



**PERANCANGAN CNC PLASMA *CUTTING*
MENGUNAKAN *SOFTWARE AUTODESK
INVENTOR 2015***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Saiful Irfan

NIM. 5201415004

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Saiful Irfan

NIM : 5201415004

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Perancangan CNC Plasma *Cutting* Menggunakan *Software Autodesk Inventor 2015*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke ujian skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang,
Pembimbing,



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul "Perancangan CNC Plasma *Cutting* Menggunakan *Software Autodesk Inventor 2015*" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 14 bulan 08 tahun 2019

Oleh

Nama : Saiful Irfan
 NIM : 5201415004
 Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia:

Ketua



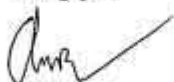
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
 NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo ST, MT, IPP.
 NIP. 197509272006041002

Penguji 1



Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.
 NIP. 196601051990021002

Penguji 2



Drs. Sunyoto, M.Si.
 NIP. 196511051991021001

Pembimbing



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
 NIP. 197403211999031002

Mengetahui:

Dean Fakultas Teknik UNNES



Nur Qodus, M.T., IPM.
 NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 26 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Saiful Irfan
5201415004

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Bersyukur adalah kunci kebahagiaan.
2. Jika kau sadar otakmu lemah, bekerja keraslah 10x lipat dari orang lain.

PERSEMBAHAN

1. Untuk Bapak, ibu, adik, dan keluarga besar tercinta serta teman-teman.

SARI

Irfan, S., 2019. Perancangan CNC Plasma *Cutting* Menggunakan *Software Autodesk Inventor 2015*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Rusiyanto, S.Pd.,MT.

Mesin plasma *cutting* pada umumnya digerakkan menggunakan tenaga manusia, hal tersebut menyebabkan kurangnya kestabilan dalam proses pemotongan, sehingga perlu dilakukan perancangan CNC plasma *cutting* agar diketahui spesifikasi teknis mesin hasil pengembangan dan *safety factor* serta tingkat kepresisian hasil pemotongan CNC plasma *cutting*.

Metode penelitian yang digunakan adalah model penelitian dan pengembangan yaitu model French. Teknik analisis data yang digunakan adalah menggunakan teknik analisis statistik deskriptif yang berasal dari hasil pengujian yang dilakukan. Pengujian *safety factor* dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2015* dengan pembebanan pada rangka sebesar 110,54 N. Pengujian tingkat kepresisian hasil pemotongan dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan instrumen yang sama yaitu arus 20 A dengan kecepatan 400 mm/menit, terhadap material ST 37 dengan ketebalan 1,3 mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya hasil berupa spesifikasi teknis hasil pengembangan dan *safety factor minimum* adalah 4,23 serta hasil uji potong menunjukkan pengukuran dengan selisih terbanyak 0,3 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa CNC plasma *cutting* memiliki konstruksi rangka yang aman dan tingkat kepresisian dengan penyimpangan terjauh $\pm 0,3$ mm.

Kata kunci: CNC plasma *cutting*, *safety factor*, kepresisian

PRA KATA

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan CNC Plasma *Cutting* Menggunakan *Software Autodesk Inventor 2015*” dengan baik dan tanpa suatu hambatan yang berarti. Shalawat serta salam senantiasa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang penulis nantikan syafa’atnya di hari akhir nanti.

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu persyaratan untuk melaksanakan ujian skripsi dan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan kerjasama berbagai pihak. Oleh Karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik UNNES, Rusiyanto, S.Pd.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNNES dan selaku dosen pembimbing yang berkenan membantu, memberikan waktu, dan bimbingan dalam penyusunan proposal skripsi ini.
3. Bapak, Ibu, dan keluarga yang telah memberikan doa, nasihat, dan kasih sayang.

4. Rekan-rekan Pendidikan Teknik Mesin angkatan 2015 dengan kebersamaan dan semangatnya.
5. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak bisa dituliskan satu persatu.

Semoga bantuan yang telah diberikan mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan proposal skripsi ini tidak luput dari ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun penulis terima dengan senang hati. Semoga proposal skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun pembaca.

Semarang, 7 Juli 2019



Saiful Irfan

NIM.5201415004

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTO	v
SARI	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Spesifikasi Produk yang Dikembangkan	5
1.8 Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan	5
BAB II LANDASAN TEORI	6

2.1 Deskripsi Teoritik	6
2.2 Kajian Penelitian yang Relevan	18
2.3 Kerangka Pikir	21
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Metode Pengembangan	22
3.2 Prosedur Pengembangan	23
3.3 Uji Coba Produk	28
3.3.1 Desain Uji Coba	28
3.3.2 Subyek Uji Coba	30
3.3.3 Jenis Data	30
3.3.4 Instrumen Pengumpulan Data	31
3.3.5 Teknik Analisis Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Penelitian	33
4.2 Hasil Pengembangan	48
4.3 Pembahasan Produk Akhir	49
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	54
4.1 Simpulan	54
4.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Instrumen Pengujian <i>Safety factor</i> Rangka.....	32
Tabel 3.2 Instrumen Pengambilan Data Uji Potong.....	33
Tabel 4.1 Massa Total Komponen Sumbu Z.....	34
Tabel 4.2 Massa Total Komponen Sumbu X.....	42
Tabel 4.3 Massa Total Komponen Sumbu Y.....	43
Tabel 4.4 Hasil Simulasi <i>Safety Factor</i>	43
Tabel 4.5 Tabel Hasil Uji Pemotongan.....	48
Tabel 4.6 Biaya Perancangan.....	53
Tabel 5.1 Spesifikasi Teknis CNC Plasma <i>Cutting</i>	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pemotongan Plasma	6
Gambar 2.2 <i>Software Autodesk Inventor 2015</i>	8
Gambar 2.3 <i>Software Vcarve</i>	8
Gambar 2.4 Aluminium Profil (CAD)	9
Gambar 2.5 Motor <i>Stepper</i>	10
Gambar 2.6 Ulir Metrik.....	11
Gambar 2.7 Ilustrasi Pembebanan Pada Sumbu Z.....	12
Gambar 2.8 <i>Belt dan Pulley</i>	14
Gambar 2.9 <i>Arduino Uno</i>	16
Gambar 2.10 Aplikasi <i>Universal G-code Sender</i>	16
Gambar 2.11 Kerangka Pikir	22
Gambar 3.1 Metode French	23
Gambar 3.2 Desain CNC Plasma <i>Cutting</i>	24
Gambar 3.3 Diagram Alir Perencanaan Tipe Motor Sumbu Z	27
Gambar 3.4 Diagram Alir Perencanaan <i>Belt dan Pulley</i>	28
Gambar 3.5 Desain 3D Benda Kerja	30
Gambar 3.6 Dimensi Benda Kerja	30
Gambar 3.7 Diagram Alir Uji Coba.....	31
Gambar 4.1. <i>Constrain</i>	44
Gambar 4.2 Penentuan titik <i>constrain</i>	44
Gambar 4.3 Penentuan Titik Beban.....	45
Gambar 4.4 <i>Meshing</i>	45

