



**RANCANG BANGUN BAGIAN DINAMIS MESIN CNC ROUTER MILLING**

**PROYEK AKHIR**

Oleh  
**Deni Anggara Pratama Arifin**  
**NIM 131903101027**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2016**



**RANCANG BANGUN BAGIAN DINAMIS MESIN CNC ROUTER MILLING**

**PROYEK AKHIR**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (DIII) dan mencapai gelar Ahli Madya

Oleh

**Deni Anggara Pratama Arifin**  
**NIM 131903101027**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2016**

## PERSEMBAHAN

Laporan Proyek Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Ibunda Susiyannah dan Ayahanda Syamsul Arifin yang tercinta, terima kasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat dan air mata yang menetes dalam setiap untaian do'a yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis;
2. Guru-guru sejak TK hingga SMA, dosen, dan seluruh civitas akademika Universitas Jember khususnya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin yang telah menjadi tempat menimba ilmu dan telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran;
3. Dulur-dulur Teknik Mesin DIII dan S1 angkatan 2013, yang telah memberikan do'a, dukungan, kontribusi, ide dan kritikan;
4. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

## MOTO

Dan orang yang bersungguh-sungguh (berjihad) untuk mencari (keridhaan) kami, benar-benar akan kami tunjukkan kepada mereka jalan-jalan kami. Dan sesungguhnya Allah benar-benar beserta orang-orang yang berbuat kebaikan. (terjemahan Surat Al-Ankabut ayat 69)\*)

atau

Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan suatu kaum kecuali kaum itu sendiri yang mengubah keadaan diri mereka. (terjemahan Surat Ar-Ra'd ayat 11)\*)

atau

***“Solidarity Forever”***

---

\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Deni Anggara Pratama Arifin

NIM : 131903101027

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul “*Rancang Bangun Bagian Dinamis Mesin CNC Router Milling*” 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juni 2016

Yang menyatakan,

Deni Anggara Pratama Arifin  
131903101027

**PROYEK AKHIR**

**Rancang Bangun Bagian Dinamis Mesin CNC Router Milling**

Oleh

Deni Anggara Pratama Arifin  
NIM 131903101027

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Aris Zainul Muttaqin, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Boy Arief Fachri, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

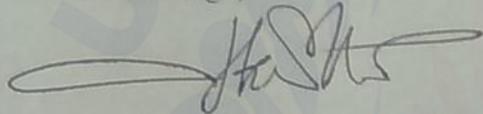
Proyek akhir berjudul "Rancang Bangun Bagian Dinamis Mesin CNC Router Milling" telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 24 Juni 2016

tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Pembimbing

Pembimbing I,



Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.  
NIP. 19681207 199512 1 002

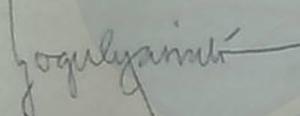
Pembimbing II,



Boy Arief Fachri, S.T., M.T.  
NIP. 19740901 199903 1 002

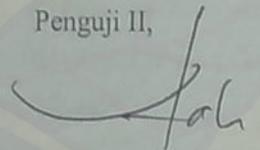
Penguji

Penguji I,



Dr. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T.  
NIP. 19690209 199802 1 001

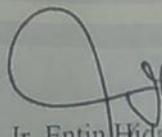
Penguji II,



M. Fahrur Rozy H, S.T., M.T.  
NIP. 19800307 201212 1 003

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M  
NIP. 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Rancang Bangun Bagian Dinamis Mesin CNC Router Milling;** Deni Anggara Pratama Arifin, 131903101027; 2016; 77 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Karya seni ukir memiliki kekhasan tersendiri karena merupakan suatu karya cipta manusia yang didasari rasa estetis sesuai apa yang diinginkan oleh manusia itu sendiri. Karya seni ukir kayu biasanya diciptakan menggunakan teknik memahat. Penciptaan karya-karya kerajinan ukir kayu diawali dengan proses merancang desain yang akan diterapkan pada ukir kayu dengan penyusunan unsur sehingga terbentuk unsur yang bermakna dan harus memiliki keterampilan memahat yang kreatif untuk menghasilkan karya yang baik, menarik serta memiliki makna dan nilai estetika yang tinggi sekaligus bermanfaat dalam kehidupan masyarakat.

Mesin CNC router milling memiliki prinsip kerja yang sama seperti dengan mesin CNC sebenarnya. Hanya saja CNC router milling ini berbentuk prototype karena dibangun dengan peralatan yang sederhana dan menggunakan komponen yang kecil, karena berbahan baku yang akan diolah adalah kayu.

Mesin CNC router milling yang akan dibangun menggunakan 3 axis dalam pengoperasiannya dan bersifat *portable* yang bertujuan untuk mempermudah dalam penempatan. Mesin ini memiliki kapasitas yang terbatas dalam ukuran bahan baku yang akan digunakan. Alat ini memiliki motor utama yang digunakan untuk memutar pahat yaitu menggunakan mesin router atau profil kayu, sedangkan untuk menggerakkan 3 axis alat ini menggunakan 3 unit motor stepper pada tiga sisi berbeda.

Motor stepper dihubungkan pada controller perangkat elektronik agar dapat menjalankan perintah dari software dan dihubungkan pada poros ulir. Pada bagian dudukan poros ulir menggunakan bearing sebagai bantalannya yang diletakkan pada kerangka.

Daya yang diperlukan untuk memakan benda kerja kayu sebesar 0,0049 kW sedangkan bahan dari poros ulir dan mur yang direncanakan yaitu baja stainless steel dengan kadar karbon 0,5% dan panjang poros sumbu Z = 600 mm, sumbu X = 490 mm, sumbu Y = 150 mm. Pada setiap eretan menggunakan 2 buah mur untuk meminimalisir celah yang besar. Dimensi maksimum benda kerja mesin CNC router milling adalah 358 mm x 320 mm x 70 mm



## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir yang berjudul "Rancang Bangun Bagian Dinamis Mesin CNC Router Milling". Laporan proyek akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan diploma tiga (DIII) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan proyek akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini;
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara B., S.T., M.T. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini;
3. Aris Zainul Muttaqin, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Boy Arief Fachri, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran memberi bimbingan, dorongan, meluangkan waktu, pikiran, perhatian dan saran kepada penulis selama penyusunan proyek akhir ini sehingga dapat terlaksana dengan baik;
4. Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan M. Fahrur Rozy H, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II, terima kasih atas saran dan kritiknya;
5. M. Fahrur Rozy H, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah;
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan, pengorbanan, saran dan kritik kepada penulis;
7. Ibunda Susiyanah dan Ayahanda Syamsul Arifin yang telah memberikan segalanya kepada penulis;
8. Elyta Novi Astuti, Adik Kandung Diah Santika Amelia yang telah memberikan do'a dan semangat untuk penulis;

9. Para sahabat Bahtiar Faton A. (Toni), Reza Arianto (Barong), Lutfi Amin (Kriwul), M. Rezza, Sri Rahayu (kepala suku D3), Wira (RW), M. Novan Hidayat (Paimen), M. Adly A., Ika Angga A. (TDR), Rizal Yefi E. (Creme), Priyo Agung W. (Bos), Jelang Ikrar M., Sucipto (Mbah), M. Mahrus Ali (Paul Walker KW), Hadi R.A. (Bos), Yusuf Eko P. (Cong), Oktafian N.N. (Lemot), Yudi B.A. (Arab), Bagus A. (Gembel), Yudha A. (Yudha JR), Indra Wisnu W. (Indros), M. Mukhlisin, Deni Anggara (Mandor), Bayu Putro (Bay), Ifan Romadhani (TDR), dan N. A. Hasan (Pak Kos) yang telah membantu tenaga dan fikiran dalam pembuatan mesin CNC Router Milling;
10. Teman-temanku seperjuangan DIII dan S1 Teknik Mesin 2013 yang selalu memberi dukungan dan saran kepada penulis;
11. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan proyek akhir ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, Juni 2016

Penulis

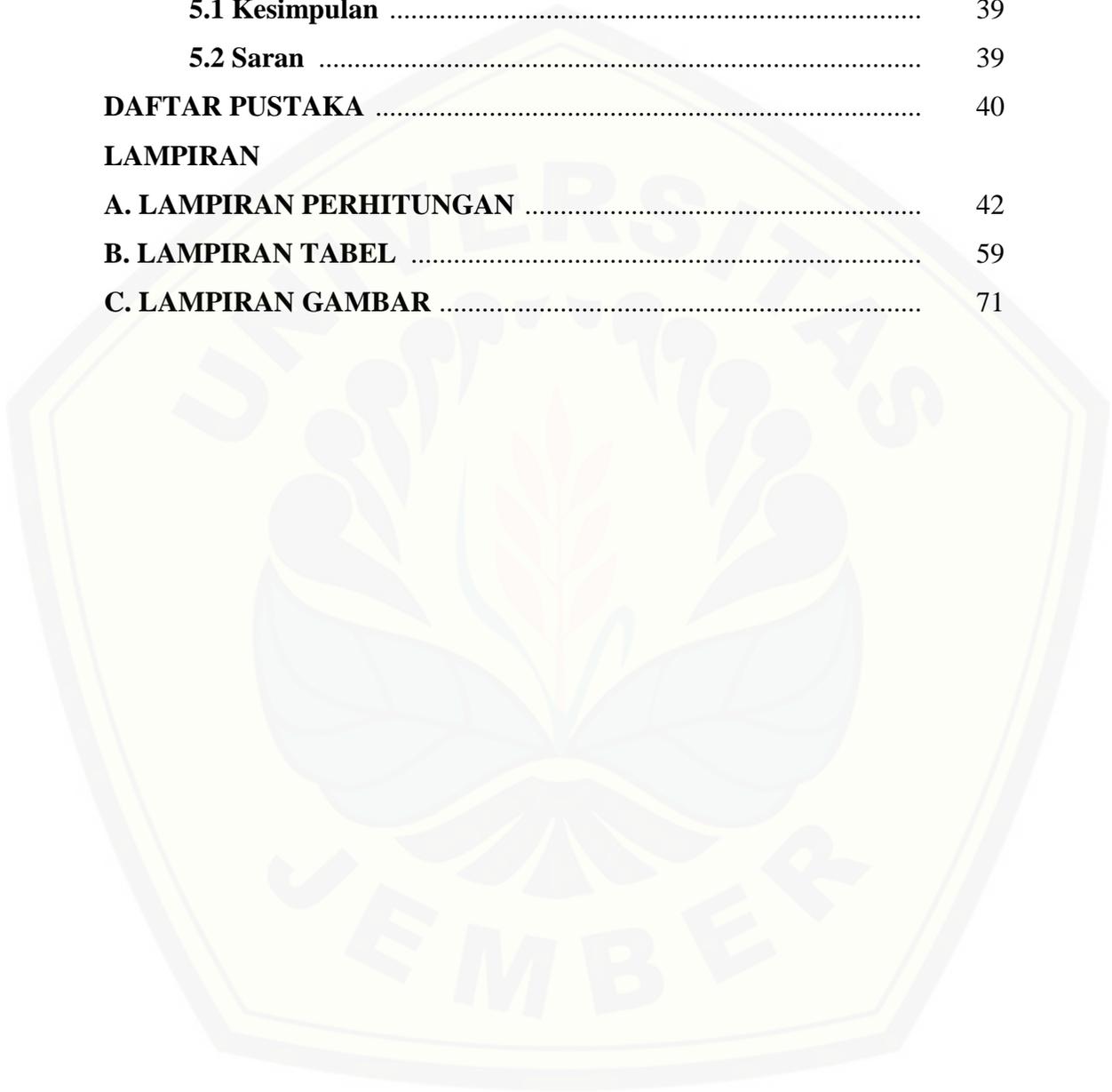
**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	2
<b>1.4 Tujuan</b> .....	2
<b>1.5 Manfaat</b> .....	2
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
<b>2.1 CNC (Computer Numerical Control)</b> .....	4
2.1.1 Pengertian Mesin CNC .....	4
2.1.2 Fungsi CNC .....	4
2.1.3 Metode Pemerograman CNC.....	5
2.1.4 Bahas Pemrograman .....	5
2.1.5 Prinsip Kerja Mesin CNC Router Milling .....	6

2.1.6 Bagian Utama Mesin CNC .....	6
2.1.7 Kode Standart Mesin CNC .....	7
<b>2.2 Pengertian Kayu .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Sifat Fisik Kayu .....	8
2.2.2 Sifat Mekanik Kayu .....	10
2.2.1 Kelas Kekuatan Kayu .....	13
<b>2.3 CNC Router Milling .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Motor Stepper .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5 Perancangan Daya .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 Perencanaan Poros Ulir .....</b>	<b>18</b>
<b>2.7 Perencanaan Mur .....</b>	<b>19</b>
<b>2.8 Proses Manufaktur .....</b>	<b>21</b>
2.8.1 Pengukuran .....	21
2.8.2 Penggoresan .....	22
2.8.3 Penitik .....	22
2.8.4 Gergaji Tangan .....	22
2.8.5 Gerinda .....	22
2.8.6 Toolset .....	22
<b>2.9 Proses Permesinan .....</b>	<b>24</b>
2.9.1 Pengelasan .....	24
2.9.2 Pengeboran .....	24
2.9.3 Penggerindaan .....	25
<b>BAB 3. METODOLOGI PERANCANGAN .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Alat dan Bahan .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Alat .....	26
3.1.2 Bahan .....	26
<b>3.2 Waktu dan Tempat .....</b>	<b>27</b>
3.2.1 Waktu .....	27

