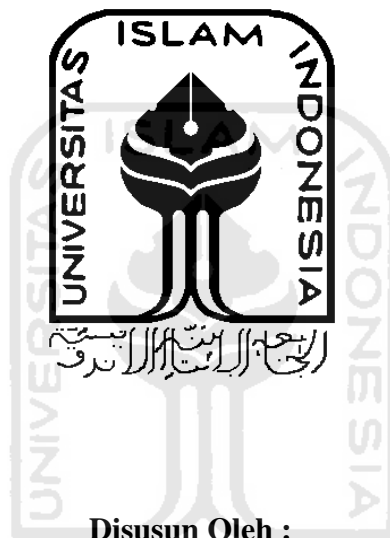


RANCANG BANGUN KONSTRUKSI MESIN CNC BERBIAYA RENDAH

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Ab'rissal Sanusi

No. Mahasiswa : 06525018

NIRM : 06620871

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

YOGYAKARTA

2011

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**RANCANG BANGUN KONSTRUKSI MESIN CNC
BERBIAYA RENDAH**

TUGAS AKHIR




Pembimbing I,

Pembimbing II,

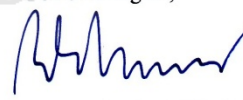
Pembimbing III,



Purtojo, ST., M.Sc.



Tri Setia Putra, ST.



Agung Nugroho Adi, ST., MT.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

RANCANG BANGUN KONSTRUKSI MESIN CNC
BERBIAYA RENDAH

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :


Nama : Ab'rissal Sanusi

No. Mahasiswa : 06525018

NIRM : 06620871

Tim Penguji

Ketua


Purtojo, ST., M. Sc.

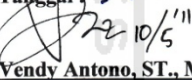
Tanggal : 9-5-2011

Anggota I


Yustiasih Purwaningrum, ST., MT

Tanggal : 9-5-2011

Anggota II


Vandy Antono, ST., MT.

Tanggal : 10-5-2011

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin




Agung Nugroho Adi, ST., MT.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan hasil usahaku selama ini untuk.....

kedua Orang Tuaku tercinta.....

Seluruh keluargaku.....

Seluruh keluarga Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.....

Semua ini Rissal lakukan untuk membanggakan kalian semua.....



HALAMAN MOTTO

Impossible is Nothing.....

Everything are Possible.....

Everything that God Gives to us at the present, must be possible to do.....

Just Do it!.....

Failure,.... Sadness,..... Problems,..... Errors,..... Mistakes,.....

It's "just" one thing,.....

But, if we can survive, we never give up, we can keep our head's up and get up after we fall,..... That's Something Special,.....

Do not afraid to make a mistake, cause if we can solve the mistakes, we can "jump" higher than before,.....

Keep your self belongs to Allah SWT,.....

Past is a History.....

Present is a Gift.....

Future is a Mistery.....

So,.....

Do the right things and do things right,.....

Write the future, Now!!.....

Keep the faith,..... And Don't stop BELIEVIN,.....

I'm Not Afraid to take a stand,.....



KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr. Wb.

*Alhamdulillahirrobbil'alam*in rasa syukur yang tak terkira saya ucapkan kepada Allah SWT Tuhan semesta alam karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir saya yang berjudul “Rancang Bangun Konstruksi Mesin CNC Berbiaya Rendah” dengan lancar. Shalawat dan salam juga saya haturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta para sahabat.

Proses pengerjaan tugas akhir dan laporan ini saya mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung dan tidak langsung. Saya mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada beberapa pihak tersebut, diantaranya :

1. Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan laporan ini.
2. Kedua Orang Tua saya yang selalu memberi dukungan dan doa kepada saya.
3. Bapak Ir. Gumbolo Hadi Susanto, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Agung Nugroho Adi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia dan dosen pembimbing 3.
5. Bapak Purtojo, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing 1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
6. Tri Setia Putra, ST. selaku dosen pembimbing 2 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
7. Puji Lestari, S.Psi, untuk doa, semangat, kepercayaan dan dukungannya.
8. Heriyadi, atas kerja sama dan bantuannya selaku rekan tugas akhir.
9. Teknik Mesin UII angkatan 2006, atas kekompakannya dan dukungannya.
10. Teknik Mesin UII seluruh angkatan, atas kesolidannya dan bantuannya.

11. PT Surya Mas, perusahaan kayu yang membantu pemotongan komponen mesin CNC

Penyusun sangat menyadari dalam pengerjaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini banyak sekali terdapat kekurangannya, oleh karena itu penyusun membuka lebar-lebar pintu kritik dan saran, guna perbaikan di masa depan.

Akhir kata, semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penyusun sendiri.

Wa'alaikumsalam Wr. Wb.

Yogyakarta, 08 Maret 2011



Penyusun

RANCANG BANGUN KONSTRUKSI MESIN CNC BERBIAYA RENDAH

Oleh :
Ab'rissal Sanusi
06525018

ABSTRAK

Mesin CNC yang terdapat di perusahaan, kampus dan sekolah menengah, setiap unitnya berharga mahal. Sungguh sebuah terobosan ketika dapat membuat sebuah mesin CNC sendiri dengan bahan dan alat yang mudah didapatkan, terjangkau harganya dan mudah dalam pembuatannya sehingga dapat dilakukan sendiri. Konstruksi mesin CNC yang akan dibuat bertipe gantry, dengan material utama yaitu kayu. Sistem pergerakan mesin CNC menggunakan sistem transmisi leadscrew atau batang ulir dan aktuator berupa motor step. Proses pembuatan konstruksi mesin CNC diawali dengan tahap desain komponen, kemudian tahap pemotongan komponen, kemudian perakitan seluruh komponen menjadi sumbu X, Y dan Z. Setelah itu penyambungan seluruh komponen, pemasangan batang ulir dan pemasangan kopling fleksibel sebagai rangkaian sistem transmisi. Hasilnya telah berhasil dirancang dan dibangun sebuah mesin CNC berbiaya rendah dan mudah dibuat. Mesin CNC dapat beroperasi membentuk sebuah garis maupun profil, sesuai dengan program yang ditulis.

Kata kunci : Mesin CNC, Konstruksi Mesin CNC, Sumbu XYZ, biaya rendah, mudah dibuat.

LOW PRICE CNC MACHINE CONSTRUCTION DESIGN AND BUILD

by :
Ab'rissal Sanusi
06525018

ABSTRACT

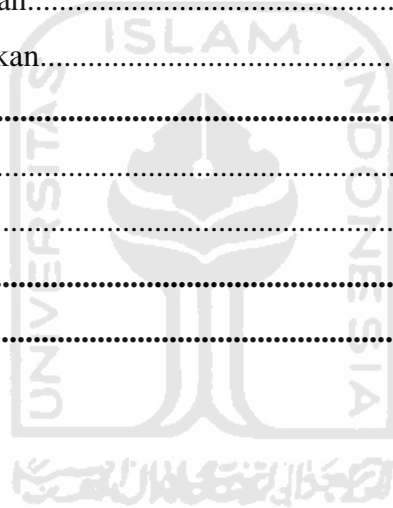
The price of every single unit of CNC machine that used by a company, university or school is very expensive. It's a great invention when CNC machines are possible to be build by ourself easily by using available and easy to find of sources and tools with low price. Construction type of CNC machine is gantry type with major construction of wooden builded. Movement system of this CNC machine is using leadscrews transmission systems dan stepper motors as the actuator. Construction building started by design step and cutting process of all the parts, followed by the assembly all the X, Y and Z axes. Final assembly was done by joining all the parts. After the parts was joined, the last steps are fit the leadscrews and the couplings as a transmission system. The result is a low price and easy to build CNC machine which also easy to operate was created. The CNC machine is able to produce a line and profile pattern according to the program writen.

Keywords : CNC Machine, Construction of CNC Machine, XYZ axis, low price, easy to build

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji.....	iii
Halaman Persembahan.....	iv
Halaman Motto.....	v
Kata Pengantar.....	vi
Abstrak.....	viii
Abstract.....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	2
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	2
1.6 Sitematika Penulisan.....	3
Bab 2 Dasar Teori.....	4
2.1 Mesin CNC.....	4
2.2 Penentuan <i>Axis</i> Mesin CNC.....	5
2.3 Klasifikasi Mesin CNC.....	6
2.4 Mekanisme Transmisi.....	13
2.5 Desain.....	19
2.6 Klasifikasi Kopling.....	20
2.7 Sambungan.....	25
2.8 Aktuator.....	26
2.9 <i>Controller Software</i>	27

Bab 3 Metodologi Perancangan.....	29
3.1 <i>Flowchart</i> Perancangan.....	29
3.2 Mengumpulkan Data dan Referensi.....	30
3.3 Desain Mesin CNC.....	34
3.4 Pembuatan Mesin CNC.....	37
3.5 Kesamaan Dimensi Komponen.....	37
3.6 <i>Assembly</i>	38
3.6.1 Sumbu X.....	38
3.6.2 Sumbu Y.....	41
3.6.3 Sumbu Z.....	45
Bab 4 Hasil dan Pembahasan.....	49
4.1 Analisa Pergerakan.....	49
4.2. Evaluasi Pergerakan.....	54
Bab 5 Penutup.....	58
5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran.....	59
Daftar Pustaka.....	60
LAMPIRAN.....	62

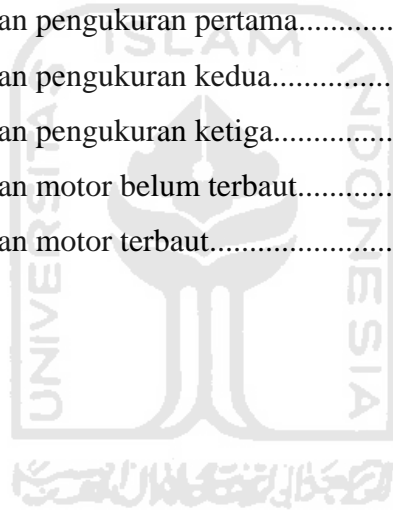


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan antara transmisi sabuk dan transmisi rantai.....	17
Tabel 3.1 <i>Part list</i> sumbu sistem transmisi sumbu Y.....	47
Tabel 4.1 Konfigurasi kecepatan meja kerja mesin CNC aktual.....	51
Tabel 4.2 Tabel nilai efisiensi dan <i>errors</i> seluruh sumbu.....	53
Tabel 4.3 Tabel evaluasi.....	54

Lampiran

Tabel B.1 Kesimpulan contoh pengukuran kelengkungan.....	6
Tabel B.2 Tabel kesimpulan pengukuran pertama.....	7
Tabel B.3 Tabel kesimpulan pengukuran kedua.....	8
Tabel B.4 Tabel kesimpulan pengukuran ketiga.....	9
Tabel B.5 Tabel kesimpulan motor belum terbaut.....	9
Tabel B.6 Tabel kesimpulan motor terbaut.....	10



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin CNC Hurco VMX24.....	4
Gambar 2.2 Aturan “tangan kanan” penentuan sumbu mesin <i>milling</i>	5
Gambar 2.3 <i>Point-to-point System</i>	6
Gambar 2.4 <i>Contouring System</i>	7
Gambar 2.5 <i>Open Loop System</i>	7
Gambar 2.6 <i>Close Loop System</i>	8
Gambar 2.7 <i>CNC 2 axis</i>	8
Gambar 2.8 <i>CNC 3 axis</i>	9
Gambar 2.9 <i>CNC 5 axis</i>	9
Gambar 2.10 <i>CNC Turning</i>	10
Gambar 2.11 Motor Listrik.....	10
Gambar 2.12 Silinder Hidrolik.....	11
Gambar 2.13 Mesin CNC spindel Z.....	12
Gambar 2.14 Mesin CNC spindel YZ.....	12
Gambar 2.15 Mesin CNC spindel XYZ.....	13
Gambar 2.16 Ulir ISO metrik.....	13
Gambar 2.17 Ulir Whitwort.....	14
Gambar 2.18 Ulir trapesium.....	14
Gambar 2.19 <i>Ballscrew</i>	14
Gambar 2.20 <i>Leadscrew</i>	15
Gambar 2.21 <i>Rollerscrew</i>	15
Gambar 2.22 Penggerak Sabuk.....	16
Gambar 2.23 Penggerak Rantai.....	16
Gambar 2.24 <i>Linear Guide</i>	18
Gambar 2.25 <i>Bearing Wheel</i>	18
Gambar 2.26 <i>V Bearings</i>	19
Gambar 2.27 Tampilan dari Autodesk Inventor.....	20
Gambar 2.28 <i>Box Coupling</i>	21
Gambar 2.29 Kopling Apit.....	21
Gambar 2.30 Kopling Flens.....	22

Gambar 2.31 Kopling Karet Ban.....	22
Gambar 2.32 Kopling Flens Fleksibel.....	23
Gambar 2.33 Kopling Roda Gigi.....	23
Gambar 2.34 Kopling Oldham.....	23
Gambar 2.35 Kopling Universal.....	24
Gambar 2.36 Kopling Plat.....	24
Gambar 2.37 Kopling Kerucut.....	24
Gambar 2.38 Sambungan kombinasi baut-pin.....	25
Gambar 2.39 Sambungan kombinasi mur-baut.....	25
Gambar 2.40 Sambungan kombinasi siku aluminium dan mur-baut.....	26
Gambar 2.41 Motor DC.....	26
Gambar 2.42 Motor Step.....	27
Gambar 2.43 Tampilan EMC2.....	28
Gambar 3.1 Diagram alir pembuatan Mesin CNC.....	29
Gambar 3.2 Kayu <i>Multiplex</i>	31
Gambar 3.3 Komponen penyusun roda kereta.....	32
Gambar 3.4 Kereta.....	32
Gambar 3.5 Ilustrasi kombinasi antara kereta dan rel.....	33
Gambar 3.6 Batang ulir pada sumbu Y.....	33
Gambar 3.7 Siku aluminium penguat rangka sisi dalam.....	34
Gambar 3.8 Baut dan mur penguat siku aluminium pada penguat rangka.....	34
Gambar 3.9 Sumbu X dan Y Mesin CNC.....	35
Gambar 3.10 Sumbu Z Mesin CNC.....	35
Gambar 3.11 Komponen Mesin CNC.....	36
Gambar 3.12 Komponen Sumbu Z Mesin CNC.....	36
Gambar 3.13 Meja CNC.....	39
Gambar 3.14 Meja CNC dan Rel Sumbu X.....	39
Gambar 3.15 Siku Aluminium dan Baut.....	40
Gambar 3.16 Roda Kereta.....	40
Gambar 3.17 Sumbu X.....	41
Gambar 3.18 komponen O & S sebagai Penopang rel sumbu Y.....	42
Gambar 3.19 Penopang Rel sumbu Y.....	42

Gambar 3.20 Sumbu Y.....	43
Gambar 3.21 Roda Kereta pada sumbu Y menempel pada rel sumbu.....	43
Gambar 3.22 Salah satu <i>bearing</i> pada tiang.....	44
Gambar 3.23 Sumbu Y terhubung dengan batang ulir.....	44
Gambar 3.24 Sumbu Y terpasang pada rel sumbu Y dan Rel sumbu Z pada sumbu Y.....	45
Gambar 3.25 Sumbu Z.....	45
Gambar 3.26 Sumbu Z sudah dipasang batang ulir penggerak.....	46
Gambar 3.27 Sumbu Z sudah terpasang pada rel sumbu Z.....	46
Gambar 3.28 Motor step terpasang pada mesin CNC.....	47
Gambar 3.29 Ilustrasi motor step terpasang ada <i>gantry</i>	47
Gambar 3.30 Skema rangkaian Mesin CNC.....	48
Gambar 3.31 Rangkaian mesin CNC dan sistem kontrol.....	48
Gambar 4.1 ISO Metric <i>Thread Profile</i>	50



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan mesin produksi dalam dunia perindustrian pada zaman modern seperti sekarang sudah sangat luas. Salah satu contoh mesin produksi modern yang digunakan adalah mesin CNC. Mesin CNC dapat digunakan baik untuk proses produksi maupun untuk proses pembelajaran. Contoh sejumlah pihak yang menggunakan mesin CNC diantaranya perusahaan-perusahaan perindustrian, terutama industri otomotif, penerbangan dan instansi-instansi pendidikan seperti universitas dan sekolah menengah. Pihak perusahaan menggunakan mesin CNC untuk proses produksi, sedangkan pihak instansi pendidikan menggunakan minimal sebuah mesin CNC untuk memperkenalkan kepada mahasiswa dan siswa, oleh karena itu sangat diperlukan tambahan pengetahuan mengenai semua hal yang berhubungan dengan mesin CNC. Namun bagi instansi pendidikan, untuk membeli sebuah mesin CNC yang ada dipasaran “hanya” untuk proses pembelajaran akan memberatkan, mengingat harga dari 1 unit mesin CNC berkisar ratusan juta rupiah. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dirancang dan dibuatlah sebuah mesin CNC buatan sendiri dengan modal yang relatif murah, yaitu berkisar antara Rp.10.000.000,- sampai Rp 15.000.000,- dan mudah cara pembuatan serta pengoperasiannya.

Mesin CNC yang akan dirancang dan dibangun ini dikatakan “mudah” proses pembuatan dan pengoperasiannya, karena bahan yang akan digunakan dapat dengan mudah ditemukan di sekitar dan alat yang diperlukan banyak terdapat di pertokoan peralatan teknik. Proses pengoperasiannya dikatakan “mudah” karena menggunakan aplikasi dan bahas pemrograman yang sederhana dan sudah dipelajari oleh mahasiswa pada mata kuliah yang berkaitan dengan pemrograman mesin CNC dan praktikum mesin CNC.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang di atas, maka dapat dipaparkan rumusan masalah yang akan dibahas, yaitu :

1. Bagaimana membuat sebuah mesin CNC dengan menggunakan bahan-bahan relatif murah dan mudah ditemukan di toko peralatan teknik.
2. Bagaimana menjadikan perancangan, pembangunan dan pengoperasian mesin CNC menjadi mudah, sehingga dapat dilakukan oleh siapa saja.

1.3. Batasan Masalah

Pembahasan tentang mesin CNC akan sangat luas sekali wilayah cakupannya, oleh karena itu diperlukan sejumlah batasan masalah, agar pembahasan tidak meluas ke pembahasan yang tidak sesuai dengan konteks dari isi laporan tugas akhir, berikut sejumlah batasan masalahnya :

1. Pembahasan mencakup pembuatan mesin CNC 3 axis dengan tipe *gantry*.
2. Berbahan dasar kayu *multiplex*
3. Jenis mesin CNC bertipe *gantry*.
4. Pergerakan menggunakan batang ulir Whitwort.
5. Menggunakan *software* EMC2.
6. Aktuator menggunakan motor step.
7. Mesin CNC menggunakan alat tulis spidol sebagai spindel.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan akhir setelah tugas akhir ini diselesaikan adalah :

1. Mewujudkan sebuah mesin CNC murah dan mudah.
2. Membangun konstruksi mesin CNC yang sederhana dan kuat.

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang diperoleh oleh penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini, adalah :

1. Memperoleh ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan segala sesuatu yang diperlukan untuk pembangunan konstruksi sebuah mesin CNC.
2. Mempraktekan kemampuan mengoperasikan mesin perkakas untuk proses permesinan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang disajikan dalam laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut, bab 1 berjudul pendahuluan, bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir dan sistematika penulisan laporan tugas akhir. Bab 2 berjudul dasar teori, bab ini membahas semua dasar-dasar teoritis dalam perancangan mesin CNC. Bab 3 berjudul metodologi perancangan, bab ini membahas *flowchart* atau diagram alur dari langkah kerja dalam merancang dan membangun sebuah Mesin CNC, yang di dalamnya terdapat alat dan bahan, setiap langkah dalam membangun mesin CNC disertai gambar yang dibuat dengan *software* Autodesk Inventor, kemudian pembahasan sekilas mengenai bahan, mekanisme pergerakan dan mekanisme penguatan rangka. Bab 4 berjudul hasil dan pembahasan, bab ini membahas rangkuman singkat mengenai hasil sebuah mesin CNC yang telah dibuat, tampilan mesin CNC dan akan dibahas pula kesalahan-kesalahan serta ketidaksempurnaan sebuah mesin CNC yang telah dibuat berupa tabel, guna dijadikan sebagai bahan evaluasi untuk ke depannya. Bab 5 berjudul penutup, bab ini berisi tentang sejumlah kesimpulan dan saran yang berkaitan tugas akhir ini, sehingga ke depannya tidak terulang kesalahan-kesalahan yang sama.

BAB II DASAR TEORI

2.1. Mesin CNC

Mesin CNC merupakan singkatan dari *Computer Numerically Controlled* atau kontrol kumerik berbasis komputer. Mesin CNC merupakan salah satu mesin perkakas yang banyak digunakan di dunia industri yang dilengkapi dengan sistem mekanik dan kontrol berbasis komputer yang mampu membaca bahasa mesin berkode misalnya N, G, F, T dan lain-lain. Kode-kode huruf tersebut akan menginstruksikan mesin CNC agar bergerak sesuai dengan program yang dibuat. Gambar 2.1 adalah contoh gambar mesin CNC.



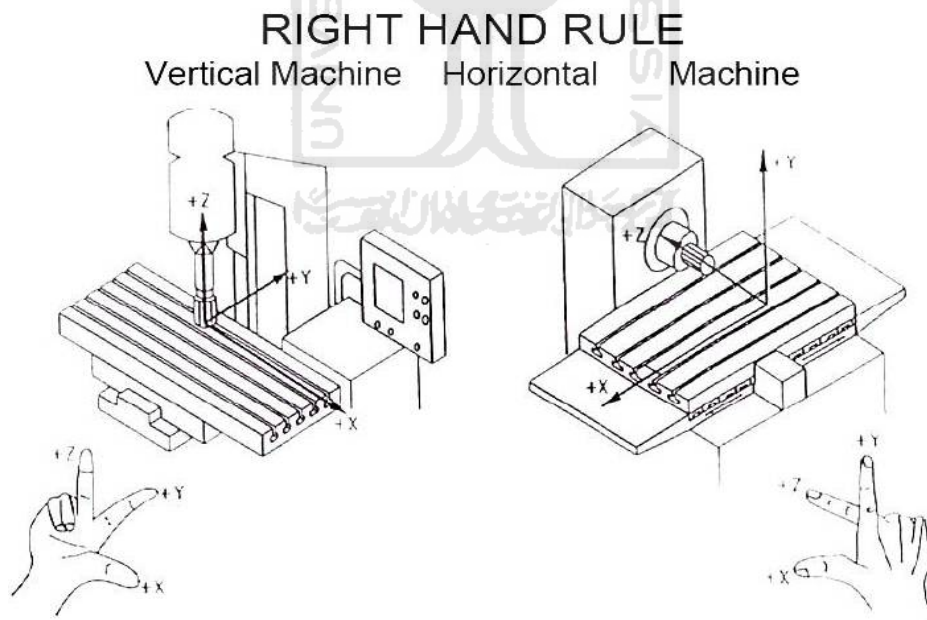
Gambar 2.1 Mesin CNC Hurco VMX24

Sejarah singkat awal lahirnya mesin CNC bermula dari 1947 yang dikembangkan oleh John Pearseon dari Institut Teknologi Massachusetts, atas nama Angkatan Udara (AU) Amerika Serikat. Pada tahun 1951 Servo mechanism Laboratory of Massachusetts Institute of Technology (MIT) menambahkan komputer ke sistem Pearseon atas sponsor Angkatan Udara Amerika Serikat. Semula proyek tersebut diperuntukan membuat benda kerja khusus yang rumit dan perangkat mesin CNC memerlukan biaya yang tinggi, serta volume unit pengendali yang besar. Pada tahun 1954 Mesin NC diluncurkan ke publik. Pada tahun 1975, produksi mesin CNC mulai berkembang pesat, perkembangan ini

dipacu oleh perkembangan mikroprosesor, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas. Sebuah mesin CNC memiliki arah pergerakan yang beragam, arah pergerakan ini lebih dikenal dengan sumbu gerak atau *axis*. Mesin CNC yang dibahas dalam laporan ini adalah mesin CNC 3 *axis* atau 3 arah sumbu gerak, yaitu sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z. (Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_control)

2.2. Penentuan *axis* Mesin CNC

Pergerakan dalam mesin CNC, arah gerak sumbu merupakan hal yang penting, karena jumlah arah gerak sumbu atau *axis* menunjukkan kemampuan mesin CNC tersebut dalam menghasilkan produk. Semakin banyak jumlah *axis* yang dimiliki sebuah mesin CNC, berarti semakin rumit produk yang dapat dibuat mesin CNC tersebut. Penentuan *axis* sebuah mesin CNC berpedoman standar yang ada yaitu standar ISO 841 dan DIN 66217. Ilustrasi tentang penentuan *axis* dapat dilihat pada Gambar 2.2. (<http://www.iso.ch>).