Gambar 4.5 Proses Simulasi.....	46
Gambar 4.6 Tampilan Hasil Simulasi.....	46
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Pada Bagian Minimum.....	47
Gambar 4.8 Hasil Uji Potong.....	48
Gambar 4.9 Hasil Pengembangan.....	49
Gambar 4.10 Produk Akhir.....	51
Gambar 4.11 Dimensi Produk.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Penetapan Dosen Pembimbing	59
Lampiran 2. Surat Tugas Penguji.....	60
Lampiran 3. Lembar Persetujuan Seminar.....	61
Lampiran 4. Lembar Undangan Seminar Proposal.....	62
Lampiran 5. Presensi Seminar Proposal.....	63
Lampiran 6. Berita Acara Seminar Proposal.....	64
Lampiran 7. Surat Penelitian.....	65
Lampiran 8. <i>Lead Screw</i>	66
Lampiran 9. Roda Penggerak.....	67
Lampiran 10. <i>Flexible Coupling</i>	68
Lampiran 11. Baut M5 Panjang 50 mm.....	69
Lampiran 12. Baut M5 Panjang 25 mm.....	70
Lampiran 13. Mur M5.....	71
Lampiran 14. <i>Spacer</i> Panjang 35 mm.....	72
Lampiran 15. <i>Spacer Exentrik</i>	73
Lampiran 16. <i>Acme Nut</i>	74
Lampiran 17. Motor <i>Stepper</i>	75
Lampiran 18. <i>Alumunium Profile</i>	76
Lampiran 19. <i>Pulley</i>	77
Lampiran 20. <i>Belt</i>	78
Lampiran 21. <i>Corner Bracket</i>	79

Lampiran 22. Baut M5 Panjang 10 mm.....	80
Lampiran 23. <i>Cable Drag</i>	81
Lampiran 24. Tabel Inersia.....	82
Lampiran 25. <i>Tabel Ulir</i> Bagian 1.....	83
Lampiran 26. <i>Tabel Ulir</i> Bagian 2.....	84
Lampiran 27. Grafik Uji Potong.....	85
Lampiran 28. <i>Proses Pengambilan Data</i>	86
Lampiran 29. Hasil Uji Komposisi Benda Kerja Bagian 1.....	87
Lampiran 30. Hasil Uji Komposisi Benda Kerja Bagian 2.....	88
Lampiran 31. Etiket Plasma <i>Cutting</i>	89
Lampiran 32. Program Uji Potong.....	90

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan zaman dan teknologi, negara-negara di dunia berupaya meningkatkan kekuatan ekonomi dengan mengembangkan kemampuan industri dalam menghasilkan produk yang berkualitas. Kebutuhan konsumen akan kualitas produk yang bagus dengan biaya produksi yang rendah, dan efisiensi waktu yang tepat serta pengolahan material yang baik merupakan hal yang harus dimiliki perusahaan dalam setiap proses manufakturnya. Segala jenis bahan dapat digunakan di dunia industri sesudah memperoleh berbagai proses pengolahan yaitu; peleburan, pengecoran, pencetakan, pengelasan, perlakuan permukaan, pengerjaan panas, pengerjaan dingin, pemotongan dan perakitan (Kistanto, dkk., 2018:30).

Produksi manufaktur tidak terlepas dari proses pemotongan bahan baku, baik bahan baku logam ataupun non logam, namun proses pemotongan logam merupakan aktivitas yang paling sering digunakan dalam industri manufaktur. Pemotongan merupakan proses yang sangat penting karena akan menentukan kualitas bahan yang dipotong pada proses selanjutnya. Terdapat berbagai mesin yang digunakan untuk melakukan proses pemotongan salah satunya adalah mesin plasma *cutting*. Pemotongan plasma merupakan proses yang digunakan untuk memotong logam dengan menggunakan plasma. Udara yang terkompresi pada proses tersebut dihembuskan dengan kecepatan tinggi dari *nozzle* dan pada saat yang sama listrik busur terbentuk melalui gas dari *nozzle* ke permukaan yang telah dipotong dan mengubah sebagian gas tersebut menjadi plasma. Metode

pemotongan menggunakan plasma sangat efisien dan menawarkan keuntungan besar dalam hal kecepatan potong dan biaya awal jika dibandingkan dengan *oxy-fuel cutting* dan *water jet cutting* (Pawar dan Inamdar, 2017: 75).

Permasalahan dalam penggunaan plasma *cutting* yang umum terjadi yaitu masih dikontrol menggunakan tangan manusia serta belum dilengkapi peralatan penggerak. Faktor tersebut mengakibatkan kinerja mesin plasma *cutting* saat pemotongan belum maksimal dan untuk gerakannya tidak stabil karena mesin masih dioperasikan secara manual. Berbanding lurus dengan keadaan dilapangan berkembangnya kebutuhan konsumen dipasaran berupa bahan yang tebal dan keras, tingkat ketepatan dalam ukuran, serta selain itu bentuk yang rumit dan jumlah yang relatif banyak, maka perlu dikembangkan mesin pemotong khusus (Marthana, dkk., 2017: 62).