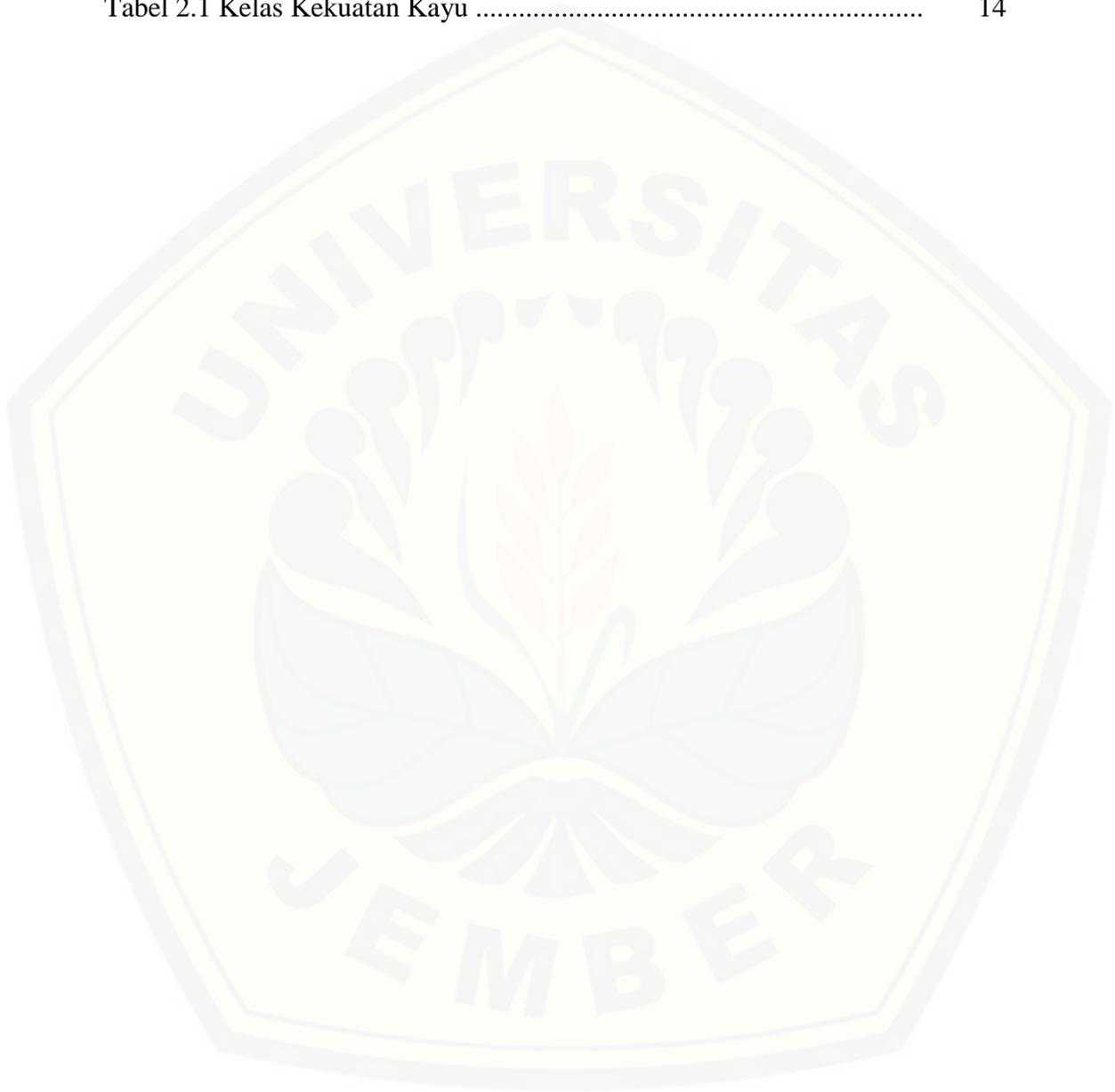
3.2.2 Tempat .....	27
<b>3.3 Metode Penelitian .....</b>	<b>27</b>
3.3.1 Studi Literatur .....	27
3.3.2 Studi Lapangan .....	27
3.3.3 Konsultasi .....	27
<b>3.4 Metode Pelaksanaan .....</b>	<b>28</b>
3.4.1 Pencarian Data .....	28
3.4.2 Studi Pustaka .....	28
3.4.3 Perencanaan dan Perancangan .....	28
3.4.4 Proses Pembuatan .....	28
3.4.5 Proses Perakitan .....	29
3.4.6 Percoban Alat .....	29
3.4.7 Penyempurnaan Alat .....	29
3.4.8 Pembuatan Laporan .....	30
<b>3.4 Flow Chart.....</b>	<b>31</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Hasil Perancangan dan Pembuatan Alat .....</b>	<b>32</b>
4.1.1 Cara Kerja Alat .....	33
<b>4.2 Analisa Hasil Perancangan dan Perhitungan.....</b>	<b>33</b>
4.2.1 Perencanaan Daya Motor Profil .....	33
4.2.2 Perencanaan Poros Ulir .....	34
4.2.3 Perencanaan Mur.....	35
<b>4.3 Pengujian Mesin CNC Router Milling.....</b>	<b>36</b>
4.3.1 Tujuan Pengujian .....	36
4.3.2 Perlengkapan dan Peralatan .....	36
4.3.3 Prosedur Pengujian .....	37
4.3.4 Hasil Pengujian Mesin CNC Router Milling .....	37

<b>4.4 Analisa Hasil Pengujian.....</b>	<b>38</b>
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>39</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>39</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>40</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>A. LAMPIRAN PERHITUNGAN .....</b>	<b>42</b>
<b>B. LAMPIRAN TABEL .....</b>	<b>59</b>
<b>C. LAMPIRAN GAMBAR .....</b>	<b>71</b>



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Kelas Kekuatan Kayu ..... 14



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Mesin CNC.....	4
Gambar 2.2 Kayu .....	8
Gambar 2.3 Kekuatan Lentur Kayu .....	11
Gambar 2.4 Kekuatan Tarik Kayu .....	12
Gambar 2.5 Kekuatan Tekan Kayu.....	12
Gambar 2.6 Kekuatan Geser Kayu.....	13
Gambar 2.7 Kekuatan Belah Kayu.....	13
Gambar 2.8 Contoh Mesin CNC Router Milling.....	15
Gambar 2.9 Motor Stepper.....	16
Gambar 2.10 Mistar baja.....	21
Gambar 2.11 Penggores .....	22
Gambar 2.12 Penitik.....	22
Gambar 2.13 Gergaji tangan .....	23
Gambar 2.14 Gerinda .....	23
Gambar 2.15 Toolset.....	24
Gambar 2.16 Penggerindaan benda kerja.....	25
Gambar 3.1 <i>Flow chart</i> rancang bangun mesin CNC router milling .....	31
Gambar 4.1 Mesin CNC router milling .....	32
Gambar 4.2 Hasil pemakanan terhadap benda kerja.....	38

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi perkembangan teknologi semakin pesat dan berkembang dengan cepat. Tak bisa dipungkiri teknologi sangat berperan besar dalam kehidupan manusia serta membantu di berbagai aspek diantaranya pendidikan, kesehatan, ekonomi, industri dan lain sebagainya. Oleh sebab itu teknologi di Indonesia harus dikembangkan agar dapat bersaing di kancah internasional khususnya dalam bidang industri.

Industri di Indonesia begitu beragam salah satunya industri kayu yang berasal dari hutan maupun perkebunan. Indonesia mulai memanfaatkan hutan pada awal tahun 1970-an, melalui pembangunan industri pengolahan kayu. Saat ini, Indonesia menjadi eksportir kayu lapis terbesar di dunia, dan juga produksi kayu gelondongan, kayu olahan dan bubur kayu untuk produksi kertas. Ada juga produksi dari kayu yang khas asli dari Indonesia yaitu seni ukir kayu.

Karya ukir kayu memiliki kekhasan tersendiri karena merupakan suatu karya cipta manusia yang didasari rasa estetis sesuai apa yang diinginkan oleh manusia itu sendiri. Karya seni ukir kayu biasanya diciptakan menggunakan teknik memahat. Penciptaan karya-karya kerajinan ukir kayu diawali dengan proses merancang desain yang akan diterapkan pada ukir kayu dengan penyusunan unsur sehingga terbentuk unsur yang bermakna dan harus memiliki keterampilan memahat yang kreatif untuk menghasilkan karya yang baik, menarik serta memiliki makna dan nilai estetika yang tinggi sekaligus bermanfaat dalam kehidupan masyarakat.

Namun dalam perkembangannya pengrajin seni ukir kayu mulai jarang dan banyak beralih profesi lain karena mengukir membutuhkan waktu yang relatif lama dan membutuhkan keterampilan khusus. Oleh karena itu perlu adanya suatu terobosan untuk mempermudah pekerjaan tersebut, salah satu caranya dengan menggunakan mesin CNC. Dengan melihat masalah tersebut tugas akhir ini merancang dan

membuat “Mesin CNC Router Milling” dengan tujuan mempermudah proses pengolahan kayu.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Masalah yang akan dibahas dalam perancangan dan pembuatan mesin CNC router milling adalah bagaimana merancang dan membuat mesin CNC milling yang sederhana. Dengan tujuan agar dapat mempermudah dalam menghasilkan karya ukir berbahan baku kayu tanpa melibatkan banyak pekerja untuk menghasilkan kerajinan kayu yang bervariasi guna memenuhi permintaan konsumen yang berbeda-beda dengan jumlah yang tidak sedikit.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada rancang bangun bagian dinamis mesin CNC Router Milling sebagai berikut :

1. Hanya merencanakan bagian dinamis (Poros Ulir, Mur dan Daya).
2. Tidak merencanakan bagian statis.

### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari perencanaan dan pembuatan mesin CNC milling adalah :

1. Dapat mempermudah dalam menghasilkan karya seni berbahan baku kayu
2. Dapat merancang dan membuat mesin CNC router milling sederhana

### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari perencanaan dan pembuatan mesin CNC milling adalah :

Dengan adanya mesin CNC router milling dapat membantu menekan *cost* produksi dalam jumlah banyak tanpa harus mempekerjakan tenaga ahli yang banyak juga.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 CNC (Computer Numerical Control)**

#### **2.1.1 Pengertian CNC**

Computer Numerical Control / CNC (berarti "komputer kontrol numerik") merupakan sistem otomatisasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah dengan program kode G dan kode M setelah itu disimpan pada media penyimpanan, hal ini berlawanan dengan cara sebelumnya dimana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau otomatisasi sederhana. Mesin CNC pertama diciptakan pertama kali pada tahun 40-an dan 50-an, dengan memodifikasi mesin perkakas biasa. Dalam hal ini mesin perkakas biasa ditambahkan dengan motor yang akan menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukkan kedalam sistem oleh perekam kertas. Mesin perpaduan antara servo motor dan mekanis ini segera digantikan dengan sistem analog dan kemudian komputer digital, menciptakan mesin perkakas modern yang disebut mesin CNC (Computer Numerical Control) yang dikemudian hari telah merevolusi proses desain. Saat ini mesin CNC mempunyai hubungan yang sangat erat dengan program CAD. Mesin-mesin CNC dibangun untuk menjawab tantangan di dunia manufaktur modern. Dengan mesin CNC, ketelitian suatu produk dapat dijamin hingga 1/1000 mm lebih, pengerjaan produk masal dengan hasil yang sama persis dan waktu permesinan yang cepat.

Mesin perkakas CNC dilengkapi dengan berbagai alat potong yang dapat membuat benda kerja secara presisi dan dapat melakukan interpolasi yang diarahkan secara numerik (berdasarkan angka). Parameter sistem operasi CNC dapat diubah melalui program perangkat lunak (Software Load Program) yang sesuai. CNC telah banyak dipergunakan dalam industri logam. Dalam kondisi ini, CNC dipergunakan untuk mengontrol sistem mekanis mesin-mesin perkakas dan pemotong logam.

Jadi seberapa tebal dan panjangnya potongan logam yang dihasilkan oleh mesin pemotong logam, dapat diatur oleh mesin CNC. Saat ini tidak hanya industri logam saja yang memanfaatkan teknologi mesin CNC sebagai proses otomatisasinya.



Gambar 2.1 Mesin CNC (Sumber: Syamsi, 2011 )

### 2.1.2 Fungsi CNC

Fungsi CNC dalam hal ini lebih banyak menggantikan pekerjaan operator dalam mesin perkakas konvensional. Seperti pekerjaan setting tool atau mengatur gerakan pahat sampai pada posisi siap memotong, gerakan pemotongan dan gerakan kembali keposisi awal, dan lain-lain. Demikian pula dengan pengaturan kondisi pemotongan (kecepatan potong, kecepatan makan dan kedalaman pemotongan) serta fungsi pengaturan yang lain seperti penggantian pahat, perubahan transmisi daya (jumlah putaran poros utama), dan arah putaran poros utama, pengekleman, pengaturan cairan pendingin dan sebagainya.

### 2.1.3 Metode Pemrograman CNC

Pemrograman adalah suatu urutan perintah yang disusun secara rinci tiap blok per blok untuk memberikan masukan mesin perkakas CNC tentang apa yang harus dikerjakan. Untuk menyusun pemrograman pada mesin CNC diperlukan metode pemrograman sebagai berikut ini ;

#### a. Metode Incremental

Pada sistem ini titik awal penempatan alat potong yang digunakan sebagai acuan adalah menetapkan titik referensi yang berlaku tetap selama proses operasi mesin berlangsung. Pada mesin frais, titik referensinya diletakkan pada pertemuan antara dua sisi pada benda kerja yang akan dikerjakan (Kuspriyanto dan Seputro, Tanpa Tahun).

#### b. Metode Absolut

Pada sistem ini titik awal penempatan yang digunakan sebagai acuan adalah selalu berpindah sesuai dengan titik actual yang dinyatakan terakhir. Untuk mesin bubut maupun mesin frais dilakukan cara yang sama. Setiap kali suatu gerakan pada proses pengerjaan benda kerja berakhir, maka titik akhir dari gerakan alat potong itu dianggap sebagai titik awal gerakan alat potong tahap berikutnya (Kuspriyanto dan Seputro, Tanpa Tahun).

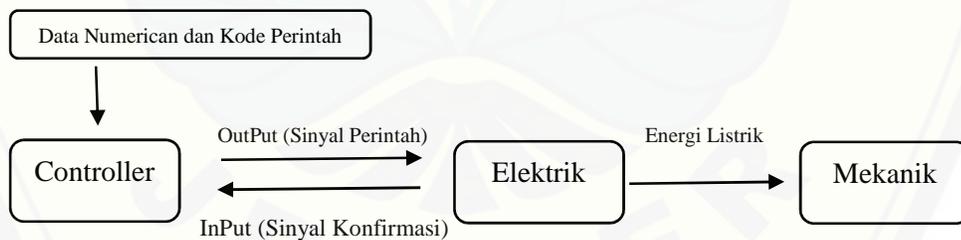
### 2.1.4 Bahasa Pemrograman

Bahasa pemrograman adalah format perintah dalam satu blok dengan menggunakan kode huruf, angka, dan simbol. Di dalam mesin perkakas CNC terdapat perangkat komputer yang disebut dengan *Machine Control Unit* (MCU). MCU ini berfungsi menterjemahkan bahasa kode ke dalam bentuk-bentuk gerakan persumbuan sesuai bentuk benda kerja. Kode-kode bahasa dalam mesin perkakas CNC dikenal dengan kode G dan M, di mana kode-kode tersebut sudah distandarkan oleh ISO atau badan Internasional lainnya. Dalam aplikasi kode huruf, angka, dan simbol pada mesin perkakas CNC bermacam-macam tergantung sistem kontrol dan tipe mesin

yang dipakai, tetapi secara prinsip sama. Sehingga untuk pengoperasian mesin perkakas CNC dengan tipe yang berbeda tidak akan ada perbedaan yang berarti. Misal: mesin perkakas CNC dengan sistem kontrol EMCO, kode-kodenya dimasukkan ke dalam standar DIN. Dengan bahasa kode ini dapat berfungsi sebagai media komunikasi antarmesin dan operator, yakni untuk memberikan operasi data kepada mesin untuk dipahami. Untuk memasukkan data program ke dalam memori mesin dapat dilakukan dengan keyboard atau perangkat lain (disket, kaset, dan melalui kabel RS-232). (Emco, 1990)

#### 2.1.5 Prinsip Kerja Mesin CNC Router Milling

Prinsip kerja dari mesin CNC router milling ini adalah data numerik dan kode perintah dimasukkan ke controller sebagai inputan data, kemudian data tersebut oleh controller akan diubah menjadi sinyal perintah ke komponen elektrik, oleh komponen elektrik sinyal perintah tersebut diterjemahkan berupa memutus, menyambung dan mengatur arus yang akan masuk ke komponen mekanik, sehingga komponen mekanik bisa bergerak sesuai perintah controller. Secara sederhana di gambarkan pada skema dibawah ini.



#### 2.1.6 Bagian Utama Mesin CNC

Secara garis besar bagian utama mesin CNC dibagi menjadi 3, yaitu Bagian Mekanik, Bagian Elektrik dan Controller.

1. Komponen Mekanik : Komponen pada mesin yang bergerak  
Contoh: Slide Sumbu X/Z, Tool Post, Spindle, dll

2. Komponen Elektrik : Komponen mesin yang berfungsi memberikan tenaga ke komponen Mekanik supaya bergerak sesuai perintah Controller.

Contoh: Motor Servo, Spindle Driver, Power Supply, dll

3. Controller : Komponen mesin yang berfungsi mengatur seluruh kegiatan mesin, Controller adalah otak dari mesin CNC. Ada banyak merk controller di dunia.

Contoh : FANUC, EMCO TRONIC ,MAHO, GSK, dll

Secara sederhana komponen mesin CNC kita analogikan seperti tubuh kita. Otak adalah Controller,yang memberikan perintah kepada saraf otot (komponen elektrik), yang kemudian saraf otot menggerakkan kaki kita untuk bergerak (komponen mekanik).

#### 2.1.7 Kode Standar Mesin CNC

Mesin CNC hanya dapat membaca kode standar yang telah disepakati oleh industri yang membuat mesin CNC. Dengan kode standar tersebut, pabrik mesin CNC dapat menggunakan PC sebagai input yang diproduksi sendiri atau yang direkomendasikan (Kuspriyanto dan Seputro, Tanpa Tahun).