Gambar 2.2 Aturan “tangan kanan” penentuan sumbu mesin *milling*.

2.3. Klasifikasi Mesin CNC

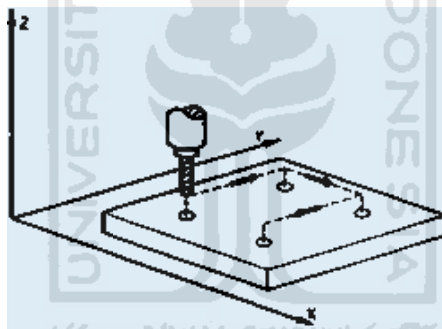
Menurut Rao (2010) Ada banyak jenis mesin CNC yang terdapat di pasaran dan memiliki klasifikasi tertentu. Berikut adalah dasar-dasar yang digunakan untuk mengklasifikasikan sebuah mesin CNC. (Sumber :

2.3.1. Berdasarkan Tipe Gerak Pahat

Berdasarkan tipe gerak pahatnya, mesin CNC dibagi menjadi 2, yaitu *point to point system* dan *contouring system*. Berikut adalah penjelasan dari kedua tipe tersebut.

a. *Point-to-point System*

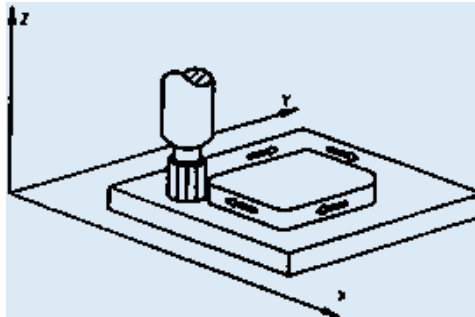
Point to point system adalah pergerakan pahat mesin CNC yang bergerak dari satu titik koordinat ke titik koordinat lainnya, digunakan pada proses *boring*, *drilling* dan *cutting*. Ilustrasi penjelasan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Point-to-point System* (Sumber : Rao, 2010)

b. *Contouring System*

Contouring system adalah pergerakan pahat mesin CNC yang bergerak mengikuti titik koordinat yang lebih kompleks, dimana titik koordinat tersebut menghasilkan sebuah produk yang memiliki ketinggian permukaan yang bervariasi, digunakan pada proses *milling*. Ilustrasi penjelasan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



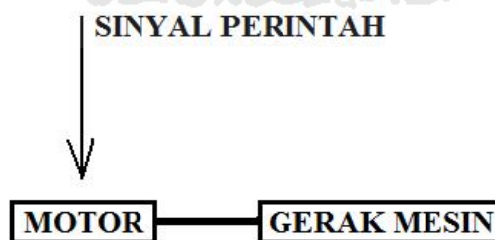
Gambar 2.4 *Contouring System* (Sumber : Rao, 2010)

2.3.2. Berdasarkan Kontrol Rangkaian

Berdasarkan kontrol rangkaiannya, mesin CNC dibagi menjadi 2 tipe, yaitu *open loop system* dan *close loop system*. Mesin CNC yang akan dibuat bertipe *close*, berikut adalah penjelasan dari kedua tipe kontrol rangkaian.

a. *Open Loop System*

Open loop system adalah sistem kontrol mesin CNC yang bersifat rangkaian terbuka, dimana pada saat program dijalankan ke motor step, tidak ada sistem umpan balik yang mengirimkan informasi apakah kecepatan dan posisi pahat sudah berjalan sesuai dengan program atau belum. Sistem ini banyak digunakan proses *drilling* dan *boring*, dimana tidak dituntut keakurasian yang terlalu tinggi. Ilustrasi *open loop system* terdapat pada skema Gambar 2.5.

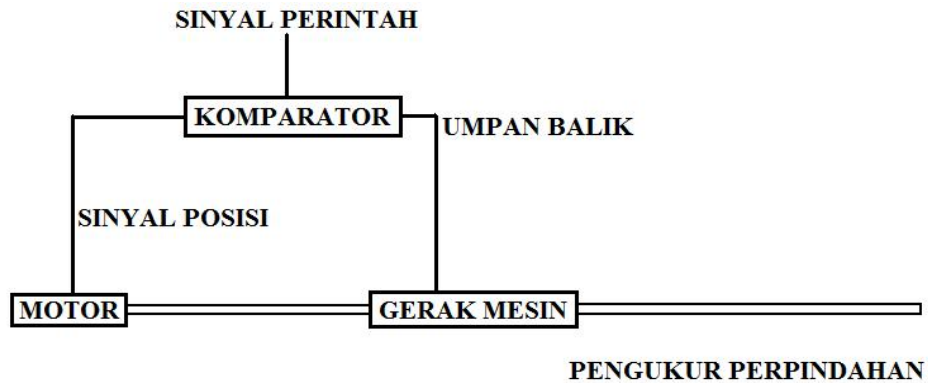


Gambar 2.5 *Open Loop System*

b. *Close Loop System*

Close loop system adalah sistem kontrol mesin CNC yang bersifat rangkaian tertutup, dimana pada saat program dijalankan ke motor step, terdapat umpan balik yang mengirimkan informasi apakah posisi dan kecepatan sudah berjalan sesuai program atau belum. Informasi yang dikirim dapat berupa data

digital berupa pulsa elektrik maupun *analog* berupa tegangan atau *voltage*. Ilustrasi *close loop system* terdapat pada skema Gambar 2.6.



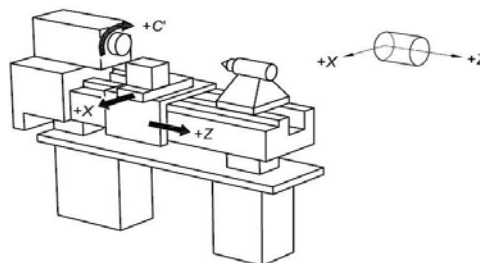
Gambar 2.6 *Close Loop System*

2.3.3. Berdasarkan Jumlah Axis

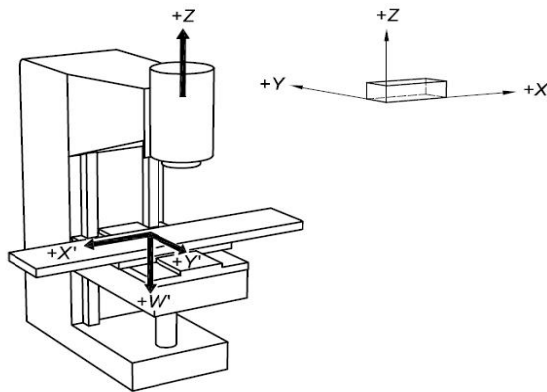
Berdasarkan jumlah *axis*, mesin CNC dibagi ke dalam 2 jenis, yaitu 2 *and* 3 *axis*, 4 *and* 5 *axis* dan *turning centre*. Mesin CNC yang akan dibuat bertipe 3 *axis*. Berikut adalah penjelasan dari ketiga tipe.

a. 2 *and* 3 *axis*

Mesin CNC 2 *axis* adalah mesin CNC yang hanya memiliki 2 buah arah pergerakan, yaitu sumbu X dan Y. Sedangkan mesin CNC 3 *axis* adalah mesin CNC yang memiliki 3 buah arah pergerakan pahat, yaitu sumbu X, Y dan Z, jenis ini merupakan jenis mesin CNC yang akan dibuat. Ilustrasi dari kedua jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 *CNC 2 axis* (Sumber : <http://www.iso.ch>)



Gambar 2.8 *CNC 3 axis* (Sumber : <http://www.iso.ch>)

b. *4 and 5 axis*

Mesin *CNC 5 axis* adalah mesin *CNC* yang memiliki arah pergerakan yang lebih banyak, yaitu sumbu X, Y, Z, A dan B. Sumbu A adalah sumbu yang tercipta dikarenakan pahat yang bisa bergerak rotasi dan sumbu B adalah sumbu yang tercipta dikarenakan meja kerja yang dapat bergerak rotasi. Perbedaan dengan mesin *CNC 4 axis* adalah tidak adanya salah satu sumbu antara sumbu A atau B. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *CNC 5 axis* (Sumber : Rao, 2010)

c. *Turning Centre*

Mesin *CNC* tradisional yang mata pahatnya bergerak vertikal dan tegak lurus terhadap meja kerjanya. Sedangkan mesin *CNC* dengan tipe *turning center* adalah mesin *CNC* yang mata pahatnya terletak horisontal dan sejajar terhadap meja kerjanya. Gambar 2.10 merupakan gambar mesin *CNC turning centre*.



Gambar 2.10 *CNC Turning*

2.3.4. Berdasarkan *Power Supply*

Berdasarkan *power supply*-nya mesin CNC dibagi menjadi 3 jenis, *electric motor*, *pneumatic* dan *hidraulic power supply*. Mesin CNC yang akan digunakan menggunakan *power supply* berupa *electric motor*. Berikut adalah penjelasan ketiga jenis *power supply*.

a. *Electric Motor*

Motor listrik yang digunakan adalah motor *Alternative Current (AC)* dan motor *Direct Current (DC)*. Penggunaan motor listrik untuk operasional mesin-mesin yang kecil dan pada kecepatan yang tinggi namun torsi kecil. Bila diperlukan dapat digunakan *gearbox* untuk meningkatkan torsi. Gambar 2.11 merupakan contoh dari motor listrik. Motor listrik merupakan jenis aktuator yang akan digunakan pada mesin CNC yang akan dibuat.



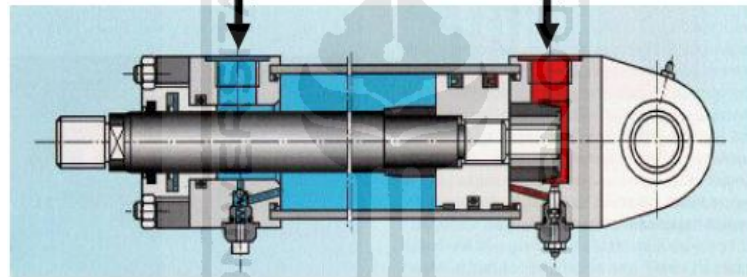
Gambar 2.11 Contoh motor listrik

b. *Pneumatic System*

Pneumatic system adalah salah satu sistem sumber tenaga pada mesin CNC yang menggunakan tenaga fluida berupa angin yang bersumber dari kompresor. Penggunaan sistem *pneumatic* memiliki kelebihan, salah satunya adalah aman, karena tidak mudah terbakar. Namun kekurangannya pada mesin CNC adalah tidak dapat bergerak dengan tepat sesuai dengan program yang ditulis.

c. *Hidraulic System*

Hidraulic system adalah salah satu sistem sumber tenaga pada mesin CNC yang menggunakan tenaga fluida berupa cairan seperti oli maupun air. Penggunaan sistem hidrolik digunakan jika dibutuhkan torsi yang besar tanpa menggunakan *gearbox*. Gambar 2.12 merupakan contoh dari gambar silinder hidrolik.



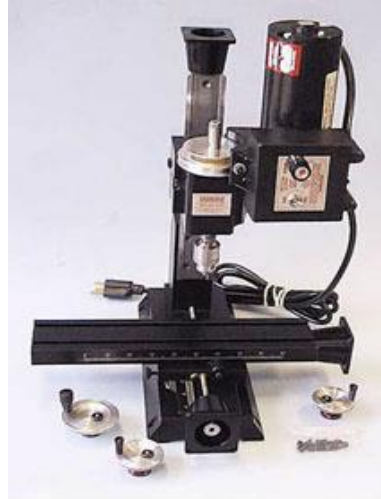
Gambar 2.12 Silinder Hidrolik

2.3.5. Berdasarkan Konstruksi Pergerakan

Berdasarkan konstruksi pergerakannya mesin CNC dibagi ke dalam 3 jenis, yaitu spindel Z, spindel YZ dan spindel XYZ. Mesin CNC yang akan dibuat bertipe spindel XYZ. Berikut adalah penjelasan mengenai ketiga jenis mesin CNC ini.

a. Spindel Z

Jenis mesin CNC yang pertama adalah mesin CNC yang pergerakan spindelnya pada sumbu Z saja, sedangkan meja kerja dapat bergerak ke 2 arah yaitu sumbu X dan Y. Ilustrasi untuk mesin CNC sumbu Z terdapat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Mesin CNC spindel Z (Sumber : Will O'brien, 2006)

b. Spindel YZ

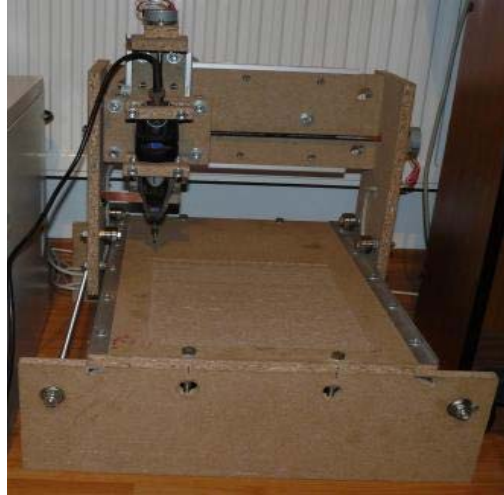
Jenis mesin CNC spindel YZ artinya spindel pahat bergerak pada 2 sumbu saja, yaitu sumbu Y dan Z, sedangkan meja kerja mesin CNC dapat bergerak dan berfungsi sebagai sumbu X, ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Mesin CNC spindel YZ (Sumber : <http://www.gadget-eneews.com/2011/01/10/diy-cnc-machine-just-390/>)

c. Spindel XYZ

Jenis terakhir merupakan jenis mesin CNC yang dimana spindelnya bergerak pada 3 buah sumbu atau pada semua sumbu yang tersedia, yaitu sumbu X, Y dan Z. Sedangkan untuk mejanya tidak bergerak sama sekali, seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Mesin CNC spindel XYZ (Sumber :

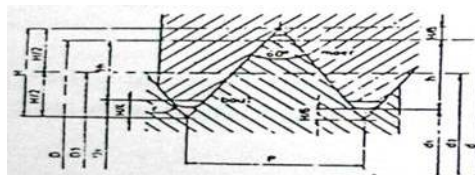
http://letsmakerobots.com/files/field_primary_image/P1080668.JPG?)

2.4. Mekanisme Transmisi

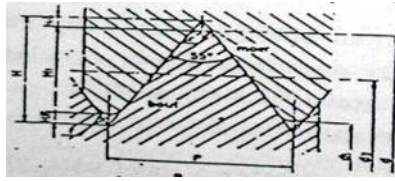
Mesin CNC memiliki meja dan mata pahat yang bergerak ke arah sumbu tertentu sesuai dengan jenisnya. Agar meja dan pahat dapat bergerak, diperlukan sistem transmisi yang mentransmisikan daya dari aktuator untuk menggerakkan meja dan mata pahat ke arah sumbunya. Sistem transmisi pada mesin CNC diklasifikasikan ke dalam sejumlah jenis, di antaranya. (Sumber : <http://www.cncroutersource.com/>)

2.4.1. Penggerak Ulir

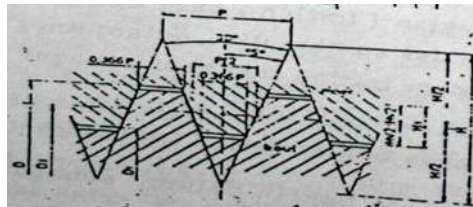
Ulir merupakan salah satu dari jenis sistem transmisi daya yang ada dan merupakan bagian dari sebuah konstruksi sebuah mesin yang keberadaannya sangat vital. Berdasarkan dengan bentuk ulirnya, ulir dibagi ke dalam 3 fungsi, yaitu ulir ISO metrik yang berfungsi sebagai pemersatu komponen, ulir Whitworth berfungsi sebagai pencegah kebocoran sekaligus pemersatu dan ulir trapesium berfungsi sebagai penerus daya dalam sistem transmisi. Gambar 2.16, 2.17 dan 2.18 merupakan gambar dari ketiga jenis ulir. (Sumber : Erina, 2007)



Gambar 2.16 Ulir ISO metrik



Gambar 2.17 Ulir Whitwort



Gambar 2.18 Ulir Trapesium

Salah satu fungsi ulir adalah sebagai transmisi daya. Jenis dari ulir transmisi daya adalah sebagai berikut. (Sumber : <http://www.cncroutersource.com/>)

a. *Ballscrew*

Ballscrew adalah komponen transmisi yang mengubah gerak rotasi menjadi gerak translasi dengan memanfaatkan bola-bola logam di dalamnya, sehingga gaya gesek pada batang ulir menjadi rendah. Gambar *ballscrew* terdapat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 *Ballscrew* (Sumber : <http://www.ballscrewreview.com/images/ballscrew-assemblies.jpg>)

b. *Leadscrew*

Leadscrew adalah jenis transmisi ulir yang dimana perubahan gerak dari rotasi ke translasi menggunakan kombinasi ulir dalam pada mur dan ulir luar pada

batang ulir. Mesin CNC yang akan dibuat memiliki mekanisme transmisi berupa penggerak ulir berjenis *leadscrew*. Gambar 2.20 adalah gambar *leadscrew*.



Gambar 2.20 *Leadscrew* (Sumber :

<http://buildyourcnc.com/images/leadscrews1.jpg>, 2008)

c. *Rollerscrew*

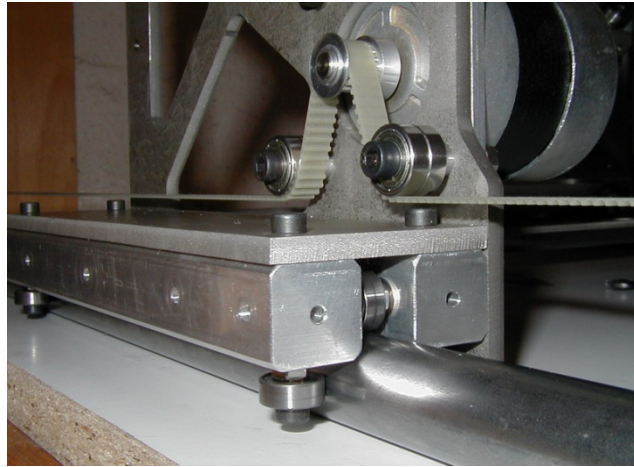
Rollerscrew adalah jenis transmisi ulir yang bertipe mirip dengan *leadscrew* yaitu menggunakan kombinasi ulir, namun kombinasi ulir yang digunakan hanya ulir luar. Ulir utama berdiameter lebih besar dari pada pasangan ulir yang mengelilingi ulir utama. Gambar 2.21 merupakan bentuk dari *rollerscrew*.



Gambar 2.21 *Rollerscrew* (Sumber : Lewotsky, 2007)

2.4.2. Penggerak Sabuk

Sistem transmisi daya lain yang biasa digunakan pada mesin CNC adalah sistem transmisi sabuk. Klasifikasi sistem transmisi sabuk di antaranya sabuk rata, sabuk V, sabuk gilir atau *timing* dan sabuk *ribbed V*. Gambar 2.22 merupakan ilustrasi sistem transmisi sabuk gilir. (Sumber : Risdiyono, 2005)



Gambar 2.22 Penggerak Sabuk (Sumber : <http://www.bg-cnc.com/wordpress/?p=94>, 2008

2.4.3. Penggerak Rantai

Sistem transmisi daya yang ketiga adalah transmisi daya rantai. Gambar 2.23 merupakan ilustrasi dari sistem transmisi rantai. Tipe transmisi antara sabuk dan rantai memiliki persamaan konstruksi, namun perbedaan terletak pada kemampuannya dalam mentransmisikan daya, Tabel 2.1 merupakan perbandingan antara transmisi sabuk dan rantai.



Gambar 2.23 Penggerak Rantai (Sumber : <http://www.ez-router.com/products/cnc-accessories/oxy-fuel-accessories>, 2010)

Tabel 2.1 Perbandingan antara transmisi sabuk dan transmisi rantai.

Tipe Transmisi	Kelebihan	Kekurangan
Sabuk	<ul style="list-style-type: none"> • Pergerakan halus (<i>noiseless</i>) • Pembuatan mudah • Cocok untuk kecepatan kontinyu • Pemasangan lebih mudah 	<ul style="list-style-type: none"> • Daya transmisi lebih rendah • Putaran rendah • Perbandingan kecepatan tidak akurat, karena ada <i>selip</i> • Terpengaruh suhu
Rantai	<ul style="list-style-type: none"> • Daya transmisi lebih besar • Putaran tinggi • Perbandingan kecepatan konstan, tidak <i>selip</i> • Tidak terpengaruh suhu lingkungan 	<ul style="list-style-type: none"> • Pergerakan tidak halus • Pembuatan sulit • Pemasangan harus teliti • Perubahan kecepatan <i>step-by-step</i>.

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 2.1 jika mesin CNC menggunakan transmisi sabuk, haruslah dioperasikan pada putaran mesin yang sesuai dengan kemampuan sabuknya. Jangan sampai terlalu tinggi, jika terlalu tinggi maka sabuk akan selip, akibatnya titik koordinat yang diprogramkan tidak akan sesuai dengan kenyataan. Sedangkan untuk transmisi rantai, dalam pemasangannya haruslah teliti karena pemasangan lebih sulit. Jika pemasangan tidak teliti maka pergerakan mata pahat yang dihasilkan tidak akan sama dengan program yang diprogram.

2.4.4. Komponen Pendukung

Pergerakan mesin CNC dari satu sisi ke sisi yang lain dapat terwujud ketika sistem transmisi mesin CNC didukung oleh komponen pendukung. Komponen pendukung diantaranya. (Sumber : <http://www.cncroutersource.com/>)

a. *Linear Guide*

Linear guide merupakan komponen yang membantu komponen mesin CNC dapat berpindah tempat dari satu posisi ke posisi lain. Komponen ini dapat berupa penopang komponen yang bergerak, seperti pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 *Linear Guide* (Sumber : Max, 2008)

b. *Bearing Wheel*

Komponen pendukung selanjutnya adalah *bearing wheel*. *Bearing wheel* merupakan pendukung gerak komponen mesin CNC berupa roda *bearing* yang berada tegak lurus terhadap jalur rel gerak komponen mesin CNC dan komponen tempat rel berada. Gambar 2.25 merupakan gambar dari *bearing wheel*.