Mesin plasma *cutting* yang semula digerakkan secara manual dapat dimodifikasi agar pergerakannya lebih stabil dan konstan, yaitu dengan menggunakan sistem CNC (*Computer Numerical Control*). Prinsip kerja CNC (*Computer Numerical Control*) adalah membaca koordinat jarak suatu objek 2D atau 3D kemudian mengubahnya menjadi pemrograman *G-Code* dengan bantuan komputer melalui *software* aplikasi, selanjutnya program tersebut akan menggerakkan motor sesuai dengan koordinat objek yang telah ditentukan (Amri dan Sumbodo, 2018: 111).

Berdasarkan uraian di atas penulis akan melakukan perancangan CNC (*Computer Numerical Control*) plasma *cutting* menggunakan *software Autodesk*

Inventor 2015. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan rangka CNC plasma *cutting* dan tingkat kepresisian hasil pemotongan.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat diketahui beberapa permasalahan yang muncul, berikut identifikasi masalah pada penelitian penulis berkaitan dengan perancangan CNC plasma *cutting* :

1. Mesin plasma *cutting* pada umumnya digerakkan menggunakan tenaga manusia, hal tersebut menyebabkan kurangnya kestabilan dalam proses pemotongan.
2. Mesin plasma *cutting* yang digerakkan menggunakan tenaga manusia sulit menghasilkan hasil pemotongan yang presisi.
3. Mesin plasma *cutting* sulit dalam membuat bentuk hasil pemotongan yang rumit seperti: bentuk lingkaran, segitiga, trapesium, atau bahkan pola-pola tertentu yang tentu saja akan mempersulit dalam proses pemotongan apabila dikerjakan menggunakan tenaga manusia.

1.3. Pembatasan Masalah

Berikut pembatasan masalah pada penelitian penulis:

1. CNC plasma *cutting* menggunakan sistem gerak dengan gerakan sumbu x,y, dan z.
2. Ukuran area maksimal potong yaitu panjang 600 mm dan lebar 600 mm.
3. Material utama rangka sistem gerak menggunakan Aluminium profil dengan lebar 20 mm dan tinggi 40 mm.
4. Tidak membahas sistem elektronik.

5. Menggunakan mesin plasma *cutting* tipe Redbo cut 40A.
6. Uji yang dilakukan berupa pengujian tingkat kepresisian hasil pemotongan.
7. Analisis *safety factor* menggunakan *software Autodesk Inventor 2015*.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan pembahasan sebelumnya maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana spesifikasi teknis CNC plasma *cutting*?
2. Bagaimana *safety factor* rangka sistem penggerak CNC plasma *cutting* menggunakan *software Autodesk Inventor 2015*?
3. Bagaimana tingkat kepresisian hasil pemotongan CNC plasma *cutting*?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui spesifikasi teknis CNC plasma *cutting*.
2. Mengetahui *safety factor* rangka sistem penggerak CNC plasma *cutting* menggunakan *software Autodesk Inventor 2015*.
3. Mengetahui tingkat kepresisian hasil pemotongan CNC plasma *cutting*.

1.6. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini dapat diambil manfaatnya antara lain :

1. Menjadi bahan referensi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan CNC plasma *cutting*.
2. Sebagai informasi mengenai desain CNC plasma *cutting* menggunakan *software Autodesk Inventor 2015*.

3. Sebagai media pembelajaran mahasiswa jurusan Teknik Mesin UNNES mengenai CNC plasma *cutting*.
4. Setelah mengetahui *safety factor* rangka penggerak CNC plasma *cutting* maka penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk menentukan rangka yang tepat pada konstruksi penelitian selanjutnya.

1.7. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan

Spesifikasi yang dikembangkan diharapkan sebagai berikut:

1. Memiliki sistem penggerak sehingga pergerakan stabil.
2. Memiliki cairan pendingin sebagai pendingin benda kerja.
3. Memudahkan dalam penggunaan karena di kendalikan dengan komputer.

1.8. Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan

Asumsi dan keterbatasan pengembangan dalam perancangan ini yaitu:

1. Area kerja terbatas pada ukuran 600 mm x 600 mm.
2. Maksimal pemotongan pada benda kerja dengan tebal 12 mm.
3. Arus listrik pada proses pengerjaan potongan maksimal adalah 40 A.
4. Mesin bergerak terbatas pada tiga sumbu yaitu x,y dan z.

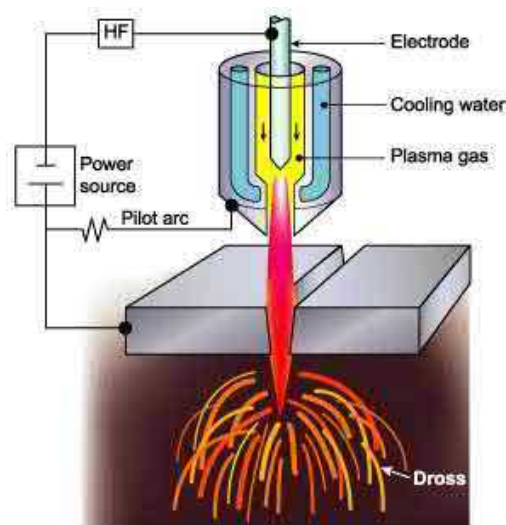
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Deskripsi Teoritik

2.1.1. Plasma *Cutting*

Plasma *cutting* adalah proses yang digunakan untuk memotong logam menggunakan zat plasma. Plasma merupakan fase ke-4 sesudah fase padat, cair, dan gas. Jika es ditambahkan kalor berlebih maka akan berubah menjadi cair, jika zat cair diberikan kalor berlebih maka akan menjadi uap, jika uap diberikan kalor berlebih maka akan menjadi zat plasma. Proses yang terjadi terhadap pemotongan pelat, gas bebas yang terdapat di udara kemudian dikompresi (78% nitrogen, 21% oksigen, 1% argon) ditiup dengan kecepatan tinggi keluar dari *nozzle*, pada waktu yang sama busur listrik terbentuk melalui gas dari *nozzle* ke permukaan yang dipotong, kemudian mengubah sebagian udara menjadi plasma (Cahyono dan Arianto, 2017:1).



