotongan mempengaruhi tegangan kritis. Keadaan tekanan pada alat pemotong akan memprediksi kegagalan alat (Parihar dkk, 2017).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pemodelan pada proses bubut dengan pengaruh dari parameter kedalaman potong, kecepatan potong, dan laju pemakanan. Ceretti dkk (1996) membandingkan hasil eksperimen dengan simulasi gaya potong menggunakan DEFORM 2D. Kesimpulan yang didapatkan yaitu rentang akurasi yang dapat diterima sebesar 10%, untuk validasi perbandingan hasil eksperimen dengan simulasi gaya potong proses pemotongan. Parihar dkk (2017) membandingkan simulasi proses turning AISI H13 menggunakan *software* DEFORM 3D dengan hasil eksperimen untuk memprediksi gaya potong, suhu, dll. Parameter pemesinan yang digunakan yaitu *depth of cut* 0,2 mm; 0,4 mm; 0,6 mm; *feed rate* 0,10 mm/rev; 0,14 mm/rev; 0,18 mm/rev dan *cutting speed* 80 m/min; 120 m/min; 140 m/min. Hasil yang diperoleh yaitu tegangan tertinggi di sekitar radius sudut pada *secondary cutting edge* dapat menyebabkan serpihan atau kegagalan *secondary cutting edge*.

Berdasarkan kajian di atas, peneliti akan melakukan pengujian gaya pemotongan dengan *software Third Wave AdvantEdge* menggunakan metode elemen hingga. *Third Wave AdvantEdge* merupakan *software* berbasis FEM untuk memodelkan proses pemesinan dalam dua dimensi maupun tiga dimensi. Pengujian

dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan putar spindle, laju pemakanan dan kedalaman potong terhadap gaya pemotongan pada proses bubut dengan pahat HSS dan benda kerja Al 6061. Al 6061 menjadi semakin luas aplikasinya dengan banyak keunggulan yang dimiliki seperti mudah dibentuk, ketahanan korosi baik, mampu las baik dan harga yang terjangkau. Pemodelan struktur pada proses bubut menggunakan *software Third Wave AdvantEdge*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan kajian pustaka di atas, perumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Berapa besar gaya pemotongan yang dihasilkan pada saat proses bubut dengan menggunakan pemodelan pada *software Third Wave AdvantEdge*?
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan putar spindle, laju pemakanan dan kedalaman potong terhadap gaya pemotongan dengan menggunakan pemodelan pada *software Third Wave AdvantEdge*?

1.3 Batasan Masalah

Penentuan batasan masalah bertujuan agar penelitian dapat mencapai hasil yang telah ditetapkan dan tidak keluar dari tujuan tersebut. Batasan masalah penelitian ini adalah hanya membahas gaya pemotongan pada pemotongan orthogonal dengan parameter kecepatan putar spindle, laju pemakanan dan kedalaman potong.

1.4 Tujuan Penelitian

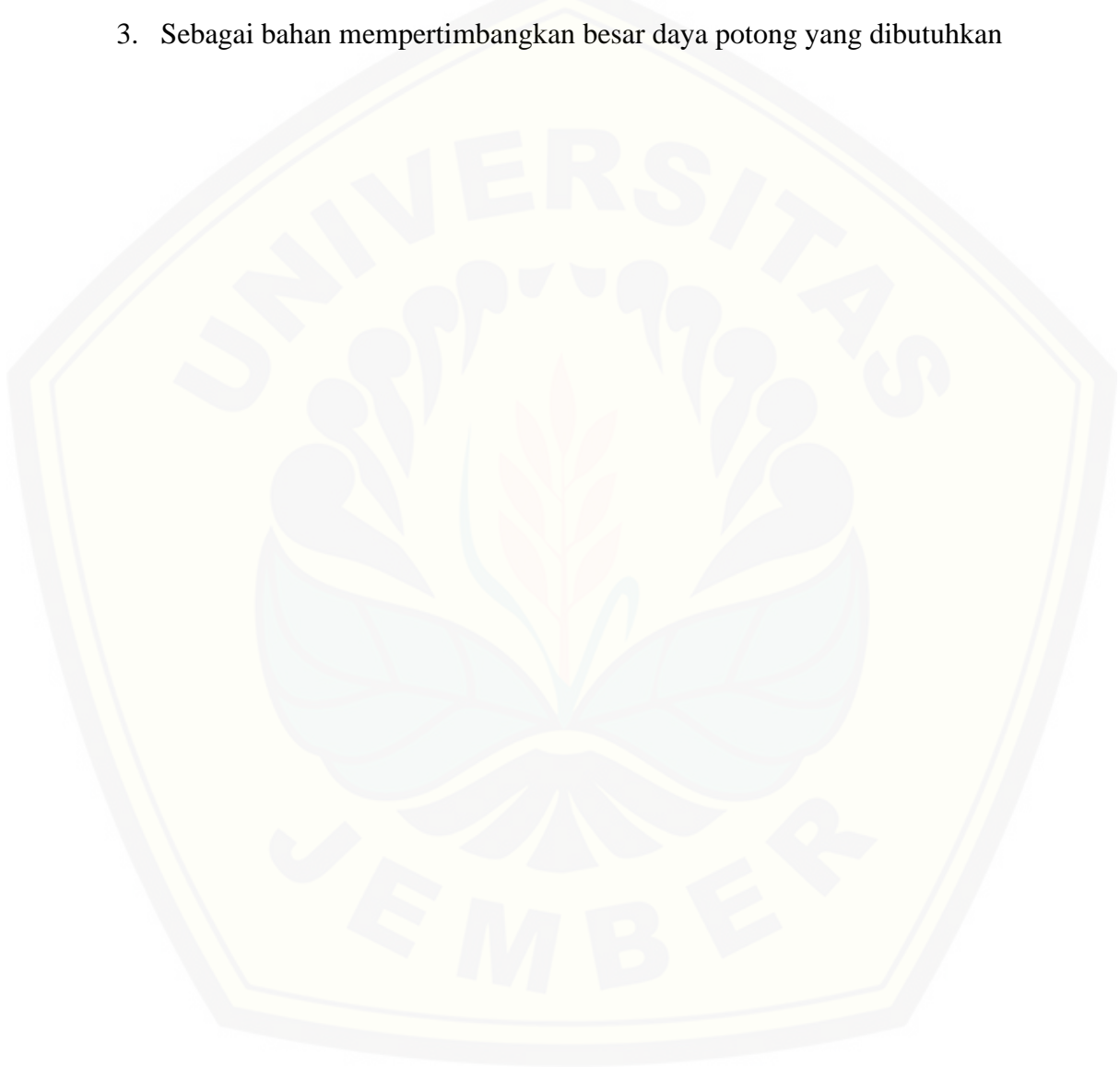
Tujuan dari penelitian ini yang berdasarkan pada rumusan masalah di atas adalah:

1. Mengetahui besar gaya pemotongan yang dihasilkan pada saat proses bubut dengan menggunakan pemodelan pada *software Third Wave AdvantEdge*.
2. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar spindle, laju pemakanan dan kedalaman potong terhadap gaya pemotongan dengan *software Third Wave AdvantEdge*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

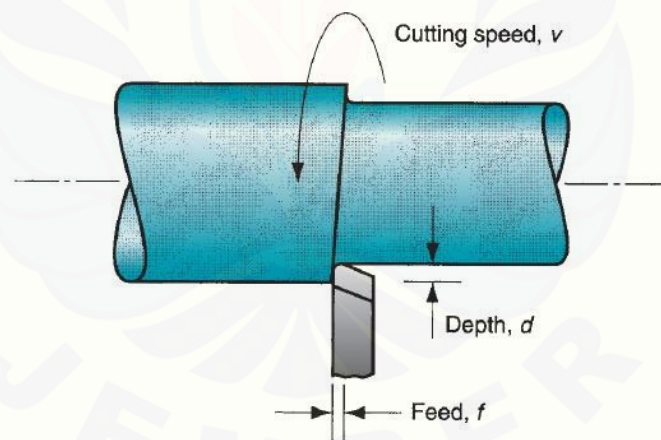
1. Mengembangkan penelitian bidang manufaktur di Indonesia
2. Sebagai bahan mempertimbangkan desain *cutting tool* pada proses bubut
3. Sebagai bahan mempertimbangkan besar daya potong yang dibutuhkan



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Bubut

Mesin bubut adalah salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar pada sumbunya dan mencekam benda kerja. Pada saat berputar, alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja sehingga terbentuklah geram. Poros utama mesin bubut konvensional umumnya dibuat secara bertingkat dengan aturan yang telah memiliki standar. Untuk mesin CNC, putaran tidak lagi bertingkat namun berkesinambungan (Rochim, 2007). Pahat pada mesin bubut konvensional bergerak secara translasi pada proses pemakanan searah sumbu Z. Gerak tegak lurus pahat pada saat memotong benda kerja dilakukan pada arah sumbu X. Gerak sumbu X tersebut dapat membuat bentuk kontur, lengkungan, kemiringan dan lainnya (Stephenson dan Agapiou, 2016). Gerakan pada proses pembubutan dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gerakan pada proses pembubutan (Groover, 2010).

2.2 Parameter Pemotongan Mesin Bubut

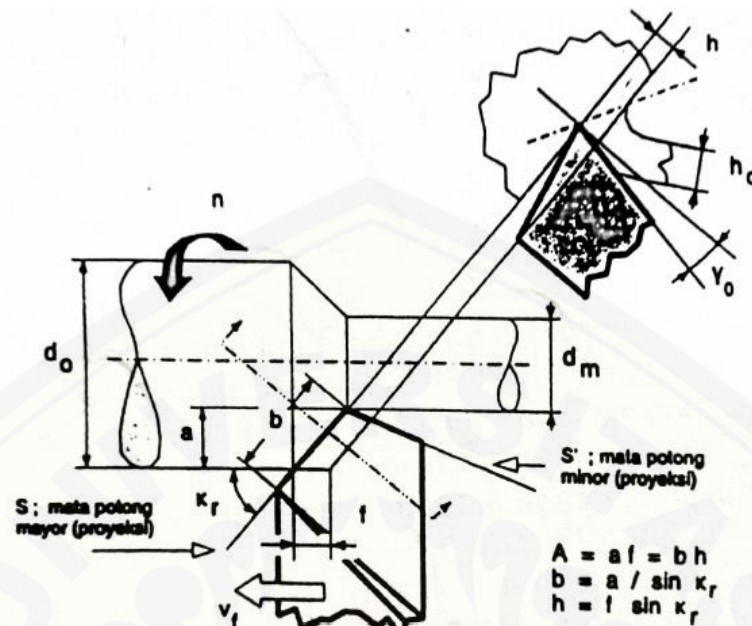
2.2.1 Parameter Proses Pembubutan

Ada 3 (tiga) parameter utama pada setiap proses bubut yaitu kecepatan putar spindle (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki

pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada mesin bubut.

- a. Kecepatan putar, n (*speed*), selalu dihubungkan dengan spindle (sumbu utama) dan benda kerja. Karena kecepatan putar diekspresikan sebagai putaran per menit (*revolutions per minute, rpm*), hal ini menggambarkan kecepatan putarannya. Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*Cutting speed* atau v) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/keliling benda kerja (lihat gambar). Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar
- b. Gerak makan, f (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali, sehingga satuan f adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong h . Gerak makan tersebut berharga sekitar $1/3$ sampai $1/20$ h , atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang dikehendaki.
- c. Kedalaman potong, a (*depth of cut*), adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong (ditunjukkan pada Gambar 2.2). Ketika pahat memotong sedalam h , maka diameter benda kerja akan berkurang $2h$, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar.

Parameter pada proses bubut dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Parameter pada proses bubut (Rochim, 2007)

Pada Gambar 2.2, dijelaskan sudut potong utama (K_r , *principal cutting edge angle*) yaitu sudut antara mata potong mayor (proyeksinya pada bidang referensi) dengan kecepatan makan v_f . Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat pada mesin. Besar kecilnya nilai kedalaman potong dan gerak makan, akan menentukan besarnya lebar pemotongan.

2.2.2 Rumus Parameter Pembubutan

Parameter-parameter yang dapat dihitung menggunakan rumus, sebagai berikut:

1. Kecepatan potong:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}; \text{ m/min,} \quad (2.1)$$

Dengan :

n = Putaran spindle ; (r)/min

d = Diameter rata-rata, yaitu;

$$d = \frac{d_1 - d_2}{2} - d_1; \text{ mm,} \quad (2.2)$$

2. Kecepatan makan:

$$v_f = f \cdot n; \text{ mm/min} \quad (2.3)$$

Dengan :

f = laju pemakanan; mm/(r)

3. Waktu pemotongan:

$$t_c = \ell_t / v_f; \text{ mm/min} \quad (2.4)$$

Dengan :

ℓ_t = Panjang pemesinan; mm

v_f = Kecepatan makan; mm/min

4. Kecepatan penghasilan geram:

$$Z = A \cdot v \quad (2.5)$$

Dimana penampang geram sebelum terpotong:

$$A = f \cdot a; \text{ mm}^2 \quad (2.6)$$

$$\text{Jadi, } Z = f \cdot a \cdot v; \text{ cm}^3/\text{min} \quad (2.7)$$

5. Lebar pemotongan:

$$b = a / \sin K_r; \text{ mm}, \quad (2.8)$$

Dengan :

a = Kedalaman potong; mm

K_r = Sudut potong utama; °

6. Tebal geram (sebelum terpotong):

$$h = f \sin K_r; \text{ mm} \quad (2.9)$$

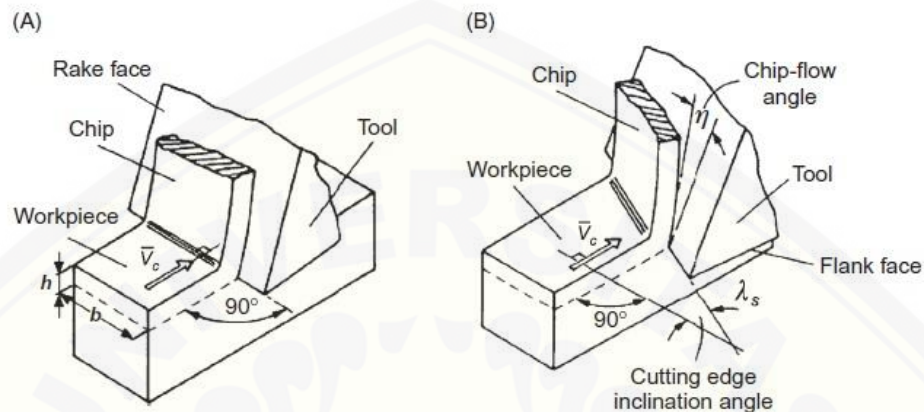
Penampang geram (sebelum terpotong) dapat dituliskan sebagai berikut:

$A = f \cdot a = b \cdot h$; mm^2 . Bahwa tebal geram sebelum terpotong (h) belum tentu sama dengan tebal geram (h_c , *chip thickness*) dan hal ini antara lain dipengaruhi oleh sudut geram, kecepatan potong dan material benda kerja (Rochim, 2007).