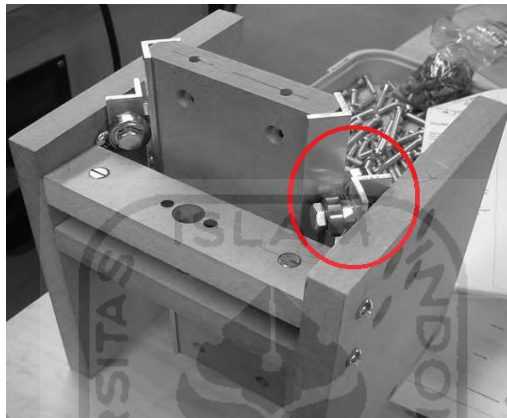


Gambar 2.25 *Bearing Wheel* (Sumber :

http://letsmakerobots.com/files/field_primary_image/P1080668.JPG?)

c. *V Bearings*

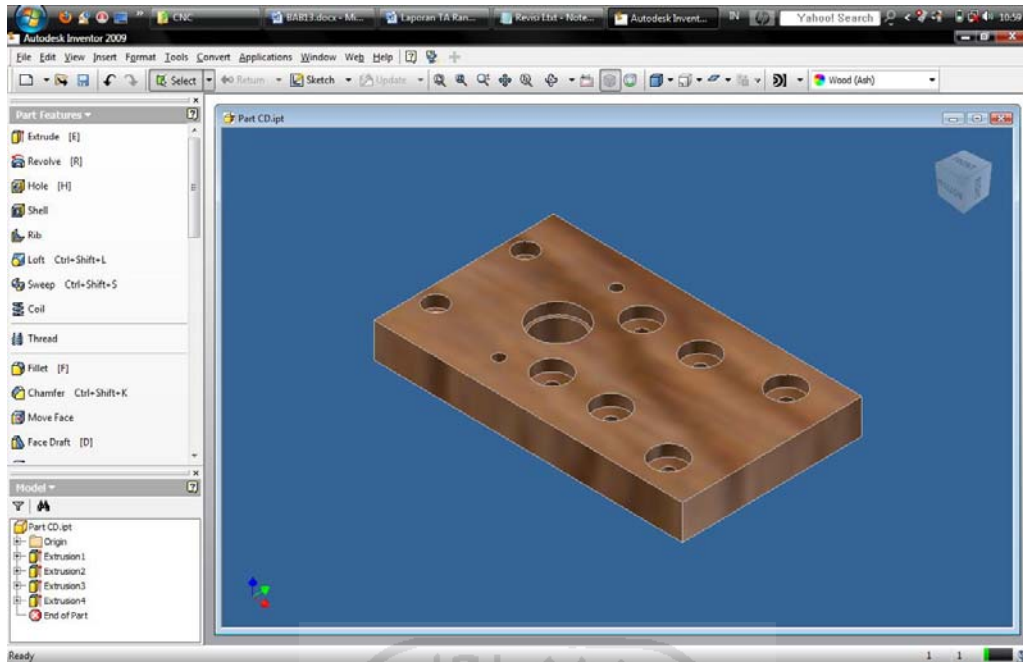
Komponen pendukung yang terakhir berbentuk mirip dengan *bearing wheel*, namun perbedaannya terletak pada posisi roda *bearing* dan rel pergerakan, terhadap lokasi tempat rel berada. Bentuk dari komponen pendukung ini menyerupai huruf V, sehingga dinamakan *V bearings*. Bentuk dari *V bearings* terdapat pada Gambar 2.26. *V bearings* merupakan komponen pendukung yang akan digunakan dalam mendukung pergerakan mesin CNC yang akan dibuat.



Gambar 2.26 *V Bearings* (Sumber : Daniel, 2009)

2.5. Desain

Salah satu bagian terpenting yang harus dilakukan dalam membuat sebuah produk adalah pendesainan produk. Ada sejumlah *software* yang dapat digunakan untuk membuat desain dari sebuah produk, salah satu perusahaan *software* yang mengembangkannya adalah Autodesk, di antaranya adalah AutoCAD, Inventor, SolidWorks, SolidEdge, ProEngineer, CATIA dan NX. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, digunakan *software* Autodesk Inventor 2009, tampilan Autodesk Inventor 2009 dapat dilihat pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Tampilan dari Autodesk Inventor

Autodesk Inventor adalah salah satu *software* desain mekanik 3 dimensi yang dapat digunakan untuk membuat *digital phrototype* dari produk yang akan dirancang dalam bentuk 3 dimensi, selain itu Inventor dapat digunakan untuk memvisualisasikan produk sesuai dengan bahan yang nantinya akan dibuat, baik logam, kayu, plastik dan bahan-bahan lainnya yang dapat dipilih. Selain desain 3 dimensi, fasilitas lain yang diberikan Inventor diantaranya, simulasi gerak, analisa tegangan dan gambar pandangan suatu gambar teknik. (Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor).

2.6. Klasifikasi Kopling

Kopling merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi menghubungkan 2 buah batang poros sehingga putaran dan daya dari poros sebuah mesin penggerak atau *driver* dapat diteruskan ke poros sebuah mesin yang digerakan atau *driven*, dimana kedua poros tersebut harus memiliki sumbu garis yang sama atau dengan kata lain memiliki kesamaan sumbu. (Sumber : Risdiyono, 2005).

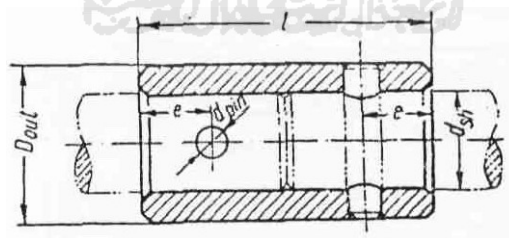
2.6.1. Kopling Tetap

Kopling tetap merupakan kopling yang koneksi antar kedua porosnya permanen, kedua poros harus selalu dalam keadaan terhubung dan hubungan kedua poros hanya dapat dilepas dalam keadaan poros tidak berputar. Kopling tetap yang dimaksud disini bukanlah koneksi yang tidak dapat dilepas seutuhnya, namun masih bisa dilepas, namun harus dalam keadaan berhenti. Berbeda dengan sambungan las yang tidak dapat dilepas sama sekali baik dalam keadaan berputar maupun berhenti. Kopling tetap dibagi dalam 2 jenis, yaitu kopling kaku dan kopling fleksibel.

a. Kopling Kaku

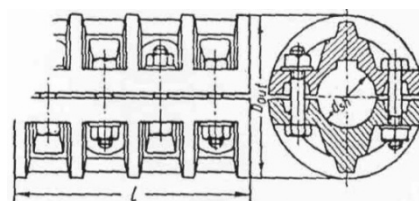
Kopling kaku merupakan jenis kopling tetap yang dapat digunakan apabila dibutuhkan terjadinya kesamaan sumbu pada kedua poros dan tidak mengizinkan terjadinya *misalignment*. Ada sejumlah contoh dari kopling kaku, diantaranya kopling bus, kopling apit dan kopling flens. Bentuk dari kopling tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.28, 2.29 dan 2.30. Kopling selongsong atau bus merupakan jenis kopling yang akan digunakan untuk mentransmisikan daya motor step pada mesin CNC yang akan dibuat.

- Kopling Bus



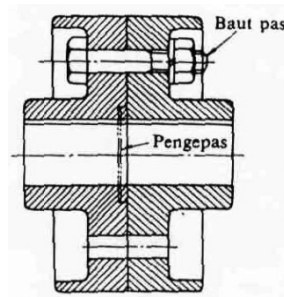
Gambar 2.28 *Box Coupling* (Sumber : Risdiyono, 2005)

- Kopling Apit



Gambar 2.29 Kopling Apit (Sumber : Risdiyono, 2005)

- Kopling Flens

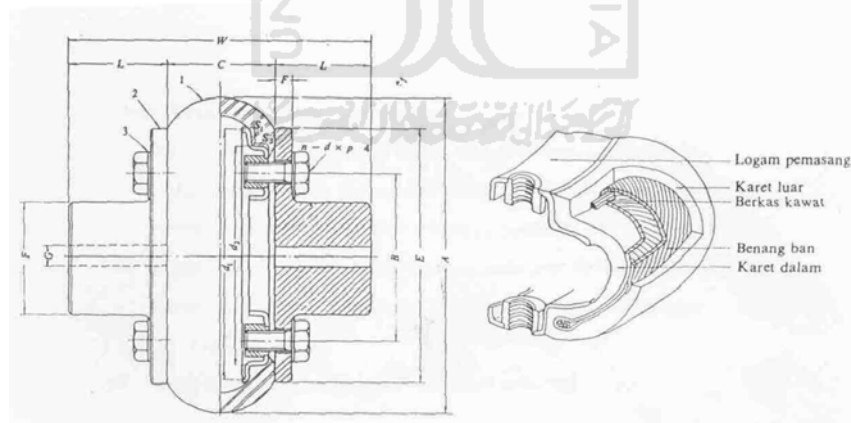


Gambar 2.30 Kopling Flens (Sumber : Risdiyono, 2005)

- b. Kopling Fleksibel

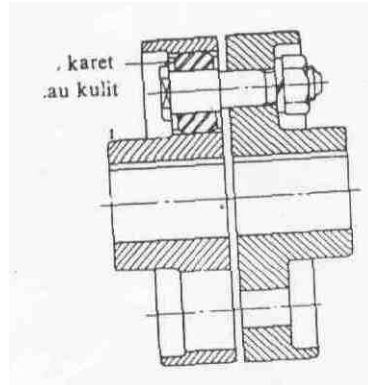
Kopling fleksibel digunakan apabila dibutuhkan fleksibilitas, kondisi ini mengizinkan terjadinya sedikit ketidaksatusumbuan kedua buah poros. Beberapa jenis ketidaklurusan sumbu diantaranya, pergeseran aksial, eksentrisitas, *angular missalignment* dan pergeseran puntir. Ada beberapa jenis kopling fleksibel, bentuk dari seluruh kopling fleksibel dapat dilihat pada Gambar 2.31, 2.32, 2.33, 2.34 dan 2.35.

- Kopling Karet Ban



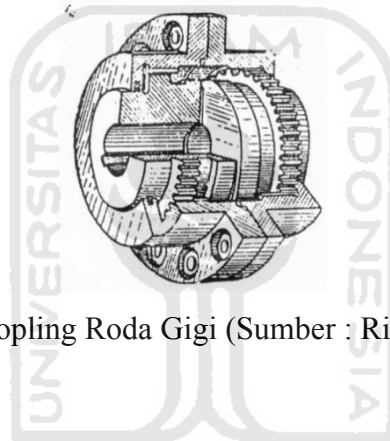
Gambar 2.31 Kopling Karet Ban (Sumber : Risdiyono, 2005)

- Kopling flens fleksibel



Gambar 2.32 Kopling Flens Fleksibel (Sumber : Risdiyono, 2005)

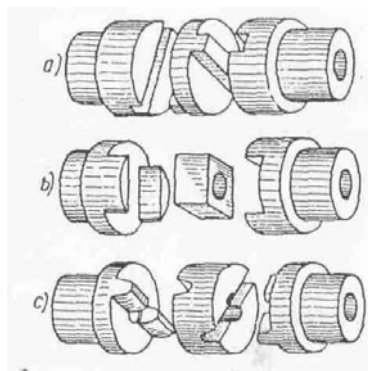
- c. Kopling Roda Gigi



Gambar 2.33 Kopling Roda Gigi (Sumber : Risdiyono, 2005)

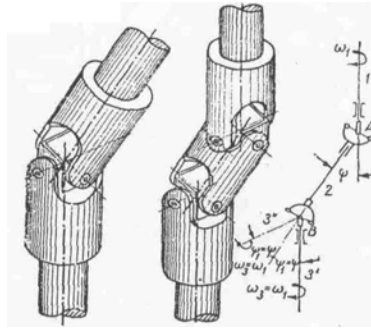
- d. Kopling Rantai

- e. Kopling Oldham



Gambar 2.34 Kopling Oldham (Sumber : Risdiyono, 2005)

f. Kopling Universal

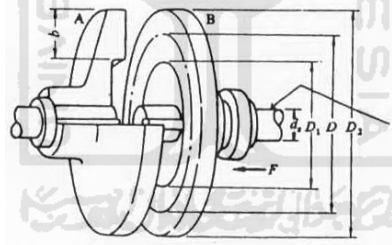


Gambar 2.35 Kopling Universal (Sumber : Risdiyono, 2005)

2.6.2. Kopling Tak Tetap

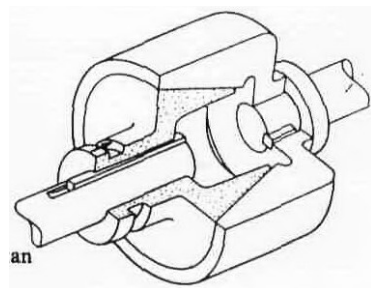
Kopling tak tetap merupakan kopling yang koneksi antar porosnya bukanlah koneksi yang permanen, koneksi kedua poros tidak harus dalam keadaan terhubung dan koneksi kedua poros dapat dilepas baik dalam keadaan berputar maupun berhenti. Jenis kopling tak tetap terdapat pada Gambar 2.36 dan 2.37.

a. Kopling Plat



Gambar 2.36 Kopling Plat (Sumber : Risdiyono, 2005)

b. Kopling Kerucut



Gambar 2.37 Kopling Kerucut (Sumber : Risdiyono, 2005)

2.7. Sambungan

Mesin CNC yang akan dirancang dan dibangun merupakan kumpulan dari komponen-komponen kecil yang dirakit menjadi mesin CNC yang besar dan kokoh, oleh karena banyaknya komponen-komponen kecil maka diperlukan jenis sambungan yang kuat dan kokoh. Ada beberapa jenis sambungan yang biasa digunakan dan dapat dilihat pada Gambar 2.38, 2.39 dan 2.40. Sambungan siku aluminium merupakan sambungan yang akan digunakan dalam pembuatan mesin CNC. (Sumber : Daniel, 2009).



Gambar 2.38 Sambungan kombinasi baut-pin (Sumber : Daniel, 2009)



Gambar 2.39 Sambungan kombinasi mur-baut (Sumber : Daniel, 2009)



Gambar 2.40 Sambungan kombinasi siku aluminium dan mur-baut

2.8. Aktuator

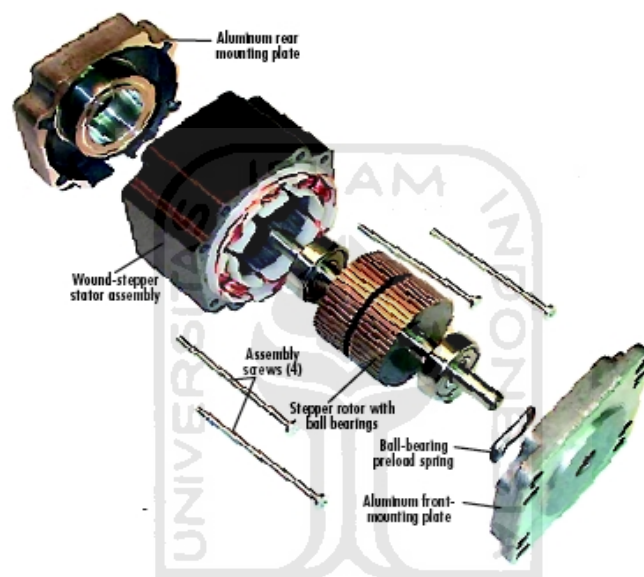
Sebuah mesin CNC untuk dapat bergerak, tentunya membutuhkan penggerak. Alat yang digunakan untuk menghasilkan aksi atau gerak disebut aktuator. Klasifikasi aktuator adalah aktuator elektrik, aktuatur pneumatik dan aktuator hidrolis. Perancangan mesin CNC dalam pemilihan aktuatornya dipilih aktuator elektrik. Aktuator elektrik sendiri memiliki jenis-jenis yang diantaranya motor DC dan motor AC.

Menurut Guntoro 2008, Motor DC (*Direct Current*) atau motor listrik arus searah adalah motor yang menggunakan arus listrik langsung secara tidak langsung. Motor DC digunakan untuk penggunaan yang membutuhkan torsi awal yang tinggi dan percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas. Gambar 2.41 merupakan tampilan dalam dari motor DC. Contoh dari motor DC adalah motor step. (Sumber : Forum Dunia Listrik, Guntoro, 2008)



Gambar 2.41 Motor DC (Sumber : <http://gallantmotor.com/acvsdc>)

Pembahasan motor listrik akan difokuskan kepada motor step, karena motor step merupakan aktuator yang akan digunakan dalam pembuatan mesin CNC. Motor step atau *stepper motor* merupakan motor yang mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan rotor yang diskrit disebut *step*. Misalnya jika satu derajat per langkah (*step*) maka motor tersebut memerlukan 360 pulsa untuk bergerak sebanyak satu putaran. Ukuran kerja dari motor step biasanya diberikan dalam jumlah langkah per putaran per detik. Gambar 2.42 merupakan gambar dari contoh motor step. (Sumber : Pamungkas, 2010)

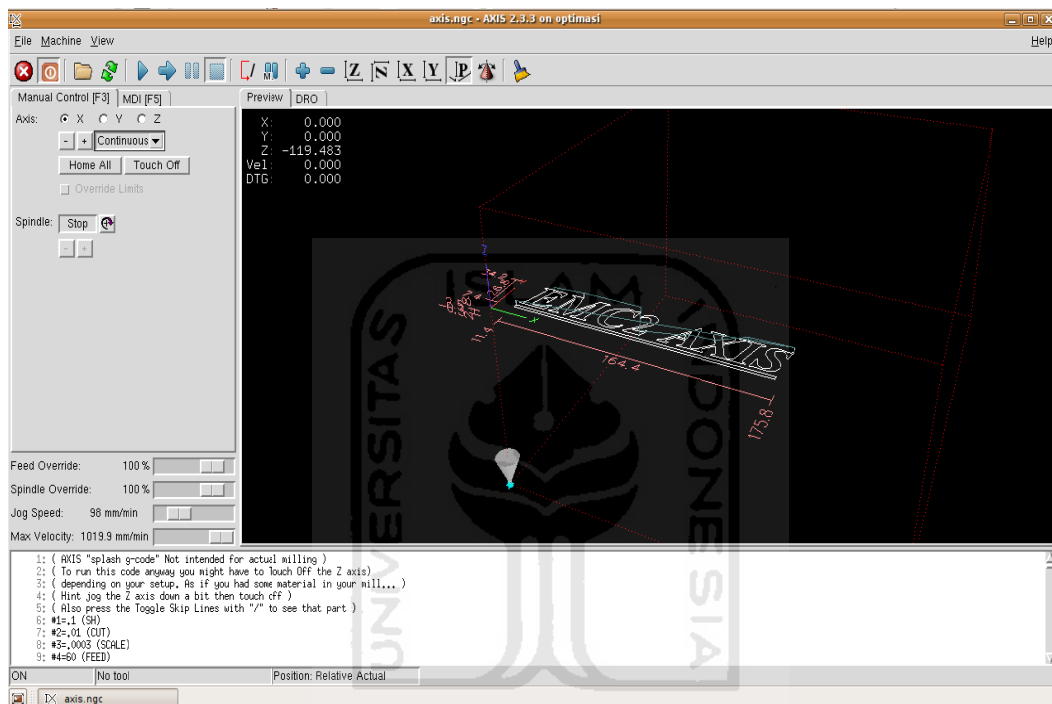


Gambar 2.42 Motor Step (Sumber : Lefebvre, 2005)

2.9. Controller Software

Pergerakan aktuator yang digunakan di mesin CNC ini dioperasikan dengan menggunakan program Gcode yang umum digunakan pada mesin CNC konvensional. Ada beberapa *controller software* yang umum digunakan untuk memprogram mesin CNC dengan Gcode, diantaranya EMC2 dan Mach3. Pada dasarnya kedua *controller software* ini sama, namun ada sedikit perbedaan antara keduanya. *Controller software* Mach3 merupakan *software* yang jika ingin menggunakannya harus membayar sejumlah uang untuk memiliki *software* ini dan pengoperasiannya menggunakan windows. Sedangkan *controller software* EMC2 dapat digunakan dengan gratis dan penggunaannya menggunakan Linux.

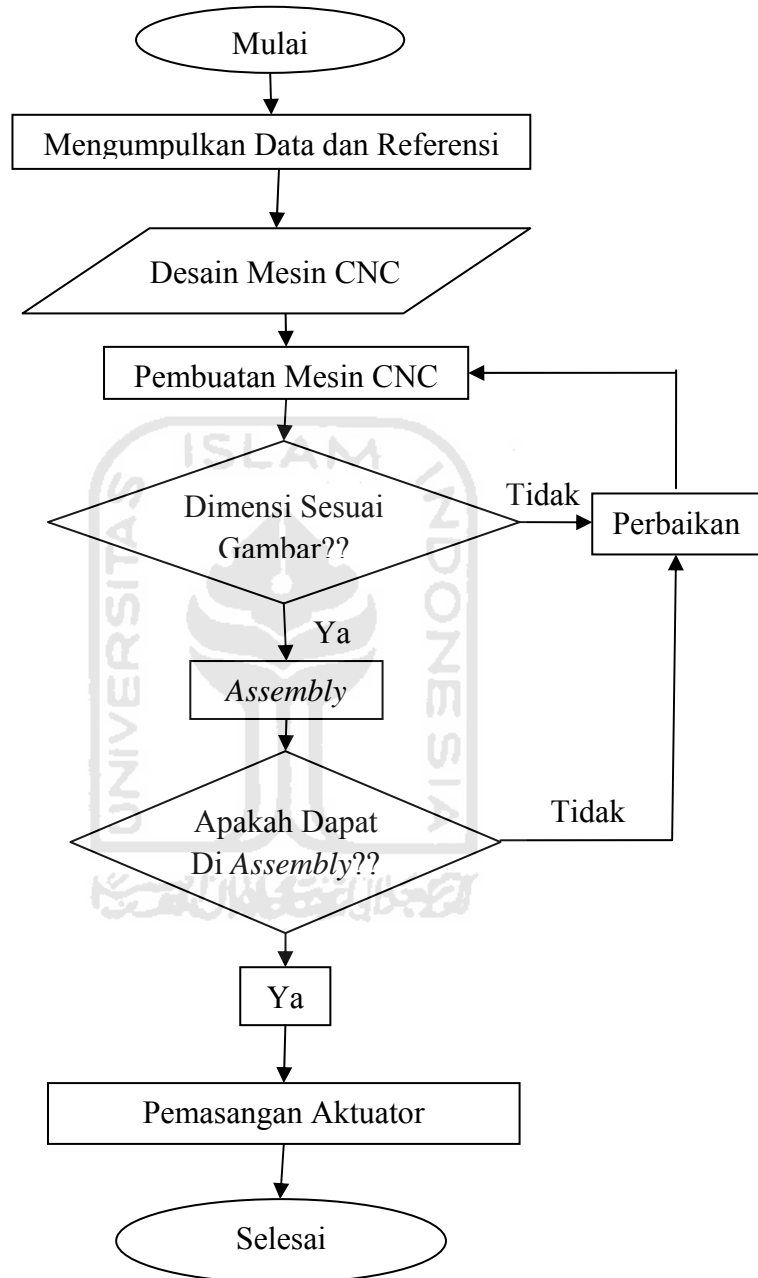
EMC2 merupakan sebuah singkatan dari *Enhanced Machine Control* (<http://www.linuxcnc.org/>) merupakan sebuah *software* untuk kontrol komputer dari sebuah mesin perkakas, seperti mesin *milling*. *Operating System* (OS) dari *software* EMC2 dioperasikan pada Linux. Gambar 2.43 merupakan tampilan dari *software* EMC2. EMC 2 merupakan *controller software* yang akan digunakan untuk mengoperasikan mesin CNC yang akan dibuat.