## 2.2 Pengertian Kayu

Kayu adalah bagian batang atau cabang serta ranting pada tumbuhan yang mengeras karena mengalami lignifikasi (pengayuan). Kayu digunakan untuk berbagai keperluan, mulai dari media ukir, memasak, membuat perabot (meja, kursi), bahan bangunan (pintu, jendela, rangka atap), bahan kertas, dan banyak lagi. Kayu juga dapat dimanfaatkan sebagai hiasan-hiasan rumah tangga dan sebagainya. Penyebab terbentuknya kayu adalah akibat akumulasi selulosa dan lignin pada dinding sel berbagai jaringan di batang. Ilmu kayu (*wood science*) mempelajari berbagai aspek mengenai klasifikasi kayu serta sifat-sifat kimia, fisika, dan mekanika kayu dalam berbagai kondisi penanganan. Beberapa jenis kayu dipilih karena bersifat kedap air, isolator, dan mudah dibentuk (Dumanauw.J.F, 1990).

Kayu merupakan hasil hutan dari kekayaan alam, merupakan bahan mentah yang mudah diproses untuk dijadikan barang sesuai kemajuan teknologi. Kayu memiliki beberapa sifat sekaligus, yang tidak dapat ditiru oleh bahan-bahan lain. Pengertian kayu disini ialah sesuatu bahan, yang diperoleh dari hasil pemungutan pohon-pohon di hutan, yang merupakan bagian dari pohon tersebut, setelah diperhitungkan bagian-bagian mana yang lebih banyak dimanfaatkan untuk sesuatu tujuan penggunaan. Baik berbentuk kayu pertukangan, kayu industri maupun kayu bakar (Dumanauw.J.F, 1990)



Gambar 2.2 Kayu (Sumber: Tentang Kayu, 2016)

### 2.2.1 Sifat Fisik Kayu

Berat jenis merupakan petunjuk penting bagi aneka sifat kayu. Makin berat kayu itu, umumnya makin kuat pula kayunya. Semakin ringan suatu jenis kayu, akan berkurang pula kekuatannya. Berat jenis ditentukan antara lain oleh tebal dinding sel, dan kecilnya rongga sel yang membentuk pori-pori.

#### a. Kerapatan dan Berat Jenis.

Menurut Brown et al. (1952), berat jenis kayu adalah perbandingan antara kerapatan kayu tersebut terhadap benda standart. Kerapatan adalah perbandingan antara massa atau berat benda terhadap volumenya. Air pada temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  atau  $32,5^{\circ}\text{F}$  mempunyai kerapatan sebesar  $1\text{ g/cm}^3$ . oleh karena itu air pada temperatur

tersebut dijadikan sebagai kerapatan standar. (Brown et al. 1952) menyatakan bahwa berat jenis kayu bervariasi diantara berbagai jenis pohon dan diantara pohon dari satu jenis yang sama.

#### b. Kadar Air

(Brown et al. 1952) menyatakan kadar air kayu adalah banyaknya air yang terdapat dalam kayu yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanurnya. Dengan demikian standar kekeringan kayu adalah pada saat kering tanur. Air dalam kayu terdiri dari air bebas dan air terikat dimana keduanya secara bersama-sama menentukan kadar air kayu. Dalam satu pohon kadar air segar bervariasi tergantung tempat tumbuh dan umur pohon (Haygreen dan Bowyer, 1993).

Kollmann dan Cote (1968) menyatakan bahwa biasanya kayu akan bertambah kuat apabila terjadi penurunan kadar air, terutama bila terjadi dibawah titik jenuh serat. Wangaard (1950) menyatakan bahwa kekuatan kayu sebagai balok (lenturan) dan sebagai kolom (tekan sejajar serat) akan bertambah besar bila kondisi kayu tersebut bertambah kering, kecuali keuletannya.

#### c. Keawetan Alami Kayu

Yang dimaksud dengan keawetan alami, ialah ketahanan kayu terhadap serangan dari unsur-unsur perusak kayu dari luar seperti : jamur, rayap, bubuk, cacing laut dan makhluk lainnya yang diukur dengan jangka waktu tahunan.

#### d. Warna Kayu

Ada beraneka macam warna kayu, antara lain warna kuning, keputih-putihan, coklat muda, coklat tua, kehitam-hitaman, kemerah-merahan dan lain sebagainya. Hal ini disebabkan oleh zat-zat pengisi warna dalam kayu yang berbeda-beda. Warna suatu jenis kayu dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut : umur pohon dan kelembaban udara. Kayu pohon yang lebih tua dapat lebih gelap dari kayu pohon yang lebih muda dari jenis yang sama.

#### e. Higroskopik

Kayu mempunyai sifat higroskopik, yaitu dapat menyerap atau melepaskan air atau kelembaban. Suatu petunjuk, bahwa kelembaban kayu sangat dipengaruhi oleh

kelembaban dan suhu udara pada suatu saat. Makin lembab udara disekitarnya akan makin tinggi pula kelembaban kayu sampai tercapai keseimbangan dengan lingkungannya.

#### f. Tekstur

Tekstur ialah ukuran relatif sel-sel kayu. Yang dimaksud dengan sel kayu ialah serat-serat kayu. Jadi dapat dikatakan tekstur ialah ukuran relatif serat-serat kayu. Berdasarkan teksturnya, jenis kayu digolongkan kedalam :

- Kayu bertekstur halus, contoh : giam, lara, kulim dan lain-lain.
- Kayu bertekstur sedang, contoh : jati, senokeling dan lain-lain.
- Kayu bertekstur kasar, contoh : kempas, meranti dan lain-lain.

#### g. Serat

Bagian ini terutama menyangkut sifat kayu, yang menunjukkan arah umum sel-sel kayu didalam kayu terhadap sumbu batang pohon asal potongan tadi. Arah serat dapat ditentukan oleh arah alur-alur yang terdapat pada permukaan kayu. Kayu dikatakan berserat lurus, jika arah sel-sel kayunya sejajar dengan sumbu batang. Jika arah sel-sel itu menyimpang atau membentuk sudut terhadap sumbu batang, dikatakan kayu itu berserat mencong.

#### h. Kekerasan

Pada umumnya terdapat hubungan langsung antara kekerasan kayu dan berat kayu. Kayu-kayu yang keras juga termasuk kayu-kayu yang berat. Sebaliknya kayu ringan adalah kayu yang lunak. Cara menetapkan kekerasan kayu ialah dengan memotong kayu tersebut dengan arah melintang. Kayu yang sangat keras akan sulit dipotong melintang dengan pisau. Pisau tersebut akan meleset dan hasil potongannya akan memberi tanda kilau pada kayu.

### 2.2.2 Sifat Mekanik Kayu

Sifat-sifat mekanik atau kekuatan kayu ialah kemampuan kayu untuk menahan muatan dari luar. Yang dimaksud dengan muatan dari luar ialah gaya-gaya

di luar benda yang mempunyai kecenderungan untuk mengubah bentuk dan besarnya benda. Dalam hal ini dibedakan menjadi beberapa macam kekuatan sebagai berikut :

a. Modulus Elastisitas

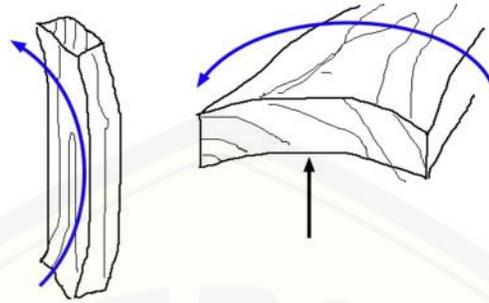
Menurut haygreen dan Bowyer (1993) kekuatan lentur atau Modulus of Elasticity (MOE) adalah suatu nilai yang konstan dan merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan dibawah batas proporsi. Tegangan didefinisikan sebagai distribusi gaya per unit luas, sedangkan renggangan adalah perubahan panjang per unit panjang bahan (Haygreen dan Bowyer, 1993).

b. Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan merupakan ukuran kekerasan kayu untuk menahan kikisan pada permukaannya, sifat kekerasan ini dipengaruhi oleh kerapatan kayu, keuletan kayu, ukuran serat, daya ikat antar serat nilai yang di dapat dari hasil pengujian merupakan uji pembanding, yaitu besar gaya yang dibutuhkan untuk memasukan bola baaja berdiameter 0.444 inchi pada kedalaman 0.22 inchi.

c. Kekuatan lengkung (lentur)

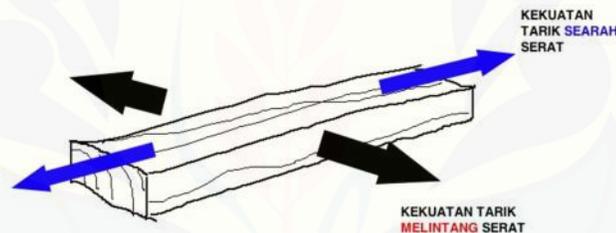
Kayu juga tahan terhadap gaya yang berusaha melengkungkan kayu dengan satu kali tekanan secara terus menerus atau berkali-kali (secara mendadak, seperti pukulan). Ialah kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang berusaha melengkungkan kayu atau untuk menahan beban-beban mati maupun hidup selain beban pukulan yang harus dipukul oleh kayu tersebut.



Gambar 2.3 Kekuatan Lentur Kayu (Sumber: Tentang Kayu, 2016)

d. Kekuatan Tarik (*Tension Strength*)

Kekuatan tarik suatu jenis kayu ialah kekuatan kayu untuk menahan gaya-gaya yang berusaha menarik kayu itu. Kekuatan tarik terbesar pada kayu ialah sejajar arah serat.



Gambar 2.4 Kekuatan Tarik Kayu (Sumber: Tentang Kayu, 2016)

e. Kekuatan Tekan/kompresi (*Compression strength*)

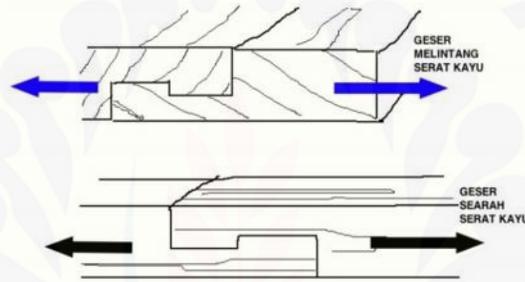
Kekuatan tekan suatu jenis kayu ialah kekuatan kayu untuk menahan muatan jika kayu itu dipergunakan untuk penggunaan tertentu.



Gambar 2.5 Kekuatan Tekan Kayu (Sumber: Tentang Kayu, 2016)

## f. Kekuatan Geser

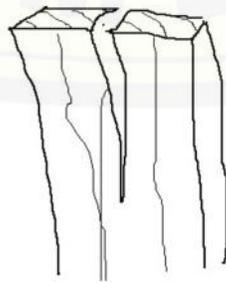
Kekuatan geser adalah kekuatan kayu menahan gerakan dan tekanan yang membuat kayu bergeser (tanpa pukulan) baik itu beban mati ataupun beban hidup. Beban mati artinya tekanan secara terus menerus pada skala tekanan tertentu. Sedangkan beban hidup berarti tekanan yang berulang-ulang dan bisa berubah-ubah kekuatannya. Kekuatan geser kayu paling besar adalah pada posisi melintang serat kayu.



Gambar 2.6 Kekuatan Geser Kayu (Sumber: Tentang Kayu, 2016)

## g. Kekuatan Belah

Daya tahan kekuatan kayu terhadap tekanan belah paling rendah pada posisi searah serat. Walaupun demikian untuk beberapa jenis kayu tertentu sangat baik apabila kekuatan belahnya sangat lemah karena jenis kayu ini akan sangat cocok untuk pembuatan atap sirap atau kayu bakar.



Gambar 2.7 Kekuatan Belah Kayu (Sumber: Tentang Kayu, 2016)

### 2.2.3 Kelas Kekuatan Kayu

Di dalam Vademecum Kehutanan Indonesia, kelas kekuatan kayu didasarkan pada berat jenis, kekuatan lengkung mutlak (klm) dan kekuatan tekan mutlak (ktm), dan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Kelas Kekuatan Kayu

Kelas Kayu	Berat Jenis	Tegangan-Tarik (kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Lentur (kg/cm <sup>2</sup> )
I	0.90	> 650	> 1100
II	0.60 – 0.90	425 - 650	725 – 1100
III	0.40 – 0.60	300 – 425	500 – 725
IV	0.30 – 0.40	215 – 300	360- 500
V	0.30	< 215	< 365

(Sumber: PKKI,1979)

Kekuatan kayu terhadap gaya tekanan (sejajar serat) disebut daya tegang kayu. Tegangan adalah gaya yang tersebar persatuan luas dan dinyatakan dalam psi (pon per inci persegi) atau dalam Pascal (newton per meter kwadrat). Apabila suatu gaya dikenakan pada suatu suku (benda), maka akan terjadi tegangan-tegangan internal. Tegangan ini memiliki atau mengubah bentuk ukuran benda tersebut. Perubahan panjang per satuan panjang dalam arah tekanan disebut regangan.

## 2.3 CNC Router Milling

Mesin CNC router milling memiliki prinsip kerja yang sama seperti dengan mesin CNC sebenarnya. Hanya saja CNC router milling ini berbentuk prototype karena dibangun dengngan peralatan yang sederhana dan menggunakan komponen yang kecil, karena berbahan baku yang akan diolah adalah kayu.

Mesin CNC router milling yang akan dibangun menggunakan 3 axis dalam pengoperasiannya dan bersifat *portable* yang bertujuan untuk mempermudah dalam penempatan. Mesin ini memiliki kapasitas yang terbatas dalam ukuran bahan baku yang akan digunakan. Alat ini memiliki motor utama yang digunakan untuk memutar pahat yaitu menggunakan mesin router atau profil kayu, sedangkan untuk menggerakkan 3 axis alat ini menggunakan 3 unit motor stepper pada tiga sisi berbeda.

Motor stepper dihubungkan pada controller perangkat elektronik agar dapat menjalankan perintah dari software dan dihubungkan pada poros ulir. Pada bagian dudukan poros ulir menggunakan bearing sebagai bantalannya yang diletakkan pada kerangka.



Gambar 2.8 Contoh Mesin CNC Router Milling (Sumber: Mesin CNC, 2014 )

## 2.4 Motor Stepper

Motor stepper adalah salah satu jenis motor yang digunakan dalam sistem gerak dengan kendali posisi yang presisi. Motor stepper merupakan perangkat pengendali yang mengkonversikan bit-bit masukan menjadi posisi rotor. Bit-bit tersebut berasal dari terminal-terminal input yang ada pada motor stepper yang menjadi kutub-kutub magnet dalam motor. Bila salah satu terminal diberi sumber

tegangan, terminal tersebut akan mengaktifkan kutub di dalam magnet sebagai kutub utara dan kutub yang tidak diberi tegangan sebagai kutub selatan. Dengan terdapatnya dua kutub di dalam motor ini, rotor di dalam motor yang memiliki kutub magnet permanen akan mengarah sesuai dengan kutub-kutub input. Kutub utara rotor akan mengarah ke kutub selatan stator sedangkan kutub selatan rotor akan mengarah ke kutub utara stator. Prinsip kerja motor stepper mirip dengan motor DC, sama-sama dicatu dengan tegangan DC untuk memperoleh medan magnet. Bila motor DC memiliki magnet tetap pada stator, motor stepper mempunyai magnet tetap pada rotor. Adapun spesifikasi dari motor stepper adalah banyaknya fasa, besarnya nilai derajat per step, besarnya volt tegangan catu untuk setiap lilitan, dan besarnya arus yang dibutuhkan untuk setiap lilitan. Motor stepper tidak dapat bergerak sendiri secara kontinyu, tetapi bergerak secara diskrit per-step sesuai dengan spesifikasinya. Untuk bergerak dari satu step ke step berikutnya diperlukan waktu dan menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Salah satu karakteristik motor stepper yang penting yaitu adanya torsi penahan, yang memungkinkan motor stepper menahan posisinya yang berguna untuk aplikasi motor stepper dalam yang memerlukan keadaan start dan stop. Jika dibandingkan motor DC lain, motor stepper memiliki beberapa keunggulan sehingga lebih sesuai untuk aplikasi tertentu (Syahrul, 2011).