2.3 Gaya Pemotongan Proses Bubut

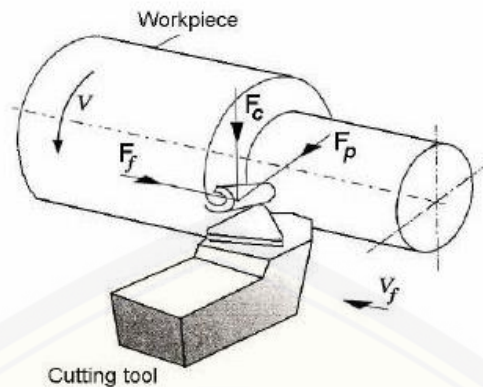
Pemotongan logam pada proses bubut terbagi atas 2 model yaitu pemotongan *orthogonal* dan pemotongan *Oblique*. Pemotongan *orthogonal* adalah jenis pemotongan tegak lurus dengan model 2 dimensi sederhana yang banyak

digunakan dalam bidang penelitian teoritis dan eksperimental. Kemudian untuk *oblique* merupakan jenis pemotongan 3 dimensi dengan posisi alat potong miring membentuk sudut saat memotong benda kerja (Grzesik, 2017). Berikut penjelasan dari model pemotongan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pemotongan *orthogonal* (A) dan pemotongan *oblique* (B)
(Grzesik, 2017)

Secara umum, gaya yang bekerja pada saat pahat melakukan proses pemotongan adalah 3 dimensi antara lain resultan total gaya pemotongan (F). Dibagi tiga komponen F_f , F_p , dan F_c yang saling tegak lurus (ekuivalen dengan F_x , F_y , F_z). *Resultant Cutting Force* (RCF) digolongkan menjadi dua komponen yaitu geometri dan fisik. Dalam suatu kasus, sistem koordinat berdasar pada arah gerakan primer dan umpan/makan maksudnya gaya total dapat diselesaikan oleh proyeksi tegak lurus dari dua arah. Dari proses tersebut maka dapat ditemukan tiga komponen gaya yaitu F_c (*Cutting Force*), F_f (*Feed Force*) dan F_p (*Passive Force*). (Grzesik, 2017). Komponen 3 gaya yang bekerja pada proses pemotongan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Komponen gaya pemotongan (Radovanovic dkk., 2006).

Komponen gaya pada proses pemotongan mesin bubut dapat diukur dalam tiga arah. Untuk yang bekerja pada permukaan rake pahat, sudut mata potong normal, ke arah gerak benda kerja disebut gaya potong utama (*tangential force*). Komponen tersebut merupakan komponen terbesar dan bergerak pada arah kecepatan potong bubut. Komponen yang bekerja pada pahat arah sejajar dengan arah makan disebut dengan gaya makan atau umpan (*axial force*). Komponen terakhir yaitu yang bergerak dalam arah radial mendorong alat pemotong menjauh dari pekerjaan tegak lurus ke bidang kerja (*radial force*). Berikut ini persamaan untuk menentukan kekuatan potong (Radovanovic dkk, 2006):

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad (2.10)$$

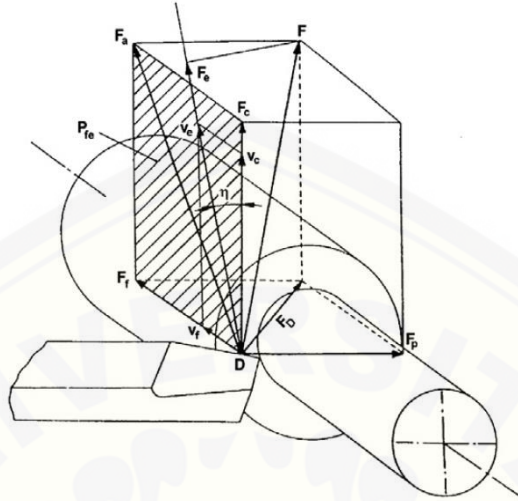
Dengan :

F_c = Gaya potong utama (*tangential force*); N

F_f = Gaya makan atau umpan (*axial force*); N

F_p = Gaya radial (*passive force*); N

Resolusi 3D gaya pada proses pembubutan dijelaskan secara detail pada Gambar 2.5 sebagai berikut.



Gambar 2.5 Resolusi 3D *force turning*. (Grzesik, 2017)

1. *Cutting force (tangensial force)*

$$F_c = k_{c1.1} b \cdot h^{1-m_c} \quad (2.11)$$

Dengan :

$k_{c1.1}$ = Koefisien spesifik gaya potong

b = Lebar pemotongan

h = Tebal pemotongan; mm

m_c = Koefisien gaya potong

2. *Feed Force (axial force)*

$$F_f = k_{f1.1} b \cdot h^{1-m_f} \quad (2.12)$$

Dengan :

$k_{f1.1}$ = Koefisien spesifik gaya makan

m_f = Koefisien gaya makan

3. *Passive force (radial force)*

$$F_p = k_{p1.1} b \cdot h^{1-m_p} \quad (2.13)$$

Dengan :

$k_{p1.1}$ = Koefisien spesifik gaya radial

m_p = Koefisien gaya radial

4. Lebar (b) dan tebal (h)

$$b = \frac{a_p}{\sin \gamma}; h = f_a \cdot \sin \gamma \quad (2.14)$$

Dengan :

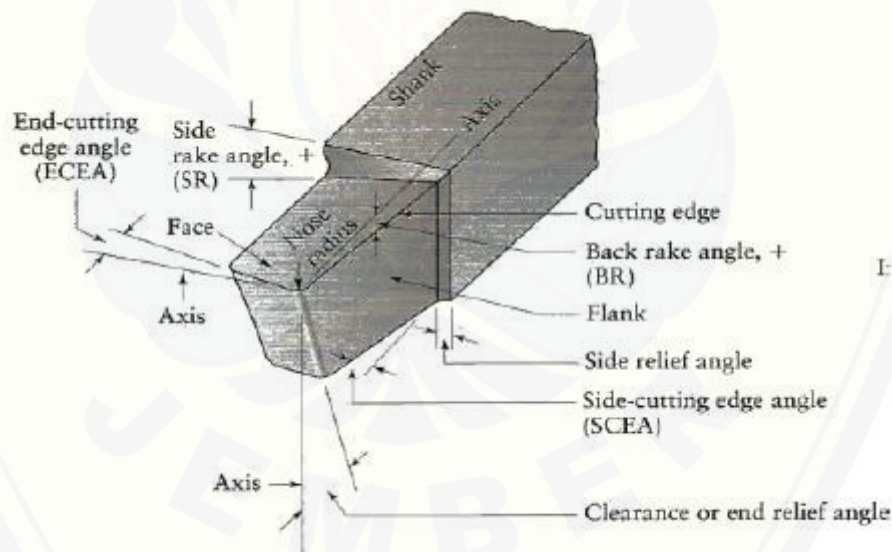
a_p = kedalaman potong; mm

f_a = laju pemakanan; mm/r

γ = tool cutting edge angle; °

2.4 Geometri Pahat

Geometri pahat bubut tergantung pada material benda kerja dan material pahat. Standar geometri pahat ditunjukkan pada gambar 2.6. Sudut pahat yang paling pokok adalah sudut geram (*rake angle*), sudut bebas (*clearance angle*), dan sudut sisi potong (*cutting edge angle*). Sudut-sudut pahat HSS dibentuk dengan cara diasah menggunakan mesin gerinda pahat (Rochim,1993).



Gambar 2.6 Geometri pahat bubut HSS (Kalpakjian, 2003)

Beberapa geometri sudut pahat yang berpengaruh terhadap umur pakai dari pahat yaitu:

1. Sudut bebas orthogonal (α_o)

Fungsi sudut bebas orthogonal adalah untuk mengurangi gesekan antara bidang utama pahat dengan bidang transien benda kerja. Temperatur yang tinggi akibat

gesekan harus diminimalisir agar tepi (*flank wear*) tidak cepat mengalami aus. Pemilihan nilai sudut bebas orthogonal berdasarkan jenis benda kerja dan kondisi pemotongan. Semakin besar gerak pemakanan maka gaya pemotongan yang ditimbulkan semakin besar sehingga untuk memperkuat pahat diperlukan penampang (β_o) yang besar, oleh sebab itu sudut bebas orthogonal (α_o) harus diperkecil (Rochim, 1993).

2. Sudut geram orthogonal (γ_o)

Sudut geram mempengaruhi proses pembentukan geram. Pada kecepatan potong tertentu, sudut geram yang besar menurunkan rasio pemampatan tebal geram (λ_h) yang mengakibatkan kenaikan sudut geser (Φ). Sudut geser yang besar menurunkan penampang bidang geser sehingga gaya pemotongan akan turun. Untuk menjaga kekuatan pahat dan memperlancar proses perambatan panas, maka sudut geram (γ_o) tidak boleh terlalu besar.

3. Sudut miring (λ_s)

Sudut miring dapat mempengaruhi arah aliran geram, apabila sudut miring bernilai nol maka arah aliran geram tegak lurus dengan arah mata potong. Dengan adanya sudut miring, maka panjang kontak antara pahat dengan benda kerja menjadi lebih panjang dan energi pemotongan spesifik (E_{sp}) tidak akan berubah sampai sudut miring mencapai nilai 20° (Rochim, 1993).

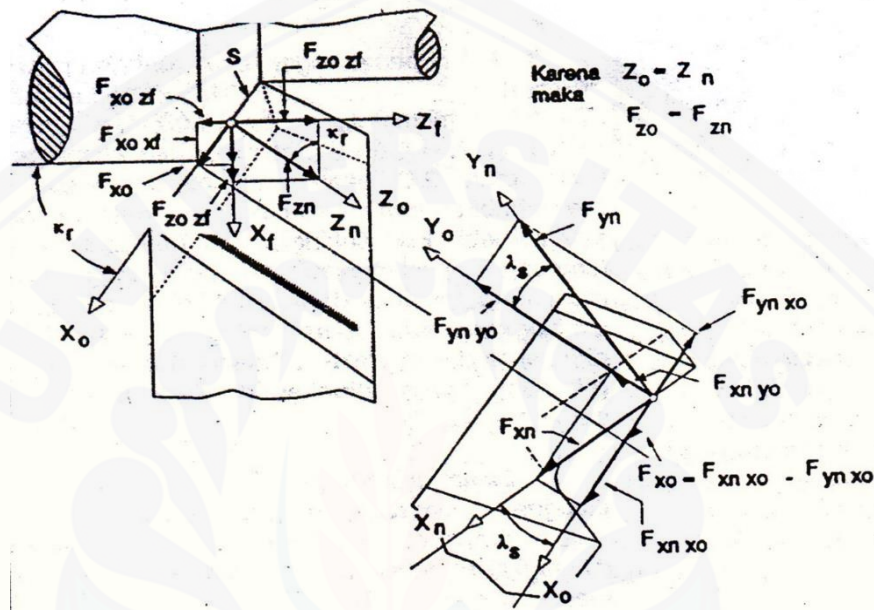
4. Sudut potong utama (κ_r).

Sudut potong utama mempunyai beberapa fungsi, antara lain:

- a) Menentukan lebar dan tebal geram sebelum terpotong.
- b) Menentukan panjang mata potong yang aktif atau panjang kontak antara geram dengan bidang pahat.
- c) Menentukan besarnya gaya radial F_x .

Dengan memperkecil sudut potong utama, maka akan menurunkan tebal geram sebelum terpotong dan menaikkan lebar geram. Tebal geram yang kecil akan menurunkan temperatur pemotongan, sedangkan lebar geram yang besar akan mempercepat proses perambatan panas pada pahat. Hal tersebut menyebabkan temperatur pahat akan relatif rendah dan umur pahat menjadi lebih lama (Rochim, 1993). Pemakaian sudut potong utama dengan nilai yang kecil tidak

selalu menguntungkan karena hal tersebut dapat menaikkan gaya radial. Gaya radial yang besar dapat mengakibatkan lenturan atau getaran yang terlalu besar sehingga menurunkan ketelitian geometri produk. Oleh sebab itu, sudut potong utama κ_r dapat diubah sampai mendapat nilai yang optimum.



Gambar 2.7 Resultan gaya yang ditimbulkan oleh sudut potong utama

5. Sudut potong bantu (κ'_r).

Besar nilai sudut potong bantu (κ'_r) dapat dipilih sekecil mungkin karena dapat memperkuat ujung pahat dan tingkat kehalusan produk dapat ditingkatkan (Rochim, 1993). Kendalanya adalah kekakuan sistem pemotongan, karena sudut potong bantu yang kecil akan mempertinggi gaya radial. Berikut ini adalah petunjuk yang digunakan sebagai acuan:

- Sistem pemotongan yang kaku, $\kappa'_r = 5^\circ - 10^\circ$.
- Sistem pemotongan yang lemah, $\kappa'_r = 10^\circ - 20^\circ$.