Gambar 2.43 Tampilan EMC2

BAB III
METODOLOGI PERANCANGAN

3.1. Flowchart Perancangan



Gambar 3.1 Diagram alir pembuatan Mesin CNC

3.2. Mengumpulkan Data dan Referensi

Mencari sumber-sumber bacaan yang dapat mendukung penelitian, serta mencari tempat-tempat yang menyediakan segala komponen yang diperlukan, baik komponen inti maupun komponen penunjang. Tempat-tempat yang dimaksud adalah perusahaan kayu, toko mur-baut, toko aluminium dan toko peralatan teknik.

Sarana dan prasarana yang diperlukan adalah segala sesuatu yang perlu dipersiapkan sebelum proses membangun sebuah mesin CNC. Meliputi alat dan bahan yang nantinya akan sangat berguna dalam pengerjaan mesin CNC, termasuk menyiapkan komponen-komponen pergerakan mesin CNC.

3.2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam membuat tugas akhir ini di antaranya adalah sebagai berikut

- Obeng
- Kunci pas
- Kunci pembuat ulir dalam
- Mesin bubut dan pahat
- Mesin *drill* dan mata *drill*
- Gerinda
- Gergaji

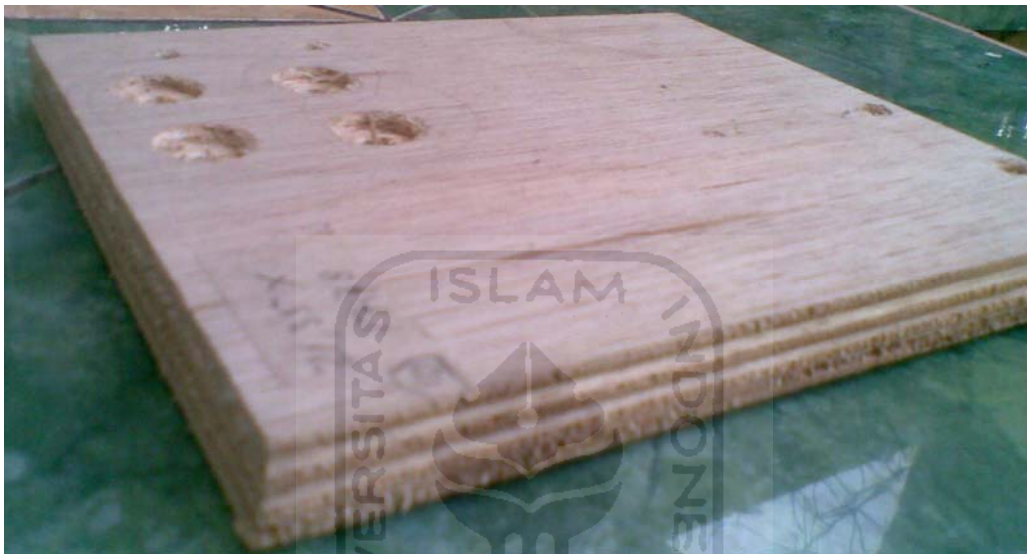
3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam tugas akhir ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bahan utama & bahan pelengkap.

a. Bahan Utama

Dalam membuat mesin CNC ini, ada banyak hal yang dipertimbangkan, di antaranya mengenai bahan yang akan dipakai. Dibutuhkan sebuah bahan yang ringan, namun dari segi kekuatan bahan ini tidak kalah dari bahan mesin CNC yang ada di pasaran yang semuanya terbuat dari logam, bahan itu adalah kayu.

Jenis kayu yang digunakan adalah kayu *multiplex*. Kayu *multiplex* adalah jenis kayu olahan yang merupakan kombinasi dari triplek dan serbuk kayu yang di *press*. Kayu ini merupakan jenis kayu yang kuat dan ringan, jenis kayu ini banyak dipakai untuk peralatan kantor dan kampus. Dengan perawatan yang maksimal, jenis kayu ini dapat bertahan kurang lebih 10 tahun. Jenis kayu *multiplex* tergambar pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kayu *Multiplex*

b. Bahan Pelengkap

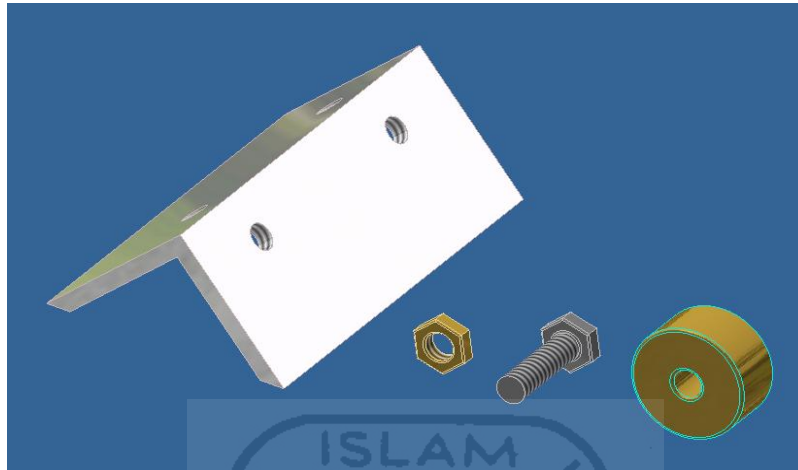
Bahan pelengkapnya merupakan bahan-bahan yang digunakan dalam menyatukan semua komponen, di antaranya

- Mur-baut
- Aluminium Siku
- *Bearing*
- Batang ulir
- Pipa aluminium
- Pelat aluminium

3.2.3. Mekanisme Pergerakan

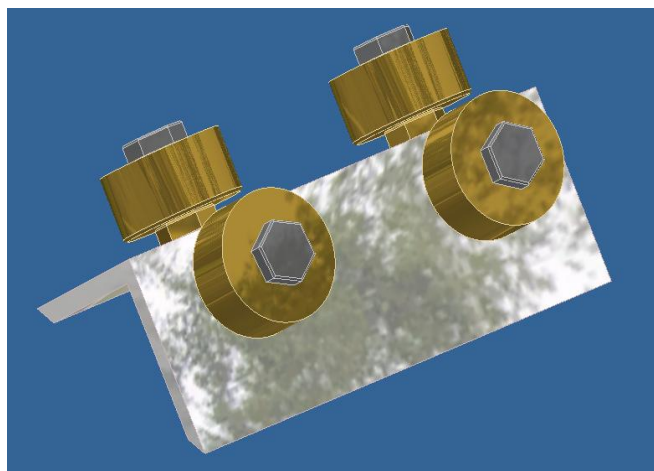
Mesin CNC ini memiliki 3 buah *axis* atau arah gerak mata pahat, ada beberapa jenis mekanisme dalam menggerakannya, salah satunya adalah dengan

menggunakan kereta beroda dan relnya, untuk sebuah kereta dibutuhkan komponen diantaranya aluminium siku 1 buah, baut 4 buah, mur 4 buah dan *bearing* 4 buah, perhatikan Gambar 3.3.

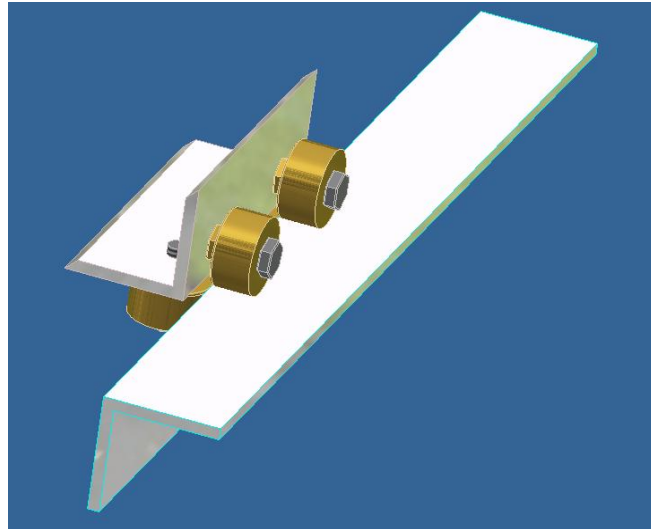


Gambar 3.3 Komponen penyusun roda kereta

Semua komponen di atas kemudian akan digabung menjadi satu komponen yaitu sebuah kereta penggerak yang akan digunakan. Gambar 3.3 akan menggambarkan bagaimana wujud dari kereta penggerak yang dimaksud. Kemudian kereta ini akan digunakan sebagai penggerak sumbu mesin CNC yang nantinya akan berjalan melalui sebuah rel aluminium yang dipasang pada lintasan sumbu X, Y dan Z. Ilustrasi kombinasi kereta dengan rel aluminium dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5.

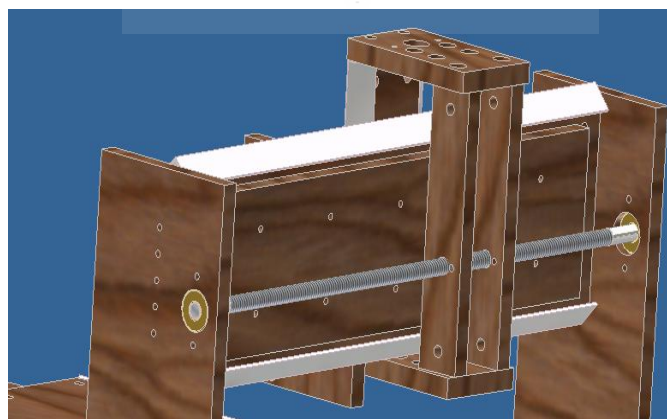


Gambar 3.4 Kereta



Gambar 3.5 Ilustrasi kombinasi antara kereta dan rel

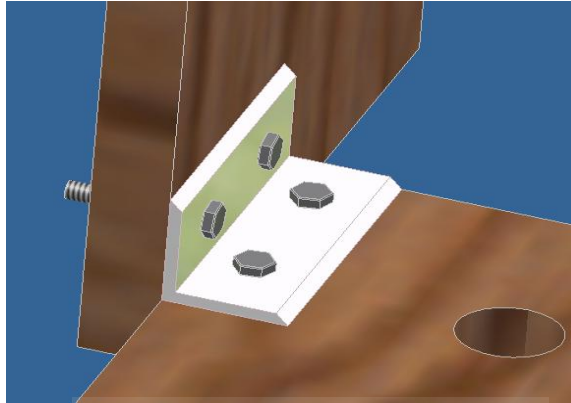
Pergerakan mesin CNC tentu tidak cukup hanya dengan roda dan rel nya. Roda dan rel membutuhkan penggerak, dalam hal ini digunakanlah batang ulir. Batang ulir akan ditopang oleh 2 buah *bearing*, kemudian batang ulir ini terhubung dengan sebuah mur yang melekat di komponen sumbu yang akan digerakan, perhatikan Gambar 3.6, gambar di bawah ini menggambarkan pergerakan sumbu Y yang digerakan dengan menggunakan batang ulir yang bertumpu pada 2 buah *bearing* di masing-masing ujung ulir dan terhubung dengan sumbu Y melalui 2 buah mur.



Gambar 3.6 Batang ulir pada sumbu Y

Sebuah mesin CNC haruslah memiliki rangka yang kuat, mengingat tidak ringannya kerja sebuah mesin CNC. Ada beberapa pilihan bentuk sambungan

yang kuat, namun yang dipilih adalah dengan menggunakan aluminium siku, baut dan mur. Bentuk ilustrasi dari sambungan itu dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan 3.8.



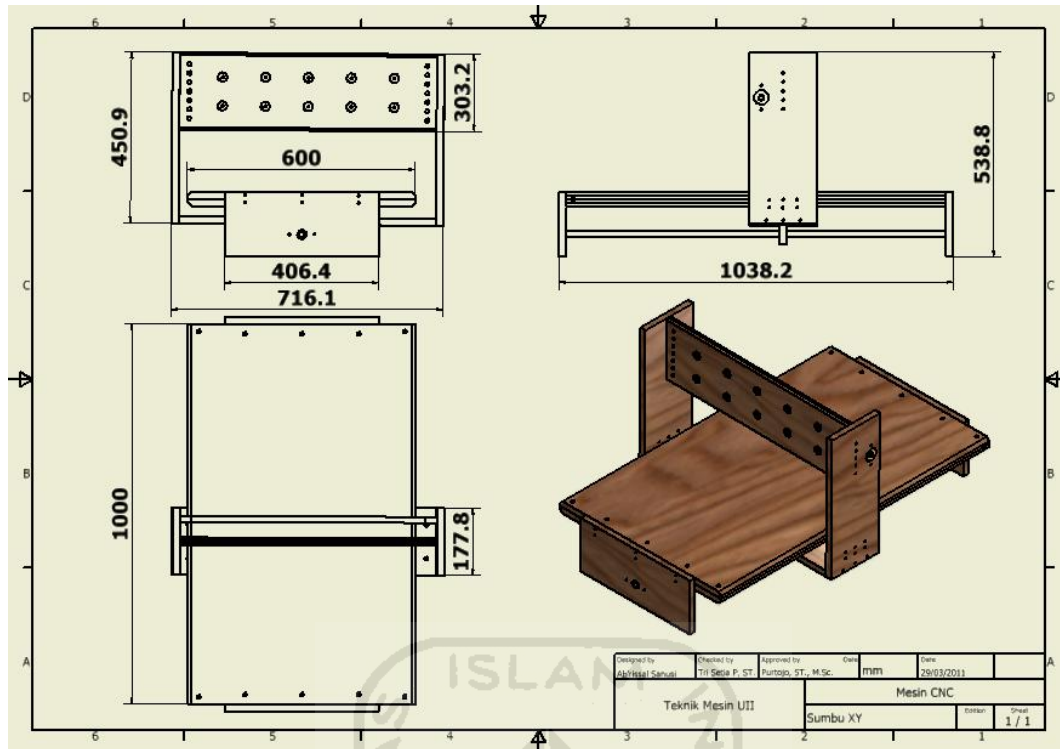
Gambar 3.7 Siku aluminium penguat rangka sisi dalam



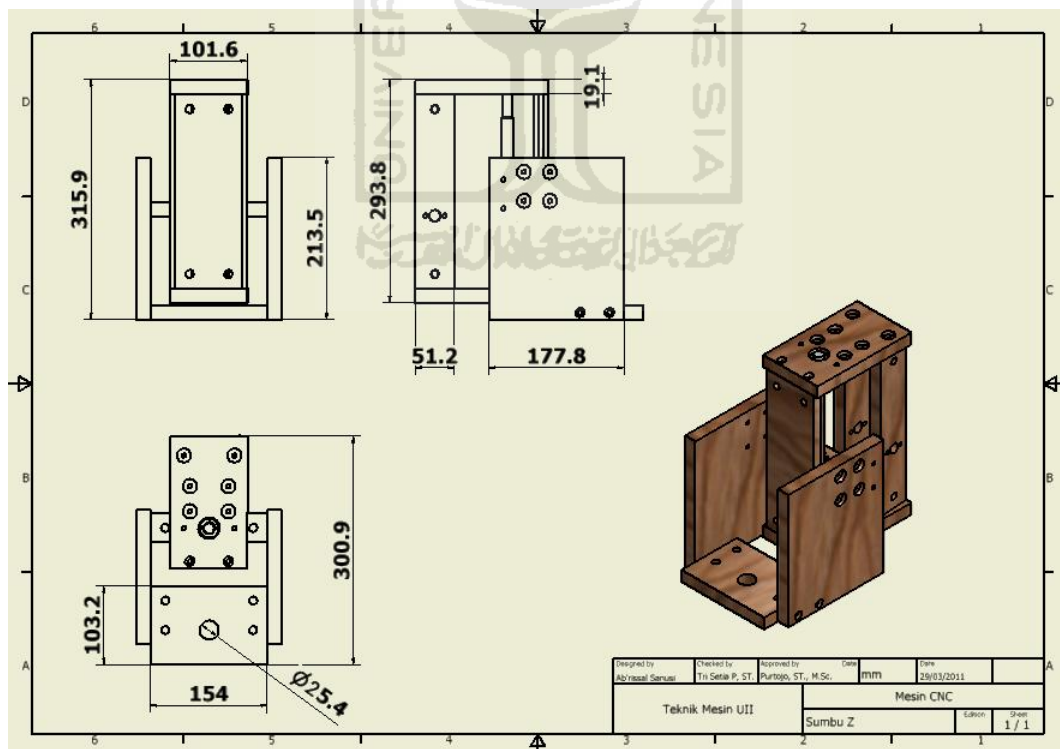
Gambar 3.8 Baut dan mur penguat siku aluminium pada penguat rangka

3.3. Desain mesin CNC

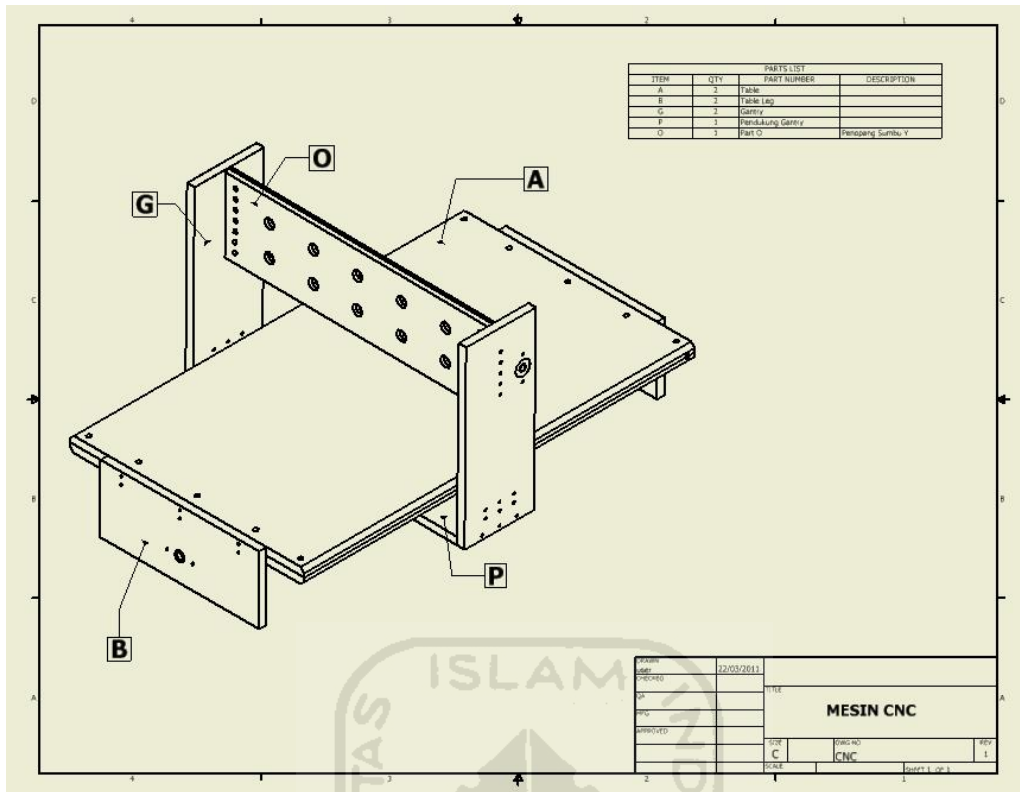
Desain mesin CNC yang akan dibuat merupakan mesin CNC 3 *axis* dan berbahan dasar kayu *multiplex*. Ilustrasi dari mesin CNC tersebut terdapat pada Gambar 3.9, 3.10, 3.11 dan 3.12.



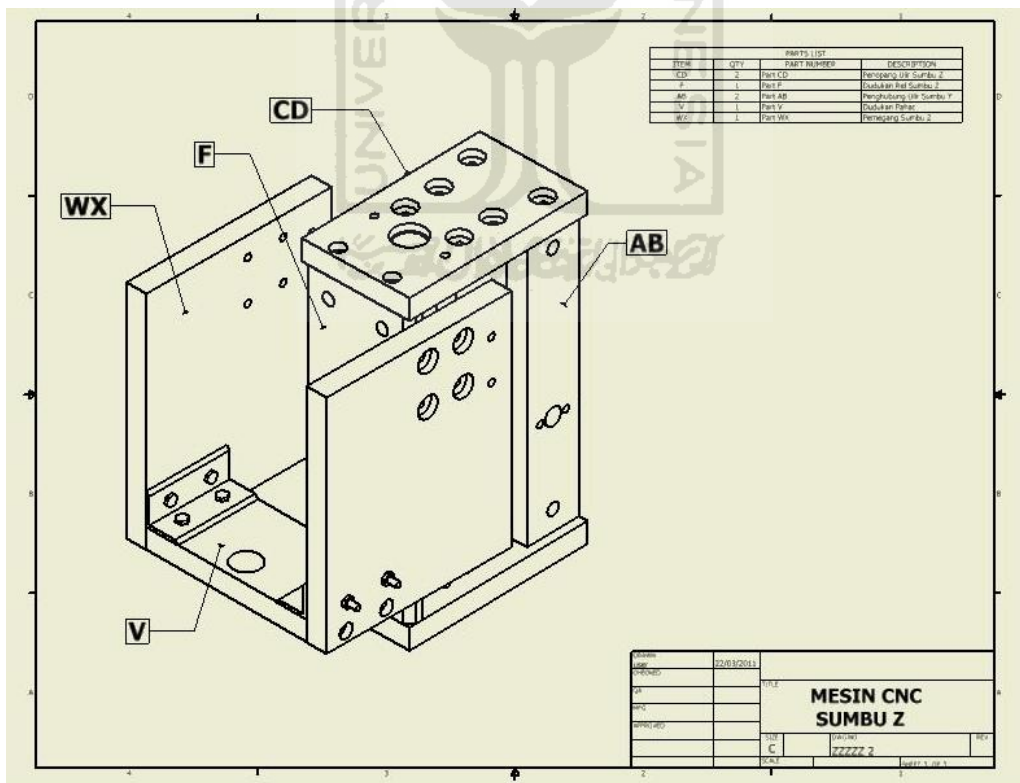
Gambar 3.9 Sumbu X dan Y Mesin CNC



Gambar 3.10 Sumbu Z Mesin CNC



Gambar 3.11 Komponen Mesin CNC



Gambar 3.12 Komponen Sumbu Z Mesin CNC

Dalam hal pendesainan mesin CNC ini menggunakan *software* menggambar 3D (3 Dimensi) yaitu Autodesk Inventor. Berikut dilampirkan nama dan simbol dari masing-masing komponen di tiap sumbu.