Gambar 2.9 Motor Stepper (Sumber: Holden 2013)

## 2.5 Perencanaan Daya

Daya yang diperlukan untuk memakan benda kerja kayu, dimana besarnya tergantung kapasitas mesin. Dalam proses pengukiran ini menggunakan mesin router kayu. Daya yang direncanakan dihitung menurut persamaan-persamaan berikut :

- a. Gaya pada pahat (T. Armstrong , 2002)

$$= \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

= Kekuatan kayu (N/m<sup>2</sup>)

F = Gaya (N)

A = Luas alas/penampang (m<sup>2</sup>)

- b. Torsi yang diperlukan (Sularso,2002) :

$$T = F \cdot r \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

T = Torsi (kg.mm)

F = Gaya yang terjadi (kg)

r = Jari-jari dudukan pisau (mm)

- c. Daya yang diperlukan untuk pemakanan kayu (Sularso,2002) :

$$P = \frac{T}{1000} \left( 2\pi \frac{n}{60} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

P = Daya input (kW)

T = Torsi (kg.mm)

n<sub>2</sub> = Putaran Poros (rpm)

- d. Untuk menjaga keamanan daya dikalikan faktor koreksi (f<sub>c</sub>) sehingga di dapat daya rencana (Sularso,2002) :

$$P_d = f_c \cdot P \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$P_d$  = Daya Rencana (kW)

$P$  = Daya (kW)

$f_c$  = Faktor koreksi daya yang ditransmisikan

1,2 – 2,0 : Untuk daya rata-rata yang diperlukan

0,8 – 1,2 : Daya maksimum yang diperlukan

1,0 – 1,5 : Daya yang di transmisikan

### 2.6 Perencanaan Poros Ulir

Dalam perencanaan ini dipakai poros berulir dengan beban yang diterima ialah beban lentur saat bekerja dan berat dari komponen pada bagian eretan.

$$F = W + F \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

$F$  = Gaya total (kg/mm<sup>2</sup>)

$F$  = Gaya pada motor profil saat bekerja (kg/mm<sup>2</sup>)

$W$  = Berat total (kg)

$$M = F \cdot l \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

$M$  = Momen (kg.mm)

$F$  = Gaya total (kg/mm<sup>2</sup>)

$l$  = Panjang lengan (mm)

a. Tegangan geser (Sularso, 2002)

$$a = \frac{\sigma_B}{S_{f1} \cdot S_{f2}} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

$a$  = Tegangan geser yang diizinkan (kg/mm<sup>2</sup>)

$B$  = Kekuatan tarik ( $\text{kg/mm}^2$ )

$S_{f1}$  = Faktor keamanan (6 untuk bahan S-C)

$S_{f2}$  = Faktor konsentrasi tegangan (1,3-3,0)

b. Torsi pada poros (Sularso, 2002)

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \frac{P_d}{n_2} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

$T$  = Momen torsi pada poros ( $\text{kg.mm}$ )

$P_d$  = Daya rencana ( $\text{kW}$ )

$n_2$  = Putaran poros ( $\text{rpm}$ )

c. Diameter poros (Sularso, 2002)

$$d_s = \left[ \frac{5,1}{\sigma_a} \sqrt{(K_m M)^2 + (K_t T)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

$d_s$  = Diameter poros ( $\text{mm}$ )

$K_m$  = Faktor koreksi lenturan

$M$  = Momen gabungan ( $\text{kg.mm}$ )

$K_t$  =Faktor koreksi puntiran (1-1,5)

$T$  = Torsi ( $\text{kg.mm}$ )

**2.7 Perencanaan Mur**

Langkah-langkah untuk merencanakan mur standar (Sularso, 2002)

- a. Menentukan besarnya beban maksimum yang diterima oleh masing-masing baut dan mur. Dengan faktor koreksi ( $f_c$ ) = 1,2 – 2,0 untuk perhitungan terhadap deformasi (Sularso, 2000).

$$W_{max} = W_0 \cdot f_c \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

$W_{max}$  = beban maksimal

$W_0$  = Beban (N)

$f_c$  = Faktor koreksi

b. Menentukan jenis bahan mur

Tegangan trik yang diizinkan

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b}{S_f} \dots \dots \dots (2.19)$$

Tegangan geser yang diizinkan

$$\tau_a = 0,5 \cdot \sigma_a \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan :

$\sigma_a$  = Tegangan tarik yang diizinkan

$S_f$  = Faktor koreksi

$\sigma_b$  = Kekuatan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_a$  = Tegangan geser yang diizinkan (N/mm<sup>2</sup>)

c. Menentukan jumlah dan tinggi ulir yang diperlukan

$$Z = \frac{W}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot q_a} \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan :

$Z$  = Jumlah ulir yang diperlukan

$d_2$  = Diameter efektif ulir dalam (mm)

$H_1$  = Tinggi kaitan (mm)

$q_a$  = Tekanan permukaan yang diizinkan (N/mm<sup>2</sup>)

d. Jumlah ulir yang diperlukan untuk panjang H dalam mm adalah

$$H \quad (0,8 \quad - \quad 1,0).$$

d.....(2.22)

e. Jumlah ulir yang dipakai adalah

$$Z^1 = \frac{H}{P} \dots\dots\dots(2.23)$$

f. Tegangan geser akan ulir mur

$$\tau_b = \frac{W}{\pi.d_1.k.p.z^1} \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

- $\tau_b$  = Tegangan geser akan ulir mur (N/mm<sup>2</sup>)
- $k$  = Konstanta ulir metris  $\approx 0,84$

g. Tegangan geser akan ulir dalam adalah

$$\tau_n = \frac{W}{\pi.D.j.p.z^1} \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

- $\tau_n$  = Tegangan geser akan ulir dalam (N/mm<sup>2</sup>)
- $D$  = Diameter ulir dalam
- $j$  = Konstanta jenis ulir metris  $\approx 0,75$

h. Persyaratan kelayakan dari baut dan mur yang direncanakan

$$\tau_n \leq q_a \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana perancangan baut dan mur dapat diterima apabila harga  $\tau_n$  ( $\leq$ ) lebih kecil dari  $q_a$ .

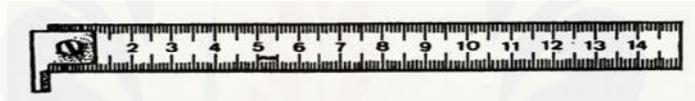
## 2.8 Proses Manufaktur

Dalam perencanaan, langkah yang di butuhkan adalah proses manufaktur yaitu proses perakitan dan permesinan. Proses perakitan adalah merupakan proses kerja yang akan dikerjakan dengan menggunakan alat yaitu meliputi:

### 2.8.1 Pengukuran

Pengukuran merupakan membandingkan besaran yang akan diukur dengan suatu ukuran pembanding yang telah tertera. Macam–macam alat ukur panjang yang sederhana yaitu:

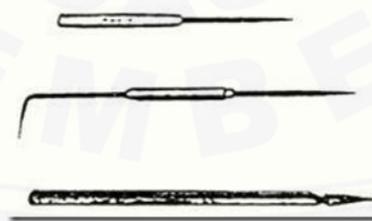
- a. Mistar baja
- b. Jangka
- c. Mistar sabuk



Gambar 2.10 Mistar baja (Sumber: Pekerjaan Dasar Teknik Otomotif 1, 2013)

### 2.8.2 Penggores

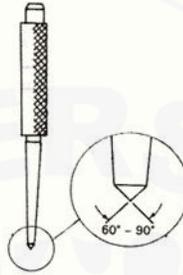
Penggores adalah proses untuk memberikan garis/gambar pada benda kerja sebelum benda itu dikerjakan lebih lanjut. Supaya garis penggoresan dapat dilihat dengan jelas maka benda kerja yang kasar dibubuhi pengolesan cairan kapur.



Gambar 2.11 Penggores (Sumber: Pekerjaan Dasar Teknik Otomotif 1, 2013)

### 2.8.3 Penitik

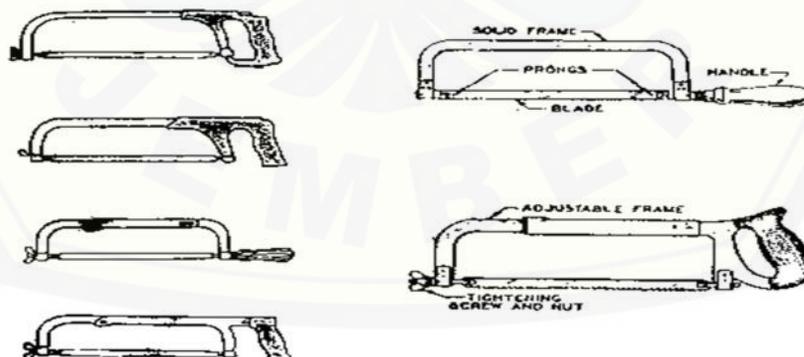
Penitik adalah alat yang digunakan untuk menandai titik dimana akan dilakukan pemboran. Alat ini terdiri dari kepala dan bondan. Ujung/kepala harus dijaga kelancipannya dengan sudut tertentu, biasanya sudut puncaknya dibuat  $60^\circ$ .



Gambar 2.12 Penitik (Sumber: Pekerjaan Dasar Teknik Otomotif 1, 2013)

#### 2.8.4 Gergaji tangan

Gergaji adalah alat yang digunakan untuk penceraian, pemotongan benda kerja dan untuk pengergajian alur dan celah–celah didalam benda kerja. Pada penuntutan gergaji dengan tepat dapat dihasilkan pemotongan yang datar, licin, serta potongan yang berukuran tepat dengan kerugian bahan yang sedikit.



Gambar 2.13 Gergaji tangan (Sumber: Pekerjaan Dasar Teknik Otomotif 1, 2013)

#### 2.8.5 Gerinda

Pengerindaan yaitu proses menggerinda suatu benda dengan tujuan untuk mendapatkan hasil benda kerja yang permukaannya rata atau bisa juga digunakan dengan tujuan untuk memotong suatu benda kerja.



Gambar 2.14 Gerinda (Sumber: Bosch, 2016)

### 2.8.6 Toolset

Toolset merupakan sejumlah peralatan perkakas di lapangan untuk membantu proses pengerjaan pembuatan suatu produk benda kerja. Toolset biasanya berisi tang, obeng – dan + serta yang lainnya.



Gambar 2.15 Tool Set (Sumber: Krisbow, 2016)

## 2.9 Proses Pemesinan

### 2.9.1 Pengelasan

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa

tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu.

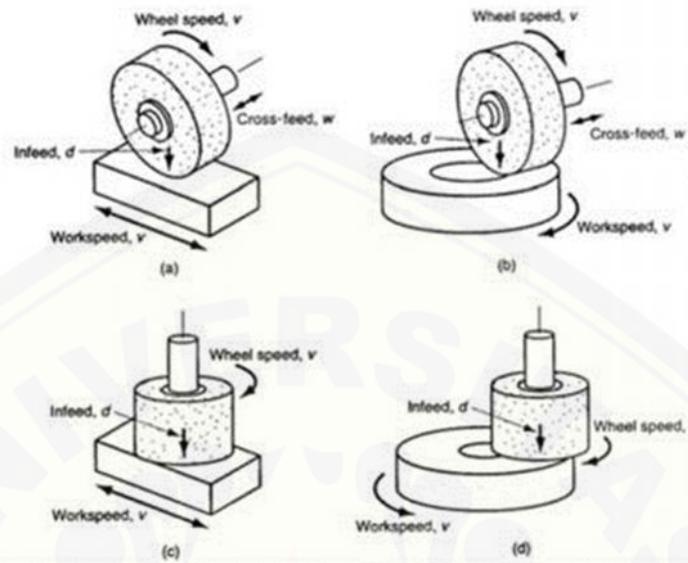
Proses pengelasan berkaitan dengan lempengan baja yang dibuat dari kristal besi dan karbon sesuai struktur mikronya, dengan bentuk dan arah tertentu. Lalu sebagian dari lempengan logam tersebut dipanaskan hingga meleleh. Proses pengelasan tidak sama dengan menyolder di mana untuk antara solder keras dan lunak adalah pada suhu kerjanya di mana batas kedua proses tersebut ialah pada suhu 450 derajat Celcius. Pada pengelasan, suhu yang digunakan jauh lebih tinggi, antara 1500 hingga 1600 derajat Celcius.

### 2.9.2 Pengeboran

Pengeboran adalah proses pemotongan yang menggunakan mata bor untuk memotong atau memperbesar lubang lingkaran penampang bahan padat. Bor adalah alat pemotong *rotary*, sering multipoint. Bit ditekan terhadap benda kerja dan diputar pada tingkat dari ratusan hingga ribuan putaran per menit. Hal ini akan memaksa ujung tombak terhadap benda kerja, memotong chip (*swarf*) dari lubang seperti yang dibor. Juga suatu proses pengerjaan pemotongan menggunakan mata bor (*twist drill*) untuk menghasilkan lubang yang bulat pada material logam maupun non logam yang masih pejal atau material yang sudah berlubang.

### 2.9.3 Penggerindaan

Pengerindaan adalah suatu proses untuk mengasah benda kerja untuk membuat permukaan benda kerja menjadi lebih rata, merapikan hasil pemotongan, merapikan hasil las, membentuk lengkungan pada benda kerja yang bersudut dengan menggunakan mesin gerinda. Secara umum mesin gerinda terdiri dari motor listrik, mata gerinda, poros dan perlengkapan pendukung lainnya.



Gambar 2.16 Penggerindaan benda kerja (Sumber: Paryanto, 2002)

### BAB 3. METODOLOGI PERANCANGAN

#### 3.1 Alat dan Bahan

##### 3.1.1 Alat

- |                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| 1. Gergaji Besi           | 10. Kaca Mata        |
| 2. Mistar Baja            | 11. Sarung Tangan    |
| 3. Mesin Gerinda          | 13. Mesin Bor Tangan |
| 4. Mesin Las Listrik SMAW | 14. Tang             |
| 5. Ragum                  | 15. Topeng Las       |
| 6. Penitik                | 16. Kuas             |
| 7. Obeng + dan Obeng –    | 17. Mesin Bor Duduk  |
| 8. Meteran                | 18. Kertas Gosok     |
| 9. Penggores              |                      |

##### 3.1.2 Bahan

- |                                     |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|
| 1. Mesin Profil Kayu / Mesin Router | 9. Elektroda             |
| 2. Motor Stepper                    | 10. Pipa Stainless Steel |
| 3. Controller                       | 11. Mata Pahat Profil    |
| 4. Mur                              | 12. Cat Besi             |
| 5. Partikel Board                   | 13. Mur Skrup            |
| 6. Poros Ulir                       |                          |
| 7. Akrilik                          |                          |
| 8. Besi siku 35 X 35 X 3 mm         |                          |

### **3.2 Waktu dan Tempat**

#### **3.2.1 Waktu**

Analisa, perancangan, pembuatan dan pengujian alat dilaksanakan selama  $\pm 3$  bulan berdasarkan pada jadwal yang ditentukan.

#### **3.2.2 Tempat**

Tempat pelaksanaan perancangan dan pembuatan mesin CNC Router Milling adalah laboratorium kerja logam, laboratorium permesinan dan laboratorium las jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

### **3.3 Prosedur Penelitian**

#### **3.3.1 Studi Literatur**

Mempelajari literatur yang membantu dan mendukung perancangan mesin (bagian dinamis), mempelajari dasar perancangan poros ulir trapesium dan mur, coupling karet serta literatur lain yang mendukung.

#### **3.3.2 Studi Lapangan**

Perancangan dan pembuatan mesin CNC router milling dikerjakan dengan melakukan pengamatan secara langsung pada mesin CNC milling lainnya untuk melihat mekanisme dan prinsip kerjanya sebagai dasar dalam perancangan dan pembuatan mesin CNC router milling.

#### **3.3.3 Konsultasi**

Konsultasi dengan dosen pembimbing maupun dosen lainnya untuk mendapatkan petunjuk-petunjuk tentang perancangan dan pembuatan CNC router milling.