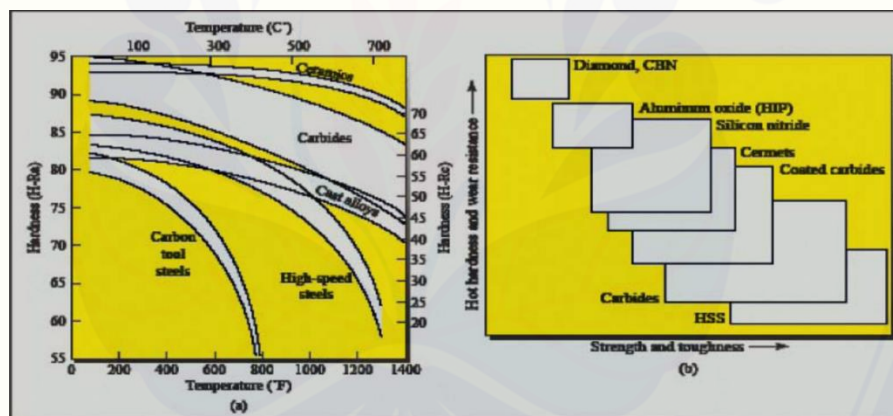
6. Radius pojok (r_ϵ).

Radius pojok berfungsi untuk menentukan kehalusan produk dan memperkuat ujung pertemuan antara mata potong utama (S) dengan mata potong minor (S'). Semakin besar penampang geram maka pojok pahat harus lebih kuat. Radius pojok yang besar akan memperbesar gaya radial.

2.5 Material Pahat

Pahat yang baik harus memiliki sifat-sifat tertentu agar dapat menghasilkan produk yang berkualitas (geometri tepat) dan ekonomis (waktu yang diperlukan pendek). Kekerasan dan kekuatan pahat harus tetap bertahan meskipun pada temperatur tinggi, sifat ini dinamakan *hot hardness*. Ketangguhan (*toughness*) dari pahat diperlukan agar pahat tidak retak pada saat proses pemotongan, terutama pada saat melakukan pemotongan dengan beban kejut.

Pahat harus memiliki ketahanan untuk melakukan pemotongan tanpa terjadi keausan yang cepat. Penentuan material pahat didasarkan pada jenis material benda kerja dan kondisi pemotongan (pengasaran, adanya beban kejut, penghalusan). Material pahat yang ada adalah baja karbon, keramik dan intan. Sifat *hot hardness* dari beberapa material pahat ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kekerasan dari beberapa macam material pahat sebagai fungsi dari temperatur (a) dan jangkauan sifat material pahat (b)

Pahat HSS merupakan baja paduan yang telah mengalami proses perlakuan panas sehingga kekerasan menjadi cukup tinggi dan tahan terhadap temperatur tinggi tanpa menjadi lunak. Pahat HSS juga dapat digunakan untuk pemotongan dengan kedalaman pemotongan yang lebih besar dan kecepatan potong yang lebih tinggi dibanding dengan pahat baja karbon. Pahat HSS dapat diasah kembali jika mengalami keausan. Pahat HSS memiliki keuletan yang relatif baik. Sifat-sifat mekanis dan termal dari material HSS-M2 dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Sifat mekanis dan termal HSS-M2 (Metal Ravne d.o.o, 2020)

Properties	Value	Unit
Density (ρ)	8.12	g/cm ³
Young's modulus E	217000	N/M ³
Poisson's ratio (ν)	0.3	-
Thermal conductivity (k)	19	W/(m·K)
Linear thermal expansion coefficient (α)	11.5×10^{-5}	K ⁻¹
Specific heat capacity (c)	0.46	J/(kg·K)

Hot Hardness dan *recovery hardness* yang cukup tinggi pada pahat HSS dapat dicapai berkat adanya unsur paduan *W*, *Cr*, *V*, *Mo*, dan *Co*. Pengaruh unsur-unsur tersebut pada unsur dasar besi (*Fe*) dan karbon (*C*), antara lain:

- Tungsten* atau *Wolfram* (*W*), meningkatkan *hot hardness* dengan membentuk (Fe_4W_2C) yang menyebabkan kenaikan temperatur pada proses *hardening* dan *hot hardness*.
- Chromium* (*Cr*), menaikkan *hardenability* dan *hot hardness*.
- Vanadium* (*V*), menurunkan sensitivitas terhadap *overheating* dan menghaluskan besar butir.
- Molybdenum* (*Mo*), mempunyai efek yang sama seperti *W* tetapi lebih sensitif terhadap *overheating*.
- Cobalt* (*Co*), untuk meningkatkan *hot hardness* dan tahan keausan.

2.6 Material Al 6061

Al 6061 merupakan suatu material yang tersusun atas unsur Al, Mg, Si. Paduan Al 6061 sangat liat dan sangat baik untuk mampu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa. Al 6061 mempunyai mampu bentuk yang baik dan tahan korosi, serta dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Material Al-6061 sering digunakan sebagai komponen kendaraan maupun komponen mesin seperti propeller pada perahu. Al-6061 merupakan material yang tangguh karena mempunyai kekuatan tarik 12,6 kgf/mm² dan mudah untuk diproses karena mempunyai titik cair 660 °C. Al 6061 memiliki kekuatan mulur 5,6 kgf/mm², kekuatan geser 8,4 kgf/mm² dan batas leleh 6,3 kgf/mm² (Surdia, T., dan Saito, S. 1999). Sifat-sifat mekanis dari Al-6061 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Al-6061 (Okokpujie, 2017)

Properties	Value	Unit
Density (ρ)	2.70	g/cm ³
Young's modulus E	68.9	GPa
Tensile strength (σ)	124–290	MPa
Elongation (ϵ) at break	12–25%	-
Poisson's ratio (ν)	0.33	-
Melting temperature TM	585	°C
Thermal conductivity (k)	151–202	W/(m·K)
Linear thermal expansion coefficient (α)	2.32×10^{-5}	K ⁻¹
Specific heat capacity (c)	897	J/(kg·K)
Volume resistivity (ρ)	32.5–39.2	nOhm·m

2.7 Software *Third Wave AdvantEdge*

Software Third Wave AdvantEdge merupakan salah satu *software finite element analysis (FEA)* yang digunakan untuk memahami proses pemotongan logam dalam bentuk 2D atau 3D. *AdvantEdge* dilengkapi dengan rangkaian-rangkaian yang berguna untuk menganalisa pembentukan geram (*chip*), suhu dan tekanan serta gaya pada *cutting tool* dan benda kerja. Perangkat *AdvantEdge* memiliki proses validasi dan model material yang diintegrasikan dengan program khusus untuk simulasi pemotongan logam tanpa melakukan pengujian fisik.

2.8 Hipotesis

Berdasarkan kajian pustaka diperoleh hipotesis bahwa gaya potong pada proses bubut dipengaruhi oleh putaran spindle, kedalaman potong, dan laju pemakanan. Gaya potong akan meningkat dengan mempercepat laju pemakanan dan memperbesar kedalaman potong, karena luas penampang geram akan semakin besar. Pengaruh dari putaran spindle terhadap gaya potong yaitu dengan meningkatnya nilai kecepatan putaran spindle, maka gaya potong akan mengalami penurunan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

- a. Laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:
Processor : Intel Core i5
Memory: 4 GB DDR4
- b. Studi literatur gaya potong pada proses bubut.

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian berikut ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh setiap parameter proses pembubutan terhadap *output* gaya potong, yaitu dimulai dari:

a. Studi Literatur

Studi literatur merupakan hal yang dilakukan untuk menemukan referensi pendukung terhadap topik penelitian yang diambil. Materi yang dipelajari meliputi: parameter yang terjadi saat proses pembubutan, analisa gaya dan resultan gaya yang terjadi saat proses pemotongan, teori analisis gaya pada proses pembubutan dengan metode elemen hingga

b. Pemodelan proses bubut

Pemodelan proses bubut menggunakan *software Third Wave AdvantEdge* dengan input geometri pahat dan benda kerja pada *software Third Wave AdvantEdge 7.1*.

c. Analisa Hasil Penelitian

Hasil data pengujian material benda kerja aluminium 6061 dengan pahat jenis HSS dianalisa untuk mengetahui pengaruh parameter proses pemotongan di mesin bubut terhadap *output* gaya potong. Hasil simulasi yang didapat kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen penelitian sebelumnya untuk mengetahui perbedaan yang dihasilkan.

d. Kesimpulan

Kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditentukan.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Proses Pemodelan dan Simulasi

a. Pemodelan

Pemodelan simulasi gaya pemotongan yang akan dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.

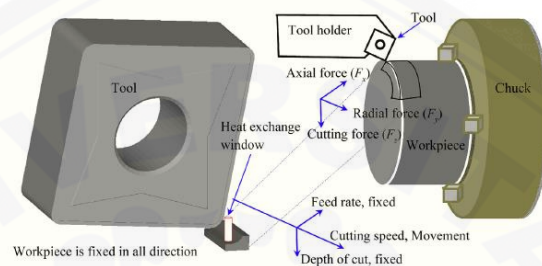
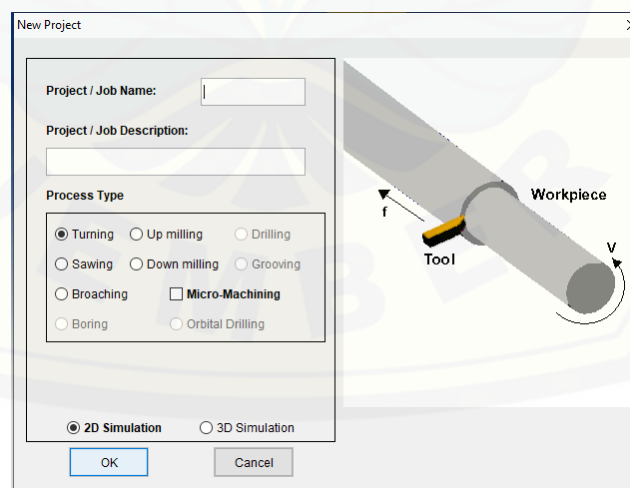


Fig. 1. Assembly of cutting tool and workpiece.

Gambar 3.1 Pemodelan simulasi gaya pemotongan (Parihar, 2019)

b. Pre-processing

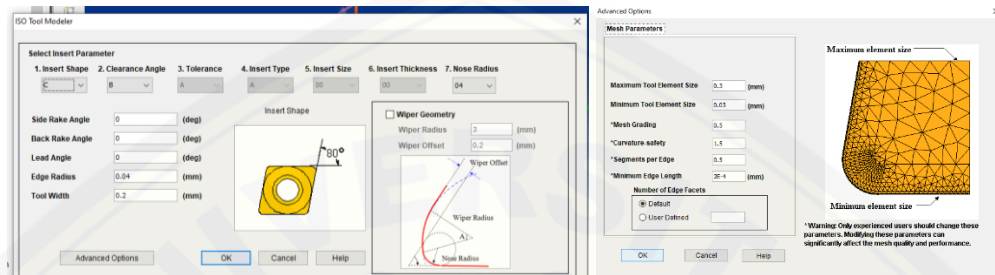
Pengaturan *pre-processing* pada *Third Wave AdvantEdge 7.1* dimulai dari pemilihan proses pemesinan yang akan disimulasi. Gambar 3.2 menunjukkan tabel pemilihan proses pemesinan.



Gambar 3.2 Pemilihan *project*

c. Pembuatan geometri pahat

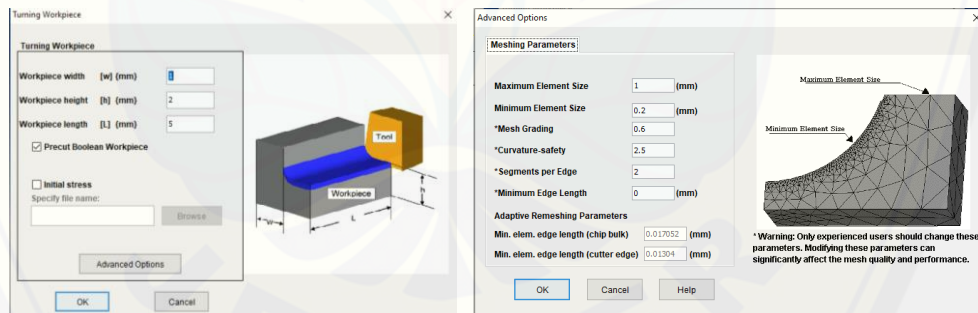
Ukuran geometri pahat dibuat sesuai dengan cutting tool pada uji eksperimen yang telah dilakukan oleh Ita (2020); Mukhlisin (2020); Salman (2020). Pembuatan geometri pahat dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pemodelan pahat

d. Pemodelan *workpiece*

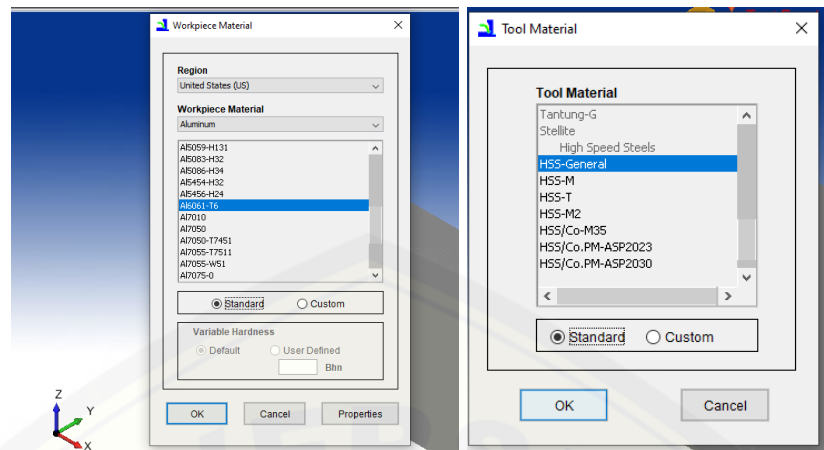
Pemodelan *workpiece* pada *software Third Wave AdvantEdge 7.1* dilakukan berdasarkan dengan pemodelan pada Gambar 3.1. Pemodelan dan *meshing* benda kerja dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pemodelan benda kerja