Gambar 2.1 Proses Pemotongan Plasma
(Sumber: Tsiolikas, dkk., 2016:105)

Kompresor udara, AC steker, catu daya, plasma *torch*, *ground clamp*, busur plasma, *nozzle* dan benda kerja merupakan 8 bagian utama dari mesin Plasma *Cutting* (Trivedi, dkk., 2017: 697).

2.1.2. CNC (*Computer Numerical Control*)

CNC (*Computer Numerical Control*) adalah mesin perkakas di dunia keteknikan yang mempunyai sistem pengontrolan yang dikendalikan komputer sehingga mampu membaca instruksi *G-Code* yang mengatur sistem peralatan mesinnya, yakni alat mekanik bertenaga mesin yang digunakan untuk membuat benda kerja. (Sumbodo, dkk., 2008: 402).

CNC diterapkan secara luas dalam bidang teknik mesin, terutama dalam bidang industri maupun dunia pendidikan, tipe mesin yang digunakan diantaranya CNC *router*, *lathe*, *plasma cutter* dan *3D printer* (Amri dan Sumbodo, 2018: 111). CNC mempunyai berbagai jenis pemrograman yang digunakan, namun yang paling sering digunakan adalah pemrograman absolut dan inkremental. Pemrograman absolut dikenal juga sebagai sistem pemrograman mutlak, dalam prinsipnya titik acuan yang digunakan selalu tetap atau tidak pernah berubah, kelebihan dari pemrograman ini adalah jika terjadi kesalahan dalam mengkoreksi lebih mudah. Pemrograman inkremental merupakan jenis pemrograman yang titik acuannya selalu berubah, yaitu mengacu pada titik akhir dari suatu pengukuran, titik akhir suatu lintasan merupakan titik awal untuk pengukuran lintasan berikutnya (Sumbodo, dkk., 2008: 406).

2.1.3. Software Autodesk Inventor 2015

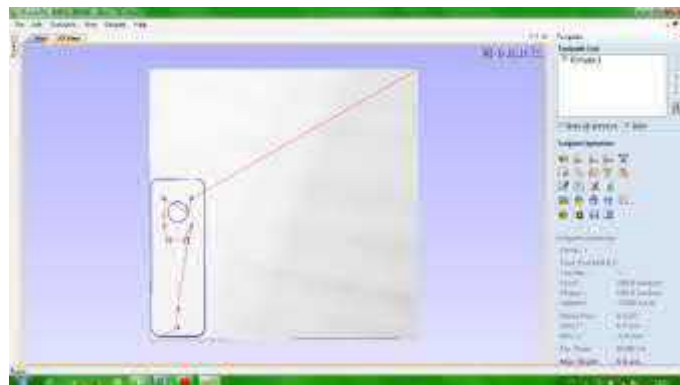
Software Autodesk Inventor 2015 merupakan *software* yang diproduksi oleh perusahaan asal negara Amerika dan dapat membuat gambar dengan hasil 2D dan 3D serta sesuai untuk diaplikasikan dalam perancangan mekanik dari komponen – komponen yang dirancang. *Software* ini dilengkapi fitur-fitur yang mendukung untuk menganalisa distribusi tegangan, *displacement*, dan *safety factor* dengan mudah dan cepat (Setyono, dkk., 2016: 37).



Gambar 2.2 *Software Autodesk Inventor 2015*
(Sumber: penulis)

2.1.4. Software VCarve

Software VCarve merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk mengubah desain yang telah dibuat menjadi *G-Code*. *G-Code* merupakan bahasa intruksi pada pemrograman CNC yang nantinya digunakan untuk memproses/ mengerjakan suatu benda kerja.



Gambar 2.3 *Software Vcarve*
(Sumber: penulis)

2.1.5. Aluminium

Aluminium adalah logam yang memiliki sifat ringan, mempunyai ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Dalam penelitian yang dilakukan penulis menggunakan bahan rangka berupa aluminium paduan yaitu berupa aluminium profil ukuran 20x40, tipe tersebut merupakan aluminium jenis 6063. Paduan aluminium 6063 merupakan elemen paduan utama yang biasa digunakan pada konstruksi karena memiliki sifat kekuatan baik dan tahan korosi (Surdia dan Saito, 1992: 140).



Gambar 2.4 Aluminium Profil (CAD)

(Sumber: penulis)

2.1.6. Akrilik

Akrilik merupakan istilah yang digunakan untuk produk-produk yang berasal dari asam akrilik. Selain anti pecah akrilik juga tahan terhadap cuaca, sehingga baik digunakan diluar atau didalam ruangan. Akrilik digunakan sebagai bahan bagian plat penghubung dan dudukan pada setiap sumbu x,y dan z.

2.1.7. Motor *Stepper*

Motor *stepper* digunakan untuk menggerakkan sumbu x, y dan z, prinsip kerjanya dapat mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor *discret* (terputus) yang biasa disebut step (Cahyono dan Arianto, 2017: 12). Motor

stepper atau putaran penuh sebesar 360° dengan jumlah langkah tertentu per derajatnya Terdapat beberapa tipe motor *stepper* salah satunya adalah tipe *Hybrid*, tipe ini merupakan kombinasi dari motor *stepper* tipe VR dan PM yaitu memiliki gigi serta magnet permanen pada batang porosnya. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerjanya lebih baik dari pada tipe yang lain.



Gambar 2.5 Motor *Stepper*
(Sumber: Cahyono dan Arianto, 2017: 12)

- Rumus daya untuk menentukan motor *stepper* agar sesuai kebutuhan
(Sulaksana., dkk., 2014: 12).

$$P = \frac{2\pi nT}{60}$$

Dimana:

P = Daya (W)

T = Torsi (Nm)

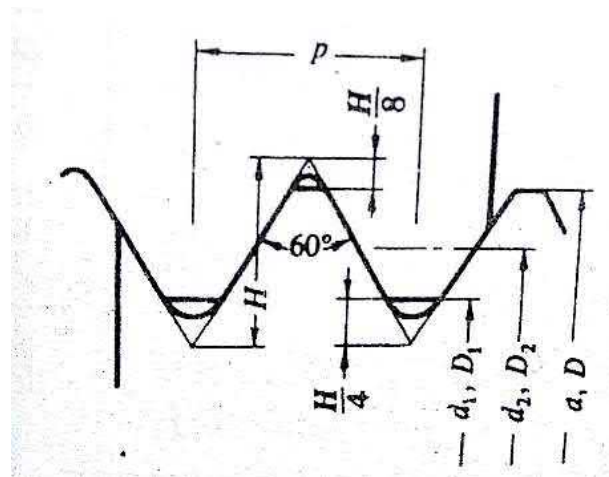
n = Kecepatan motor (rpm)

2.1.8. Ulir Penggerak

Penulis menggunakan ulir sebagai penggerak sumbu z yang digerakan oleh motor. Ulir penggerak berfungsi sebagai perubah gerak rotasi menjadi gerakan linier. Secara umum ulir memiliki berbagai bentuk berdasarkan besar sudutnya yaitu:

a. Ulir Metrik

Ulir metrik merupakan ulir dengan sudut puncak 60° . Ulir jenis ini memiliki simbol "M".