### 3.4 Metode Pelaksanaan

#### 3.4.1 Pencarian Data

Dalam merencanakan sebuah perancangan mesin CNC Router Milling, maka terlebih dahulu di lakukan pengamatan di lapangan dan studi literatur.

#### 3.4.2 Pustaka

Sebagai penunjang dan referensi dalam pembuatan perancangan mesin CNC router milling antara lain adalah:

- a. Perancangan Daya;
- b. Perancangan Poros Ulir;
- c. Perencanaan Mur;

#### 3.4.3 Perencanaan dan Perancangan

Setelah melakukan pencarian data dan pembuatan konsep yang didapat dari literatur studi kepustakaan serta dari hasil survey, maka dapat direncanakan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam perancangan dan pembuatan mesin CNC Router Milling.

Dari studi lapangan dan studi pustaka tersebut dapat dirancang pemesinan. Dalam proyek ini proses yang akan dirancang adalah :

- a. Perancangan elemen mesin pada mesin CNC router milling;
- b. Persiapan alat bahan yang dibutuhkan;
- c. Proses perakitan dan finishing.

#### 3.4.4 Proses Pembuatan

Proses ini merupakan proses pembuatan alat yang meliputi proses untuk membentuk alat sesuai dengan desain yang dihasilkan. Adapun proses yang dilakukan dalam pembuatan mesin CNC router milling, yaitu:

- a. Pembuatan Poros ulir

#### 3.4.5 Proses Perakitan

Proses perakitan dilakukan setelah proses pembuatan (permesinan) selesai, sehingga akan membentuk “Mesin CNC Router Milling”. Proses perakitan bagian-bagian Mesin CNC Router Milling meliputi :

1. Penggabungan kerangka, meja dan eretan;
2. Pemasangan poros ulir pada motor stepper;
3. Pemasangan motor stepper pada kerangka;
4. Pemasangan controller pada kerangka;
5. Penyambungan controller pada motor stepper;
6. Pemasangan mesin profil kayu / router.

#### 3.4.6 Percobaan Alat

Prosedur percobaan dilakukan untuk mengetahui apakah Mesin CNC Router Milling mampu bekerja dengan baik. Hal-hal yang dilakukan dalam percobaan alat sebagai berikut :

1. Melihat apakah elemen mesin bekerja dengan baik dan benar;
2. Melihat apakah baut pengikat elemen mesin tidak lepas, tidak mengendor dan tidak putus;
3. Mengukur waktu proses pekerjaan;
4. Melihat hasil pemakanan.

#### 3.4.7 Penyempurnaan Alat

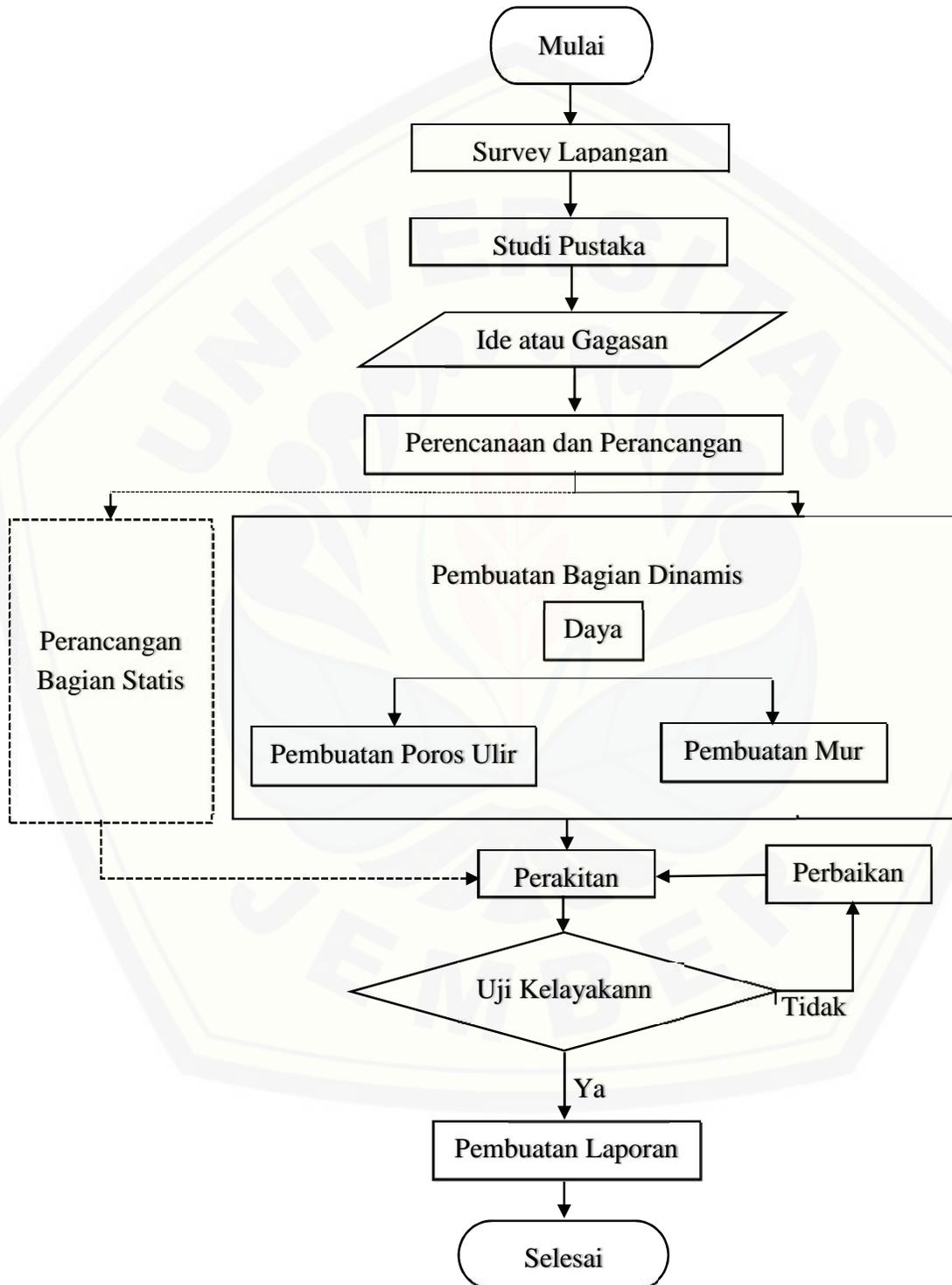
Penyempurnaan alat ini dilakukan apabila tahap pengujian alat terdapat masalah atau kekurangan, sehingga dapat berfungsi dengan baik sesuai prosedur, tujuan dan perancangan yang dilakukan.

#### 3.4.8 Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan proyek akhir ini dilakukan secara bertahap dari awal analisa, desain, perencanaan, dan pembuatan alat mesin CNC router milling sampai selesai.



## 3.5 Flow Chart



Gambar 3.1 Flow Chart



## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian mesin daur ulang gipsum, maka dapat disimpulkan :

1. Mesin CNC Router milling dapat bekerja dengan baik dan mampu memakan bahan baku kayu.
2. Daya yang diperlukan untuk memakan benda kerja kayu sebesar 0,0049 kW sedangkan bahan dari poros ulir dan mur yang direncanakan yaitu baja stainless steel dengan kadar karbon 0,5% C = SNC 3,  $\sigma_b = 95 \text{ kg/mm}^2$  dan panjang poros sumbu Z = 600 mm, sumbu X = 490 mm, sumbu Y = 150 mm. Pada setiap eretan menggunakan 2 buah mur untuk meminimalisir celah yang besar.
3. Dimensi maksimum benda kerja mesin CNC router milling adalah 358 mm x 320 mm x 70mm

### 5.2 Saran

Dalam pelaksanaan perancangan dan pembuatan mesin CNC router milling ini masih terdapat hal-hal yang perlu disempurnakan, antara lain:

1. Sebelum mesin CNC router milling ini digunakan sebaiknya dilakukan pelumasan pada bagian poros ulir dan poros statis agar saat pergeseran eretan tetap ringan dan lancar.
2. Pada saat proses pekerjaan sebaiknya operator menggunakan masker udara karena debu yang dihasilkan dalam proses pemakanan sangat banyak dan berhamburan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bodig, J. and Jayne, B.A. (1982) 'Mechanics of Wood and Wood Composites' Van Nostrand Reinhold Company, New York, U.S.A.
- Brown HP, Panshin AJ, dan Forsaith CC. 1952. Text Book of Wood Technology.,
- Dumanauw, J. F.. 1990. Mengenal Kayu.Yogyakarta: Kanisius
- Emco, 1990. Petunjuk Pemrograman – Pelayanan Emco TU – 2A.Emco Maier Ges.m.b.H, Austria.
- G. Niemann. 1999. Elemen Mesin jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Gadjahmada University Press. Yogyakarta.
- Haygreen, J. G., and Bowyer, J. L., 1982, Forest Products
- Haygreen, J.G. dan Bowyer, J.L. diterjemahkan oleh Hadikusumo, S.A.
- Kollman, F. dan Cote, J. R. (1968). Principles of Woods Science and Technology I. Solid Wood.New York.
- Kuspriyanto dan Seputro, Hari. Mesin CNC. Fakultas Teknologi Industri, Intitut Teknologi Bandung.
- Prawirohatmodjo, S. 1993. Hasil Hutan dan Ilmu Kayu Suatu Pengantar.
- Sularso dan Kiyokatsu Suga (1997) Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta : PT. Pradnya Paramitha.
- Syahrul, 2011, Motor Stepper: Teknologi, Metoda Dan Rangkaian Kontrol, Majalah Ilmiah UNIKOM, No.2, Vol. 6, Halaman 187- 202,<http://jurnal.unikom.ac.id/>.

Wangaard, Frederick. (1950). The Mechanical Properties of Wood. New York: John Wiley & Sons

Wood Science, The Iowa University Press, 259



## A. LAMPIRAN PERHITUNGAN

### A.1 Perencanaan Daya pada Motor Profil

Spesifikasi dari motor profil :

$$P = 440 \text{ (Watt)} = 0,44 \text{ (kW)}$$

$$\text{Jarak bagi } (p) = 1,5 \text{ mm}$$

$$N_1 = 30000 \text{ (rpm)} = 500 \text{ putaran/detik}$$

$$N_2 \text{ (putaran ulir)} = 5 \text{ putaran/detik}$$

$$f_c = 1,2$$

Diameter mata profil yang digunakan ( $d_s$ ) = 6 (mm)

- 1) Gaya minimum pahat sama dengan gaya maksimal kayu

❖ Diketahui :

$$F \text{ potong kayu} = 10,8 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$\text{Pemakanan pahat} = N_2 \times p$$

$$= 5 \times 1,5$$

$$= 7,5 \text{ mm.detik}$$

$$r = \text{Pemakanan pahat} / N_1$$

$$= 7,5 / 500$$

$$= 0,015 \text{ mm}$$

- 2) Torsi yang diperlukan untuk pemakanan kayu

$$T = F_{\text{kayu}} \cdot r$$

$$= 10,8 \times 0,015$$

$$= 0,16 \text{ (kg.mm)}$$

- 3) Daya yang diperlukan untuk memakan kayu

$$P = \frac{T}{1000} \left( 2\pi \frac{n}{60} \right)$$

$$= \frac{0,16}{1000} \left( 2 \times 3,14 \frac{30000}{60} \right)$$

$$= \frac{0,00016 \times 3140}{102}$$

$$= \frac{0,50}{102}$$

$$= 0,0049 \text{ kW}$$

- 4) Untuk menjaga keamanan motor profil terhadap tubukan

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \times P \\ &= 1,2 \times 0,0049 \\ &= 0,0058 \text{ kW} \end{aligned}$$

## A.2 Perencanaan Poros Ulir

Spesifikasi pada motor stepper yang digunakan untuk memutar poros ulir sebagai berikut:

- 8,4 V
- 0,28 A/Ø
- 30 Ω
- 400  $S/R$
- n max 300 rpm = 5 putaran/detik

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \\ &= 8,4 \times 0,28 \\ &= 2,35 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \cdot P \\ &= 1,0 \times 2,35 \\ &= 2,35 \text{ watt} \end{aligned}$$

### A.2.1 Poros ulir sumbu Z

- Mencari gaya total dengan menentukan jumlah beban total yang ditopang oleh eretan pada sumbu Z dan gaya saat mesin bekerja pada eretan sumbu Z dengan diketahui jumlah beban keseluruhan 5,05 (kg) dan gaya saat motor profil bekerja adalah 2,58 (kg/mm). Bahan poros yang digunakan baja stainless steel SNC 3,  $\sigma_b = 95 \text{ kg/mm}^2$ , dengan faktor keamanan ( $S_f$ ),  $S_{f_1} = 2$ ,  $S_{f_2} = 6$

$$\begin{aligned}
 &= F / A & A &= \pi \cdot r^2 \\
 &= 10,8 / 28,26 & &= 3,14 \times 3 \\
 &= 0,38 & &= 28,26 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= W + F \\
 &= 5,05 + 0,38 \\
 &= 5,43 \text{ (kg/mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M &= F \cdot l \\
 &= 5,43 \times 600 \\
 &= 3258 \text{ (kg.mm)}
 \end{aligned}$$

a) Tegangan geser yang diizinkan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\sigma_b}{Sf_1 \cdot Sf_2} \\
 &= \frac{95}{6 \times 2} \\
 &= \frac{95}{12} \\
 &= 7,91 \text{ (kg/mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

b) Momen puntir pada poros ulir

$$\begin{aligned}
 T &= 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n} \\
 &= 974000 \frac{2,35}{300} \\
 &= 974000 \times 0,007 \\
 &= 7597,2 \text{ (kg.mm)}
 \end{aligned}$$

c) Diameter poros

$$ds \left[ \left( \frac{5,1}{\tau_a} \right) \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2} \right]^{1/3}$$

$$\begin{aligned} & \left[ \left( \frac{5,1}{7,91} \right) \sqrt{(1,5 \times 3258)^2 + (1,5 \times 7597,2)^2} \right]^{1/3} \\ & \left[ (0,64) \sqrt{(4545,63)^2 + (11395,8)^2} \right]^{1/3} \\ & \left[ (0,64) \sqrt{20662805,28 + 1219864257,6} \right]^{1/3} \\ & (0,64) \sqrt{1240527062}^{1/3} \\ & [0,64 \times 35221,11]^{1/3} \\ & [22541,51]^{1/3} \\ & \leq 28,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil dari diameter poros tersebut dibagi 3 karena ditopang oleh 3 poros ;

$$\begin{aligned} d_s &= \frac{28,24}{3} \\ &= 9,41 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### A.2.2 Poros ulir sumbu X

- Mencari gaya total dengan menentukan jumlah beban total yang ditopang oleh eretan sumbu X dan gaya saat mesin bekerja pada eretan sumbu X dengan diketahui jumlah beban keseluru 2,2 (kg) dan gaya saat motor profil bekerja adalah 2,58 (kg/mm). Bahan poros yang digunakan baja stainless steel SNC 3,  $\sigma_b = 95 \text{ kg/mm}^2$ , dengan faktor keamanan ( $S_f$ ),  $S_{f1} = 2$ ,  $S_{f1} = 6$

$$\begin{aligned} F &= W + F \\ &= 2,2 + 0,38 \\ &= 2,58 \text{ (kg/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= F \cdot l \\ &= 2,58 \times 446 \\ &= 1150,68 \text{ (kg.mm)} \end{aligned}$$

a) Tegangan geser yang diizinkan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\sigma_b}{Sf_1 \cdot Sf_2} \\
 &= \frac{95}{6 \times 2} \\
 &= \frac{95}{12} \\
 &= 7,91 \text{ (kg/mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

b) Momen puntir pada poros ulir

$$\begin{aligned}
 T &= 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n} \\
 &= 974000 \frac{2,35}{300} \\
 &= 974000 \times 0,007 \\
 &= 7597,2 \text{ (kg.mm)}
 \end{aligned}$$

c) Diameter poros

$$\begin{aligned}
 ds &= \left[ \left( \frac{5,1}{\tau_d} \right) \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2} \right]^{1/3} \\
 &= \left[ \left( \frac{5,1}{7,91} \right) \sqrt{(1,5 \times 1150,68)^2 + (1,5 \times 7597,2)^2} \right]^{1/3} \\
 &= \left[ (0,64) \sqrt{(1471,8)^2 + (11395,8)^2} \right]^{1/3} \\
 &= \left[ (0,64) \sqrt{2166195,24 + 1219864257,6} \right]^{1/3} \\
 &= (0,64) \sqrt{1222030452}^{1/3} \\
 &= [0,64 \times 34957,55]^{1/3} \\
 &= [22372,83]^{1/3} \\
 &= 28,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil dari diameter poros tersebut dibagi 3 karena ditopang oleh 3 poros ;

$$\begin{aligned}d_s &= \frac{28,21}{3} \\ &= 9,39 \text{ mm}\end{aligned}$$

### A.3 Perencanaan Mur dan Poros ulir

#### A.3.1 Perencanaan mur dan poros ulir sumbu Y

- Menentukan besarnya beban maksimal yang dapat diterima oleh poros ulir dan mur dengan faktor koreksi ( $f_c$ ) = 1,2 – 2,00, maka faktor koreksi yang diambil adalah  $f_c = 1,2$

Gaya pada motor profil saat bekerja

$$\begin{aligned}F &= W + \\ &= 2,5 + 0,38 \\ &= 2,88 \text{ (kg/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_0 &= \text{berat komponen eretan atas bawah} + \text{ gaya saat motor profil bekerja} \\ &= 2,4 + 2,88 \\ &= 5,28\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{max} &= W_0 \cdot f_c \\ &= 5,28 \times 1,2 \\ &= 6,33 \text{ kg}\end{aligned}$$

Beban yang diterima oleh poros ulir:

$$\begin{aligned}W &= \frac{6,33}{2} \\ &= 3,16 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Menentukan bahan poros ulir dan mur

Bahan dari poros ulir dan mur yang direncanakan yaitu baja stainless steel dengan kadar karbon 0,5% C = SNC 3,  $\sigma_b = 95 \text{ kg/mm}^2$ . Sehingga diketahui faktor keamanan ( $S_f$ ) 8 – 10 = 10. Tekanan permukaan yang diizinkan ( $q_a$ ) = 3  $\text{kg/mm}^2$ .