e. Pemilihan material

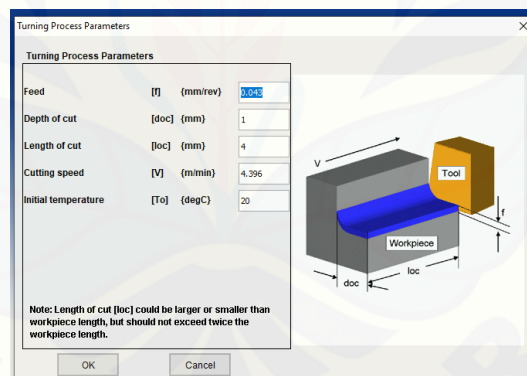
Setelah dilakukan pemodelan pahat dan benda kerja, dilakukan pemilihan material pahat yaitu Al-6061 dan material benda kerja yaitu HSS. Tabel pemilihan material dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pemilihan material pahat dan benda kerja

f. Pengaturan parameter pemesinan

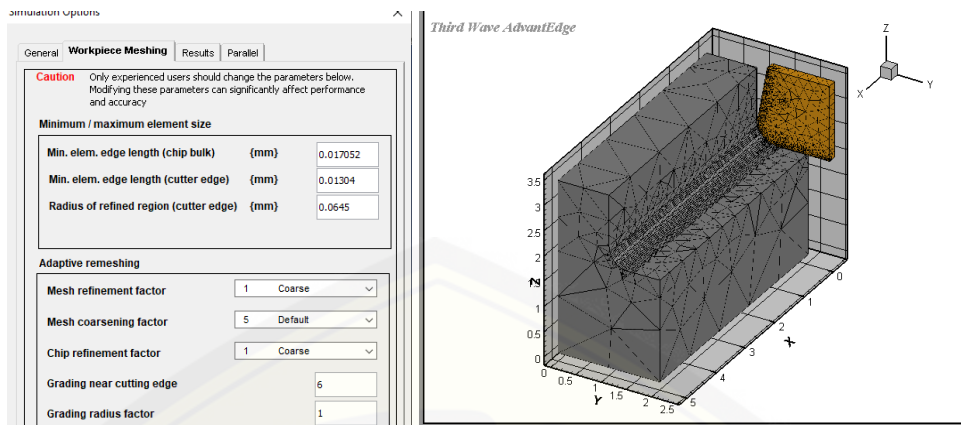
Parameter pemesinan yang digunakan yaitu laju pemakanan (*feed*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*) dan kecepatan putar spindle (*spindle speed*). Tabel pengaturan parameter pemesinan dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengaturan parameter pemesinan

g. Meshing

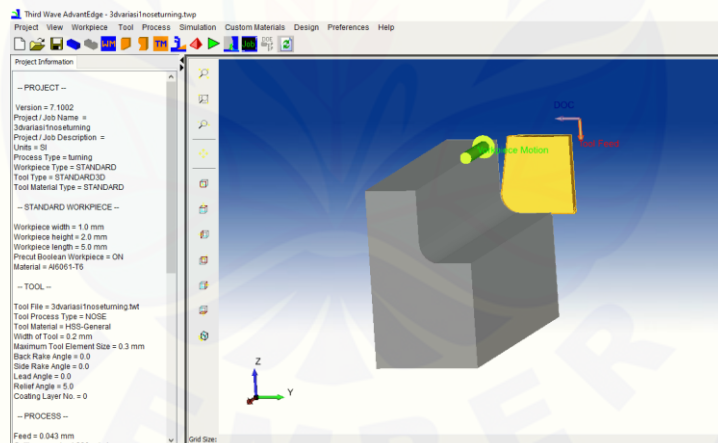
Pada *software Third Wave AdvantEdge* menggunakan *six-node triangular elements* secara default sebagai proses penyelesaian simulasinya. Gambar 3.7 menunjukkan proses *meshing* dari simulasi proses pembubutan.



Gambar 3.7 Meshing pemodelan proses bubut

h. Simulasi

Pemodelan dari simulasi proses pembubutan bertujuan untuk mengetahui besar gaya potong selama proses pembubutan berlangsung. Pemodelan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8. Referensi dari pemodelan yaitu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Parihar (2019).



Gambar 3.8 Pemodelan simulasi proses bubut pada *software Third Wave AdvantEdge 7.1*

3.3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara membuat pemodelan kemudian menganalisa simulasi gaya yang bekerja pada proses pemotongan menggunakan *software Third Wave AdvantEdge 7.1*. Nilai dari setiap parameter diambil berdasarkan data empirik hasil eksperimen pada proses bubut benda kerja Al 6061 dengan pahat HSS. Data yang akan diambil pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter data yang ditentukan

No.	Parameter Pemotongan			Simulasi			Eksperimen			Error		
	Kecepatan putar spindle (r/min)	Laju Pemakanan (mm/r)	Kedalaman Potong (mm)	F_f (N)	F_p (N)	F_c (N)	F_f (N)	F_p (N)	F_c (N)	F_f (N)	F_p (N)	F_c (N)
1.	140	0.043	0.2									
2.	140	0.065	0.4									
3.	140	0.087	0.6									
4.	215	0.043	0.4									
5.	215	0.065	0.6									
6.	215	0.087	0.2									
7.	330	0.043	0.6									
8.	330	0.065	0.2									
9.	330	0.087	0.4									

3.3.3 Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau menjadi penyebab terjadinya variabel lain. Variabel bebas yang berhubungan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Kedalaman potong (0,2 mm; 0,4 mm; 0,6 mm)
- 2) Kecepatan Putar Spindle (140 r/min; 215 r/min; 330 r/min)
- 3) Laju Pemakanan (0,043 mm/r; 0,065 mm/r; 0,087 mm/r)

b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat yang berhubungan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Gaya aksial (*Feed Force*, F_f)

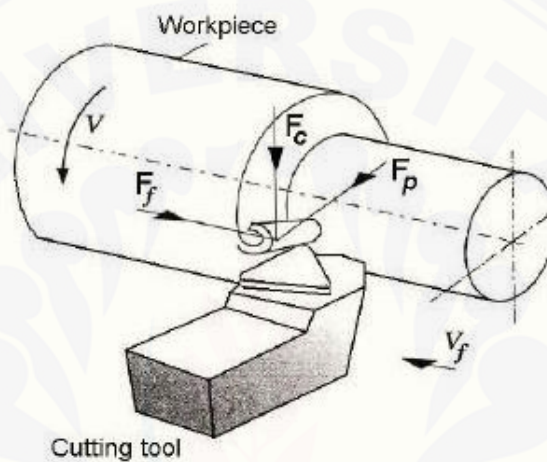
Gaya Komponen yang bekerja pada pahat arah sejajar dengan arah makan

2) Gaya radial (*Passive Force, F_p*)

Gaya yang bergerak dalam arah radial mendorong alat pemotong menjauh dari pekerjaan tegak lurus ke bidang kerja.

3) Gaya Tangensial (*Cutting Force, F_c*)

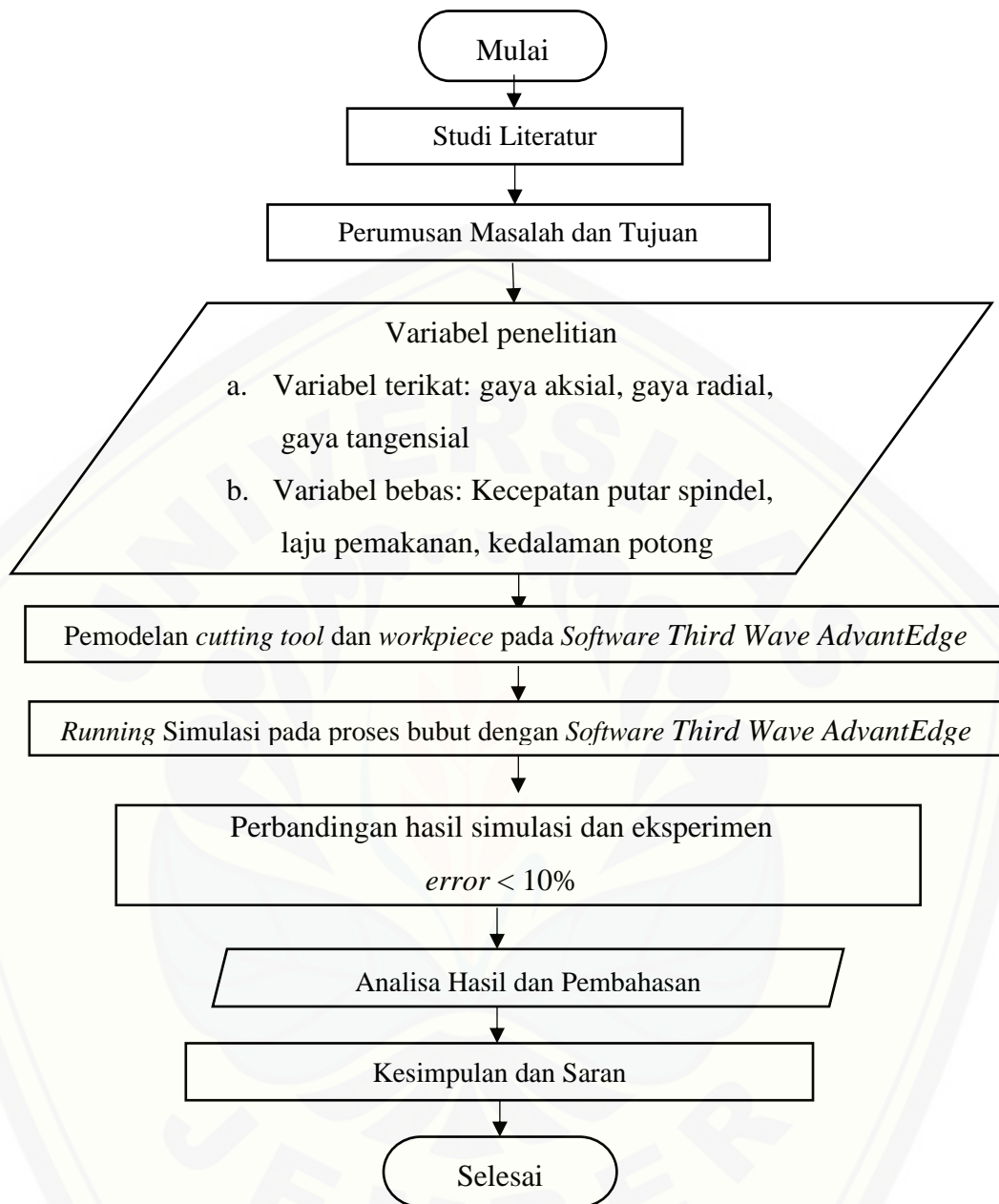
Gaya yang bekerja pada permukaan rake pahat, sudut mata potong normal, ke arah gerak benda kerja



Gambar 3.9 Komponen gaya pemotongan (Radovanovic dkk., 2006).

3.4 Diagram Alir Penelitian

Dari pokok permasalahan yang telah dikaji, alur penyelesaian untuk memperoleh nilai yang diinginkan dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.1.



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian simulasi gaya pemotongan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Gaya pemotongan yang dihasilkan pada pemodelan simulasi proses bubut dengan benda kerja Al-6061 dan pahat HSS adalah gaya aksial memiliki nilai rata-rata tertinggi, kemudian diikuti gaya tangensial dan gaya radial. Nilai rata-rata gaya tangensial, aksial, dan radial masing-masing adalah 60,289 N; 32,319 N dan 21,56 N.
2. Pengaruh parameter pemesinan terhadap gaya pemotongan adalah kecepatan putar spindle menyebabkan nilai gaya pemotongan menurun. Gaya pemotongan menurun karena peningkatan getaran pada performa pahat (*tool*), getaran yang terjadi dapat direduksi dengan menggunakan laju pemakanan yang rendah. Gaya pemotongan akan meningkat dengan meningkatnya laju pemakanan dan kedalaman potong, karena luas penampang geram akan semakin besar.

5.2 Saran

Penelitian ini perlu dikembangkan lagi agar mendapatkan hasil yang lebih optimal, maka saran yang bisa dijadikan pertimbangan penelitian selanjutnya yaitu:

1. Perlu penelitian lebih lanjut dalam melakukan pemodelan proses bubut untuk menurunkan nilai *error* pada perbandingan simulasi proses bubut.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh kedalaman potong, laju pemakanan, dan kecepatan putar spindle terhadap tingkat keausan pahat dan umur pahat.
3. Perlu dilakukan penelitian mengenai karakteristik geram dan kekasaran permukaan pada proses pembubutan.

DAFTAR PUSTAKA

- A'liyah, I. F. H. 2020. Analisis Gaya Potong Pada Proses Bubut Dengan Menggunakan Sensor *Strain Gauge*. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember
- Badan Pusat Statistik. 2018. Direktori Perusahaan Industri Manufaktur 2018.
- Badan Pusat Statistik. 2019. Pertumbuhan Produksi Industri Manufaktur Triwulan IV 2018.
- Bale, J. S. 2009. Perubahan Faktor Keausan Die Drawn UHMWPE Akibat Tegangan Kontak untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan. *Jurnal Teknik Mesin*. 11(2), 97-102.
- Ceretti, E., Lazzaroni, C., Menegardo, L., & Altan, T. 2000. Turning simulations using a three-dimensional FEM code. *Journal of Materials Processing Technology*. 98(1): 99-103.
- Ceretti, E., Fallböhmer, P., Wu, W. T., & Altan, T. 1996. Application of 2D FEM to chip formation in orthogonal cutting. *Journal of materials processing technology*. 59(1-2): 169-180.
- Darsin, M., Pasang, T., & Chen, Z. 2018. Forces Perspective of Drillability of Titanium Alloy 6Al-2Sn-4Zr-6Mo. *JEMMME (Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering)*. 3(1): 23-30.
- Groover, Mikell P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Process, and System 4th Edition*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Grzesik, Wit. 2017. *Chapter Six: Orthogonal and Oblique Cutting Mechanics. Advance Machining Process of Metallic Materials. Elsevier B.V.*
- Günay, M., Korkmaz, M. E., & Yaşar, N. 2017. Finite element modeling of tool stresses on ceramic tools in hard turning. *Mechanics*. 23(3), 432-440.
- Kalpakjian, S. 2003. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. Wesley Publishing Company, USA.
- Korkut, I., and Boy, M. 2008. Experimental examination of main cutting force and surface roughness depending on cutting parameters, *Journal of Mechanical Engineering*. 54: 531 – 328.
- Kosaraju, S., Anne, V., & Ghanta, V. 2011. Effect of rake angle and feed rate on cutting forces in an orthogonal turning process. *Carbon*. 100: 0-360.