Gambar 2.6 Ulir Metrik
(Sumber: Sularso dan Suga .,2004: 289)

b. Ulir *Whitworth*

Ulir *whitworth* merupakan ulir dengan sudut puncak 55° . Ulir ini memiliki simbol "W".

c. Ulir Segi Empat

Ulir segi empat merupakan ulir dengan sudut puncak 90° . Ulir ini memiliki simbol "Sq". Penggunaan ulir ini diaplikasikann pada beban yang berat.

Beban yang dikenakan pada ulir penggerak akan mengalami tegangan tarik. Luas bidang yang mengalami tegangan lebih besar daripada luasan bidang kaki ulir, diameter yang digunakan adalah diameter rata-rata *pitch* dan diameter kaki. Luas bidang yang mengalami tegangan *tensile stress area*. Jika ulir dianggap kuat maka luasan bidang yang akan mengalami tegangan tarik didasarkan pada diameter kaki ulir. Berikut besarnya tegangan tarik (Cahyono dan Arianto, 2017: 22) :

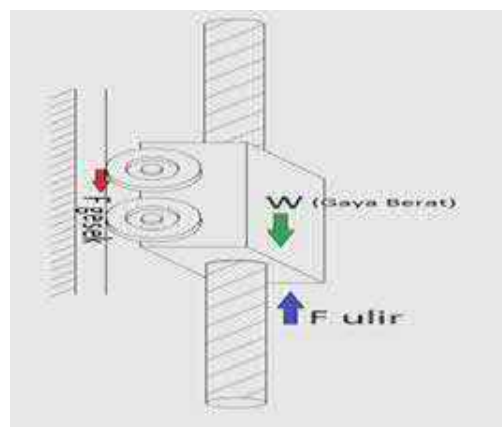
$$\tau = \frac{W}{\frac{\pi}{4} \cdot dr^2}$$

τ = Tegangan (lbf/in²)

W = Berat (lbf)

dr = Diameter kaki ulir (in)

Gaya dorong ulir dapat diketahui dengan perhitungan tenaga ulir (*power screw*). Persamaan yang digunakan untuk menghitung torsi gaya dorong ulir dapat diilustrasikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.7 Ilustrasi Pembebanan Pada Sumbu Z
(Sumber: Sulaksana., dkk., 2014: 12)

- Rumus Perhitungan Gaya Arah Vertikal (Sulaksana., dkk., 2014: 12).

$$F = (m \cdot g)(1 + \mu)$$

Dimana:

$$F = \text{Gaya (N)}$$

$$m = \text{Massa (Kg)}$$

$$g = \text{Gravitasi Bumi (m/s}^2\text{)}$$

$$\mu = \text{Koefisien gesek roda} = 0,2$$

- Rumus Perhitungan Torsi Ulir (Shygly dalam Cahyono dan Arianto, 2014: 25).

Torsi gaya dorong dalam perhitungannya menggunakan diameter efektif atau yang biasa dikenal dengan diameter tusuk pada ulir. Diameter efektif adalah diameter yang terletak diantara diameter luar dan diameter inti/dalam ulir. Berikut perhitungannya:

$$T = \frac{F \cdot dm}{2} \times \frac{1 + (\pi \cdot dm)}{\pi \cdot dm - \mu \cdot l}$$

Dimana:

$$T = \text{Torsi (Nmm)}$$

$$F = \text{Gaya (N)}$$

$$dm = \text{Diameter Efektif (mm)}$$

$$\pi = 3,14$$

$$l = \text{Pitch (mm)}$$

$$\mu = \text{Koefisien gesek ulir}$$

2.1.9. *Pulley dan Belt*

Komponen *pulley* dan *belt* merupakan alat penggerak yang cukup sederhana dibandingkan dengan rantai dan roda gigi. *Belt* yang terpasang pada dua buah *pulley* atau lebih, *pulley* pertama sebagai penggerak sedangkan *pulley* lainnya sebagai yang digerakan. *Belt* atau sabuk yang digunakan dalam perancangan ini adalah tipe sabuk gilir, sabuk gilir sanggup melakukan transmisi mengait seperti halnya roda gigi atau rantai, sehingga perbandingan putarannya akan stabil (Sularso dan Suga, 2004: 181).



Gambar 2.8 *Belt dan Pulley*
(Sumber: Cahyono dan Arianto, 2017: 27)

Transmisi sabuk gilir mempunyai gaya sama halnya dengan sabuk v yaitu gaya tarik efektif (F_e), gaya tarik sentrifugal (F_c) dan tegangan awal (F_0). Gaya tarik pada sisi kendur dari transmisi sabuk gilir besarnya sama dengan gaya F_c pada *pulley* penggerak. Rumus besarnya gaya tarik (Sularso dan Suga, 2004: 182) :

$$F_e = \frac{102P}{v}$$

$$F_c = \frac{w}{9,8} v^2$$

$$F_1 = F_e + F_c$$

Dimana :

F_1 = Gaya tarik (Kg)

F_e = Gaya efektif (Kg)

F_c = Gaya sentrifugal (Kg)

P = Daya yang ditransmisikan (kW)

v = Gaya sentrifugal (m/s)

w = Berat per satuan panjang sabuk (Kg/m)

- Rumus Torsi Motor (Histand dalam Cahyono dan Arianto, 2014: 26).