3.3.1. Sumbu X

- Meja (2 buah)
- Kaki Meja (2 buah)
- *Gantry Side*
- Part P (1 buah)S
- Part E (1 buah)

3.3.2. Sumbu Y

- Part O (1 buah)
- Part S (1 buah)
- Part F (1 buah)
- Part CD (2 buah)
- Part AB (2 buah)

3.3.3. Sumbu Z

- Part V
- Part WX
- Part MN



3.4. Pembuatan Mesin CNC

Pembuatan mesin CNC diawali dengan proses mendesain masing-masing komponen penyusun mesin CNC. Pendesainan menggunakan *software* Autodesk Inventor. Setelah proses desain semua komponen selesai, maka proses pembuatan mesin CNC dilanjutkan dengan pemotongan kayu sesuai dengan dimensi masing-masing komponen yang telah didesain sebelumnya.

3.5. Kesamaan Dimensi Komponen Mesin CNC

Proses kedua setelah semua komponen telah dibuat adalah memeriksa apakah semua komponen yang telah dibuat memiliki dimensi yang sesuai dengan desain yang telah dibuat, terutama pada bagian sambungan. Hal ini perlu dilakukan, karena apabila ada dimensi yang tidak sesuai dengan gambar, nantinya akan berakibat pada tidak rata batangan ulir yang dipasang. Sebagai contoh dudukan batangan ulir terletak di 2 buah lubang yang berseberangan, apabila kedua lubang ini tidak sama bentuk dan lokasinya, maka batangan ulir akan miring dan pergerakan mesin CNC tidak akan akurat. Fungsi lain dari pemeriksaan dimensi adalah pada dimensi lubang untuk penyambungan. Lubang penyambungan antara komponen satu dengan lainnya haruslah berdimensi sama dan terletak di lokasi yang sama dengan desain gambar. Jika tidak sesuai maka akan mengalami kesulitan jika akan melakukan penyambungan.

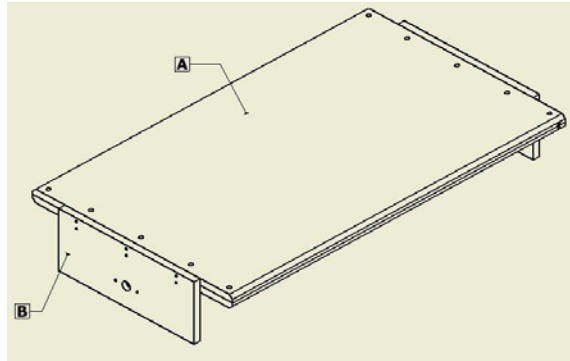
3.6. *Assembly*

Proses selanjutnya setelah dipastikan semua dimensi sesuai adalah proses *assembly* komponen mesin CNC. Apabila terdapat masalah dalam perakitan, maka proses akan diulang dari awal proses desain, pemotongan dan inspeksi desain, namun jika perakitan berjalan lancar, maka proses dilanjutkan untuk menyempurnakan perakitan. Proses *assembly* yang akan dilakukan diawali dari sumbu X.

3.6.1. Sumbu X

Assembly komponen sumbu X terdiri dari meja, rel dan sumbu X, meliputi 8 buah komponen inti dari mesin CNC, di antaranya meja 2 buah, kaki penopang 2 buah, tiang sisi atau *gantry* 2 buah, alas tiang sisi satu buah dan sebuah komponen penghubung sumbu X dengan batangan ulir. Proses awal dari pembentukan sumbu X adalah dengan menyatukan 2 buah meja dengan menggunakan baut & lem kayu untuk menjamin kerekatannya. Setelah sudah terjamin, maka proses dilanjutkan dengan menyatukan kaki meja yang berjumlah 2 buah dengan meja, dengan menggunakan baut. Namun untuk lebih memperkuat lagi, akan ditambah penguat kaki meja dengan menggunakan aluminium siku

yang kemudian dibaut ke meja dengan notasi huruf A dan kaki meja dengan notasi huruf B. Ilustrasi gambar dapat dilihat pada Gambar 3.13.



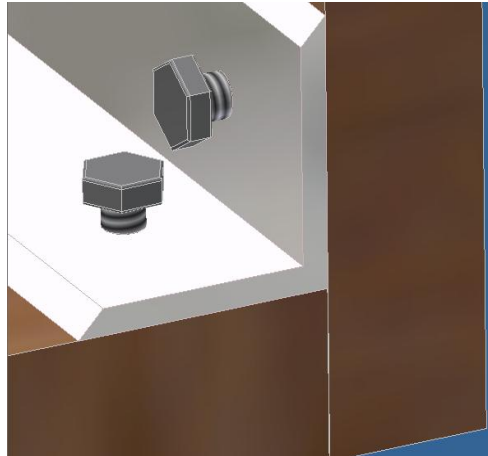
Gambar 3.13 Meja CNC

Setelah meja dan kaki berhasil disatukan, maka selanjutnya aluminium siku ditempelkan ke sisi meja yang berfungsi sebagai rel pergerakan bagian mesin CNC sumbu Y. Rel aluminium siku tersebut direkatkan ke sisi meja dengan menggunakan baut dan mur, seperti yang tergambar pada Gambar 3.14.



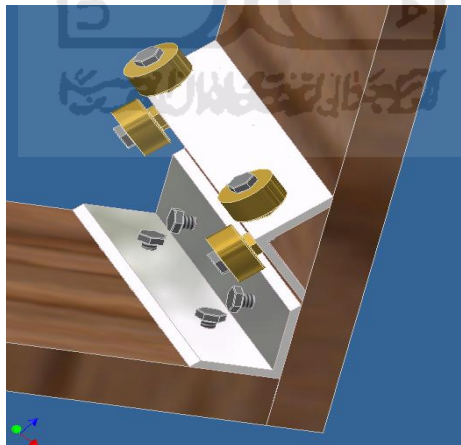
Gambar 3.14 Meja CNC dan Rel Sumbu X

Proses selanjutnya adalah memuat penggerak sumbu X. Komponen ini terdiri dari tiang *gantry* 2 buah, alas penahan tiang 1 buah dan penghubung sumbu X dengan batang ulir atau komponen E. Kemudian seluruh bagian ini disatukan dengan menggunakan aluminium siku dengan bantuan baut-mur, seperti tergambar pada Gambar 3.15. Fungsi dari bagian ini adalah sebagai sumbu X dan juga sebagai penopang rel untuk sumbu Y.



Gambar 3.15 Siku Aluminium dan Baut

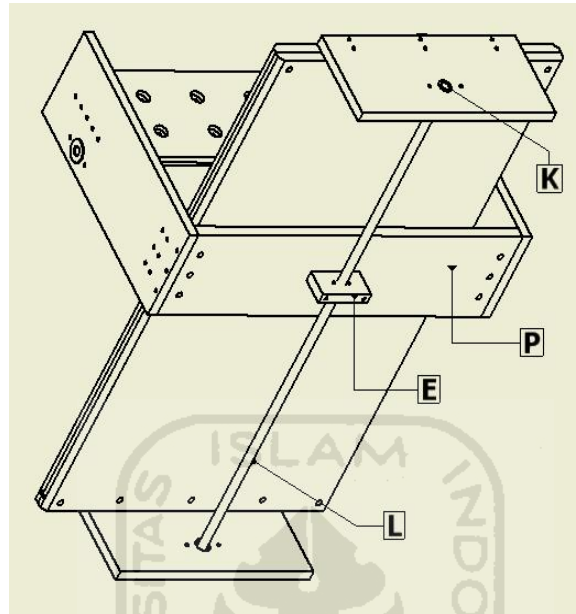
Setelah bagian ini selesai, selanjutnya adalah pembuatan roda penggerak. Pembuatan roda menggunakan aluminium siku, baut, mur dan *bearing* seperti dijelaskan pada bab sebelumnya. Jumlah roda terdiri dari 2 buah, dengan jumlah *bearing* total 8 buah, baut 8 buah, mur 8 buah dan aluminium siku 2 buah. Kedua buah roda ini akan diletakkan pada tiang penopang dengan ditahan menggunakan baut-mur, perhatikan Gambar 3.16 di bawah ini.



Gambar 3.16 Roda Kereta

Selanjutnya penggerak sumbu X dipasang pada rel yang tersedia pada meja, namun terlebih dahulu melakukan pemasangan part L berupa batang ulir penggerak sumbu X, diawali dengan pemasangan part E pada bagian bawah part

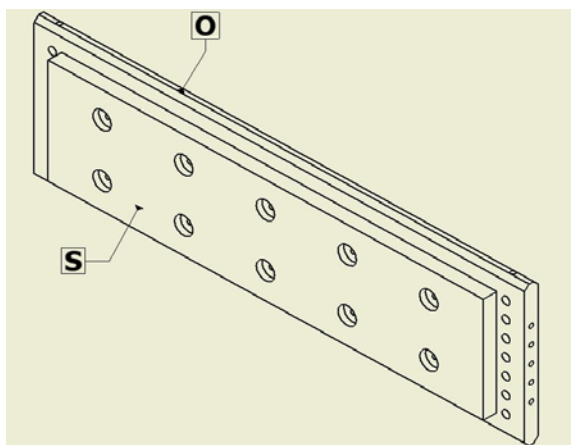
P, kemudian, 2 buah komponen K berupa *bearing* pada kedua sisi kaki meja, kemudian pemasangan batang ulir bertumpu pada kedua kaki meja dan menembus komponen E. seperti Gambar 3.17 di bawah ini, maka sumbu X telah selesai.



Gambar 3.17 Sumbu X

3.6.2. Sumbu Y

Setelah sumbu X terpasang pada meja, maka selanjutnya adalah membuat sumbu Y, komponen penyusunnya terdiri dari 7 buah, dengan rincian sebagai berikut 2 buah komponen yang berfungsi sebagai dudukan rel dari sumbu Y dan 5 buah komponen yang berupa sumbu Y itu sendiri. Langkah pertama adalah menempelkan komponen O & S secara bersamaan tepat pada tiap lubang kecilnya, karena seluruh lubangnya terletak pada lokasi yang sama. Kemudian di baut-mur satu sama lain gunakan lem kayu jika diperlukan. Seperti tergambar pada Gambar 3.18 di bawah ini.



Gambar 3.18 komponen O & S sebagai Penopang rel sumbu Y

Selanjutnya adalah menyatukan gabungan komponen OS ke tiang penopang *gantry*, dengan menggunakan baut, untuk memperkuat dapat digunakan aluminium siku dan baut-mur. Setelah terpasang kemudian aluminium siku dipasang pada sisi atas dan bawah komponen OS sebagai rel sumbu Y, kemudian diikat dengan baut. Setelah selesai, maka rel untuk sumbu Y telah selesai, lebih jelasnya perhatikan Gambar 3.19.



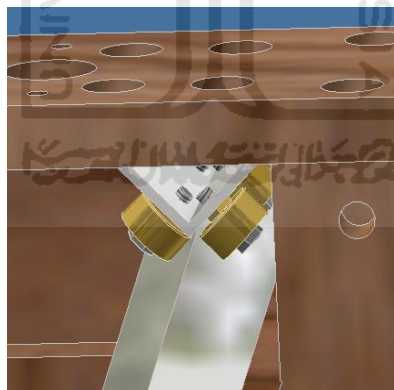
Gambar 3.19 Penopang Rel sumbu Y

Langkah selanjutnya adalah sumbu Y itu sendiri, dimulai dengan cara menyiapkan komponen-komponennya yaitu komponen F, AB dan CD, kemudian dirakit dengan menggunakan baut-mur, seperti pada Gambar 3.20 di bawah ini.



Gambar 3.20 Sumbu Y

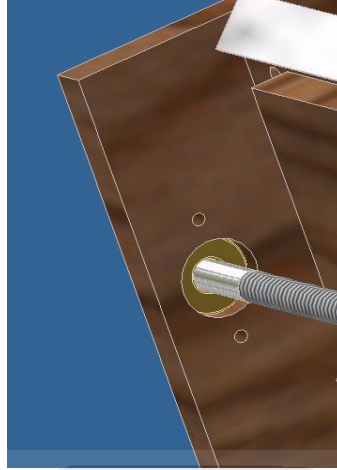
Selanjutnya adalah menempelkan roda kereta pada komponen di atas dengan baut dan mur, kemudian langsung dipasang ke atas rel khusus sumbu Y, cara memasangnya adalah dengan menempelkan kereta roda terlebih dahulu, kemudian sumbu Y dipasang sampai kereta tepat berada di atas rel sumbu Y, perhatikan Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Roda Kereta pada sumbu Y menempel pada rel sumbu

Langkah terakhir pada sumbu Y ini adalah dengan memasang batang ulir sebagai pemandu gerak dari sumbu Y, namun diawali dengan memasang 2 buah *bearing* di kedua lubang pada tiang sisi penopang sumbu Y. Kemudian mur dipasang pada komponen AB pada lubang di tengahnya dan batang ulir dipasang menembus komponen AB hingga kedua ujungnya bertumpu pada *bearing* di

batang sisi sumbu Y tadi, maka sumbu Y telah selesai. Perhatikan Gambar 3.22 dan 3.23.



Gambar 3.22 Salah satu *bearing* pada tiang penopang, sebagai pemutar batang ulir



Gambar 3.23 Sumbu Y terhubung dengan batang ulir

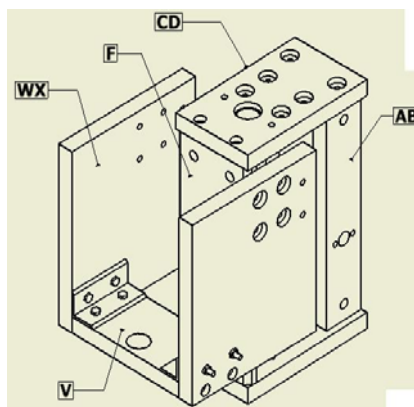


Gambar 3.24 Sumbu Y terpasang pada rel sumbu Y dan Rel sumbu Z pada sumbu Y

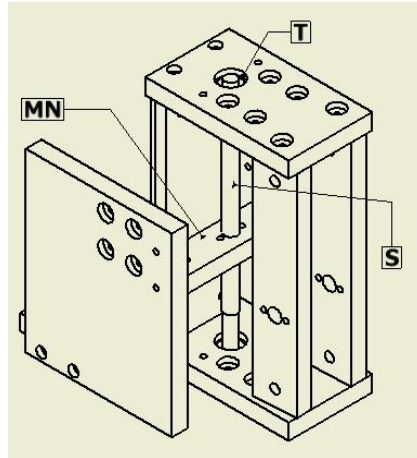
Gambar 3.24 merupakan tahap akhir dari sumbu Y. Sumbu Y memiliki fungsi lain, yaitu sebagai tempat rel kereta untuk sumbu Z. Membuat rel sumbu Z dapat dilakukan dengan menempelkan rel aluminium ke komponen F. Seperti pada Gambar 3.24.

3.6.3. Sumbu Z

Pembuatan sumbu Z merupakan bagian terakhir dari rangkaian dari 3 sumbu yang ada. Perakitan Sumbu Z diawali dengan menyiapkan komponen-komponennya, yaitu V, WX dan MN, kemudian merakitnya. Selanjutnya roda kereta dipasang pada komponen WX, kemudian diikat dengan baut-mur, sesuai dengan gambar dan perkuat struktur dengan menggunakan siku aluminium. Ilustrasi sumbu Z tergambar pada Gambar 3.25 dan 3.26.



Gambar 3.25 Sumbu Z



Gambar 3.26 Sumbu Z sudah dipasang batang ulir penggerak

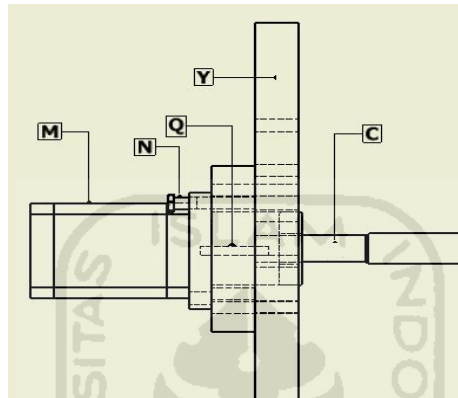
Selanjutnya peletakan 2 buah *bearing* dengan notasi T pada komponen CD pada lubang yang ada, kemudian menyiapkan batang ulir dengan panjang batang disesuaikan dengan ruang gerak dari sumbu Z tersebut, kemudian mur dipasang pada komponen MN sebagai penggerak sumbu Z. Komponen MN ini merupakan penghubung antara rel sumbu Z dengan sumbu Z. Batang ulir dipasang menembus komponen MN, hingga masing-masing ujung dari batang ulir bertumpu pada komponen CD. Setelah dirakit, sumbu Z dipasang ke rel sumbu Z yang sudah ada. Apabila tahap di atas telah selesai, maka selesailah sumbu Z, seperti tergambar pada Gambar 3.27.



Gambar 3.27 Sumbu Z sudah terpasang pada rel sumbu Z

3.7. Pemasangan Aktuator

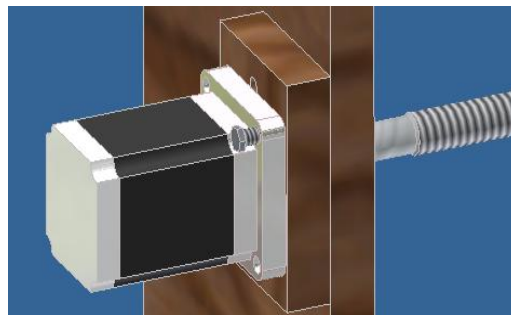
Proses selanjutnya setelah semua sumbu X, Y dan Z sudah dirakit adalah proses pemasangan aktuator motor step. Pemasangan motor step diawali dengan pemasangan kopling pada batang ulir, kemudian diikuti dengan pemasangan motor step pada kopling. Selanjutnya adalah mengikat motor step ke mesin CNC dengan menggunakan baut-mur, Gambar 3.28 dan Gambar 3.29 merupakan ilustrasi pemasangan motor step pada mesin CNC.



Gambar 3.28 Motor step terpasang pada mesin CNC

Tabel 3.1 *Part list* dari rangkaian sistem transmisi sumbu Y

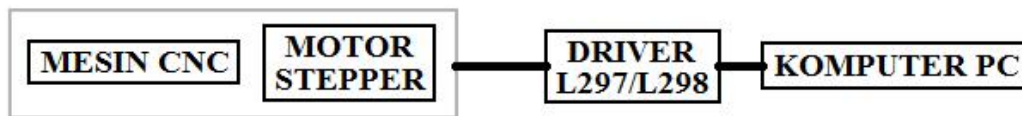
ITEM	QTY	PART NUMBER
M	1	Motor Step
N	1	Baut Pengikat
Q	1	Lokasi Kopling
Y	1	Gantry
C	1	Batang Ulir Sumbu Y



Gambar 3.29 Ilustrasi motor step terpasang ada gantry

3.8. Antar-muka keseluruhan mesin CNC

Sebuah mesin CNC dapat beroperasi jika aktuator motor step pada mesin CNC aktif, sehingga dapat menggerakkan mesin CNC melalui batang ulir. Proses mengaktifkan mesin CNC dapat dilakukan dengan menulis program Gcode dengan *software* EMC2 pada komputer, kemudian dikirim ke aktuator motor step melalui driver motor step berupa rangkaian IC L297/L298. Ilustrasi antar muka keseluruhan mesin CNC terdapat pada Gambar 3.30 dan 3.31.



Gambar 3.30 Skema rangkaian Mesin CNC



Gambar 3.31 Rangkaian mesin CNC dan sistem kontrol

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Pergerakan

Analisa pergerakan meja kerja mesin CNC dilakukan dengan menghitung nilai BLU (*Basic Length Unit*) yaitu nilai yang menunjukkan seberapa jauh meja bergeser pada setiap *step*-nya, dengan satuan mm/step. Nilai BLU digunakan untuk menghitung berapa kecepatan dari mesin CNC. Selain nilai BLU, nilai step dari sebuah motor step juga digunakan dalam menghitung kecepatan mesin CNC. Motor step yang digunakan adalah motor step 200 *steps*, artinya motor step ini dalam 1 putaran atau 360° menghasilkan 200 steps dan setiap stepnya memiliki sudut sebesar 1,8°. Pergerakan sebuah mesin CNC dibagi menjadi 2 yaitu pergerakan aktual dan pergerakan ideal.

4.1.1. Pergerakan Ideal

Pergerakan ideal adalah pergerakan sebuah mesin CNC yang nilainya tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor di antaranya rugi-rugi kalor pada motor step, beban pada sumbu Z yang berlebihan, batang ulir yang tidak standar dan rugi-rugi gesekan pada kopling. Nilai dari pergerakan ideal seluruh sumbu mesin CNC yang dapat dihitung adalah kecepatan pergerakan meja mesin CNC dengan menggunakan rumus 4.1 dan 4.2. Salah satu nilai yang penting adalah nilai *pitch* dari batang ulir yang digunakan. Ilustrasi yang berhubungan dengan *pitch* terdapat pada Gambar 4.1.

$$BLU = \frac{Pitch}{Pulsa} = \frac{mm}{steps} \quad (4.1)$$

$$V = BLU \times Pulsa \text{ per menit} = \frac{mm}{menit} \quad (4.2)$$

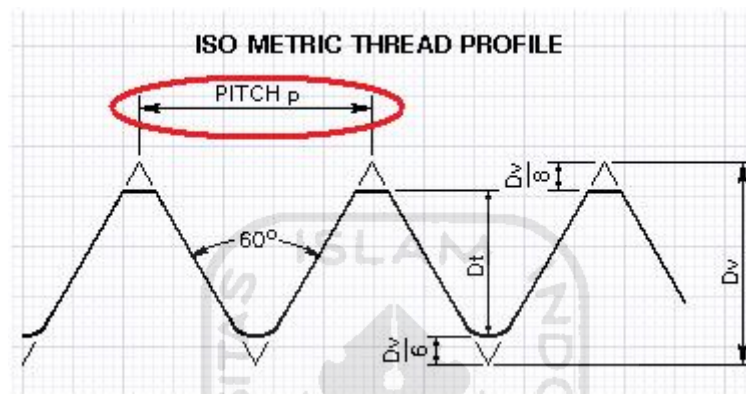
Keterangan :

BLU = *Basic Length Unit* (mm/steps)

Pitch = Jarak antara puncak ulir (mm)

Pulsa = Nilai pulsa (*Step*)

V = Kecepatan linier meja kerja (mm/menit)



Gambar 4.1 ISO metric thread profile.

Berdasarkan data yang ada, ulir *pitch* sebesar 2 mm dan pulsa yang dimiliki motor step 200 *steps*, maka nilai BLU dapat dihitung. Nilai BLU dari mesin CNC ini tertulis pada perhitungan menggunakan rumus 4.1 seperti di bawah ini.

$$BLU = \frac{Pitch}{Pulsa} = \frac{2 \text{ mm}}{200 \text{ steps}} = 0,01 \frac{\text{mm}}{\text{steps}}$$

Nilai BLU yang digunakan adalah 0,01 mm setiap *step*-nya dan nilai pulsa maksimal yang dapat diberikan menggunakan *software* EMC2 adalah 20.000 pulsa setiap menitnya. Berdasarkan nilai pulsa per menit dan BLU ini, dapat diperoleh nilai angka kecepatan mesin CNC idealnya dengan menggunakan rumus 4.2, seperti di bawah ini.

$$V = BLU \times Pulsa \text{ per menit} = 0,01 \frac{\text{mm}}{\text{steps}} \times 20.000 \frac{\text{steps}}{\text{menit}} = 200 \frac{\text{mm}}{\text{menit}}$$

4.1.2. Pergerakan Aktual

Pergerakan aktual adalah pergerakan sebuah mesin CNC yang nilainya dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya rugi-rugi kalor pada motor step, beban pada sumbu Z yang berlebihan, batang ulir yang tidak standar dan rugi-rugi gesekan pada kopling, sehingga nilai kecepatan mesin CNC aktual lebih rendah daripada nilai kecepatan ideal mesin CNC. Salah satu perhitungan pergerakan aktual adalah menghitung kecepatan meja kerja. Nilai kecepatan dari pergerakan aktual ini diperoleh dari konfigurasi masing-masing sumbu yang terdapat pada *software* EMC2. Tabel 4.1 merupakan data konfigurasi kecepatan meja pada EMC2.