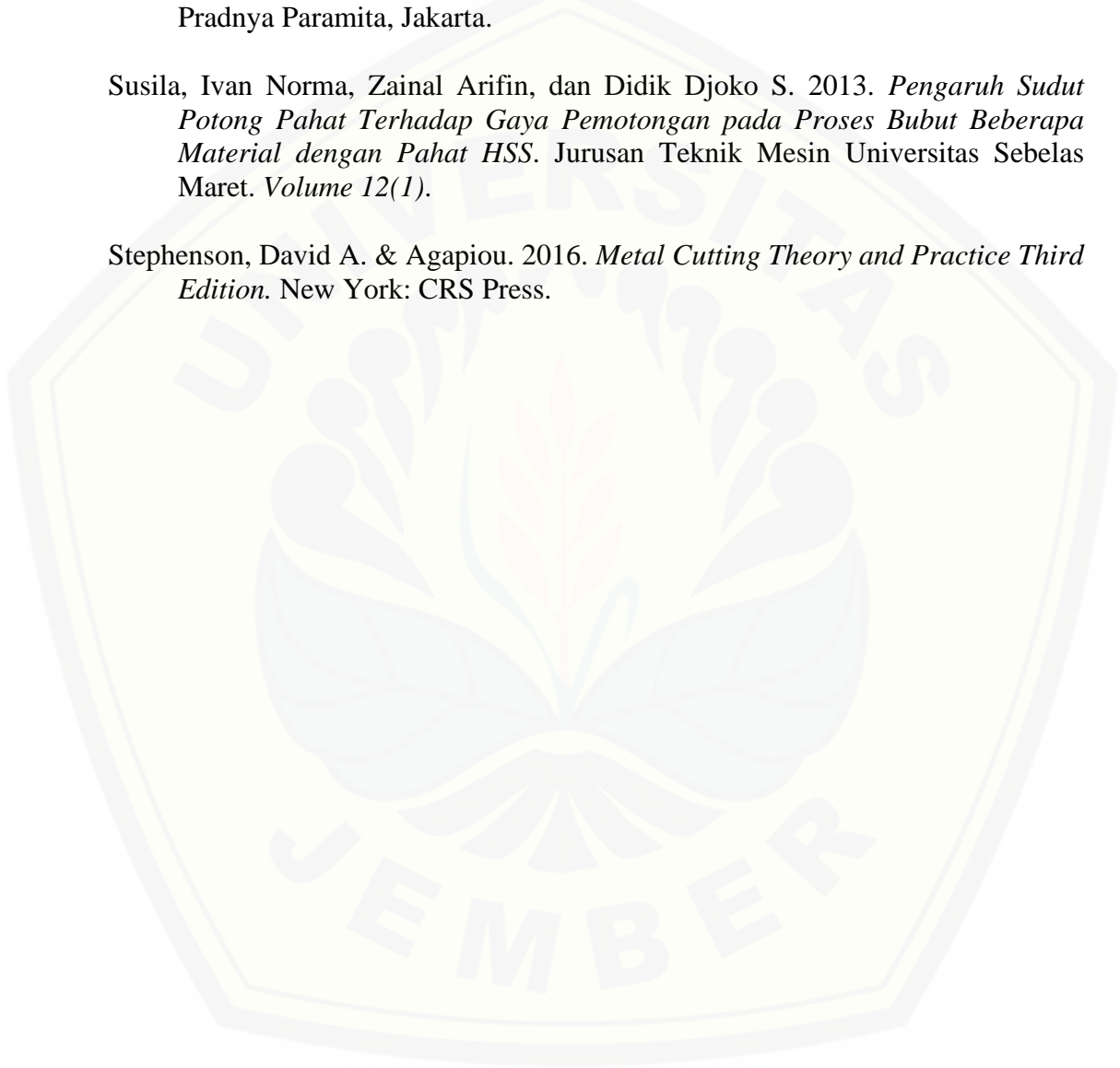
- Mudjijanto, M., Sutarto, E., & Sarip, S. 2019. Analisis Karakteristik Geram dan Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut Kecepatan Rendah terhadap Baja Karbon. *SIMETRIS*. 13(1), 18-23.
- Muhklisin, M. 2020. Analisa Gaya Radial Pada Proses *Turning* Menggunakan Sensor *Strain Gauge*. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Okokpujie, I. P., dkk. 2017. Experimental and mathematical modeling for prediction of tool wear on the machining of aluminium 6061 alloy by high speed steel tools. *Open Engineering*. 7(1): 461-469.
- Okonkwo, U. C., Okokpujie, I. P., Sinebe, J. E., & Ezugwu, C. A. 2015. Comparative analysis of aluminium surface roughness in end-milling under dry and minimum quantity lubrication (MQL) conditions. *Manufacturing Review*. 2(30): 1-11.
- Parihar, R. S., Sahu, R. K., & Srinivasu, G. 2017. Finite element analysis of cutting forces generated in turning process using deform 3D software. *Materials Today: Proceedings*. 4(8): 8432-8438.
- Parida, A. K., & Maity, K. 2019. FEM analysis and experimental investigation of force and chip formation on hot turning of Inconel 625. *Defence Technology*. 15(6), 853-860.
- Radovanovic, Miroslav, dkk. 2006. Correlation Between Component of Cutting Force by Turning. *Fascicle of Management and Technological Engineering Annals of the Oradea University*. Vol. 5, pp. 1226 – 1231. ISSN 1583 – 0691.
- Rochim, Taufiq. 2007. Klasifikasi Proses, Gaya, Daya Pemesinan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rosehan, Lubis, Sobron, & Firmansyah, Mochammad. 2014. Analisis Parameter Permesinan terhadap Gaya Potong pada Proses Pembubutan Logam S45C. *Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI9) 2014*.
- Rusnaldy, R. 2009. Proses Simulasi untuk Menentukan Besarnya Gaya Potong pada Proses Bubut. *ROTASI*. 11(1): 29-32.
- Siregar, S. A. 2020. Analisa Pengukuran Gaya Makan Pada Sumbu Aksial Dengan Menggunakan Strain Gauge. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Sivaraman, V., Sankaran, S., & Vijayaraghavan, L. 2012. The Effect of Cutting Parameters on Cutting Force During Turning Multiphase Microalloyed Steel. India: IIT Madras. *Procedia CIRP 4 (2012) 157-160*.

Soesanti, A., Soepangkat, B. O. P., & Pramujati, B. 2011. Pengaruh Cairan Pendingin Bertekanan Tinggi terhadap Keausan Tepi Pahat, Gaya Potong, dan Kekasaran Permukaan pada Pembubutan Baja AISI 4340. *Seminar Nasional Teknik Mesin X Universitas Brawijaya*.

Surdia, T., dan Saito, S. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Ke-4. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

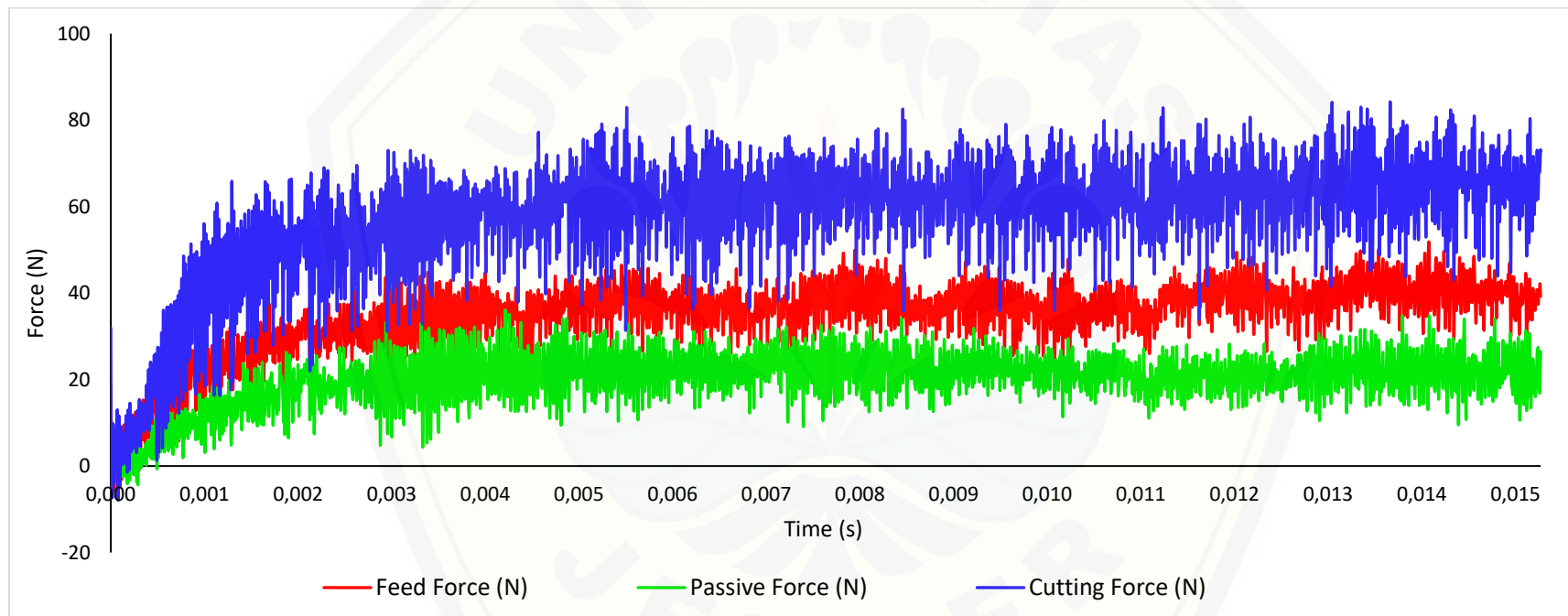
Susila, Ivan Norma, Zainal Arifin, dan Didik Djoko S. 2013. *Pengaruh Sudut Potong Pahat Terhadap Gaya Pemotongan pada Proses Bubut Beberapa Material dengan Pahat HSS*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. *Volume 12(1)*.

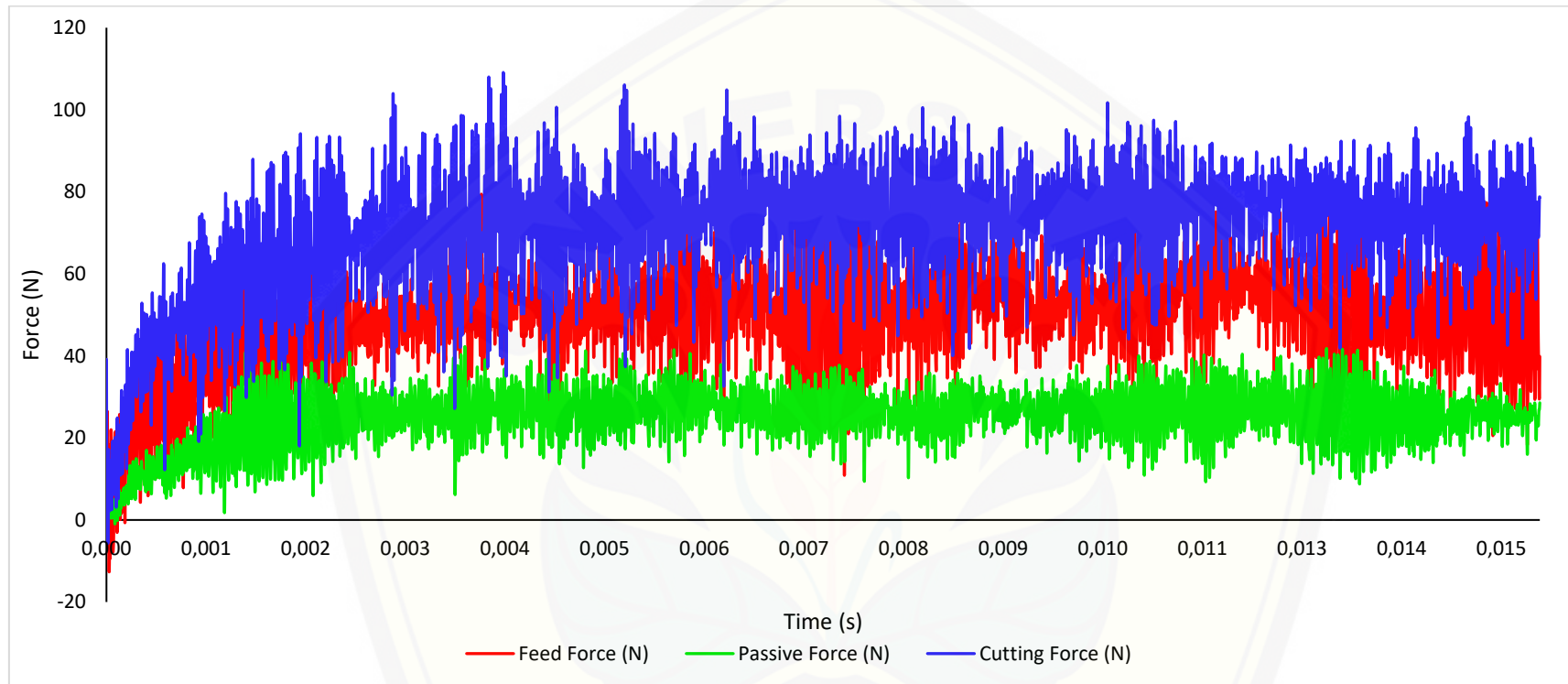
Stephenson, David A. & Agapiou. 2016. *Metal Cutting Theory and Practice Third Edition*. New York: CRS Press.