- Kekuatan tarik yang diizinkan ( $\sigma_a$ )

$$\begin{aligned}\sigma_a &= \frac{\sigma_b}{S_f} \\ &= \frac{95 \text{ kg/mm}^2}{10} \\ &= 9,5 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

- Kekuatan geser yang diizinkan ( $\tau_a$ )

$$\begin{aligned}\tau_a &= 0,5 \cdot \sigma_a \\ &= 0,5 \times 9,5 \\ &= 4,75 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

Dengan mengetahui besar beban maksimum dan besar tegangan geser yang diizinkan pada masing poros ulir, maka diameter  $D$  dapat dihitung:

$$\begin{aligned}D &\geq \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot \sigma_a \cdot 0,64}} \\ &\geq \sqrt{\frac{4 \cdot 3,16}{3,14 \cdot 4,75 \cdot 0,64}} \\ &\geq \sqrt{\frac{12,67}{9,54}} \\ &\geq \sqrt{1,27} \\ &\geq 1,12\end{aligned}$$

Disini diambil  $D = 8 \text{ mm}$

Sehingga ulir poros ulir dan mur yang dipilih ulir metris dengan ukuran standart M8 dan didapat standart dimensi sebagai berikut:

Dimensi luar ulir dalam ( $D$ )	= 8	mm
Jarak bagi ( $p$ )	= 1,25	mm
Diameter inti ( $d_1$ )	= 6,647	mm
Tinggi kaitan ( $H_1$ )	= 0,677	mm
Diameter efektif ulir dalam ( $d_2$ )	= 7,188	mm

Dari hasil data diatas dapat ditetapkan untuk perhitungan ulir dalam dimana untuk ulir metris harga  $k \approx 0,84$  dan  $j \approx 0,75$ .

Jumlah ulir ( $Z$ ) yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} Z &\geq \frac{W}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot q_a} \\ &\geq \frac{3,03}{3,14 \cdot 7,188 \cdot 0,677 \cdot 3} \\ &\geq \frac{3,03}{45,84} \\ &\geq 0,06 \rightarrow 3 \end{aligned}$$

➤ Tinggi mur ( $H$ ) yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} H &\geq z \times p \\ &\geq 3 \times 1,25 \\ &\geq 3,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

menurut standar :

$$\begin{aligned} H &\geq (0,8 - 1,0) \cdot D \\ &\geq (1,0) 10 \\ &\geq 10 \text{ mm} \rightarrow 10 \end{aligned}$$

- Tinggi mur yang akan diambil adalah 8 mm, sehingga jumlah ulir mur ( $Z'$ ) adalah:

$$\begin{aligned} Z' &= \frac{H}{p} \\ &= \frac{10}{1,25} \\ Z' &= 8 \end{aligned}$$

- Kekuatan geser akar ulir poros ulir  $\tau_b$  adalah:

$$\begin{aligned} \tau_b &= \frac{W}{\pi \cdot d_1 \cdot k \cdot p \cdot z'} \\ &= \frac{3,03}{3,14 \cdot 6,647 \cdot 0,84 \cdot 1,25 \cdot 8} \\ &= \frac{3,03}{175,32} \\ &= 0,017 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

- Kekuatan geser akar ulir mur  $\tau_n$  adalah:

$$\begin{aligned} \tau_n &= \frac{W}{\pi \cdot D \cdot j \cdot p \cdot z'} \\ &= \frac{3,03}{3,14 \cdot 8 \cdot 0,75 \cdot 1,25 \cdot 8} \\ &= \frac{3,03}{188,4} \\ &= 0,016 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{maka : } \tau_a \geq \tau_b \approx 4,75 \text{ kg/mm}^2 \geq 0,017 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau_a \geq \tau_n \approx 4,75 \text{ kg/mm}^2 \geq 0,016 \text{ kg/mm}^2$$

Harga  $\tau_n$  dan  $\tau_b$  memenuhi syarat yang ditentukan, sehingga mur dan poros ulir yang dipilih M8 dengan ketinggian mur 8 mm dan dari bahan baja liat dengan kadar karbon 0,5%C.

#### A.3.2 Perencanaan mur dan poros ulir sumbu X

- Menentukan besarnya beban maksimal yang dapat diterima oleh poros ulir dan mur dengan faktor koreksi ( $f_c$ ) = 1,2 – 2,00, maka faktor koreksi yang diambil adalah  $f_c = 1,2$ .

$$\begin{aligned} W_0 &= W_0 \text{ eretan sumbu Y} + \text{eretan sumbu X} \\ &= 5,06 + 0,4 \text{ kg} \\ &= 5,46 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{max} &= W_0 \cdot f_c \\ &= 5,46 \times 1,2 \\ &= 6,55 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban yang diterima oleh poros ulir:

$$\begin{aligned} W &= \frac{6,55}{2} \\ &= 3,27 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Menentukan bahan poros ulir dan mur

Bahan dari poros ulir dan mur yang direncanakan yaitu baja stainless steel dengan kadar karbon 0,5% C = SNC 3,  $\sigma_b = 95 \text{ kg/mm}^2$ . Sehingga diketahui faktor keamanan ( $S_f$ ) 8 – 10. Tekanan permukaan yang diizinkan ( $q_a$ ) = 3  $\text{kg/mm}^2$ .

- Kekuatan tarik yang diizinkan ( $\sigma_a$ )

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b}{S_f}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{95 \text{ kg/mm}^2}{10} \\
 &= 9,5 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ Kekuatan geser yang diizinkan ( $\tau_a$ )

$$\begin{aligned}
 \tau_a &\cong 0,5 \cdot \sigma_a \\
 &= 0,5 \times 9,5 \\
 &= 4,75 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui besar beban maksimum dan besar tegangan geser yang diizinkan pada poros ulir, maka diameter  $D$  dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 D &\geq \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot \sigma_a \cdot 0,64}} \\
 &\geq \sqrt{\frac{4 \cdot 3,27}{3,14 \cdot 4,75 \cdot 0,64}} \\
 &\geq \sqrt{\frac{13,08}{9,54}} \\
 &\geq \sqrt{1,37} \\
 &\geq 1,17
 \end{aligned}$$

Disini diambil  $D = 8 \text{ mm}$

Sehingga ulir poros ulir dan mur yang dipilih ulir metris dengan ukuran standart M8 dan didapat standart dimensi sebagai berikut:

Dimensi luar ulir dalam ( $D$ )	= 8	mm
Jarak bagi ( $p$ )	= 1,25	mm
Diameter inti ( $d_1$ )	= 6,647	mm
Tinggi kaitan ( $H_1$ )	= 0,677	mm
Diameter efektif ulir dalam ( $d_2$ )	= 7,188	mm

Dari hasil data diatas dapat ditetapkan untuk perhitungan ulir dalam dimana untuk ulir metris harga  $k \approx 0,84$  dan  $j \approx 0,75$ .

Jumlah ulir ( $Z$ ) yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} Z &\geq \frac{W}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot q_a} \\ &\geq \frac{3,27}{3,14 \cdot 7,188 \cdot 0,677 \cdot 3} \\ &\geq \frac{3,27}{45,84} \\ &0,07 \rightarrow 3 \end{aligned}$$

➤ Tinggi mur ( $H$ ) yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} H &\geq z \times p \\ &\geq 3 \times 1,25 \\ &\geq 3,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

menurut standar :

$$\begin{aligned} H &\geq (0,8 - 1,0) \cdot D \\ &\geq (1,0) 10 \\ &\geq 10 \text{ mm} \rightarrow 10 \end{aligned}$$

➤ Tinggi mur yang akan diambil adalah 8 mm, sehingga jumlah ulir mur ( $Z'$ ) adalah:

$$\begin{aligned} Z' &= \frac{H}{p} \\ &= \frac{10}{1,25} \\ &= 8 \end{aligned}$$

➤ Kekuatan geser akar ulir poros ulir  $\tau_b$  adalah:

$$\tau_b = \frac{W}{\pi \cdot d_1 \cdot k \cdot p \cdot z'}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3,27}{3,14 \cdot 6,647 \cdot 0,84 \cdot 1,25 \cdot 8} \\
 &= \frac{3,27}{175,32} \\
 &= 0,018 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

- Kekuatan geser akar ulir mur  $\tau_n$  adalah:

$$\begin{aligned}
 \tau_n &= \frac{W}{\pi \cdot D \cdot j \cdot p \cdot z'} \\
 &= \frac{3,27}{3,14 \cdot 8 \cdot 0,75 \cdot 1,25 \cdot 8} \\
 &= \frac{3,27}{188,4} \\
 &= 0,017 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{maka : } \tau_a \geq \tau_b \approx 4,75 \text{ kg/mm}^2 \geq 0,018 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau_a \geq \tau_n \approx 4,75 \text{ kg/mm}^2 \geq 0,017 \text{ kg/mm}^2$$

Harga  $\tau_n$  dan  $\tau_b$  memenuhi syarat yang ditentukan, sehingga mur dan poros ulir yang dipilih M8 dengan ketinggian mur 8 mm dan dari bahan baja liat dengan kadar karbon 0,5%C.

### A.3.3 Perencanaan mur dan poros ulir sumbu Z

- Menentukan besarnya beban maksimal yang dapat diterima oleh poros ulir dan mur dengan faktor koreksi ( $f_c$ ) = 1,2 – 2,00, maka faktor koreksi yang diambil adalah  $f_c = 1,2$

$$\begin{aligned}
 W_0 &= W_0 \text{ eretan sumbu Y} + \text{ gaya saat motor bekerja} + W_0 \text{ eretan sumbu X} + \\
 &\quad \text{beban eretan sumbu Z} \\
 &= 2,4 + 2,66 + 0,4 + 2,75 \text{ kg} \\
 &= 8,21 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{max} &= W_0 \cdot f_c \\
 &= 8,21 \times 1,2
 \end{aligned}$$

$$= 9,85 \text{ kg}$$

Beban yang diterima oleh poros ulir:

$$W = \frac{9,85}{2}$$

$$= 4,92 \text{ kg}$$

- Menentukan bahan poros ulir dan mur

Bahan dari poros ulir dan mur yang direncanakan yaitu baja stainless steel dengan kadar karbon 0,5% C = SNC 3,  $\sigma_b = 95 \text{ kg/mm}^2$ . Sehingga diketahui faktor keamanan ( $S_f$ ) 8 – 10 = 10. Tekanan permukaan yang diizinkan ( $q_a$ ) = 3  $\text{kg/mm}^2$ .

- Kekuatan tarik yang diizinkan ( $\sigma_a$ )

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b}{S_f}$$

$$= \frac{95 \text{ kg/mm}^2}{10}$$

$$= 9,5 \text{ kg/mm}^2$$

- Kekuatan geser yang diizinkan ( $\tau_a$ )

$$\tau_a = 0,5 \cdot \sigma_a$$

$$= 0,5 \times 9,5$$

$$= 4,75 \text{ kg/mm}^2$$

Dengan mengetahui besar beban maksimum dan besar tegangan geser yang diizinkan pada poros ulir, maka diameter  $D$  dapat dihitung:

$$D \geq \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot \sigma_a \cdot 0,64}}$$

$$\begin{aligned}
 &\geq \sqrt{\frac{4 \cdot 4,92}{3,14 \cdot 4,75 \cdot 0,64}} \\
 &\geq \sqrt{\frac{19,68}{9,54}} \\
 &\geq \sqrt{1} \\
 &\geq 1
 \end{aligned}$$

Disini diambil  $D = 10$  mm

Sehingga ulir poros ulir dan mur yang dipilih ulir metris dengan ukuran standart M10 dan didapat standart dimensi sebagai berikut:

Dimensi luar ulir dalam ( $D$ )	= 10	mm
Jarak bagi ( $p$ )	= 1,5	mm
Diameter inti ( $d_1$ )	= 8,3760	mm
Tinggi kaitan ( $H_1$ )	= 0,812	mm
Diameter efektif ulir dalam ( $d_2$ )	= 9,0260	mm

Dari hasil data diatas dapat ditetapkan untuk perhitungan ulir dalam dimana untuk ulir metris harga  $k \approx 0,84$  dan  $j \approx 0,75$ .

Jumlah ulir ( $Z$ ) yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned}
 Z &\geq \frac{W}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot q_a} \\
 &\geq \frac{4,92}{3,14 \cdot 9,026 \cdot 0,812 \cdot 3} \\
 &\geq \frac{4,92}{69,04} \\
 &\geq 0,07 \rightarrow 3
 \end{aligned}$$

- Tinggi mur ( $H$ ) yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} H &\geq z \times p \\ &\geq 3 \times 1,5 \\ &\geq 4,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

menurut standar :

$$\begin{aligned} H &\geq (0,8 - 1,0) \cdot D \\ &\geq (1,0) 10 \\ &\geq 10 \text{ mm} \rightarrow 10 \end{aligned}$$

- Tinggi mur yang akan diambil adalah 10 mm, sehingga jumlah ulir mur ( $Z'$ ) adalah:

$$\begin{aligned} Z' &= \frac{H}{p} \\ &= \frac{10}{1,5} \\ Z' &= 6,7 \end{aligned}$$

- Kekuatan geser akar ulir poros ulir  $\tau_b$  adalah:

$$\begin{aligned} \tau_b &= \frac{W}{\pi \cdot d_1 \cdot k \cdot p \cdot z'} \\ &= \frac{4,92}{3,14 \cdot 8,3760 \cdot 0,84 \cdot 1,5 \cdot 6,7} \\ &= \frac{4,92}{222,03} \\ &= 0,022 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

- Kekuatan geser akar ulir mur  $\tau_n$  adalah:

$$\tau_n = \frac{W}{\pi \cdot D \cdot j \cdot p \cdot z'}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{4,92}{3,14 \cdot 10 \cdot 0,75 \cdot 1,5 \cdot 6,7} \\ &= \frac{4,92}{236,68} \\ &= 0,02 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{maka : } \tau_a \geq \tau_b \approx 4,75 \text{ kg/mm}^2 \geq 0,022 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau_a \geq \tau_n \approx 4,75 \text{ kg/mm}^2 \geq 0,02 \text{ kg/mm}^2$$

Harga  $\tau_n$  dan  $\tau_b$  memenuhi syarat yang ditentukan, sehingga mur dan poros ulir yang dipilih M10 dengan ketinggian mur 10 mm dan dari bahan baja liat dengan kadar karbon 0,5%C.