Tabel 4.1 Konfigurasi Kecepatan Meja Kerja Mesin CNC

Sumbu	Kecepatan (mm/menit)
X	134,4
Y	186
Z	180

Berdasarkan Tabel 4.1 di atas dan menggunakan nilai BLU sebesar 0,01 mm/step, maka perhitungan kecepatan aktual dapat dihitung pada perhitungan di bawah ini. Data dari Tabel 4.1 dan hasil perhitungan di bawah ini dapat digunakan untuk menghitung nilai efisiensi dan *errors* seluruh sumbu.

- Perhitungan kecepatan sumbu X pergerakan aktual dengan nilai pulsa 13.440 pulsa setiap menitnya.

$$V = BLU \times \text{Pulsa per menit} = 0,01 \frac{\text{mm}}{\text{steps}} \times 13.440 \frac{\text{steps}}{\text{menit}} = 134,4 \frac{\text{mm}}{\text{menit}}$$

- Perhitungan kecepatan sumbu Y pergerakan aktual dengan nilai pulsa 18.600 pulsa setiap menitnya.

$$V = BLU \times \text{Pulsa per menit} = 0,01 \frac{\text{mm}}{\text{steps}} \times 18.600 \frac{\text{steps}}{\text{menit}} = 186 \frac{\text{mm}}{\text{menit}}$$

- c. Perhitungan kecepatan sumbu Z pergerakan aktual dengan nilai pulsa 18.000 pulsa setiap menitnya.

$$V = BLU \times Pulsa \text{ per menit} = 0,01 \frac{mm}{steps} \times 18.000 \frac{steps}{menit} = 180 \frac{mm}{menit}$$

4.1.3. Efisiensi & Errors

Efisiensi adalah nilai dari suatu energi yang berkurang kualitas dan kuantitasnya selama proses berlangsung. Berkurangnya kualitas dan kuantitas energi dikarenakan faktor-faktor tertentu, sehingga energi yang digunakan tidak lagi 100%. Energi yang terbuang selama proses tersebut disebut *errors*. Selama proses pengoperasian mesin CNC, nilai pergerakan yang dihasilkan oleh mesin CNC, bukanlah pergerakan yang 100% yang idealnya bisa dihasilkan mesin CNC. Faktor penyebabnya adalah rugi-rugi kalor pada motor step, beban pada sumbu Z yang berlebihan, batang ulir yang tidak standar dan rugi-rugi gesekan pada kopleng. Nilai efisiensi dan *errors* dapat dihitung dengan menggunakan rumus 4.3 dan 4.4. Tabel 4.2 merupakan tabel perbandingan efisiensi dan *errors* antara pergerakan ideal dan pergerakan aktual di seluruh sumbu.

$$\eta = \frac{V_a}{V_i} \times 100\% \quad (4.3)$$

$$E = 100\% - \eta \quad (4.4)$$

Keterangan :

η = Efisiensi (%)

E = *Errors* (%)

V_a = Kecepatan aktual mesin CNC (mm/menit)

V_b = Kecepatan ideal mesin CNC (mm/menit)

a. Sumbu X

$$\eta_x = \frac{V_{ax}}{V_{ix}} \times 100\% = \frac{134,4}{200} \times 100\% = 67,2\%$$

$$E_x = 100\% - \eta_x = 100\% - 67,2\% = 32,8\%$$

b. Sumbu Y

$$\eta_y = \frac{V_{ay}}{V_{iy}} \times 100\% = \frac{186}{200} \times 100\% = 93\%$$

$$E_y = 100\% - \eta_y = 100\% - 93\% = 7\%$$

c. Sumbu Z

$$\eta_z = \frac{V_{az}}{V_{iz}} \times 100\% = \frac{180}{200} \times 100\% = 90\%$$

$$E_z = 100\% - \eta_z = 100\% - 90\% = 10\%$$

Tabel 4.2 Tabel nilai efisiensi dan *errors* seluruh sumbu

Sumbu	Kecepatan Ideal (mm/menit)	Kecepatan Aktual (mm/menit)	Efisiensi (%)	Errors (%)
X	200	134,4	67,2	32,8
Y	200	186	93	7
Z	200	180	90	10

4.2. Evaluasi Keseluruhan

Tabel 4.3 Tabel Evaluasi

Axis Evaluasi	X	Y	Z
Desain	Terdiri dari 9 buah komponen. Perubahan dimensi panjang pada meja dari 120 cm menjadi 91,2 cm.	Terdiri dari 9 buah komponen (pada awalnya 7 komponen), terdapat 1 komponen yang dikurangi sehingga terjadi penambahan sebanyak 3 buah komponen di lokasi lain, ada 2 buah komponen yang lokasi penyambungannya digeser.	Terdiri dari 5 buah komponen (pada awalnya 4 buah komponen),
Sambungan	Terdapat 6 buah sambungan. 2 buah sambungan siku besi berlubang dan mur-baut sebagai pengikat, 2 sambungan siku aluminium dan 2 sambungan mur baut dan sambungan mur-baut sebagai pengikat.	Terdiri dari 8 buah sambungan, semua sambungan terbuat dari siku besi berlubang dan mur baut sebagai pengikat.	Terdapat 6 buah sambungan, dengan rincian 2 buah sambungan pin-baut, 4 buah sambungan aluminium dan mur-baut.
Pergerakan	Tidak lancar, naik-turun, <i>gantry</i> goyah, jenis kopleng yang	Rel aluminium diikat dengan pin-baut setelah sebelumnya	Posisi sumbu Z condong ke depan, lokasi

	<p>digunakan mengalami perubahan dari kopling selongsong aluminium menjadi kopling fleksibel berupa selang berwarna bening berdimensi diameter luar 8 cm dan diameter dalam 6 cm, kopling fleksibel bening mengalami perubahan menjadi selang berwarna oranye berdimensi diameter luar 10 mm dan diameter dalam 8 mm karena kopling bening terpelintir pada sumbu X dan Y, rel aluminium diikat oleh pin-baut setelah sebelumnya menggunakan lakban, 2 buah <i>bearing</i> dipasang penahan berupa pelat aluminium.</p>	<p>hanya menggunakan lakban, pergerakan sumbu Y berat, jenis kopling berubah dari kopling selongsong aluminium menjadi kopling fleksibel berupa selang berwarna bening berdimensi diameter luar 8 cm dan diameter dalam 6 cm, kopling fleksibel mengalami perubahan lagi menjadi selang berwarna oranye berdimensi diameter luar 10 mm dan diameter dalam 8 mm, 2 buah <i>bearing</i> dipasang penahan berupa pelat aluminium.</p>	<p>dudukan <i>bearing</i> dimodifikasi, modifikasi juga dilakukan pada dudukan motor, dari 4 buah baut menjadi 2 buah baut, jenis kopling berubah dari kopling selongsong aluminium menjadi kopling fleksibel berupa selang berwarna bening berdimensi diameter luar 8 cm dan diameter dalam 6 cm. Penguat rel aluminium sumbu Z menggunakan pin-baut.</p>
Sebab-Akibat	<p>Dimensi meja diperpendek karena mengikuti dimensi ulir</p>	<p>Komponen yang dikurangi dikarenakan</p>	<p>Penambahan komponen yang dilakukan pada</p>

	<p>yang tersedia di toko peralatan teknik sepanjang 100 cm. Sambungan pada awalnya menggunakan pin-baut, namun dikarenakan jenis sambungan ini belum ditemukan di pasaran pada awalnya, maka digunakanlah lakban. Pergerakan sumbu X tidak lancar dikarenakan batang ulir yang kualitasnya tidak bagus karena melengkung dari awalnya dan seharusnya menggunakan batang ulit yang berulir trapesium, akibatnya pergerakan sumbu X naik-turun. <i>gantry</i> goyah disebabkan jumlah penghubung antara <i>gantry</i> dengan batang ulir berjumlah 1 buah dan terletak di bagian tengah komponen penopang <i>gantry</i>.</p>	<p>komponen tersebut mengakibatkan tersangkutnya komponen sumbu Z ketika sumbu Z dirakit pada sumbu Y. Penambahan 3 komponen lagi dengan rincian 2 komponen pada dudukan <i>bearing</i> dan 1 lagi pada dudukan motor, hal ini dikarenakan dimensi awal dudukan <i>bearing</i> terlalu besar untuk <i>bearing</i> yang tersedia dan 4 baut yang seharusnya digunakan pada dudukan motor, hanya bisa digunakan 2 buah baut saja dikarenakan tidak ada cukup ruang untuk meletakkan 2 baut sisa disebabkan ruang sudah digunakan untuk baut penyambung dudukan <i>bearing</i>. Komponen sambungan pada</p>	<p>sumbu Z karena pada awalnya sumbu Z goyang akibatnya sumbu Z kurang kuat dan terkesan rapuh. Penggunaan sambungan siku aluminium dan pin-baut dikarenakan ruang yang tidak cukup luas untuk sambungan besi berlubang dan dengan siku aluminium dan pin-baut sudah kuat. Sumbu Z yang condong ke depan disebabkan oleh terlalu beratnya beban pada sumbu Z akibat dari pen penambahan 3 buah komponen pada dudukan <i>bearing</i> dan</p>
--	--	--	---

	<p>Perubahan jenis kopling menjadi kopling fleksibel bening dikarenakan sulitnya membuat poros batang ulir dan motor step dalam keadaan satu sumbu sebagai syarat kopling selongsong. Kemudian kopling fleksibel bening diganti menjadi kopling fleksibel oranye karena kopling fleksibel bening terpelintir saat mesin CNC dioperasikan dalam waktu yang lama dikarenakan torsi yang lebih besar daripada kemampuan kopling fleksibel bening.</p>	<p>komponen penghubung antara sumbu Y dan batang ulir mengalami pergeseran dikarenakan lokasi sambungan awal mengakibatkan batang ulir sumbu Y melengkung, akibatnya sumbu Y berat dan sulit diputar. Sambungan besi digunakan karena lebih kuat dan sambungan pin-baut yang direncanakan di awal tidak tersedia dipasaran pada awalnya, namun setelah semua komponen terakit, pin-baut ditemukan di pasaran. Pergantian kopling disebabkan oleh hal yang sama dengan kopling sumbu X.</p>	<p>dudukan motor. Penjelasan penambahan komponen pada dudukan <i>bearing</i> dan dudukan motor sama dengan penjelasan yang dijelaskan pada sumbu Y.</p>
Solusi	<p>Dimensi meja menyesuaikan dengan ulir, sehingga</p>	<p>Maka komponen S tidak digunakan lagi, menambah 2 buah</p>	<p>Ditambahkan 1 buah komponen lagi pada sumbu</p>

	<p>digunakanlah sambungan siku besi berlubang, siku aluminium dan mur-baut yang banyak di pasaran.</p> <p>Mengurangi sumbu X yang naik turun dengan cara sedikit menurunkan posisi kaki meja terhadap meja. Menambahkan penghubung antara <i>gantry</i> dan batang ulir menjadi 2 buah dan diletakan pada bagian ujung dari penopang <i>gantry</i>.</p> <p>Mengganti kopling selongsong menjadi kopling fleksibel oranye.</p>	<p>komponen pada dudukan <i>bearing</i> dan 1 buah komponen lagi pada dudukan motor.</p> <p>Menggeser posisi sambungan komponen penghubung antara sumbu Y dan batang ulir sedikit mundur, sampai batang ulir tidak melengkung lagi.</p> <p>Mengganti kopling selongsong menjadi kopling fleksibel oranye.</p>	<p>Z untuk memperkuat sumbu Z.</p>
--	---	---	------------------------------------

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Terwujudnya sebuah konstruksi mesin CNC berbiaya rendah dan mudah dibuat, dengan berbahan dasar utama berupa kayu.
- Mesin CNC dapat beroperasi membuat sebuah profil dan garis sesuai dengan program Gcode yang ditulis.
- Konstruksi Mesin CNC yang dibuat berbiaya rendah, yaitu Rp 3.000.000,- sampai Rp 3.500.000,-. Sedangkan jika biaya keseluruhan mesin CNC bersama dengan sistem kontrolnya berbiaya Rp 5.000.000,- sampai Rp 10.000.000,-
- Pergerakan maksimal yang dapat dicapai atau *axis travel* dari masing-masing sumbu adalah sumbu X sejauh 0-58,2 cm, sumbu Y sejauh 0-39,29 cm dan sumbu Z setinggi 0-5 cm.
- Berdasarkan data di atas, dimensi produk yang dapat dikerjakan mesin CNC maksimal adalah 55 cm x 35 cm x 5 cm.

5.2. Saran

Perancangan dan pembangunan mesin CNC ini belum sempurna, masih banyak kekurangan di hampir semua bagiannya, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya keterbatasan sumber daya baik sumber daya manusia maupun peralatan dan bahannya, oleh karena itu diharapkan pada proses perancangan dan pembangunan mesin CNC di masa depan lebih baik lagi, berikut adalah saran-saran yang semoga bermanfaat.

1. Proses pemilihan bahan kayu, usahakanlah menggunakan jenis kayu yang karakteristiknya lebih bagus dari sebelumnya dan dikolaborasikan dengan bahan logam lain sehingga menjadi lebih kokoh.
2. Proses pemotongan kayu sebaiknya dilakukan sendiri jika dirasa mampu, namun jika tidak mampu gunakanlah jasa perusahaan kayu yang lebih berpengalaman, namun dalam proses pemotongannya dilakukan bertahap, jangan sekaligus semuanya dipotong dan setelah dipotong langsung dicoba dirakit.
3. Dalam hal desain, lebih baik dibuat desain yang lebih sederhana, sehingga mampu dibuat oleh orang yang tidak memiliki pengalaman dalam hal proses produksi kayu sekalipun.
4. Dalam hal waktu pengerjaan, lebih baik lagi melakukannya dengan lebih cepat, karena seandainya ada kesalahan dimensi, maka akan lebih punya waktu untuk mengganti komponen daripada memodifikasinya.

Daftar Pustaka

- Autodesk Inventor, 2009. *Inventor 2009*. Available from : URL : http://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor, diakses pada (17/03/2011).
- CNC Router, 2007. *CNC Router Source*. Available from : URL : <http://www.cncroutersource.com/>, diakses pada (03/03/2011)
- Gallant Motor, 2007, *AC motor vs. DC motor*. Available from : URL : <http://www.gallantmotor.com/acvsdc>, diakses pada (12/03/2011)
- Guntoro, H. 2008. *Motor Listrik*. Available from : URL : <http://www.dunia-listrik.blogspot.com>, diakses pada (01/03/2011)
- Hood-Daniel, P. Kelly, J. F. 2009. *Build Your Own CNC Machine*. Available from : URL : <http://www.buildyourcncmachine.com/> Diakses pada (03/06/2010)
- ISO 841, 2001. *International Standard*. Available from : URL : <http://www.iso.ch> diakses pada (15/03/2011)
- Lewotsky, K. 2007, *Choosing the Right Linear Actuator*. Available from : URL : <http://www.motioncontrolonline.org/i4a/pages/Index.cfm?pageID=3601> Diakses pada (15/03/2011)
- Lefebvre, M. 2005, *Dynamics of Hybrid Stepper Motors*. Available from : URL : <http://machinedesign.com/article/dynamics-of-hybrid-stepper-motors-0217> Diakses pada 15/03/2011)
- Max, 2008, *Build Your Own CNC Machine*. Available from : URL : <http://www.techimoto.com/2008/04/12/build-your-own-cnc-machine/>, diakses pada (13/03/2011)
- O'Brein, W. 2006, *How to Buil Your Own CNC Machine*. Available from : URL : <http://www.engadget.com/2006/06/29/how-to-build-your-own-cnc-machine-part-1/>) Diakses pada (03/06/2010)
- Pamungkas, T. 2010. *Motor Stepper*. Available from : URL : <http://pamungkas99.wordpress.com/2010/03/06/motor-stepper/>, diakses pada (10/03/2011)
- Primayanti, E. 2007. *Metrologi Ulir*. Teknik Mesin UII, Yogyakarta, 2007.

Rao, M. 2006, *Classification of CNC Machine*. Available from : URL :
<http://www.scribd.com/doc/23741514/Classification-of-Cnc-Machine>

Diakses pada (03/06/2010)

Risdiyono, 2005, *Elemen Mesin 2*. Teknik Mesin UII, Yogyakarta, 2005.

Wikipedia, 2010. *Numerical Control History*. Available from : URL :
http://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_control, diakses pada

(25/09/2010)



LAMPIRAN

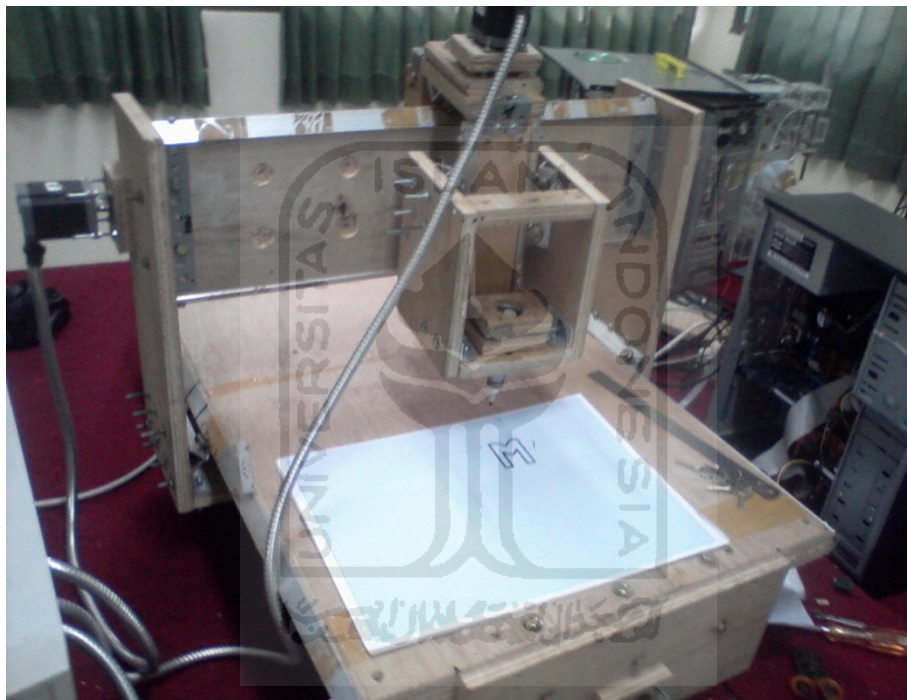


LAMPIRAN A

EVALUASI

Mesin CNC Keseluruhan

Setelah semua komponen mesin CNC yang dipersiapkan pada awalnya sudah terpasang semua dan modifikasi pada bagian-bagian tertentu sudah dilakukan, maka telah selesailah perancangan mesin CNC dan pembangunan konstruksi sebuah mesin CNC berbiaya murah. Pada Gambar A.1 tergambar sebuah mesin CNC yang telah selesai dibangun.

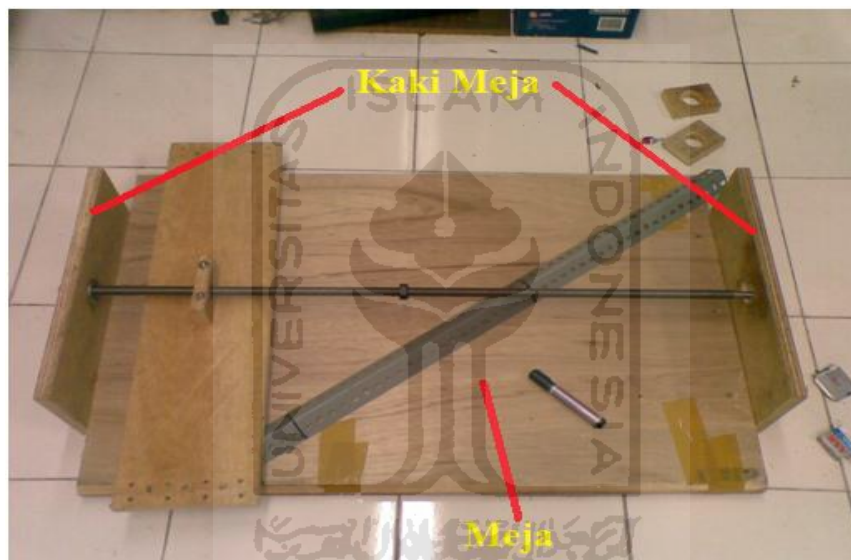


Gambar A.1 Mesin CNC keseluruhan

SUMBU X

Desain

Sumbu X terdiri dari 9 buah komponen, salah satu dari komponen tersebut merupakan komponen terbesar dari mesin CNC ini. Kesembilan komponen tersebut adalah meja 2 buah, kaki meja 2 buah, penopang *gantry*, tiang *gantry* 2 buah dan penghubung antara ulir dengan meja 2 buah. Pembahasan pertama diawali dengan meja. Meja dari mesin CNC ini mengalami perubahan dimensi, terutama dimensi panjangnya. Pada awalnya dimensi dari meja adalah 120 cm x 60 cm, namun kemudian dimensi panjangnya diperpendek, sehingga dimensi meja menjadi 91,2 cm x 60 cm, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar A.2 dan A.3.



Gambar A.2 Meja mesin CNC yang telah diubah dimensi panjangnya dari 120 cm menjadi 91.2 cm



Gambar A.3 Alat pengukuran panjang menunjukkan angka 91,2 cm

Meja merupakan satu-satunya komponen pada sumbu X yang mengalami perubahan dimensi, sedangkan untuk komponen lain tidak mengalami perubahan dimensi. Perubahan dimensi yang terjadi pada meja disebabkan karena batang ulir yang ada di toko barang teknik hanya menyediakan panjang ulir sepanjang 100 cm, sedangkan dimensi panjang meja yang ada 120 cm, sehingga dilakukanlah pemotongan pada meja menyesuaikan dengan dimensi batang ulir.

Sambungan

Mesin CNC ini memiliki banyak penyambungan komponen yang harus dilakukan, untuk sumbu X ada 6 buah sambungan, antara meja dan kaki meja ada 2 sambungan, antara tiang *gantry* dan penopang ada 2 buah sambungan, kemudian antara penopang dan penghubung ulir ada 2 sambungan. Keenam sambungan dapat dilihat pada Gambar A.4, A.5 dan A.6.