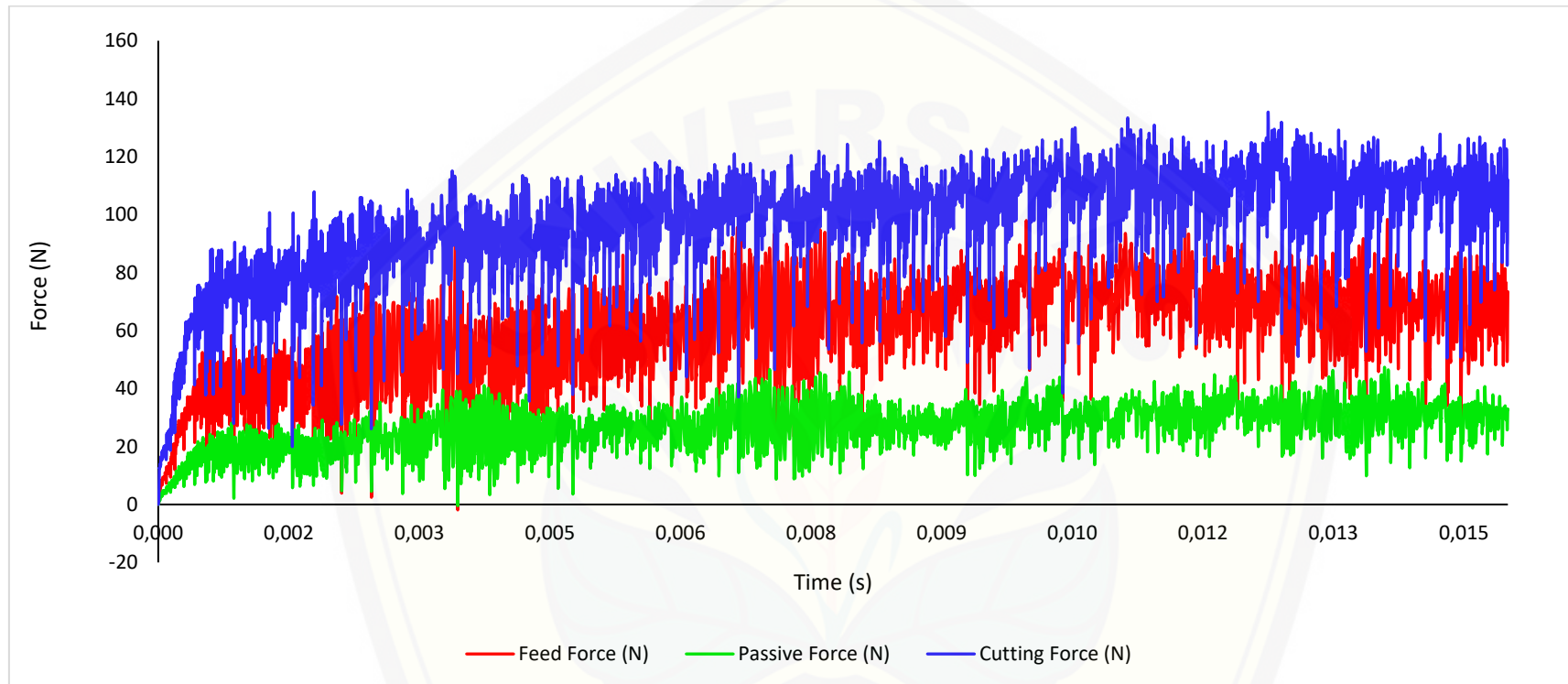
LAMPIRAN

Grafik Output Simulasi Gaya Pemotongan

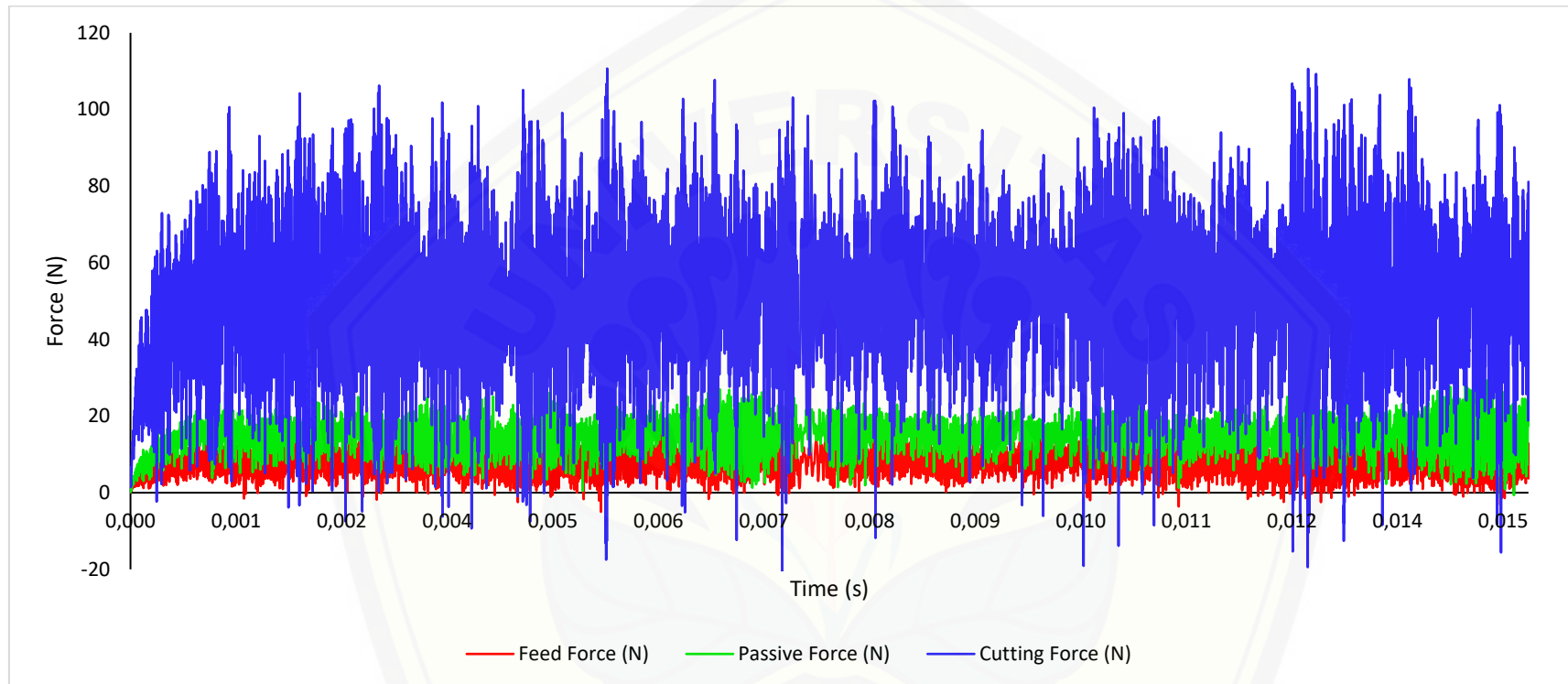
Gambar 1 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 140$; $f = 0,043$; $a = 0,2$)



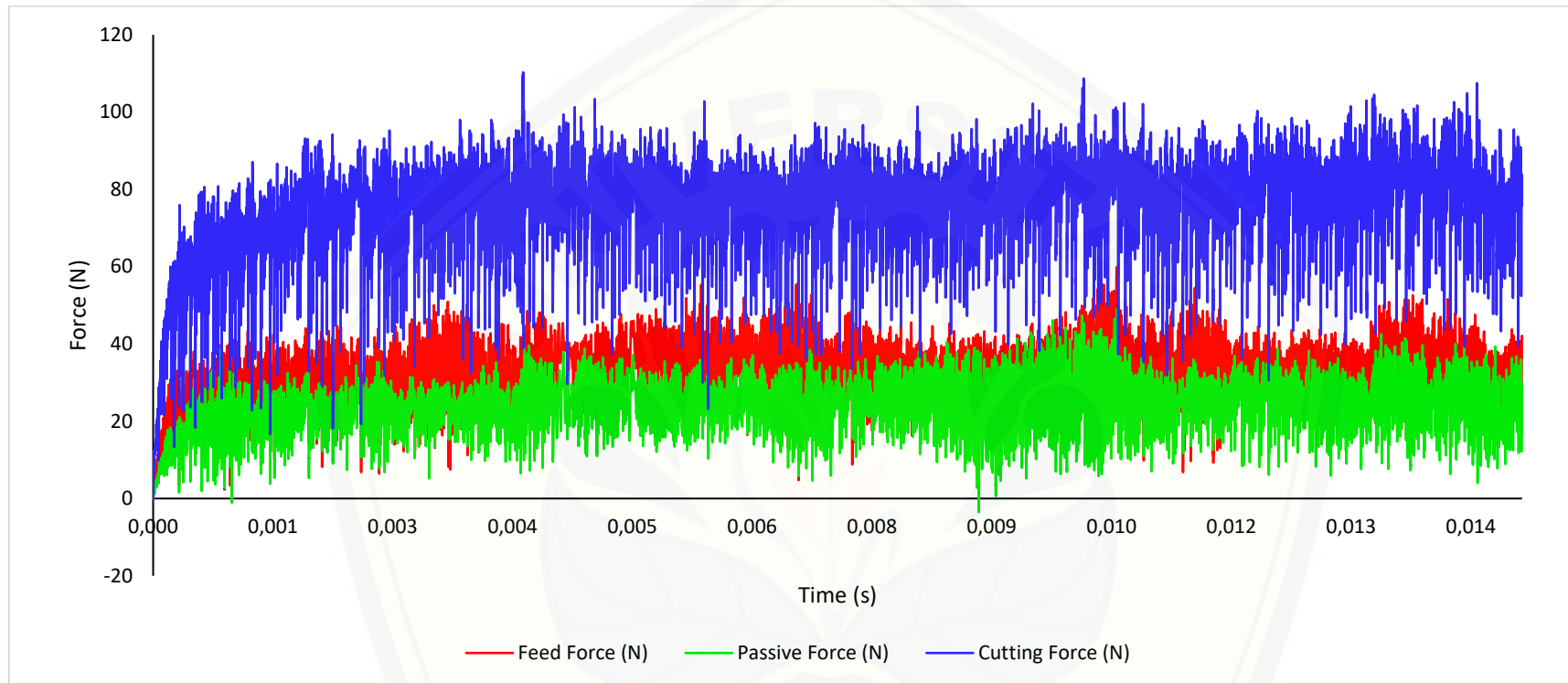
Gambar 2 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 140$; $f = 0,065$; $a = 0,4$)



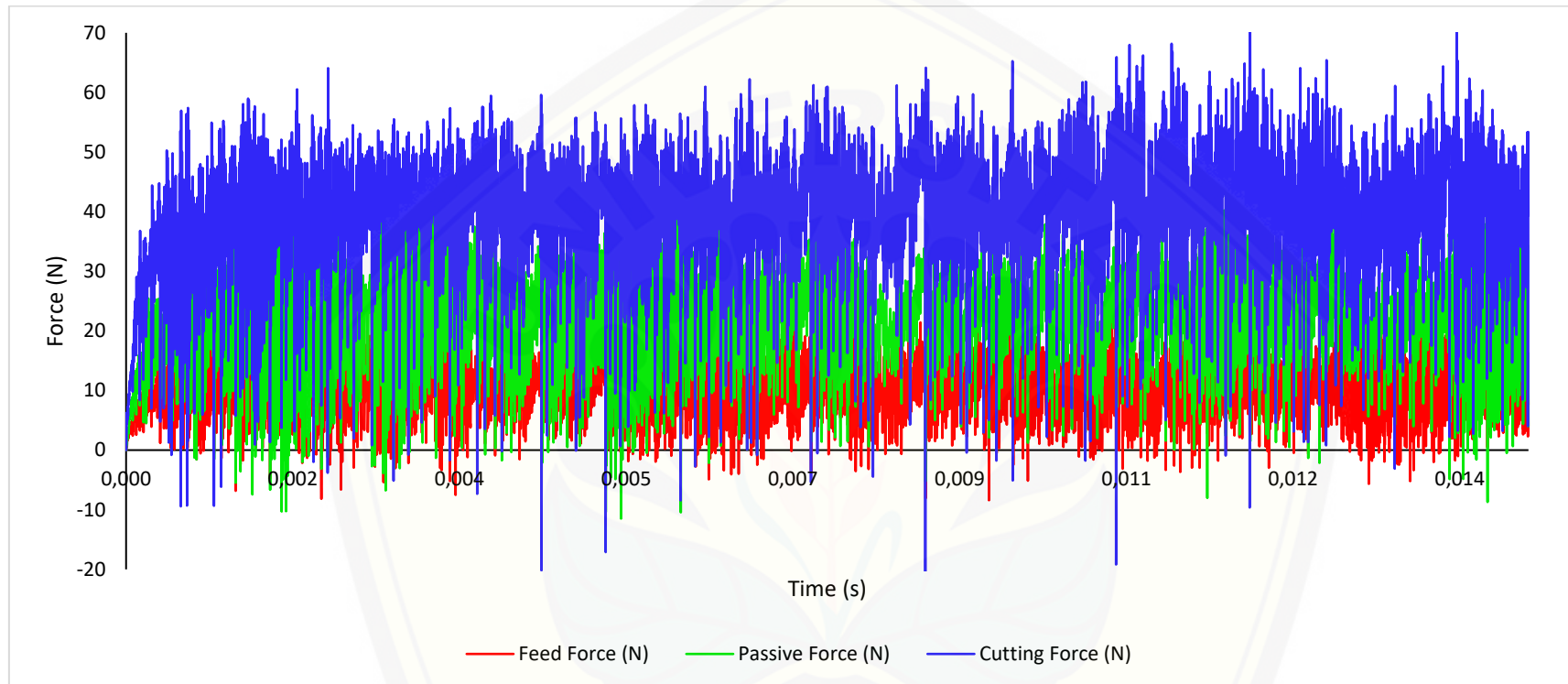
Gambar 3 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 140$; $f = 0,087$; $a = 0,6$)