**B. LAMPIRAN TABEL**

TABEL B.1 SIFAT-SIFAT MEKANIS

Bahan	Tegangan leleh $\sigma_y$		Tegangan batas $\sigma_u$		Persen pemanjangan (panjang ukuran 50 mm)
	ksi	MPa	ksi	MPa	
Aluminium (murni)	3	20	10	70	60
Aluminium campuran	5 - 70	35 - 500	15 - 80	100 - 550	1 - 45
2014 - T6	60	410	70	480	13
6061 - T6	40	270	45	310	17
7075 - T6	70	480	80	550	11
Kuningan	10 - 80	70 - 550	30 - 90	200 - 620	4 - 60
Kuningan merah (80% Cu, 20% Zn); keras	70	470	85	590	4
Kuningan merah (80% Cu, 20% Zn); lunak	13	90	43	300	50
Kuningan naval ; keras	60	410	85	590	15
Kuningan naval ; lunak	25	170	59	410	50
Batu-bata (tekan)			1 - 10	7 - 70	
Perunggu	12 - 100	82 - 690	30 - 120	200 - 830	5 - 60
Perunggu mangan ; keras	65	450	90	620	10
Perunggu mangan ; lunak	25	170	65	450	35
Besi tuang (tarik)	17 - 42	120 - 920	10 - 70	69 - 480	0 - 1
Besi tuang kelabu	17	120	20 - 60	140 - 410	0 - 1
Besi tuang (tekan)			50 - 200	340 - 1.400	
Beton (tekan)			1,5 - 10	10 - 70	
Kekuatan-rendah			2	14	
Kekuatan-sedang			4	28	
Kekuatan-tinggi			6	41	
Tembaga					
Keras-ditarik	48	330	55	380	10
Lunak (dilunakkan)	8	55	33	230	50
Tembaga berillium	110	760	120	830	4
Kaca			5 - 150	30 - 1.000	
Kaca datar			10	70	
Serat kaca			1.000 - 3.000	7.000 - 20.000	
Magnesium (murni)	3 - 10	20 - 70	15 - 25	100 - 170	5 - 15
Campuran	12 - 40	80 - 280	20 - 50	140 - 340	2 - 20
Monel (67% Ni, 30% Cu)	25 - 160	170 - 1.100	65 - 170	450 - 1.200	2 - 50
Nikel	20 - 90	140 - 620	45 - 110	310 - 760	2 - 50
Nilon			6 - 10	40 - 70	50
Karet	0,2 - 1,0	1 - 7	1 - 3	7 - 20	100 - 800
Baja					
Kekuatan tinggi	50 - 150	340 - 1.000	80 - 180	550 - 1.200	5 - 25
Mesin	50 - 100	340 - 700	80 - 125	550 - 860	5 - 25
Pegas	60 - 240	400 - 1.600	100 - 270	700 - 1.900	3 - 15
Tahan-karat	40 - 100	280 - 700	60 - 150	400 - 1.000	5 - 40
Alat	75	520	130	900	8
Baja, struktural	30 - 100	200 - 700	50 - 120	340 - 830	10 - 40
ASTM-A36	36	250	60	400	30
ASTM-A572	50	340	70	500	20
ASTM-A514	100	700	120	830	15
Kawat baja	40 - 150	280 - 1.000	80 - 200	550 - 1.400	5 - 40
Batu (tekan)					
Granit			10 - 40	70 - 280	
Batu-kapur			3 - 30	20 - 200	
Marmer			8 - 25	50 - 180	
Titanium (murni)	60	400	70	500	25
Campuran	110 - 130	760 - 900	130 - 140	900 - 970	10
Tungsten			200 - 600	1.400 - 4.000	0 - 4
Kayu					
Ash	6 - 10	40 - 70	8 - 14	50 - 100	
Douglas fir	5 - 8	30 - 50	8 - 12	50 - 80	
Ek (Oak)	6 - 9	40 - 60	8 - 14	50 - 100	
Cemara (southern pine)	6 - 9	40 - 60	8 - 14	50 - 100	
Kayu (tekan, sejajar dengan serat)					
Ash	4 - 6	30 - 40	5 - 8	30 - 50	
Douglas fir	4 - 8	30 - 50	6 - 10	30 - 50	
Ek (Oak)	4 - 6	30 - 40	5 - 8	30 - 50	
Cemara (southern pine)	4 - 8	30 - 50	6 - 10	40 - 70	
Besi tempa	30	210	50	340	35

Sumber : Gere & Timoshenko.1996. *Mekanika Bahan jilid 1*. Erlangga. Jakarta

TABEL B.2 KONVERSI DARI SATUAN YANG BIASA DI AS KE SATUAN SI

Satuan yang biasa di AS		Faktor konversi pengali		Sama dengan satuan SI	
		Teliti	Praktis		
Percepatan					
kaki per detik kuadrat	kaki /det <sup>2</sup>	0.3048*	0.305	Meter per detik kuadrat	m/det <sup>2</sup>
inci per detik kuadrat	inci/det <sup>2</sup>	0.0254*	0.0254	Meter per detik kuadrat	m/det <sup>2</sup>
Luas					
kaki kuadrat	kaki <sup>2</sup>	0.09290304*	0.0929	Meter kuadrat	m <sup>2</sup>
Inci kuadrat	inci <sup>2</sup>	645.16*	645	Milimeter kuadrat	mm <sup>2</sup>
Kerapatan (massa)					
Slug per kaki kubik	slug/kaki <sup>3</sup>	515.379	515	Kilogram per meter kubik	kg/m <sup>3</sup>
Energi, kerja					
Kaki-pon	kaki-lb	1.35582	1.36	joule	J
Kilowatt-jam	kWh	3.6*	3.6	Megajoule	MJ
Satuan panas Inggris	Btu	1055.06	1055	Joule	J
Gaya					
Pon	lb	4.44822	4.45	Newton	N
Kip (1000 pon)	k	4.44822	4.45	Kilonewton	kN
Intensitas cahaya					
Pon per kaki	lb/kaki	14.5939	14.6	Newton per meter	N/m
Kip per kaki	k/kaki	14.5939	14.6	Kilonewton per meter	kN/m
Panjang					
Kaki	kaki	0.3048*	0.305	Meter	m
Inci	inci	25.4*	25.4	Milimeter	mm
Mil		1.609344*	1.61	Kilometer	km
Massa					
Slug		14.5939	14.6	Kilogram	kg
Momen gaya; torca					
Kaki-pon	kaki-lb	1.35582	1.36	Newton meter	Nm
Inci-pon	inci-lb	0.112985	0.113	Newton meter	Nm
Kaki-kip	kaki-k	1.35582	1.36	Kilonewton meter	kN-m
Inci-kip	inci-k	0.112985	0.113	Kilonewton meter	kN-m
Momen inersia (massa slug kaki kuadrat)		1.35582	1.36	Kilogram meter kuadrat	kg-m <sup>2</sup>
Momen inersia (momen kedua arid luas)					
Inci pangkat empat	inci <sup>4</sup>	416,231	416,000	Milimeter pangkat empat	mm <sup>4</sup>
Inci pangkat empat	inci <sup>4</sup>	0.416231 × 10 <sup>-6</sup>	0.416 × 10 <sup>-6</sup>	Meter pangkat empat	m <sup>4</sup>
Daya					
Kaki-pon per detik	kaki-lb/det	1.35582	1.36	Watt	W
Kaki-pon per menit	kaki-lb/menit	0.0225970	0.0226	Watt	W
Daha kuda (550 kaki-pon per detik)	hp	745.701	746	Watt	W
tekanan; tegangan					
pon per kaki kuadrat	lb/kaki <sup>2</sup>	47.8803	47.9	Pascal	Pa
pon per inci kuadrat	lb/inci <sup>2</sup>	6894.76	6890	Pascal	Pa
kip per kaki kuadrat	k/kaki <sup>2</sup>	47.8803	47.9	Kilopascal	kPa
kip per inci kuadrat	k/inci <sup>2</sup>	6894.76	6890	Kilopascal	kPa
Modulus tampang					
Inci pangkat tiga	inci <sup>3</sup>	16,387.1	16,400	Milimeter pangkat tiga	mm <sup>3</sup>
Inci pangkat tiga	inci <sup>3</sup>	16.3871 × 10 <sup>-6</sup>	16.4 × 10 <sup>-6</sup>	Meter pangkat tiga	m <sup>3</sup>
Berat spesifik (kecepatan berat)					
Pon per kaki kubik	lb/kaki <sup>3</sup>	157.087	157	Newton per meter kubik	N/m <sup>3</sup>
Pon per inci kubik	lb/inci <sup>3</sup>	271.447	271	Kilonewton per meter kubik	kN/m <sup>3</sup>
Kecepatan					
Kaki per detik	kaki/detik	0.3048*	0.305	Meter per detik	m/det
Inci per detik	inci/detik	0.0254*	0.0254	Meter per detik	m/det
Mil per jam	inci/detik	0.44704*	0.447	Meter per detik	m/det
Mil per jam	mil/jam	1.609344*	1.61	Kilometer per jam	km/jam
Volume					
Kaki kubik	kaki <sup>3</sup>	0.0283168	0.0283	Meter kubik	m <sup>3</sup>
Inci kubik	inci <sup>3</sup>	16.3871 × 10 <sup>-6</sup>	16.4 × 10 <sup>-6</sup>	Meter kubik	m <sup>3</sup>
Inci kubik	inci <sup>3</sup>	16.3871	16.4	Sentimeter kubik	cm <sup>3</sup>
Galon		3.78541	3.79	Liter	L
Galon		0.00378541	0.00379	Meter kubik	m <sup>3</sup>

\*Faktor konversi yang pasti

catatan : untuk mengkonversi Satuan SI ke satuan AS, bagilah dengan faktor konversi.

Sumber : Gere & Timoshenko.1996. *Mekanika Bahan jilid 1*.Erlangga: Jakarta.

TABEL B.3 MASSA JENIS BAHAN ( ... )

(Satuan : kg/Dm<sup>3</sup>)

Bahan	Massa Jenis	Bahan	Massa Jenis
Aether (Minyak Tanah)	0,91	Gelas Cermin	2,46
Air Raksa	13,60	Gemuk	0,93
Alkohol (Bebas Air)	0,79	Gips (Bakar)	1,80
Aluminium Murni	2,58	Gips (Tuang, Kering)	0,97
Aluminium Tuang	2,60	Glycerine	1,25
Aluminium Tempa	2,75	Granit	2,50 – 3,10
Aluminium Loyang	7,70	Grafit	2,50 – 3,10
Asbes	2,10 – 2,80	Kapur (Bakar)	1,40
Aspal Murni	1,10 – 1,40	Kapur Tulis	1,80 – 2,70
Aspal Beton	2,00 – 2,50	Kaporit	2,20
Baja Tuang	7,85	Kobalt	8,50
Besi Tuang	7,25	Logam Delta	8,70
Basalt	2,70 – 3,20	Logam Putih	7,10
Batu Bara	1,40	Magnesium	1,74
Bensin	0,68 – 0,70	Mangan	7,50
Berlian	3,50	Nikel Tuang	8,28
Besi Tempa	7,60 – 7,89	Nikel Tempa	8,67
Besi Tarik	7,60 – 7,75	Perak	10,50
Besi Murni	7,88	Perunggu	8,80
Besi Vitriol	1,80 – 1,98	Platina Tuang	21,20
Bismuth	9,80	Platina Tempa	21,40
Emas	19,00 – 19,50	Tembaga Elektrolisis	8,90 – 8,95
Es	0,88 – 0,92	Tembaga Tempa	8,90 – 9,00
Fiber	1,28	Tembaga Tuang	8,80
Gabus	2,24	Timah Putih Tuang	7,25
Garam Dapur	2,15	Timah Putih Tempa	7,45
Gas Kokas	1,40	Timbal	11,35
Gelas Flint	3,70	Uranium	18,50

Sumber : Buku Teknik Sipil, Sunggono KH, 1995

TABEL B.4 TEGANGAN YANG DIJINKAN UNTUK SAMBUNGAN LAS KONSTRUKSI BAJA MENURUT DIN 4100

Kampuh	Kualitas kampuh	Tegangan	Baja			
			St 37 Beban		St 52 Beban	
			H	HZ [N/mm <sup>2</sup> ]	H	HZ
Kampuh temu, kampuh K dengan Kampuh sudut ganda, Kampuh steg K dengan kampuh sudut ganda	Semua kualitas kampuh	Tekan dan lentur	160	180	240	270
	Bebas dari retak dan kesalahan lainnya	Tarik dan lentur	160	180	240	270
Kampuh Steg-HV dengan kampuh sudut	Kualitas kampuh tidak diketahui	Tekan dan lentur, tarik dan lentur, tegangan total	135	150	170	190
			Semua kualitas	135	150	170
Kampuh-kampuh lainnya	Semua kualitas	Geser	135	150	170	190

Sumber : Niemen. 1999. *Elemen Mesin jilid 1*. Erlangga: Jakarta.

TABEL B.5 TEKAPAN PERMUKAAN YANG DIJINKAN PADA ULIR (Satuan : kg/mm<sup>2</sup>)

Jenis Bahan		Tekanan Permukaan Yang Dijinkan ( $q_a$ )	
Ulir Luar (Baut)	Ulir Dalam (Mur)	Untuk Pengikat	Untuk Penggerak
Baja Liat	Baja Liat atau Perunggu	3,0	1,0
Baja Keras	Baja Liat atau Perunggu	4,0	1,3
Baja Keras	Besi Cor	1,5	0,5

Sumber : Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Sularso; 1997

TABEL B.6 FAKTOR-FAKTOR KOREKSI DAYA YANG AKAN DITRANSMISIKAN,  $f_c$

Daya yang akan ditransmisikan	$f_c$
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

Sumber : Sularso. 2002. *Perancangan Elemen Mesin*. Pradnya Paramita: Jakarta.

TABEL B.7 UKURAN STANDAR ULIR HALUS METRIS (Satuan : mm)

Jenis Ulir			Jarak Bagi ( $p$ )	Tinggi Kaitan ( $H_1$ )	Ulir Dalam (Mur)		
					Diameter Luar ( $D$ )	Diameter Efektif ( $D_2$ )	Diameter Dalam ( $D_1$ )
1	2	3			Ulir Luar (Baut)		
					Diameter Luar ( $d$ )	Diameter Efektif ( $d_2$ )	Diameter Inti ( $d_1$ )
M 0,25			0,075	0,041	0,250	0,201	0,169
M 0,3			0,080	0,043	0,300	0,248	0,213
	M 0,35		0,090	0,049	0,350	0,292	0,253
M 0,4			0,100	0,054	0,400	0,335	0,292
	M 0,45		0,100	0,054	0,450	0,385	0,342
M 0,5			0,125	0,068	0,500	0,419	0,365
	M 0,55		0,125	0,068	0,550	0,469	0,415
M 0,6			0,150	0,081	0,600	0,503	0,438
	M 0,7		0,175	0,095	0,700	0,586	0,511
M 0,8			0,200	0,108	0,800	0,670	0,583
	M 0,9		0,225	0,122	0,900	0,754	0,656
M 1			0,250	0,135	1,000	0,838	0,729
M 1,2			0,250	0,135	1,200	1,038	0,929
M 1,4			0,300	0,162	1,400	1,205	1,075
M 1,7			0,350	0,189	1,700	1,473	1,321
M 2			0,400	0,217	2,000	1,740	1,567
M 2,3			0,400	0,217	2,300	2,040	1,867
M 2,6			0,450	0,244	2,600	2,308	2,113
M 3			0,500	0,271	3,000	2,675	2,459
			0,600	0,325	3,000	2,610	2,350
	M 3,5		0,600	0,325	3,500	3,110	2,850
M 4			0,700	0,0379	4,000	3,515	3,242
			0,750	0,406	4,000	3,513	3,188
	M 4,5		0,750	0,406	4,500	4,013	3,688
M 5			0,800	0,433	5,000	4,480	4,134
			0,900	0,487	5,000	4,415	4,026
			0,900	0,487	5,500	4,915	4,526

Catatan : Kolom 1 merupakan pilihan utama. Kolom 2 dan kolom 3 hanya dipilih jika terpaksa.