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Dimana:

T = Torsi (Nm)

P = Daya (W)

ω = Kecepatan sudut (rad/det)

- Cara menentukan jumlah gigi *pulley*

Jumlah Step/mm = (Jumlah *step/revolution* : *pitch belt*) : jumlah gigi

- Perhitungan kecepatan linier *belt* (Cahyono dan Arianto, 2017: 62)

$$V = \frac{\pi \cdot dp \cdot n1}{60 \cdot 1000}$$

Dimana:

dp = Diameter *Pulley* (mm)

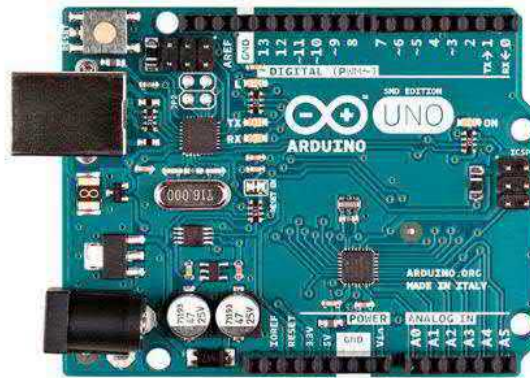
V = Kecepatan Linier (m/s)

n = Putaran (rpm)

π = 3,14

2.1.10. Arduino Uno

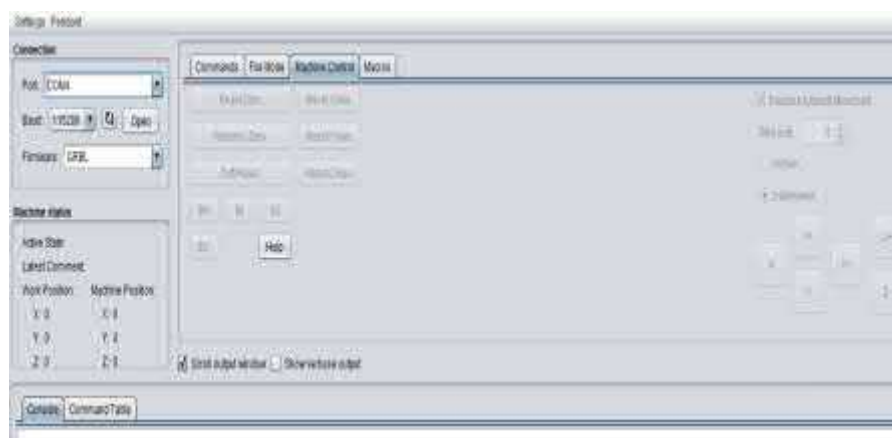
Arduino Uno adalah *board* berbasis mikrokontroler pada ATmega328. *Board* ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk mengoperasikannya, Salah satu sumber tegangan yang dapat digunakan adalah *power supply* yang memiliki berbagai tipe tegangan.



Gambar 2.9 Arduino Uno

(Sumber: Cahyono dan Arianto, 2017: 29)

2.1.11. Universal G-Code Sender



Gambar 2.10 Aplikasi *Universal G-Code Sender*

(Sumber: penulis)

Universal G-Code Sender merupakan aplikasi yang digunakan sebagai pengirim bahasa pemrograman yaitu berupa file NC, agar nantinya apa yang diperintah oleh *programer* dapat dibaca dan diaktualisasikan pada benda kerja.

2.1.12. Kepresisian

Kepresisian adalah tingkat kesamaan nilai pada pengukuran yang dilakukan secara berulang dengan instrumen yang sama. Hasil pengukuran yang berulang akan menghasilkan dimensi benda kerja, semakin tinggi tingkat kesamaan hasil pengukuran maka mesin tersebut memiliki tingkat kepresisian yang tinggi pula. Kepresisian dari suatu mesin akan memudahkan pengguna dalam menghasilkan benda kerja yang diinginkan berkaitan dengan dimensinya. Penulis melakukan pengujian kepresisian dengan cara pemotongan benda kerja sebanyak tiga kali dengan dimensi dan parameter mesin yang sama kemudian dilakukan pengukuran menggunakan jangka sorong. Suatu alat dikatakan memiliki kepresisian yang layak untuk digunakan apabila toleransi kepresisian minimal $\pm 0,5$ mm (Amri dan Sumbodo, 2018: 38)

2.1.13. Faktor Keamanan Rangka

Safety factor atau faktor kewanan adalah parameter yang sangat penting untuk menentukan suatu konstruksi rangka aman atau tidak. Apabila faktor keamanan kurang dari 1 maka rangka konstruksi dapat mengalami deformasi plastis sehingga akan menimbulkan perpatahan dan kelelahan ketika diberi beban (Imran dan Kadir: 2017: 4). Penulis dalam menentukan *safety factor* menggunakan *software Autodesk Inventor 2015*, hal tersebut dilakukan agar lebih memudahkan dan lebih akurat.

Simulasi *safety factor* diawali dengan pembuatan desain rangka terlebih dahulu dan menentukan jenis material penyusun rangka, selanjutnya melakukan pembebanan pada desain rangka yang telah dibuat, jumlah beban yang diberikan merupakan penjumlahan massa total dari komponen sumbu x dan z serta komponen penggerak sumbu y. Pembebanan berfokus pada konstruksi sumbu y karena merupakan bagian yang menopang keseluruhan komponen, setelah dilakukan pembebanan selanjutnya yaitu melakukan simulasi sehingga dapat diketahui seberapa besar *safety factor* dari rangka. *Software Autodesk Inventor 2015* menampilkan hasil simulasi *safety factor* berupa angka. Berikut rumus *safety factor* (Imran dan Kadir, 2017: 3):

$$\text{Faktor keamanan (n)} = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

Dimana:

S_y = *Yield Strengt*

σ_e = Tegangan Von Misses

2.1.14. Perancangan

Perancangan adalah cara awal dalam merealisasikan suatu produk yang dibutuhkan untuk mempermudah pekerjaan manusia (Nursyahuddin dan Gani, 2014: 15). Pada awalnya untuk menguasai cara merancang dilakukan dengan proses magang dengan mempelajari, mengamati, dan mengikuti langkah-langkah yang dilakukan oleh seorang perancang yang telah memiliki banyak pengalaman dalam proses merancang suatu produk. Saat ini, terdapat berbagai macam metode perancangan yang bisa digunakan untuk merancang suatu mesin. Metode French,

Pahl dan Beitz, Ullman, VDI (*Verein Deutscher Ingenieure*), dan Metode Ibrahim Zeid.