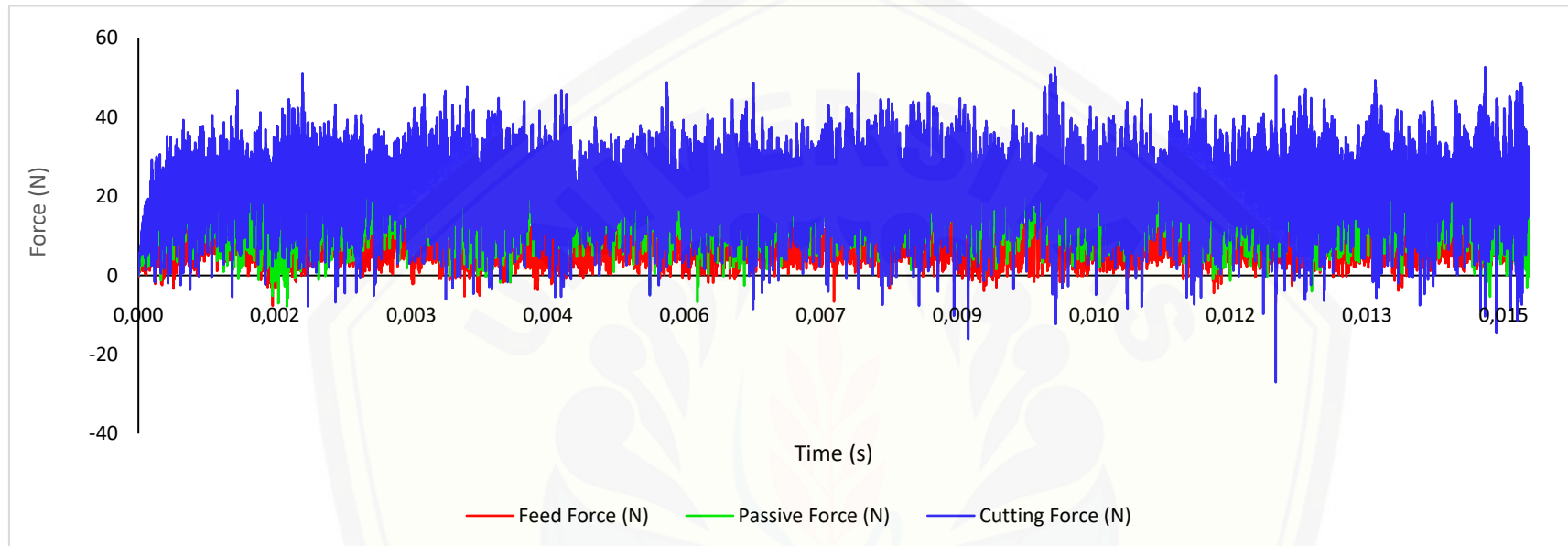
Gambar 4 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 215$; $f = 0,043$; $a = 0,4$)



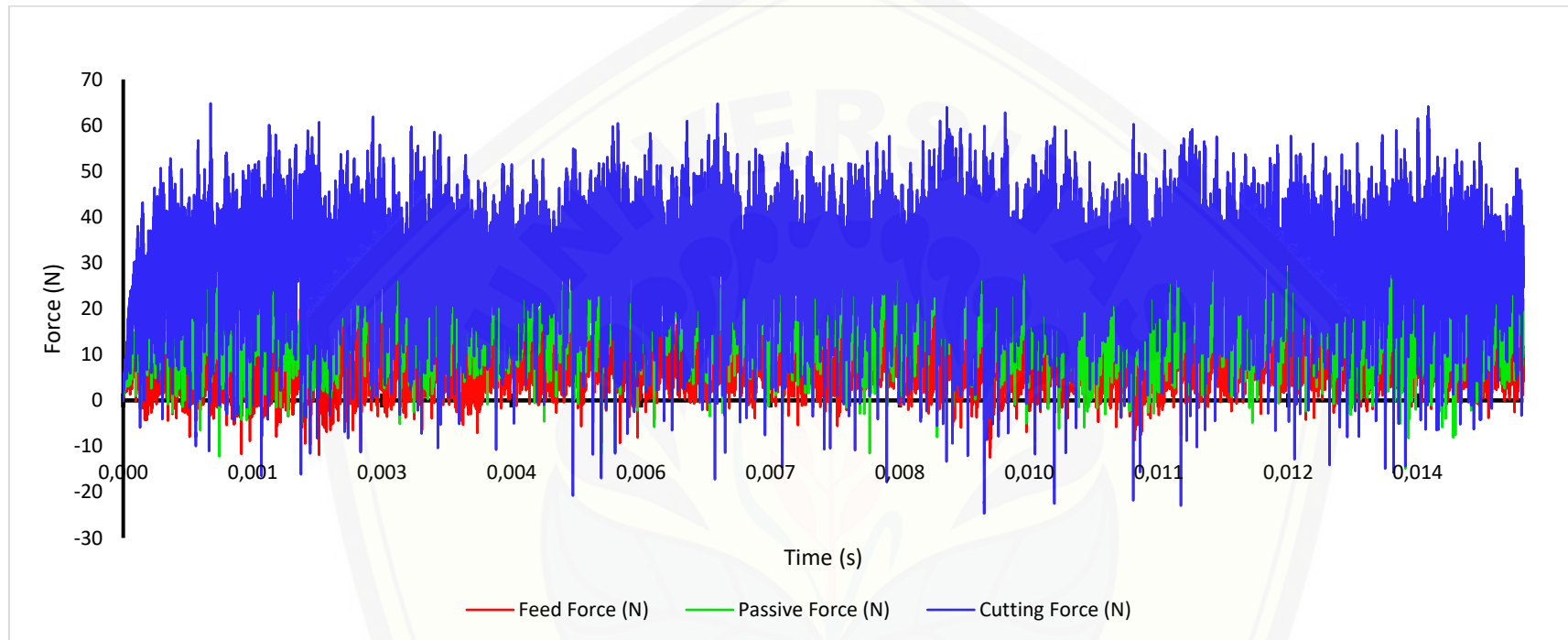
Gambar 5 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 215$; $f = 0,065$; $a = 0,6$)



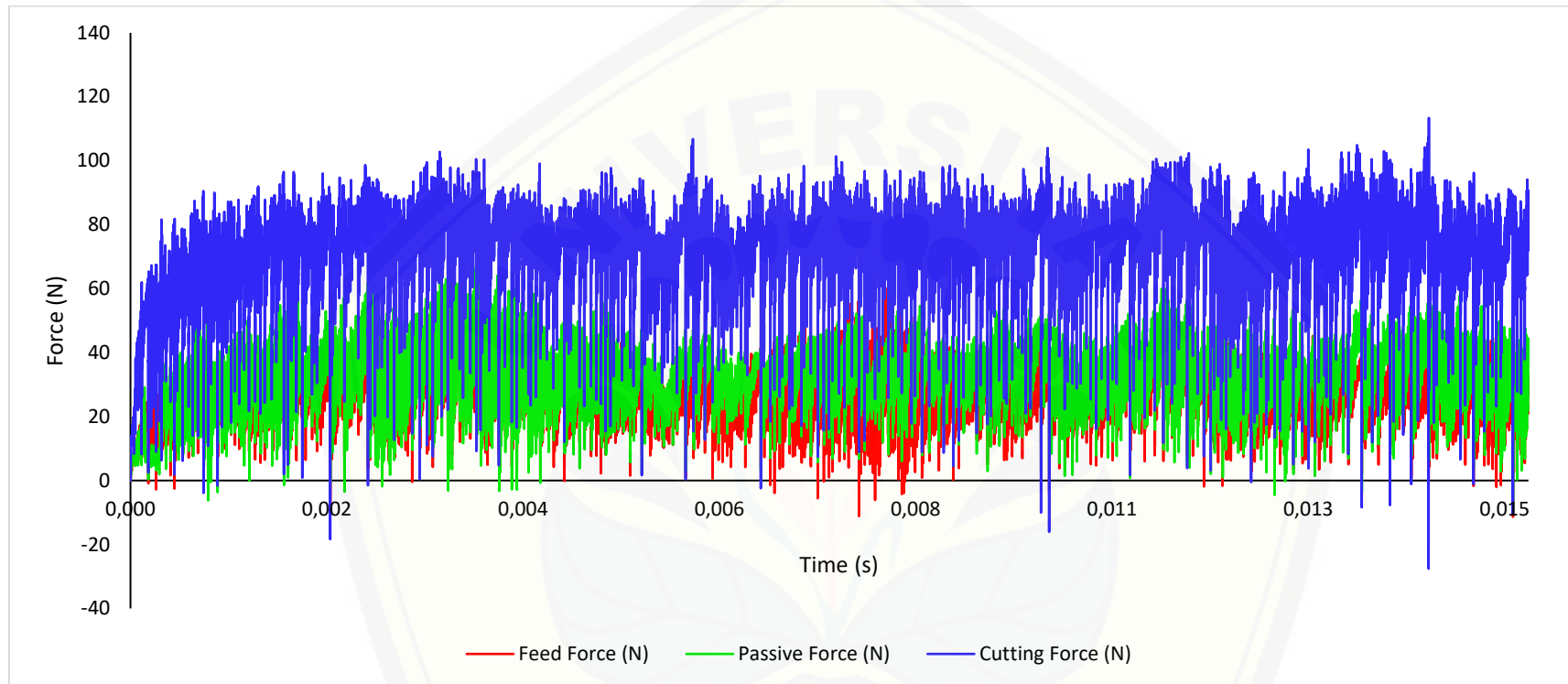
Gambar 6 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 215$; $f = 0,087$; $a = 0,2$)



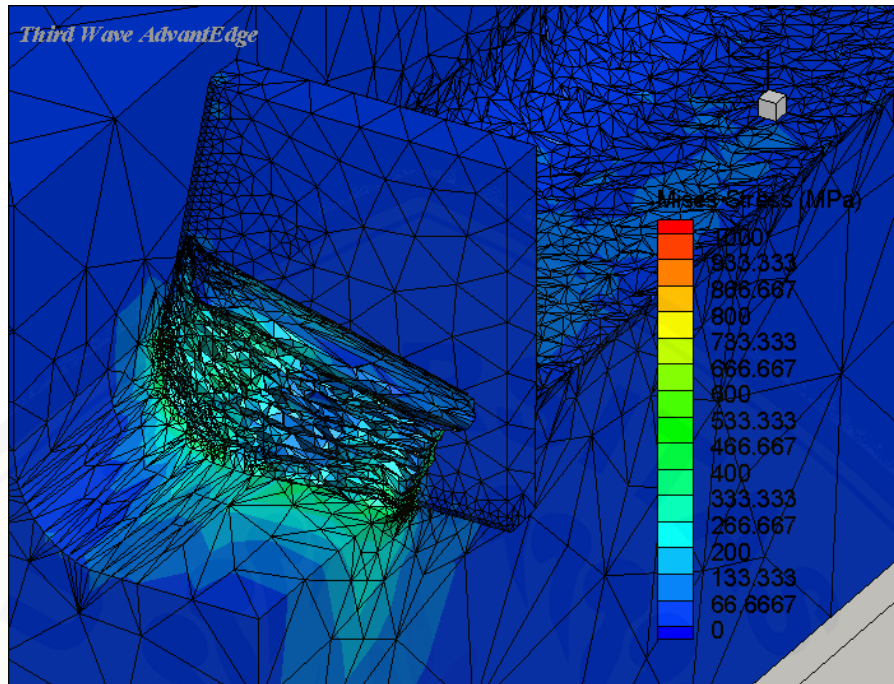
Gambar 7 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 330$; $f = 0,043$; $a = 0,6$)



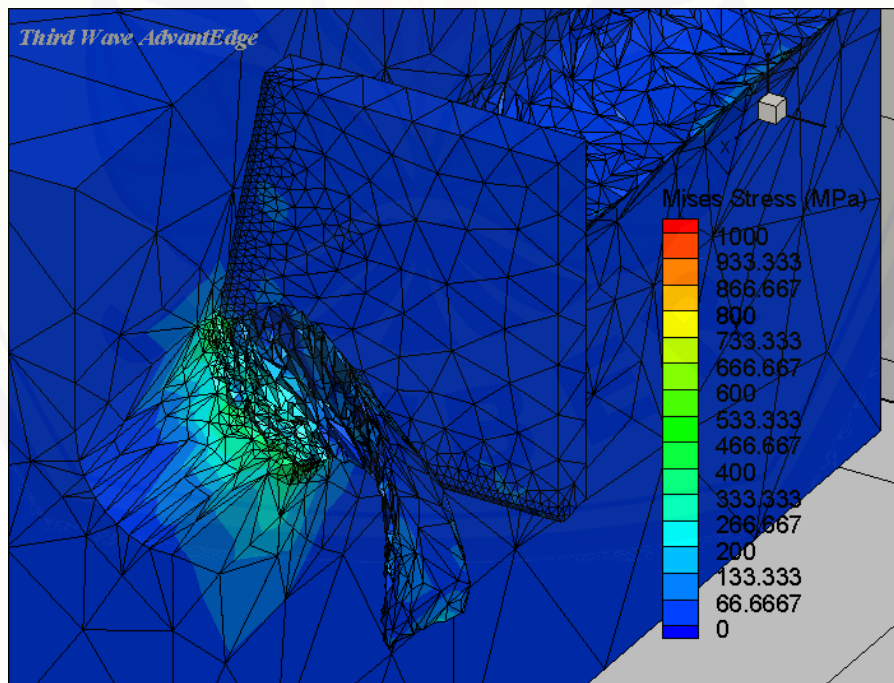
Gambar 8 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 330$; $f = 0,065$; $a = 0,2$)