Gambar A.4 Salah satu dari 2 buah sambungan siku besi berlubang-lubang yang menyambung antara kaki meja mesin CNC dengan meja



Gambar A.5 Salah satu dari 2 buah sambungan aluminium siku yang menyambung antara *gantry* dengan penopang *gantry*

Khusus untuk sambungan antara penopang *gantry* dan ulir, sambungan pada penopang ini berbeda dengan sambungan sebelumnya, dimana pada sambungan ini tidak digunakan sambungan siku, melainkan hanya baut dan mur. Baut dipasang menemus penopang *gantry* dan penopang ulir, kemudian ujung baut diikat dengan mur, seperti pada Gambar A.6.



Gambar A.6 Sambungan kombinasi mur-baut yang menghubungkan antara penopang *gantry* dengan pemegang batang ulir sumbu X

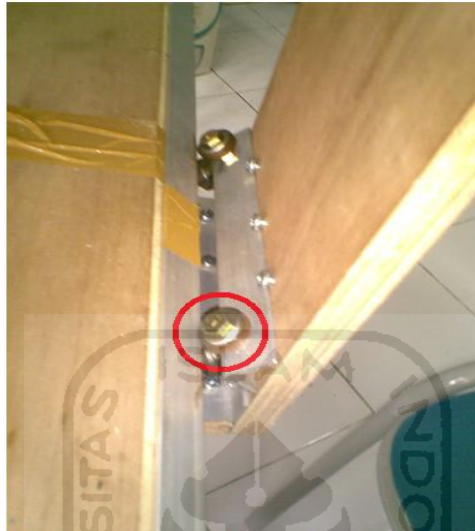
Pergerakan

Pergerakan pada sumbu X dengan ulir sedikit tidak lancar. Penyebabnya adalah batang ulir yang *bending* atau melengkung dikarenakan penggunaan batang ulir yang bukan kualitas terbaik dan seharusnya jenis ulir yang digunakan adalah ulir trapesium yang lebih baik sebagai penerus daya. Penyebab lain adalah sumbu X berada pada posisi yang sedikit terlalu tinggi terhadap meja sehingga kereta penggerak tidak tepat berkedudukan di rel dan penyebab terakhir adalah rel aluminium yang pada awalnya hanya direkatkan dengan lakban seperti pada Gambar A.7 di bawah ini, sehingga rel tidak menempel dengan baik pada meja.



Gambar A.7 Rel sumbu X yang masih direkatkan menggunakan lakban

Solusi untuk membuat agar kereta yang terlalu ke atas adalah dengan sedikit menurunkan kaki meja terhadap meja, sehingga kereta akan tepat berkedudukan pada rel, seperti pada Gambar A.8 di bawah ini. Solusi untuk merekatkan rel lebih rekat adalah dengan mengganti lakban dengan menggunakan pin tanam yang dihubungkan dengan baut, seperti pada Gambar A.9 dan A.10.



Gambar A.8 Posisi roda kereta rel yang sudah lebih mendekati rel, setelah sebelumnya tidak terletak persis di atas rel



Gambar A.9 Pin dan Baut



Gambar A.10 Kombinasi Pin-baut merekatkan rel sumbu X

Ketika sumbu X belum beroperasi, terdapat goyah pada bagian *gantry* yang disebabkan posisi dan jumlah penopang rel yang berada ditengah dan hanya 1 buah, seperti pada Gambar A.11. Solusi untuk menghilangkan goyah tersebut adalah dengan menambah penopang ulir menjadi 2 buah penopang dan memposisikan pada bagian tepi dari penopang *gantry*, seperti pada Gambar A.12.



Gambar A.11 Pemegang batang ulir pada sumbu X yang berjumlah 1 buah



Gambar A.12 Pemegang batang ulir pada sumbu X yang sudah ditambah menjadi 2 buah

Pergerakan sumbu X selain berhubungan dengan batang ulir, berhubungan sangat erat juga dengan koneksi antara batang ulir dengan motor step. Koneksi antara batang ulir dengan motor step dilakukan dengan menggunakan kopling. Jenis kopling yang digunakan adalah *box coupling*, jenis kopling yang paling sederhana, berbentuk selongsong silinder yang memiliki dimensi diameter lubang yang berbeda, sesuai dengan diameter poros motor step dan diameter ulir. Alasan memilih jenis kopling ini adalah jenis kopling ini adalah karena ingin menerapkan metode penyatusumbuan poros motor dengan batang ulir sebelum memasang kopling, dengan kata lain kopling ini tidak mengizinkan ketidaksatusumbuan suatu poros. Kopling untuk mesin CNC ini terbuat dari aluminium, alasan memilih aluminium karena aluminium mudah dalam proses produksinya. Gambar detail dari kopling yang akan digunakan terlihat pada Gambar A.13.



Gambar A.13 Kopling rancangan awal kopling yang akan digunakan



Gambar A.14 Contoh kopling pada sumbu Y yang dimensinya terlalu panjang

Desain kopling mengalami perubahan dimensi panjang, hal ini dikarenakan dimensi panjangnya terlalu panjang untuk dipasang di mesin CNC ini, sehingga harus dipotong, seperti pada Gambar A.14. Jenis kopling ini dapat menghubungkan motor step dan batang ulir dengan kuat menggunakan baut-baut, seperti pada Gambar A.15.

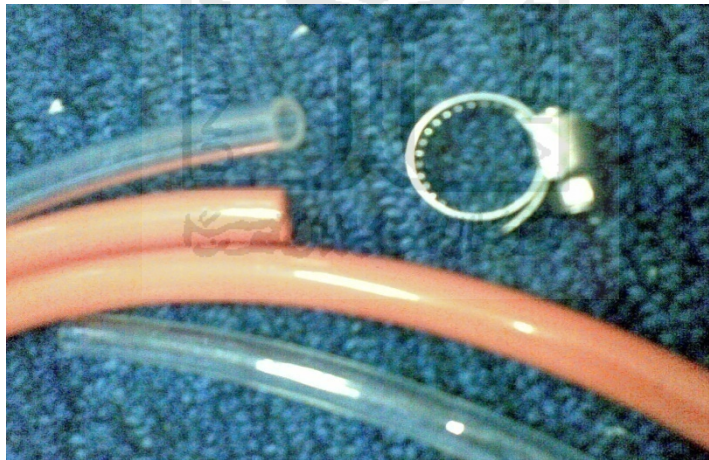


Gambar A.15 Kopling pada sumbu X yang sudah diperpendek dari dimensi semula

Pemasangan jenis kopling selongsong yang semula direncanakan akan digunakan, mengalami beberapa kendala. Kendala itu di antaranya penerapan metode pelurusan sumbu poros yang rumit, dikarenakan lokasi dimana poros itu berada tidak ideal untuk penerapan metode pelurusan sumbu, sehingga poros motor step dan batang ulir pada sumbu X tidak satu sumbu. Kendala berikut adalah kopling yang sudah dibuat tidak memenuhi harapan sesuai dengan

keinginan, koplingnya tidak terlalu kuat mencekram, kurang ideal digunakan sebagai kopling karena kopling goyang dan pemasangan sulit.

Berdasarkan kendala-kendala tersebut di atas, maka diputuskanlah untuk merubah jenis kopling yang akan digunakan, jenis kopling lain yang akan digunakan adalah *flexible coupling* atau kopling fleksibel. Bentuk dari kopling fleksibel ini berupa selongsong selang dengan 2 jenis yang berbeda. Kedua jenis ini hampir sama, hanya perbedaannya terletak pada ketebalan penampang dari kedua selang dan warna. Selang yang tipis berwarna bening memiliki diameter dalam 6 mm dan diameter luar 8 mm, sedangkan selang lebih tebal berwarna oranye memiliki diameter dalam 6,5 mm dan diameter luar 10 mm digunakan untuk sumbu X. Kedua selang ini nantinya akan menghubungkan semua motor step dengan seluruh batang ulir pada semua sumbu dan kemudian akan diikat oleh 2 buah penjepit yang biasa digunakan pada pipa dengan diameter penjepit 3/4 inch atau 1,905 cm. Kedua jenis selang dan penjepit tersebut tergambar jelas pada Gambar A.16.



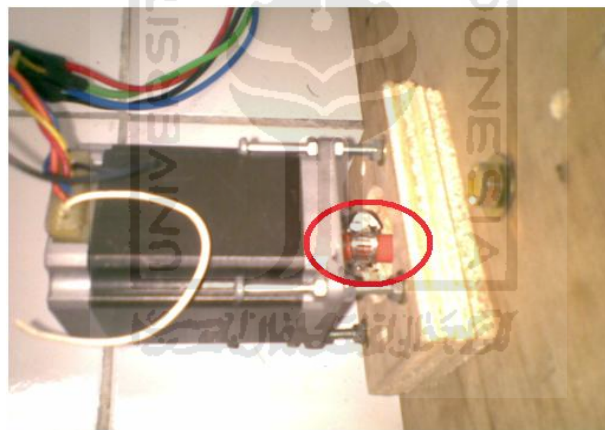
Gambar A.16 2 buah selang dan 1 buah penjepit selang sebagai kopling fleksibel

Perencanaan awal adalah semua sumbu menggunakan jenis kopling yang berwarna bening, namun setelah mesin CNC digunakan untuk bergerak beberapa kali, ternyata kopling sumbu X dan Y terpelintir. Kopling pada sumbu X terpelintir dikarenakan momen puntir dan beban yang terlalu besar dan terdapat jarak 1 cm antara poros ulir dan poros motor step, sedangkan sumbu Y terpelintir karena nilai dari momen puntir yang melebihi daya tahan kopling. Gambar

kopling yang terpelintir dan putus pada bagian ujungnya. Tergambar pada Gambar A.17 dan ilustrasi kopling fleksibel pengganti berwarna oranye untuk sumbu X tergambar jelas pada Gambar A.18.



Gambar A.17 Kopling fleksibel bening setelah terpelintir dan putus



Gambar A.18 Kopling fleksibel yang sudah terpasang antara motor step dengan batang ulir pada sumbu X

Pergerakan sumbu X dipengaruhi juga dengan posisi dari *bearing* penopang pada kedua kaki meja. Pergerakan sumbu X yang lebih lancar akan lebih terjamin jika posisi *bearing* tetap pada posisinya dan tidak berpindah. Jika berpindah bisa berakibat *bearing* terdorong keluar, oleh karena itu untuk menjamin posisi *bearing*, maka pada kaki meja dipasang pembatas pelat aluminium yang diikat oleh mur-baut.

Pada sisi dimana motor step berada, digunakan pelat aluminium yang diikat oleh 4 mur baut yang terkoneksi langsung dengan motor step, seperti pada Gambar A.19. Sedangkan pada sisi lainnya digunakan pelat aluminium yang diikat oleh 2 buah mur-baut, seperti pada Gambar A.20. Pelat ini merupakan modifikasi setelah pada awalnya tidak ada pembatas mur.



Gambar A.19 Pelat aluminium penahan *bearing* dengan 4 buah mur-baut pada kaki meja di sisi dimana motor step berada



Gambar A.20 Pelat aluminium penahan *bearing* dengan 2 buah mur-baut pada kaki meja di sisi lain yang bukan merupakan lokasi motor step

Setelah semua perbaikan yang dipaparkan pada pembahasan sebelumnya, hasil dari pergerakan sumbu X dibandingkan ketika belum beroperasi sudah tidak ada goyang di bagian *gantry*, kemudian koneksi kopling bagus karena perputaran batang ulir stabil dari posisi ujung, tengah, hingga ke sisi ujung yang lainnya. Namun ada 1 masalah lain yang masih dialami oleh sumbu X, yaitu ketika

dioperasikan. Pergerakan sumbu X lancar, namun pergerakannya naik-turun, hal ini disebabkan batang ulir yang digunakan *bending*. Akibat dari *bending* ini mengakibatkan getaran pada sumbu X cukup tinggi.

SUMBU Y

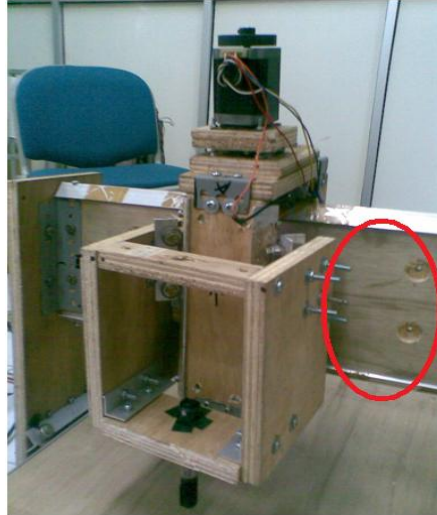
Desain

Sumbu yang kedua adalah sumbu Y. Desain awal sumbu Y terdiri dari 7 buah komponen, namun pada akhirnya komponen yang digunakan pada sumbu Y berkurang menjadi 6 komponen. Hal ini disebabkan oleh pada saat merakit sumbu Z, ternyata salah satu komponen sumbu Y menyebabkan pergerakan sumbu Z menjadi tersangkut, sehingga komponen tersebut tidak digunakan. Komponen tersebut adalah komponen S, ilustrasi tergambar pada Gambar A.21.



Gambar A.21 Komponen S masih digunakan untuk memperkuat komponen O pada sumbu Y

Gambar A.21 menggambarkan pada saat sumbu Z belum dirakit, komponen S masih digunakan guna memperkuat sumbu Y, namun setelah sumbu Z dirakit komponen S tidak digunakan lagi, karena akan tersangkut dengan sumbu Z. Hal yang sama juga akan terjadi apabila komponen S dipindah ke sisi sebaliknya. Gambar A.22 dan A.23 menggambarkan jelas tidak ada cukup ruang di kedua sisi sumbu Y, sehingga diputuskan komponen S tidak digunakan.

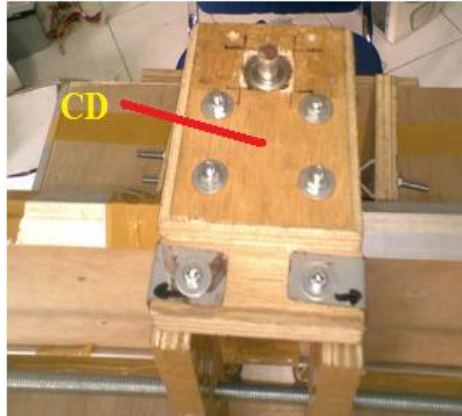


Gambar A.22 Komponen S sudah tidak digunakan di sumbu Y ketika sumbu Z sudah dirakit dikarenakan tidak ada cukup ruang untuk komponen S



Gambar A.23 Komponen S juga tidak dapat dipasang pada sisi lain dari sumbu Y, karena tidak cukup ruang

Komponen dari sumbu Y yang mengalami modifikasi adalah komponen CD. Jenis modifikasi adalah dengan menambahkan komponen lain, pembahasan lebih mendalam akan dibahas pada sumbu Z, karena berhubungan dengan pergerakan sumbu Z, namun lokasi modifikasi desain terdapat pada Gambar A.24.



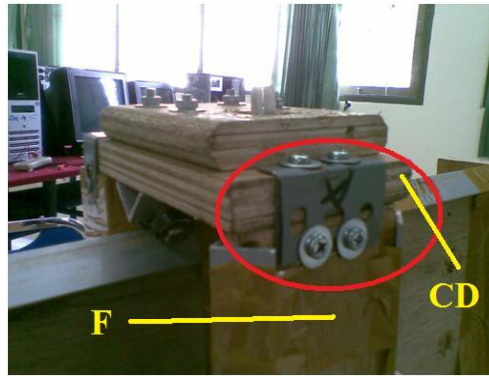
Gambar A.24 Bagian atas dari sumbu Y yang sudah dimodifikasi

Sambungan

Jumlah sambungan pada sumbu Y ini ada 8 buah sambungan, di antaranya 2 buah sambungan antara komponen O dengan 2 buah tiang *gantry*, 2 buah sambungan antara komponen F dengan CD dan 4 buah sambungan antara komponen CD dengan AB. Semua sambungan pada awalnya menggunakan baut tanam, namun dikarenakan sambungan jenis ini kurang kuat maka pada akhirnya digunakanlah kombinasi sambungan besi siku dan mur-baut, bentuk sambungan dapat dilihat pada Gambar A.25, A.26 dan A.27.



Gambar A.25 Sambungan siku besi berlubang pada sumbu Y yang menghubungkan antara *gantry* dengan komponen O



Gambar A.26 Sambungan pada sumbu Y yang menghubungkan antara komponen CD dengan komponen F



Gambar A.27 Sambungan pada sumbu Y yang menghubungkan antara komponen CD dengan komponen AB

Pergerakan

Proses perakitan awal rel pergerakan sumbu Y hanya direkatkan dengan lakban. Agar pergerakan lebih lancar, maka perekatan rel sumbu Y diganti dengan kombinasi antara pin dan baut, seperti pada Gambar A.28. Pemasangan sambungan pada sumbu Y diawali dengan memasang sambungan antara *gantry* dengan komponen O. Namun setelah sambungan itu terpasang, ternyata itu mengakibatkan batang ulir pada sumbu Y menjadi *bending* atau melengkung, sehingga pergerakan sumbu Y menjadi tidak lancar dan keras. Seperti tergambar pada Gambar A.29.



Gambar A.28 Rel sumbu Y yang direkatkan dengan kombinasi Pin-Baut



Gambar A.29 Batang ulir pada sumbu Y *bending*

Solusi untuk mengatasi masalah di atas adalah dengan cara mengubah jenis sambungan dan menggeser sedikit komponen yang berhubungan langsung dengan batang ulir sumbu Y ke arah lain sehingga batang ulir tidak lagi dalam keadaan *bending*. Pada Gambar A.29 dan A.30 jenis sambungan dari baut tanam ke besi siku dan mur-baut terlihat jelas mengakibatkan batang ulir *bending* ke arah mendekati komponen O. Setelah sambungan besi siku digunakan, efeknya langsung berefek pada batang ulir yang tidak lagi *bending*, seperti pada Gambar A.31 dengan batang ulir yang tidak *bending* lagi, maka pergerakan pada sumbu Y menjadi lancar.



Gambar A.30 Sambungan antara komponen CD dengan AB menggunakan baut yang ditanam pada komponen AB terjadi kesejajaran antara kedua komponen



Gambar A.31 Sambungan antara komponen AB dan CD dengan menggunakan siku besi dan baut-mur pergeseran komponen AB menyebabkan batang ulir tidak *bending*.

Koneksi kopling pada sumbu Y sama dengan koneksi sambungan pada sumbu X, pada awalnya menggunakan kopling aluminium. Namun masalah pada kopling jenis ini, sama dengan masalah yang dialami dengan sumbu X seperti pada gambar di halaman selanjutnya. Permasalahan diantaranya adalah dimensi kopling yang terlalu panjang, sulitnya penerapan pelurusan sumbu pada sumbu Y karena posisi yang kurang ideal dan tidak cukup ruang untuk menempatkan *dial indicator* sehingga poros batang ulir dengan motor step tidak satu sumbu dan desain kopling yang tidak sesuai harapan pada awalnya. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar yang sama dengan sumbu X, akhirnya diambil keputusan menggunakan jenis kopling fleksibel menggunakan selang dan penjepit pipa. Jenis selang yang digunakan untuk sumbu Y adalah jenis selang bening yang lebih tipis

dari kopling fleksibel sumbu X, Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar A.32 dan A.33.



Gambar A.32 Kopling aluminium pada sumbu Y



Gambar A.33 Kopling fleksibel yang sudah terpasang pada sumbu Y

Sama dengan sumbu X, Pergerakan sumbu Y dipengaruhi oleh letak dari posisi *bearing* yang tidak boleh bergeser keluar lubang, oleh karena itu digunakanlah pelat aluminium guna membatasi pergerakan *bearing* agar tidak keluar lubang. Jumlah *bearing* pada sumbu Y ada 2 buah, 1 buah pada sisi dimana motor step berada dan 1 buah sisi lagi pada sisi berseberangan dengan motor step. Pada sisi lokasi dimana motor step berada, pelat aluminium penahan *bearing* diikat dengan 4 buah mur-baut yang terkoneksi langsung dengan motor step, seperti pada Gambar A.34, sedangkan pada lokasi lain yang bukan merupakan lokasi motor step, pelat aluminium diikat dengan 2 buah mur-baut, seperti pada Gambar A.35. Pelat ini merupakan modifikasi setelah pada awalnya tidak ada pembatas mur.



Gambar A.34 Penahan *bearing* pada sumbu Y yang diikat oleh 4 buah mur-baut dan terkoneksi langsung dengan motor step



Gambar A.35 Penahan *bearing* pada sumbu Y di lokasi yang bukan merupakan lokasi motor step dan diikat oleh 2 buah mur-baut

Hasil pergerakan pada sumbu Y ketika perbaikan diatas sudah dilakukan adalah pergerakan sumbu Y ketika motor step diaktifkan hasilnya pergerakan sumbu Y lancar. Tidak ada masalah dengan kopling, pergerakan cukup halus, posisi kereta penggerak tepat menempel pada rel dan getaran rendah.

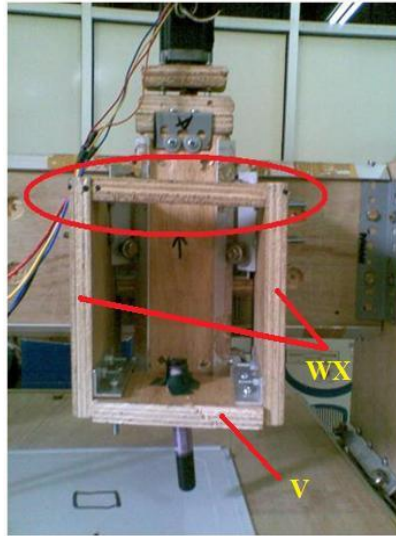
SUMBU Z

Desain

Sumbu ketiga dari mesin CNC ini adalah sumbu Z. Sumbu Z desain awalnya terdiri dari 4 komponen, namun pada akhirnya bertambah menjadi 5 komponen. Penambahan komponen ini dikarenakan jika tetap dipertahankan 4 komponen, maka sumbu Z akan goyang. Hal ini dikarenakan ada bagian yang tidak rapat sehingga kereta sumbu Z tidak tepat menempel pada rel sumbu Z, seperti pada Gambar A.36. Solusi untuk menghilangkan goyang adalah dengan merapatkan komponen tersebut sehingga kereta terletak tepat menempel pada rel, caranya adalah dengan menarik komponen tersebut dengan menyambungkannya dengan komponen lain, ilustrasi dari penjelasan ini tergambar pada Gambar A.37.



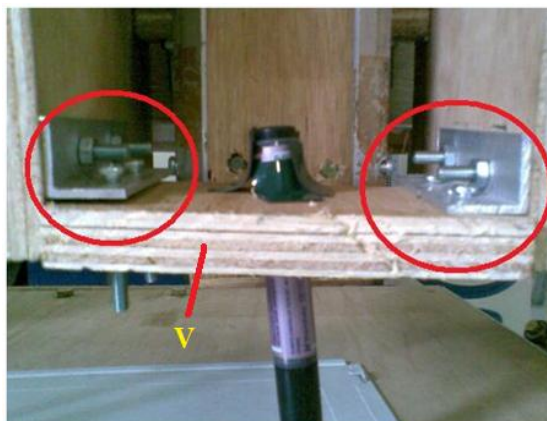
Gambar A.36 Komponen WX yang tidak tepat tegak lurus 90° terhadap komponen V.