2.2. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian yang sudah ada dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian akan dilakukan, oleh karena itu penulis akan membahas tentang hasil penelitian sebelumnya. Berikut hasil penelitian sebelumnya:

Mekanisme mesin penstabil terdiri dari 3 bagian utama yaitu bagian lengan pengatur titik potongan, badan mesin, dan rel mesin (Kistanto, dkk., 2018: 42). Penelitian di atas memiliki kesamaan pada prinsip kerja yang akan dilakukan penulis yaitu pada lengan pengaturan titik potong, badan mesin dan rel mesin, pada penelitian sebelumnya bagian lengan memiliki sistem gerak secara vertikal dan horizontal yaitu sumbu z dan y serta pada rel mesin berfungsi sebagai lintasan gerak lengan yang terhubung dengan badan mesin berupa sumbu x, serta pada badan mesin menggunakan motor penggerak dan *gearbox*, perbedaannya yaitu pada penelitian yang akan dilakukan penulis dalam menggerakkan sumbu x,y dan z semuanya menggunakan rel berupa aluminium profil, dan pada bagian badan mesin menggunakan motor *stepper*, *pulley* dan *belt* serta roda sebagai mekanisme penggerak.

Cahyono dan Arianto (2017: 79) menyatakan bahwa ulir yang digunakan sebagai meja penggerak plasma *cutting* menggunakan ulir jenis metrik dan menggunakan motor *stepper* dengan sudut *step* $1,8^\circ$.

Merancang dan mengembangkan mesin plasma *cutting* perlu mengoptimalkan parameter untuk mengontrol proses dan meningkatkan kinerja proses pemotongan (Trivedi, dkk., 2017: 702).

Pawar dan Inamdar (2017: 80) menyatakan bahwa tegangan busur sangat berpengaruh pada lebar goresan hasil plasma *cutting* diikuti dengan kecepatan potong dan tekanan gas. Sedangkan kecepatan potong sangat berpengaruh pada *taper* hasil plasma *cutting* diikuti dengan tegangan busur, dan tekanan gas.

Pendefinisian material menggunakan *software Autodesk Inventor* saat membuat model 3D lebih nyata dan perhitungan berat dari konstruksi lebih mudah dilakukan, karena secara langsung dapat ditampilkan setelah menentukan jenis material dari tiap komponen gambar (Jahidin dan Manfaat, 2013: 6).

Shinde dan Lakade (2015: 140) menyatakan bahwa pembuatan mekanisme busur pada plasma *cutting* menggunakan komponen berupa bantalan gelinding dan motor sebagai penggerak yang sederhana dan mudah didapat.

Parameter terbaik pada penggunaan *plasma cutting* yaitu dengan kecepatan 2000 mm/menit, torch *stand of distance* 3,6 mm dan tegangan 155 volt (Tsiolikas, dkk., 2016: 308).

Martana, dkk (2017: 66) menyatakan bahwa motor *stepper* yang digunakan sebagai penggerak memiliki induktansi tinggi dan arus lebih rendah di tiap lilitannya dengan spesifikasi 200 langkah tiap putaran serta mempunyai sudut *step* 1,8 °.

Safety factor merupakan parameter yang sangat penting berupa perbandingan antara tegangan ijin bahan dengan tegangan yang terjadi. Kontruksi dinyatakan aman jika keamanannya diatas satu (Setyono, dkk., 2016: 44).

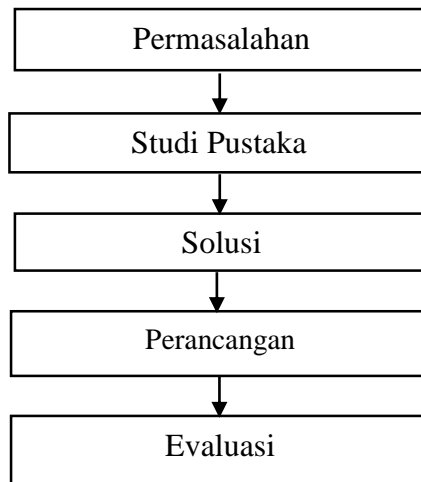
Akhmad (2009: 56) menyatakan bahwa hal yang diperhatikan dalam penggunaan plasma *cutting* yaitu tekanan gas yang dianjurkan adalah 1 - 1,4 Mpa, jarak harus konstan antara *torch* dan benda kerja serta peralatan keselamatan bagi operator.

2.3. Kerangka Pikir

Permasalahan dalam penggunaan mesin plasma *cutting* yang umum terjadi yaitu masih dikontrol menggunakan tangan manusia serta belum dilengkapi peralatan penggerak. Faktor tersebut mengakibatkan kinerja mesin plasma *cutting* saat pemotongan belum maksimal dan untuk gerakannya tidak stabil serta kurang dalam kepresisian.

Pengembangan mesin plasma *cutting* merupakan solusi yang dapat diterapkan agar hasil pemotongan dapat lebih maksimal, berdasarkan permasalahan yang terdapat pada mesin plasma *cutting* serta melakukan studi pustaka dari berbagai sumber maka dilakukan perancangan CNC plasma *cutting*. Perancangan tersebut akan menggunakan rangka penggerak oleh karena itu perlu adanya analisis faktor keamanan untuk mengetahui apakah rangka aman digunakan atau tidak. Pembuatan CNC plasma *cutting* akan menghasilkan gambaran spesifikasi dari produk tersebut yang nantinya sebagai acuan dalam penggunaan, pemasaran ataupun pengembangan selanjutnya.