Sumber : Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Sularso; 1997

TABEL B.8 UKURAN STANDAR ULIR KASAR METRIS (Satuan : mm)

Jenis Ulir			Jarak Bagi ( $p$ )	Tinggi Kaitan ( $H_1$ )	Ulir Dalam (Mur)		
					Diameter Luar ( $D$ )	Diameter Efektif ( $D_2$ )	Diameter Dalam ( $D_1$ )
1	2	3			Ulir Luar (Baut)		
					Diameter Luar ( $d$ )	Diameter Efektif ( $d_2$ )	Diameter Inti ( $d_1$ )
M 6			1,00	0,541	6,000	5,3500	4,9170
		M 7	1,00	0,541	7,000	6,3500	5,9170
M 8			1,25	0,677	8,000	7,1880	6,6470
		M 9	1,25	0,677	9,000	8,1880	7,6470
M 10			1,50	0,812	10,00	9,0260	8,3760
		M 11	1,50	0,812	11,00	10,026	9,3760
M 12			1,75	0,947	12,00	10,863	10,106
	M 14		2,00	1,083	14,00	12,701	11,835
M 16			2,00	1,083	16,00	14,701	13,835
	M 18		2,50	1,353	18,00	16,376	15,294
M 20			2,50	1,353	20,00	18,376	17,294
	M 22		2,50	1,353	22,00	20,376	19,294
M 24			3,00	1,624	24,00	22,051	20,752
	M 27		3,00	1,624	27,00	25,051	23,752
M 30			3,50	1,894	30,00	27,727	26,211
	M 33		3,50	1,894	33,00	30,727	29,211
M 36			4,00	2,165	36,00	34,402	31,670
	M 39		4,00	2,165	39,00	36,402	34,670
M 42			4,50	2,436	42,00	39,077	37,129
	M 45		4,50	2,436	45,00	42,077	40,129
M 48			5,00	2,706	48,00	44,752	42,587
	M 52		5,00	2,076	52,00	48,752	46,587
M 56			5,50	2,977	56,00	52,428	50,046
	M 60		5,50	2,977	60,00	56,428	54,046
M 64			6,00	3,248	64,00	60,103	57,505
	M 68		6,00	3,248	68,00	64,103	61,505

Sumber : Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Sularso; 1997

Catatan : Kolom 1 merupakan pilihan utama. Kolom 2 dan kolom 3 hanya dipilih jika terpaksa.

TABEL B.9. FEEDING UNTUK PENGEBORAN BAJA MENGGUNAKAN MATA BOR BAJA KECEPATAN TINGGI

Diameter Mata Bor (mm)	Kekuatan Tarik ( $kg/mm^2$ )								
	< 80			80 – 100			> 100		
	Kelompok Feeding								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Feeding (mm/putaran)								
Sampai Dengan									
2	0,05-0,06	0,04-0,05	0,03-0,04	0,04-0,05	0,03-0,04	0,02-0,03	0,03-0,04	0,03-0,04	0,02-0,03
4	0,08-0,10	0,06-0,08	0,04-0,05	0,06-0,08	0,04-0,06	0,03-0,04	0,04-0,06	0,04-0,05	0,03-0,04
6	0,14-0,18	0,11-0,13	0,07-0,09	0,10-0,12	0,07-0,09	0,05-0,06	0,08-0,10	0,06-0,08	0,04-0,05
8	0,18-0,22	0,13-0,17	0,09-0,11	0,13-0,15	0,09-0,11	0,06-0,08	0,11-0,13	0,08-0,10	0,05-0,07
10	0,22-0,28	0,16-0,20	0,11-0,13	0,17-0,21	0,13-0,15	0,08-0,11	0,13-0,17	0,10-0,12	0,07-0,09
13	0,25-0,31	0,19-0,23	0,13-0,15	0,19-0,23	0,14-0,18	0,10-0,12	0,15-0,19	0,12-0,14	0,08-0,10
16	0,31-0,37	0,22-0,27	0,15-0,19	0,22-0,28	0,17-0,21	0,12-0,14	0,18-0,22	0,13-0,17	0,09-0,11
20	0,35-0,43	0,26-0,32	0,18-0,22	0,26-0,32	0,20-0,24	0,13-0,17	0,21-0,25	0,15-0,19	0,11-0,13
25	0,39-0,47	0,29-0,35	0,20-0,24	0,29-0,35	0,22-0,26	0,14-0,18	0,23-0,29	0,17-0,21	0,12-0,14
30	0,45-0,55	0,33-0,41	0,22-0,28	0,32-0,40	0,24-0,30	0,16-0,20	0,27-0,33	0,20-0,24	0,13-0,17
> 30 dan < 60	0,60-0,70	0,45-0,55	0,30-0,35	0,40-0,50	0,30-0,35	0,20-0,25	0,30-0,40	0,22-0,30	0,16-0,23

Catatan : Feeding kelompok I untuk proses pengeboran benda kerja keras.

Feeding kelompok II untuk proses pengeboran benda kerja kekerasan menengah.

Feeding kelompok III untuk proses pengeboran lubang presisi atau pekerjaan reamer.

TABEL B.10. TINGKAT PEMESINAN PADA KECEPATAN POTONG, TERGANTUNG PADA TINGKAT KARAKTER MEKANIS DARI BAJA (PAHAT BAJA KECEPATAN TINGGI)

Material Pemesinan		Data Mekanis Baja dan Tingkat Pemesinan Untuk Kecepatan Potong							
Kelompok Baja	Tingkat Baja								
Baja Karbon	08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 55, 60	Kekuatan Tarik ( $\uparrow_B$ )	30-35	36-41	42-49	50-57	58-68	69-81	82-96
		<i>Bhn</i>	84-99	100-117	118-140	141-163	164-194	195-232	234-274
Baja Struktural ( $C = 0,6\%$ )	C <sub>T.0</sub> , C <sub>T.1</sub> , C <sub>T.2</sub> , C <sub>T.3</sub> , C <sub>T.4</sub> , C <sub>T.5</sub> , C <sub>T.6</sub>	<i>K<sub>mv</sub></i>	0,86	1,0	1,16	1,34	1,16	1,0	0,86
		Tingkat Pemesinan	7	6	5	4	5	6	7
Baja Krom Baja Nikel Baja Nikel Krom	15X, 20X, 30X, 35X, 40X, 45X, 50X 25H, 30H 20XH, 40XH, 45XH, 50XH 12XH2, 12XH3, 30XH3, 12X2H4 20XH20H4 20XH3A, 37XH3A	Kekuatan Tarik ( $\uparrow_B$ )	37-43	44-51	52-61	62-72	73-85	86-100	101-119
		<i>Bhn</i>	110-127	128-146	147-174	175-205	206-243	244-285	286-341
		<i>K<sub>mv</sub></i>	1,56	1,34	1,16	1,0	0,86	0,75	0,64
		Tingkat Pemesinan	3	4	5	6	7	8	9

TABEL B.11. KECEPATAN POTONG UNTUK BAJA KARBON DAN BAJA DENGAN MATA BOR BAJA KECEPATAN TINGGI (HSS) MENGGUNAKAN CAIRAN PENDINGIN (BAGIAN PERTAMA)

Tingkat Pemesinan Baja	Feeding <i>s</i> (mm/put)													
1	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88	–	–	–	–	–	–	–	–
2	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88	–	–	–	–	–	–	–
3	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88	–	–	–	–	–	–
4	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88	–	–	–	–	–
5	0,09	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88	–	–	–	–
6	–	0,09	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88	–	–	–
7	–	–	0,09	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88	–	–
8	–	–	–	0,09	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88	–
9	–	–	–	–	0,09	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88
10	–	–	–	–	–	0,09	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66
11	–	–	–	–	–	–	0,09	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49

TABEL B.12. KECEPATAN POTONG UNTUK BAJA KARBON DAN BAJA DENGAN MATA BOR BAJA KECEPATAN TINGGI (HSS) MENGGUNAKAN CAIRAN PENDINGIN (BAGIAN KEDUA)

Jenis Pengeboran	Diameter Mata Bor $D$ (mm)	Kecepatan Potong $V$ (m/mt)													
Double Angle with Thinned Web $DW$	20	55	55	50	43	37	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11	9,5
	30	55	55	55	50	43	37	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11
	60	55	55	55	55	50	43	37	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13
Conventional $C$	4,6	43	37	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11	9,5	8,2	7	6
	9,6	50	43	37	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11	9,5	8,2	7
	20	55	50	43	37	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11	9,5	8,2
	30	55	55	50	43	37	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11	9,5
	60	55	55	55	50	43	37	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11

Sumber :Niemen. 1999. *Elemen Mesin jilid 1*. Erlangga: Jakarta.

TABEL B.13. SPESIFIKASI ELEKTRODA TERBUNGKUS DARI BAJA LUNAK (AWS A5.1-64T)

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis fluks	Posisi pengelasan	Jenis listrik	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E 6010....	Natrium selulosa tinggi	F,V,OH,H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E 6011....	Kalium selulosa tinggi	F,V,OH,H	AC/DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E 6012....	Natrium titania tinggi	F,V,OH,H	AC/DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E 6013....	Kalium titania tinggi	F,V,OH,H	AC/DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E 6020....	Oksida besi tinggi	{ H-S F	AC/DC polaritas lurus AC/DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E 6027....	Serbuk besi, oksida besi	{ H-S F	AC/DC polaritas lurus AC/DC polaritas ganda	43,6	35,2	25

Sumber : Wiryasumarto, Toshie Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita :Jakarta.

TABEL B.14 *CUTTING SPEED* UNTUK MATA BOR

Jenis bahan	Carbide Drills meter/menit	HSS Drills meter/menit
Alumunium dan paduannya	200 – 300	80 – 150
Kuningan dan Bronze	200 – 300	80 – 150
Bronze liat	70 – 100	30 – 50
Besi tuang lunak	100 – 150	40 – 75
Besi tuang sedang	70 – 100	30 – 50
Tembaga	60 – 100	25 – 50
Besi tempa	80 – 90	30 – 45
Magnesium dan paduannya	250 – 400	100 – 200
Monel	40 – 50	15 – 25
Baja mesin	80 – 100	30 – 55
Baja lunak(St37)	60 – 70	25 – 35
Baja alat	50 – 60	20 – 30
Baja tempa	50 – 60	20 – 30
Baja dan paduannya	50 – 70	20 – 35
Stainless steel	60 – 70	25 – 35

Sumber: Umaryadi. 2006. *PDTM Teknologi dan Industri*. Yudhistira: Jakarta.

TABEL B.15 KECEPATAN PEMAKANAN (FEEDING)

Diameter mata bor dalam mm	Kecepatan pemakanan mm/putaran
Hingga 3	0,025 sd 0,05
3 sd 6	0,05 sd 0,1
6,5 sd 8,5	0,1 sd 0,2
8,5 sd 25	0,2 sd 0,4
Lebih dari 25	0,4 sd 0,6

Sumber: Umaryadi. 2006. *PDTM Teknologi dan Industri*. Yudhistira: Jakarta.

**C. LAMPIRAN GAMBAR**



Gambar C.1 Mata pahat



Gambar C.2 Poros ulir dan mur sumbu Z



Gambar C.3 Poros ulir dan mur sumbu X



Gambar C.4 Poros ulir dan mur sumbu Y



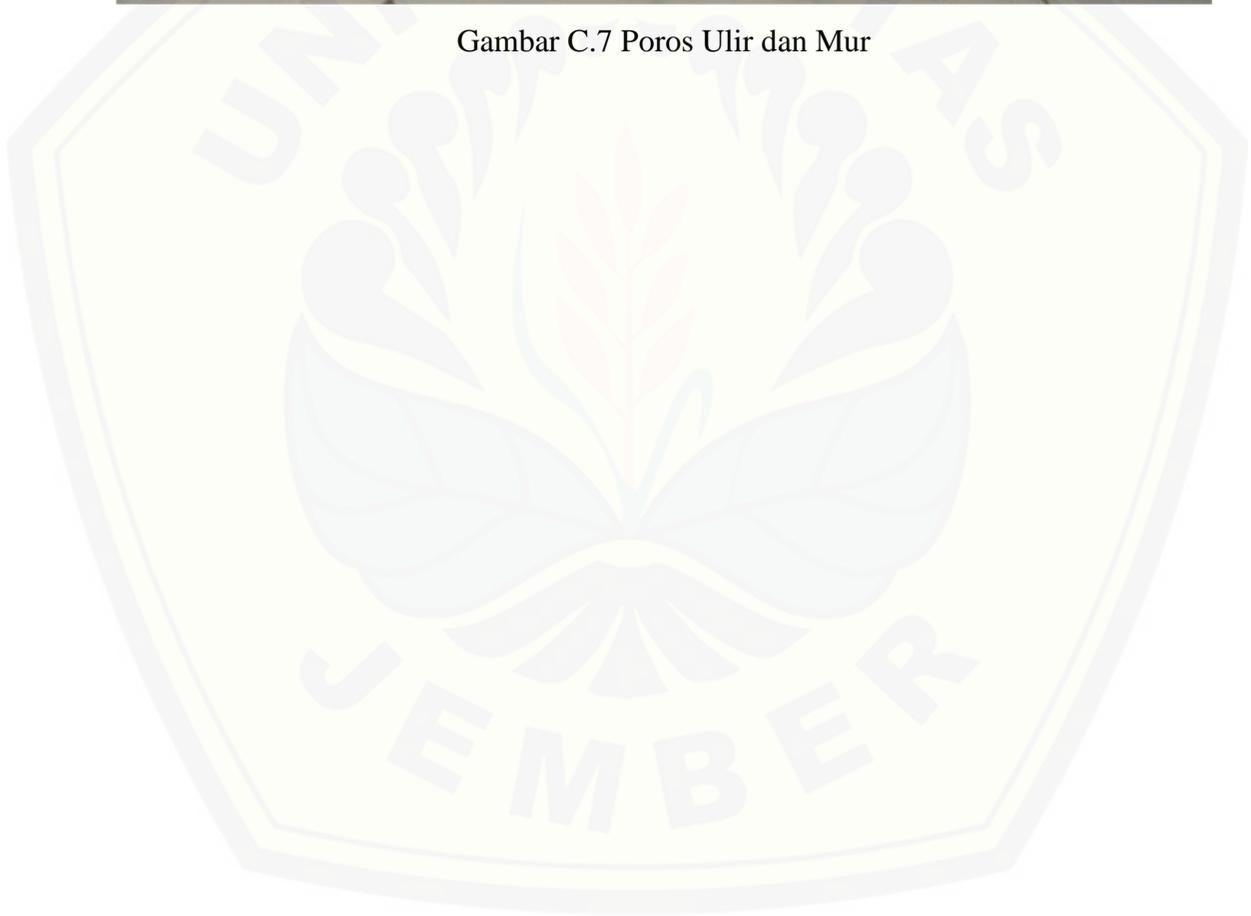
Gambar C.5 Hasil perbandingan kedalaman pemakanan



Gambar C.6 Mesin Motor Profil



Gambar C.7 Poros Ulir dan Mur





Gambar C.8 Akrilik Pada Eretan Sumbu X dan Sumbu Y



Gambar C.9 Mesin CNC Router Milling tampak depan



Gambar C.10 Mesin CNC Router Milling tampak sudut