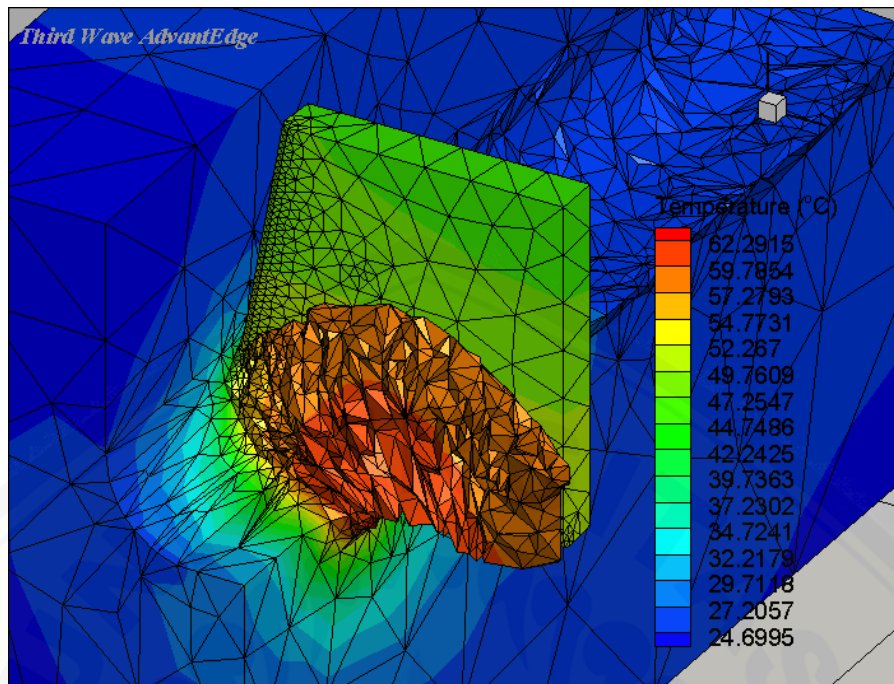
Gambar 9 Grafik *output* data dari simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 330$; $f = 0,087$; $a = 0,4$)

Gambar Hasil Simulasi

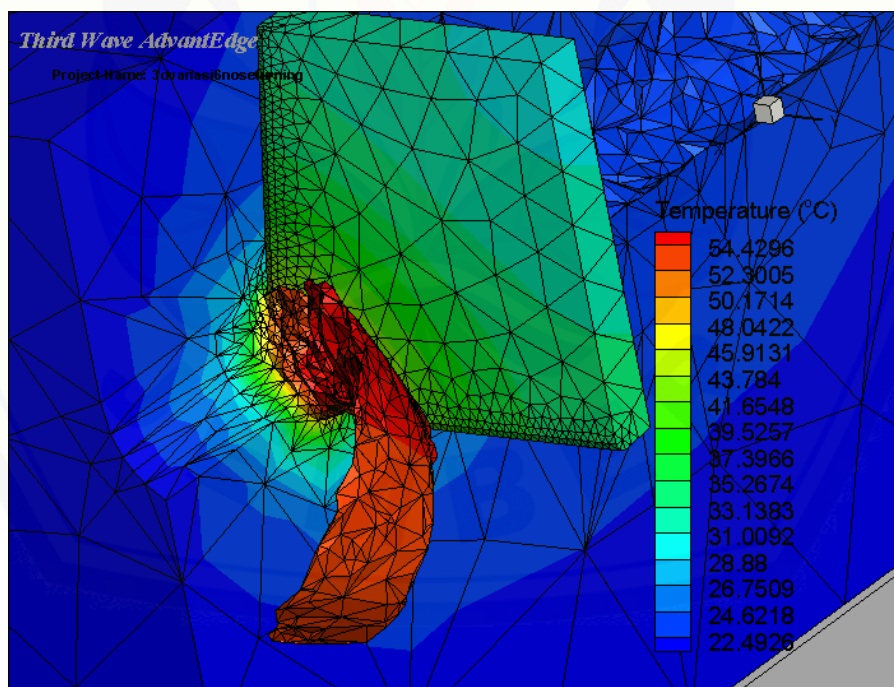
Gambar 0.10 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n= 140$; $f = 0,043$; $a= 0,2$)



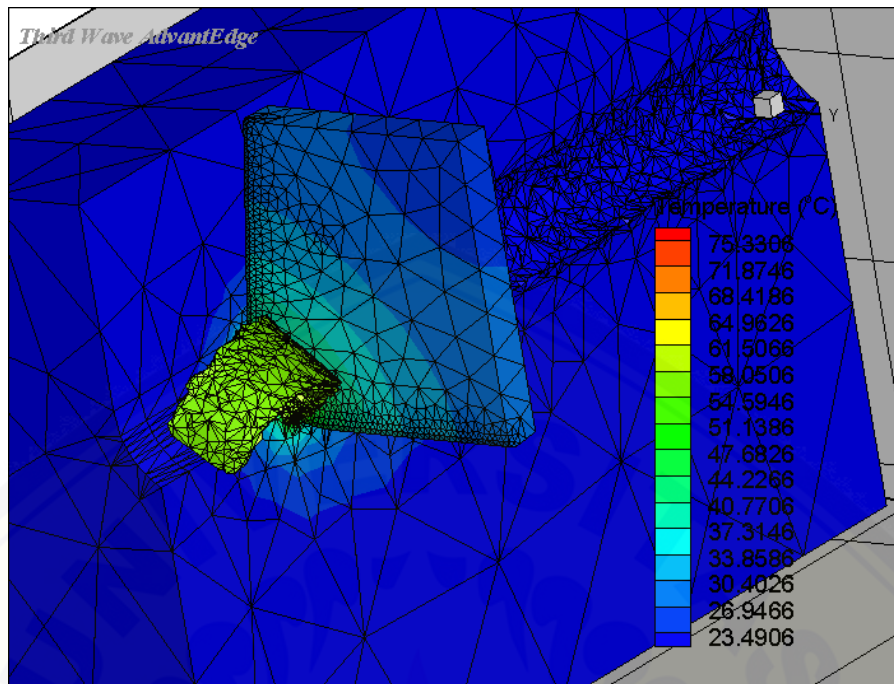
Gambar 0.11 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n= 140$; $f = 0,065$; $a= 0,4$)



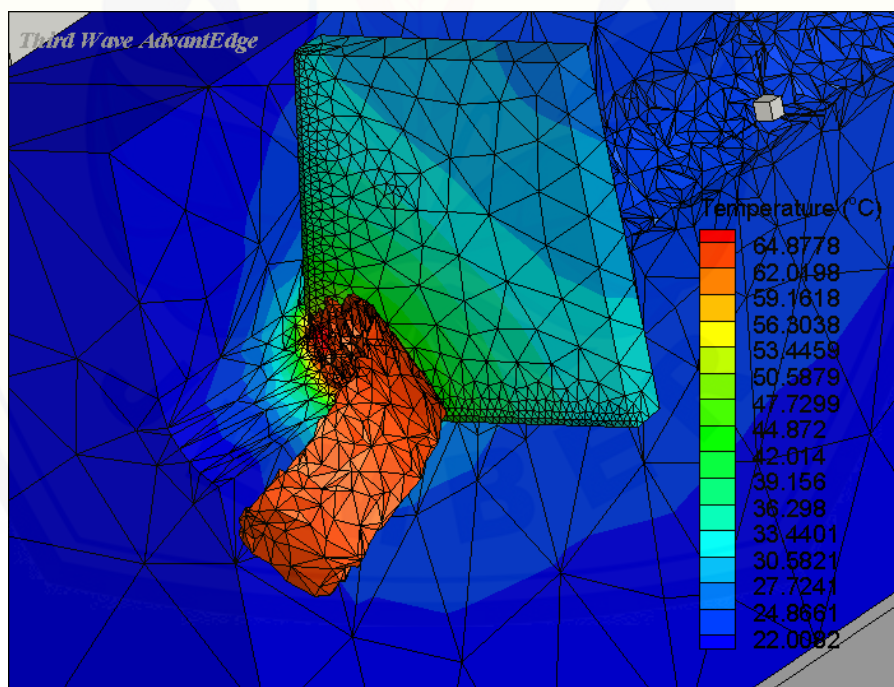
Gambar 0.12 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n= 140$; $f = 0,087$; $a= 0,6$)



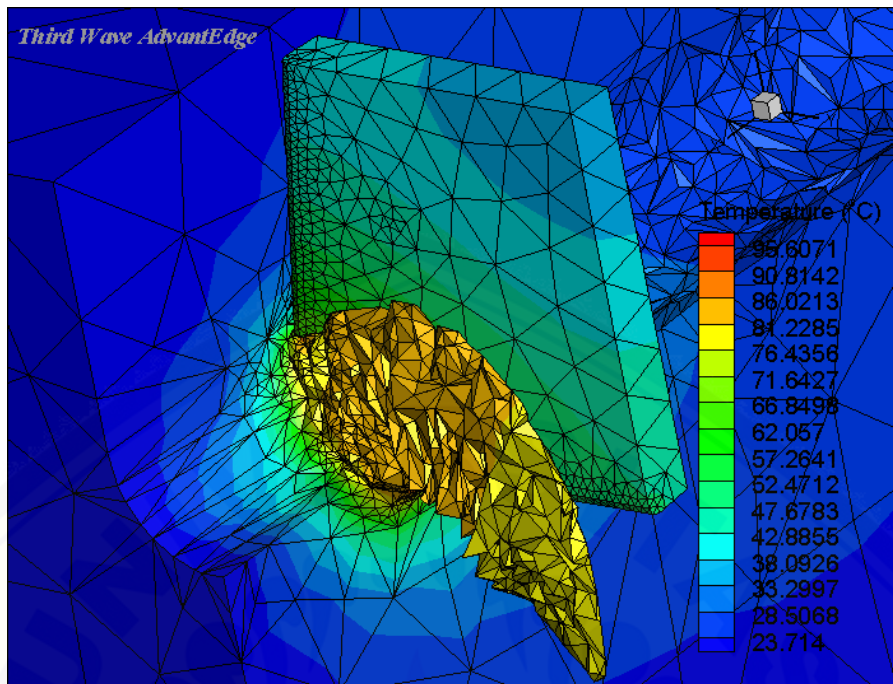
Gambar 0.13 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n= 215$; $f = 0,043$; $a= 0,4$)



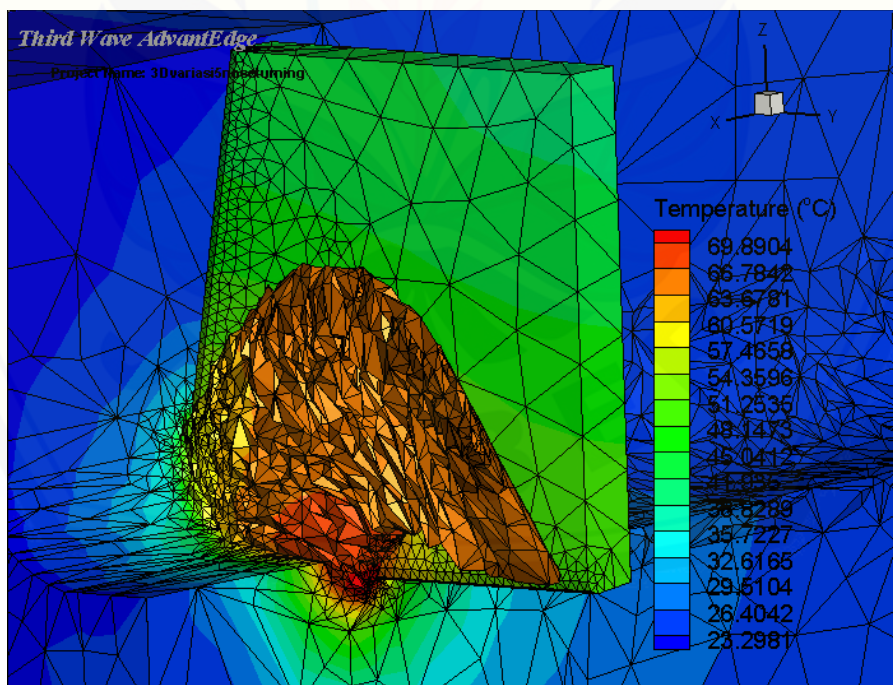
Gambar 0.14 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 215$; $f = 0,065$; $a = 0,6$)



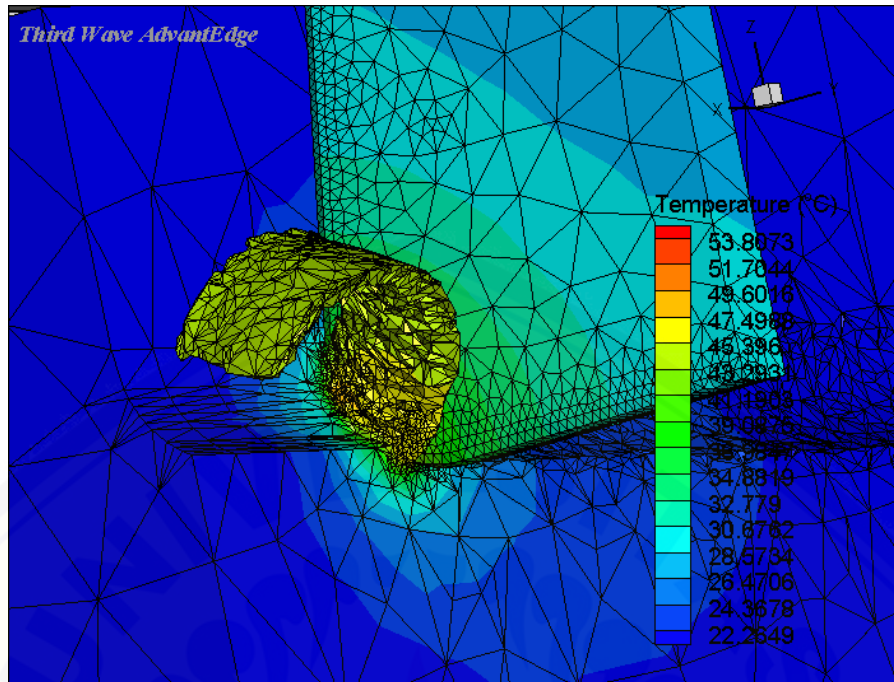
Gambar 0.15 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 215$; $f = 0,087$; $a = 0,2$)



Gambar 0.16 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 330$; $f = 0,043$; $a = 0,6$)



Gambar 0.17 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 330$; $f = 0,065$; $a = 0,2$)



Gambar 0.18 Hasil simulasi gaya pemotongan pada variasi ($n = 330$; $f = 0,087$; $a = 0,4$)