Perancangan yang dilakukan akan menghasilkan produk hasil pemotongan yang akan dievaluasi berkaitan dengan kepresisiannya, faktor keamanan dan spesifikasi akhir produk. Berikut gambaran kerangka pikir pada penelitian ini:



Gambar 2.11 Kerangka Pikir

(Sumber: penulis)

BAB V
SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan perancangan dan penelitian yang dilakukan penulis dapat ditarik kesimpulan:

1. Spesifikasi teknis CNC plasma *cutting*:

Tabel 5.1 Spesifikasi Teknis CNC Plasma *Cutting*

Tipe las plasma	Redbo <i>Cut</i> 40 A
Bahan utama rangka	Aluminium
Dimensi mesin	1040 mm x 1106 mm x 386 mm
Maksimal area potong	600 mm x 600 mm
Sumbu gerak	Sumbu x, y dan z
Tipe motor penggerak	Motor <i>stepper</i> nema 17 HS4401
Tipe <i>belt</i>	<i>Timing belt</i> GT 2 dengan panjang 1200 mm
Tipe <i>pulley</i>	<i>Timing pulley</i> GT 2 dengan jumlah gigi: 20
Tipe poros penggerak sumbu z	Ulir M8 x 1,25
<i>Controller</i>	<i>Arduino Uno</i>
Maksimum tebal potong	12 mm
Arus maksimum	40 A
Kecepatan maksimum	1500 mm/ menit
<i>Software</i>	<i>Universal G-code Sender</i>
Tegangan Listrik	AC 220 V
Frekwensi	50/60 HZ
Daya	6,1 KW

2. Hasil simulasi *safety factor* pada *software Autodesk Inventor 2015* menghasilkan angka minimum yaitu 4,23 yang terletak pada bagian sambungan, angka keamanan tersebut tidak kurang dari 1, sehingga dapat disimpulkan bahwa rangka penggerak CNC plasma *cutting* dikategorikan aman.
3. Berdasarkan hasil uji potong menunjukkan bahwa rata-rata selisih pengukuran adalah 0,16 mm dengan penyimpangan maksimum 0,3 mm,

angka penyimpangan tersebut tidak melebihi 0,5 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa CNC plasma *cutting* layak digunakan.

5.2. Saran

1. Saran bagi akademisi atau penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan mesin yaitu pada sistem elektronik dan pengontrolan agar lebih aman, serta penambahan sensor ketinggian ataupun penambahan sumbu menjadi lebih dari 3 *axis*.
2. Saran bagi masyarakat umum sebaiknya menggunakan produk yang dikembangkan karena memiliki konstruksi rangka yang aman ditunjukkan dengan angka keamanan tidak kurang dari 1 dan kepresisian dengan penyimpangan terjauh 0,3 mm serta harga lebih ekonomis dibandingkan dengan mesin CNC plasma *cutting* sejenisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, A. A. 2009. Pemesinan Non Konvensional Plasma Arc Cutting. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 9(2): 51-52.
- Amri, A. A. N. dan W. Sumbodo. 2018. Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*. 3(2): 110-115.
- Cahyono, E. dan B. M. Arianto. 2017. Rancang Bangun Meja Mesin Plasma Cutting Dengan Gerak 3 Axis X, Y, Z, Menggunakan Motor Stepper Berbasis Arduino. *Tugas Akhir*. Program Studi Diploma III. Institut Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Hidayanto., A. F dan E. R. Asih. 2017. Desain Sarana Bawa Perlengkapan Pisau Untuk *Discover*. *Jurnal Kreatif*. 4(2): 41-53.
- Imran, A. I. dan Kadir. 2017. Simulasi Tegangan Von Mises Dan Analisa Safety Factor Gantry Crane Kapasitas 3 Ton. *DINAMIKA Jurnal Teknik Mesin*. 8(2): 1-4.
- Jahidin, S. dan D. Manfaat. 2013. Kontruksi Kapal Berbasis Autodesk Inventor untuk Menganalisa Berat Kontruksi. *JURNAL TEKNIK POMITS*. 2(1): 1-6.
- Kistanto, A. R., B. Lipito dan F. Daise. 2018. Desain Sistem Mekanik Plasma Cutter Menggunakan Prinsip Run Stabilizer Process. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo* 3(1): 29-43.
- Martana, B., Y. Djaya dan M. A. Lukmana. 2017. Development of Plate Cutting CNC with Laser Cutter and Stepper Motor Driver. *Prosiding SNTTM XVI*. Jakarta Selatan. 62-66.
- Nursyahuddin, D. dan D. Gasni. 2014. Proses Perancangan Mekanik Dengan Pendekatan Terintegrasi: Studi Kasus Perancangan Alat Uji Pin On Disc. *TEKNIKA*. 21(1): 14-29.
- Pawar, S. S. dan K. H. Inamdar. 2017. Experimental Analysis of Plasma Arc Cutting Process for SS 316l Plates. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X : 75-80
- Setyono, B., Mrihrenaningtyas dan A. Hamid. 2016. Perancangan Dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hibrid “Trisona” Menggunakan Software Autodesk Inventor. *Jurnal IPTEK*. 20(2): 37-46
- Shinde, M. E. dan S. S. Lakade. 2015. Design and Development of A Torch Head Mechanism for A CNC Plasma Cutting Machine. *IJSTE*. 2(4): 136-141.

- Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Pendidikan*. Cetakan Ke-11. Bandung: Alfabeta
- Sulaksana, B., Y. Burhanudin dan A. Sadnowo. 2014. Pembuatan Sistem Kendali Numerik untuk Penggerak Sistem Inspeksi Visi. *Jurnal FEMA*. 2(1): 8-14
- Sularso dan K. Suga. 2004. *Dasar Perencanaan Pemilihan Elemen Mesin*. Cetakan Ke-11. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Sumbodo, W. Dkk. 2008. *Teknik Mesin Industri*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Surdia, T dan S. Saito. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetakan Ke-2. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Trivedi, K. H., J. P. Mehta dan D. P. Kundaliya. 2017. Design and Development Of Three Axis Plasma Cutting Machine. *IJARIE*. 3(3): 694-703.
- Tsiolikas, A., J. Kechagias., K. Salonitis dan N. Mastorakis. 2016. Optimization Of Cut Surface Quality During CNC Arc Plasma Cutting Process. *Internasional Journal Of system Application, Engineering & Development*. 10: 305-308.