Gambar A.37 Komponen tambahan agar komponen WX tegak lurus terhadap komponen V

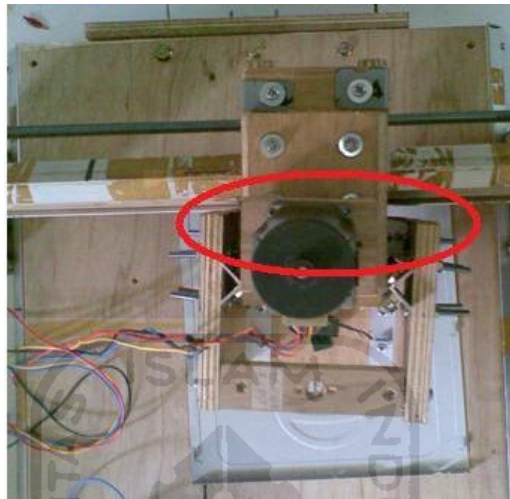
Sambungan

Sambungan komponen pada sumbu Z berjumlah 6 buah, dengan rincian 2 buah sambungan kombinasi pin-baut, sedangkan sisanya sambungan siku kombinasi mur-baut. Sambungan siku pada sumbu Z memiliki persamaan dan juga perbedaan dengan sumbu X dan Y. Persamaannya terletak pada jenis sambungannya, sambungannya bertipe siku dengan kombinasi mur-baut, sedangkan perbedaannya terletak pada bahannya, pada sumbu X dan Y bahan dari sikunya adalah besi berlubang, sedangkan pada sumbu Z bahannya adalah aluminium yang dilubangi, seperti pada Gambar A.38.

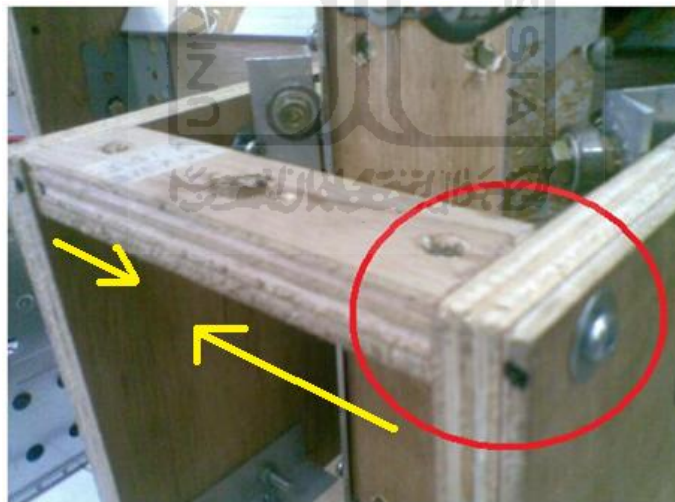


Gambar A.38 Sambungan siku aluminium menghubungkan antara komponen WX dan V

Sambungan pada gambar di atas terlihat tidak sempurna dan terlihat miring. Kejadian ini dikarenakan letak posisi komponen MN yang mengikat komponen WX satu sama lain tidak terletak sejajar antara satu sisi dengan sisi lainnya, sehingga berakibat pada miringnya komponen V. Akibat lain dari ketidaksejajaran ini terlihat pada Gambar A.39.



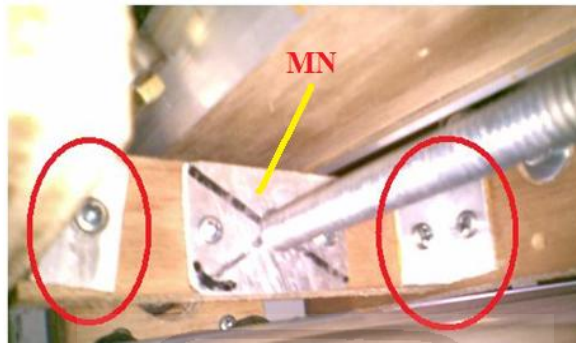
Gambar A.39 Salah satu akibat dari ketidaksejajaran sambungan



Gambar A.40 Sambungan pin-baut hubungkan komponen WX dan komponen penarik

Pada Gambar A.40 tergambar komponen penarik yang menarik komponen WX ke arah anak panah berwarna kuning, akibatnya komponen WX yang semula tidak tegak lurus terhadap komponen V, menjadi tegak lurus sehingga sumbu Z

tidak lagi goyang dan sekarang semakin kuat. Selanjutnya pada Gambar A.41 di bawah ini terlihat ada pelat aluminium di bagian tengahnya, pelat itu berfungsi menahan mur penghubung antara komponen MN dengan batang ulir agar mur di dalamnya tidak terangkat keluar. Pelat ini merupakan modifikasi setelah pada awalnya tidak ada pembatas mur.

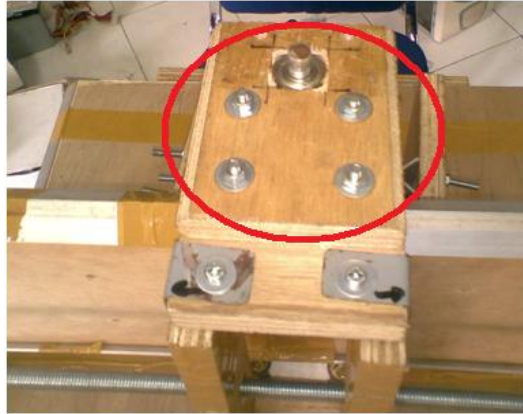


Gambar A.41 Sambungan siku aluminium menghubungkan antara komponen MN dan WX

Pergerakan

Pergerakan sumbu Z digerakan oleh sebuah batang ulir yang lebih pendek dari batang ulir sumbu Y. Hal ini dikarenakan jangkauan pergerakan sumbu Z yang memang lebih pendek dari sumbu Y. Sama dengan sumbu X dan Y, batang ulir pada sumbu Z juga bertumpu pada 2 buah *bearing* dan terhubung dengan komponen MN melalui mur sehingga dapat menggerakan sumbu Z ke atas dan ke bawah. Namun tumpuan kedua *bearing* ini mengalami modifikasi, karena dimensi lubang yang tersedia terlalu besar untuk *bearing* yang ada, diameter luar bearing 2,54 cm, sedangkan lubang berdiameter 3 cm.

Modifikasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan komponen lagi pada bagian atas dan bawah yang dimana komponen tambahan itu memiliki lubang yang diameternya pas dengan diameter *bearing*, seperti pada Gambar A.42 dan A.43.



Gambar A.42 Komponen tambahan di bagian atas pada tumpuan *bearing* penggerak sumbu Z



Gambar A.43 Komponen tambahan di bagian bawah pada tumpuan *bearing* penggerak sumbu Z

Koneksi kopling yang digunakan pada sumbu Z sama dengan koneksi kopling pada sumbu Y, menggunakan kopling fleksibel berupa selang bening dengan diikat penjepit pada sisi motor step dan sisi batang ulir. Perbedaan yang mencolok antara sumbu Z dengan sumbu X dan Y adalah dudukan dari motornya yang mengalami sedikit modifikasi. Modifikasi dilakukan karena idealnya motor step bertumpu pada 4 buah baut agar kuat, namun khusus sumbu Z hanya bisa digunakan 2 baut. Hal ini dikarenakan tidak tersedianya cukup ruang guna menempatkan 2 buah baut lagi. Tidak cukupnya ruang bagi baut disebabkan ruangan yang ada sudah digunakan oleh baut lain yang merupakan bagian dari

modifikasi dudukan *bearing*. berikut ini menggambarkan dengan jelas, lokasi yang diberi tanda merah merupakan lokasi dimana 2 baut yang tidak punya ruang. Seperti pada Gambar A.44.



Gambar A.44 Lokasi baut yang seharusnya agar 4 baut tumpuan motor dapat dipasang

Solusi mengatasi masalah kekurangan ruang tadi, maka ditambah lagi komponen tambahan lain. Fungsi dari komponen tambahan ini adalah agar motor memiliki tumpuan sebagai pengganti 2 buah baut yang tidak memiliki ruang, seperti pada gambar A.45 dan A.46.



Gambar A.45 Sisi depan dari motor step dimana bagian depan motor bertumpu pada baut



Gambar A.46 Sisi belakang dari motor step dimana bagian belakang motor tidak bertumpu pada baut melainkan pada komponen tambahan.

Sumbu Z merupakan bagian dari mesin CNC yang paling banyak mengalami modifikasi. Jenis dari modifikasi berupa penambahan komponen, tercatat ada 4 buah komponen tambahan yang dipasang pada sumbu Z, diantaranya komponen penarik komponen WX, komponen dudukan *bearing* 2 buah dan komponen dudukan motor. Keempat komponen tambahan ini berdampak pada bertambahnya beban pada sumbu Z, ditambah lagi berat dari motor step yang cukup berat. Akibat yang diterima dari beban yang berlebih ini adalah sumbu Z mengalami kemiringan yang condong ke depan, seperti pada Gambar A.47.



Gambar A.47 Komponen AB tidak tegak lurus dengan komponen CD

. Pembahasan sistem kontrol mesin CNC dibahas dalam topik TA lain dengan judul "Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Berbiaya Rendah" (Heriyadi, 2011). Hasil keseluruhan dari rangkaian mesin CNC, tergambar ada Gambar A.48.



Gambar A.48 Hasil jadi mekanik dan sistem kontrol mesin CNC keseluruhan

LAMPIRAN B

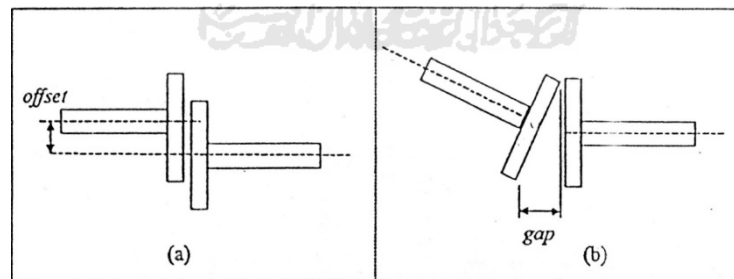
ALIGNMENT

Analisa Kelengkungan (*Alignment*)

Alignment poros merupakan sebuah kegiatan atau metode yang dilakukan bertujuan membuat 2 buah poros menjadi segaris dan satu sumbu. Aplikasi dari metode ini banyak digunakan di semua pabrik-pabrik besar, yang di dalamnya terdapat mesin-mesin besar di dalamnya, seperti pompa, motor, turbin dan kompresor.

Sebagai contoh sebuah pompa minyak, haruslah digerakan oleh mesin penggeraknya, misalnya oleh motor listrik. Dalam menggerakkan pompa, motor listrik haruslah terhubung dengan pompa. Salah satu mekanisme transmisi daya yang banyak adalah dengan sistem kopling, dimana kopling menghubungkan poros motor dengan poros pompa, sehingga daya dari motor bisa dikirim ke pompa, untuk menggerakkan pompa.

Motor akan dapat mengirimkan daya dengan maksimal, apabila kopling dalam keadaan kuat serta antara poros motor dengan pompa terdapat kesatusumbuan satu sama lain atau biasa disebut *alignment*, sedangkan keadaan dimana 2 buah poros tidak berada di satu sumbu yang sama, disebut *misalignment*.



Gambar B.1 (a) Misalignment Paralel, (b) Misalignment Angular (Sumber : Anonim, 2007)

Berdasarkan bentuknya, *missalignment* dibagi menjadi 2 jenis, seperti tergambar pada Gambar B.1 di atas, yaitu

a. *Missalignment* paralel

Misalignment paralel terjadi apabila sumbu poros yang disambung posisinya sejajar, namun tidak berhimpit.

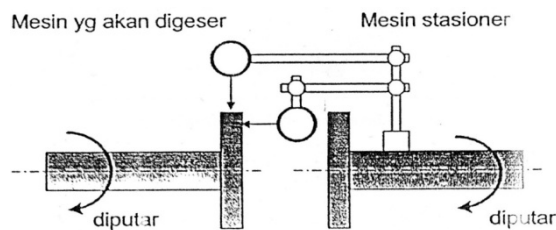
b. *Missalignment* sudut

Misalignment sudut terjadi apabila sumbu poros yang disambung posisinya sejajar, namun antara kedua poros membentuk sudut. Dalam proses alignment poros, besar nilai *missalignment* dinyatakan dengan *offset* (parameter untuk *missalignment paralel*), serta dinyatakan dalam *gap* (parameter untuk *missalignment* sudut).

Dalam praktiknya, guna mengatasi masalah *missalignment* tersebut diatas, ada 2 buah metode yang banyak dipakai, dalam pemakaiannya bisa digunakan salah satu saja, disesuaikan dengan situasi dan kondisi lapangan, kedua metode tersebut, yaitu :

Metode *Face and Rim* (FR)

Metode *face and rim* merupakan salah satu teknik dalam proses *alignment* poros yang dilakukan dengan cara mengukur *offset* pada *rim* serta *gap* pada *face*. Dalam praktiknya metode ini menggunakan 2 sampai 3 buah *dial indicator*. Ilustrasi untuk metode *Face and Rim* dapat dilihat pada Gambar B.2.



Gambar B.2 Ilustrasi Metode *Face and Rim* (Sumber : Anonim, 2007)

Kelebihan dari metode *face and rim* adalah

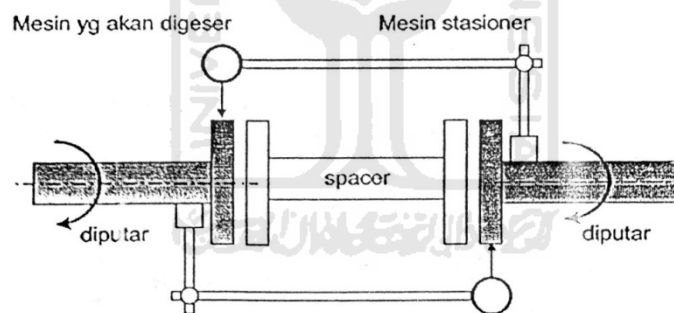
- Dapat digunakan pada mesin-mesin besar yang dimana porosnya tidak dapat diputar *manual*.
- Memiliki kecermatan yang lebih baik daripada metode lain, apabila diterapkan pada mesin yang memiliki diameter kopling besar dan jarak kopling dekat

Kekurangan dari metode *face and rim* adalah

- Terpengaruh gaya aksial
- Pengukuran *face sag* cukup sulit dilakukan, sehingga seringkali diabaikan

2.1.1. Metode *Reverse Indicator* (RI)

Metode *face and rim* merupakan salah satu teknik dalam proses *alignment* poros yang dilakukan dengan cara mengukur *offset* pada kopling input dan kopling output. Ilustrasi untuk metode *Reverse Indicator* dapat dilihat pada Gambar B.3.



Gambar B.3 Ilustrasi Metode *Reverse Indicator* (Sumber : Anonim, 2007)

Kelebihan dari metode RI adalah

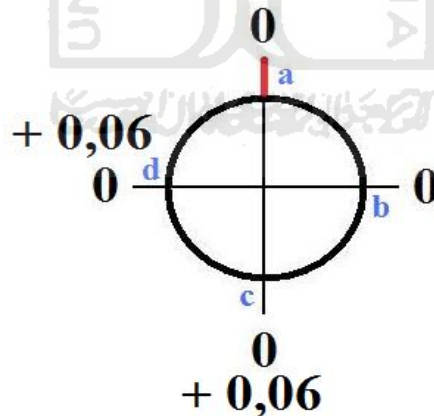
- Data hasil pengukuran tidak terpengaruh gaya aksial, karena pengukuran dilakukan di *rim* saja
- Pengaruh eksetrisitas kopling dan ketidakrataan permukaan kopling dapat dikurangi, karena kedua poros diputar bersamaan.
- Nilai *gap* dapat diperoleh tanpa pengukuran.
- Dapat dilakukan pada kopling terpisah, atau kopling yang menggunakan *spacer*.

Kekurangan dari metode RI adalah

- Metode ini hanya cocok untuk poros yang berjarak di atas 3 inch (7,62 cm)
- Kedua poros harus dapat diputar
- Kecermatan rendah apabila diterapkan pada kopling yang memiliki diameter lebih besar daripada jarak pengukuran arah aksial

Kesamaan struktur dan konstruksi antara motor dan pompa di pabrik-pabrik besar dengan motor step dan batang ulir pada mesin CNC, maka kedua metode *alignment* poros tersebut di atas, dapat digunakan sebagai salah satu cara dalam meluruskan sumbu antara batang ulir atau *leadscrew* dengan motor step yang berjumlah 3 buah untuk masing-masing sumbu yaitu sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z.

Metode ini akan menjamin kelurusan sumbu antara poros motor dengan batang ulir dengan pasti, karena toleransi ketidaklurusansumbu pada metode ini, maksimal 0,06 mm. Setelah kedua poros sudah terjamin kelurusan sumbunya, barulah disambung dengan sebuah kopling. Gambar B.4 merupakan syarat apabila sebuah poros dikatakan satu sumbu. Salah satu alat pengukuran yang digunakan adalah *dial indicator*, Gambar B.5 adalah contoh dari *dial indicator*.



Gambar B.4 Kondisi paling ideal poros poros dalam keadaan satu sumbu



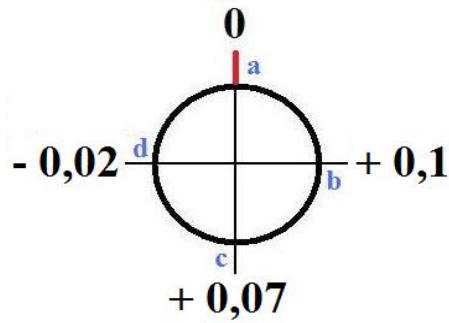
Gambar B.5 *Dial Indicator*.

a. Langkah-langkah pengukuran "metode rim" :

1. Tempatkan sensor *dial indicator* pada poros di posisi A dalam posisi angka 0, lalu diputar searah jarum jam ke posisi C. Kondisi poros lurus sempurna ketika selisih antara nilai A dan C maksimal sebesar 0,06 mm.
2. Tempatkan sensor *dial indicator* pada posisi B (tanpa merubah ke angka 0), lalu diputar searah jarum jam ke posisi D. Kondisi poros lurus sempurna ketika selisih antara nilai A dan C maksimal sebesar 0,06 mm.

b. Parameter pengambilan kesimpulan

Karakteristik dari *dial indicator* adalah ketika sensor ditekan, maka jarum pada *dial indicator* akan bergerak *clockwise* (CW) atau searah jarum jam, artinya nilai angka yang ditampilkan *dial indicator* bernilai positif (+). Ketika sensor *dial indicator* ditarik, maka jarum pada *dial indicator* akan bergerak *counter clockwise* (CCW) atau berlawanan arah jarum jam, artinya nilai angka yang ditampilkan *dial indicator* bernilai negatif (-). Gambar B.6 adalah contoh sederhana dari nilai pengambilan kesimpulan, warna merah adalah posisi awal *dial indicator*.



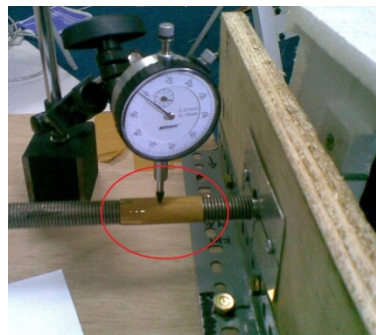
Gambar B.6 Contoh hasil pengukuran

Tabel B.1 Kesimpulan contoh pengukuran kelengkungan

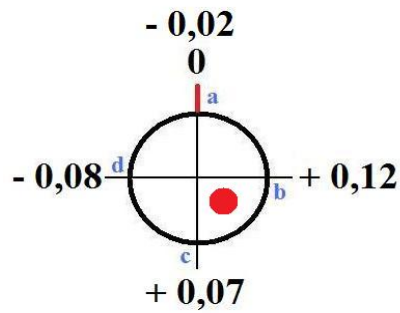
Notasi	Nilai	Range (mm)	Kesimpulan	Posisi Poros
A	0	+ 0,07	<i>Dial indicator</i> tidak tertekan	Condong ke bawah (dilihat dari samping)
C	+0,07		<i>Dial indicator</i> tertekan	
B	+0,1	+ 0,08	<i>Dial indicator</i> tertekan	Condong ke kiri (dilihat dari atas)
D	-0,02		<i>Dial indicator</i> tertarik	

Kelengkungan Sumbu X

Langkah pertama dalam mencari nilai kelengkungan adalah dengan cara meletakkan *dial indicator* pada daerah yang akan diukur. Kelengkungan pertama yang akan diukur adalah nilai kelengkungan pada batang ulir sumbu X di bagian yang bersebrangan dengan motor step, seperti pada Gambar B.7. Pengukuran dilakukan 3 kali untuk mendapat nilai rata-ratanya, Gambar B.8 adalah nilai rata-rata dari pengukuran pertama. Tabel B.2 adalah kesimpulan dari pengukuran pertama.



Gambar B.7 Pengukuran kelengkungan di bagian pinggir non-motor



Gambar B.8 Nilai Kelengkungan sumbu X pinggir non-motor

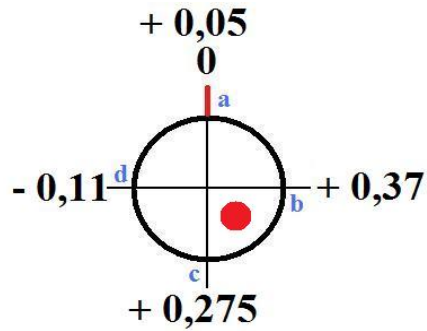
Tabel B.2 Tabel kesimpulan pengukuran pertama

Notasi	Range (mm)	Kesimpulan
A→C	+ 0,05 (aman)	Ulir condong ke arah bawah atau ke C
B→D	+ 0,04 (aman)	Ulir condong ke arah kanan atau ke B

Langkah kedua adalah mengukur nilai kelengkungan ulir di bagian tengah dari ulir, dengan cara meletakkannya pada bagian tengah, seperti pada Gambar B.9. Pengukuran juga dilakukan 3 kali untuk mendapat nilai rata-ratanya. Gambar B-10 merupakan angka rata-rata hasil dari pengukuran kedua. Tabel B.3 merupakan kesimpulan dari pengukuran kedua.



Gambar B.9 Pengukuran kelengkungan di bagian tengah



Gambar B.10 Nilai Kelengkungan sumbu X bagian tengah

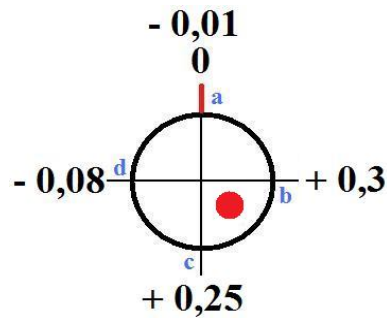
Tabel B.3 Tabel Kesimpulan pengukuran kedua

Notasi	Range (mm)	Kesimpulan
A→C	+ 0,28	Ulir condong ke arah bawah atau ke C
B→D	+ 0,26	Ulir condong ke arah kanan atau ke B

Langkah ketiga adalah mengukur nilai kelengkungan ulir di bagian yang berdekatan dengan motor step, dengan cara meletakkannya pada bagian dekat motor step, seperti pada Gambar B.11. Pengukuran juga dilakukan 3 kali untuk mendapat nilai rata-ratanya. Gambar B.12 merupakan angka rata-rata hasil dari pengukuran ketiga. Tabel B.4 merupakan kesimpulan dari pengukuran ketiga.



Gambar B.11 Pengukuran kelengkungan di bagian pinggir motor

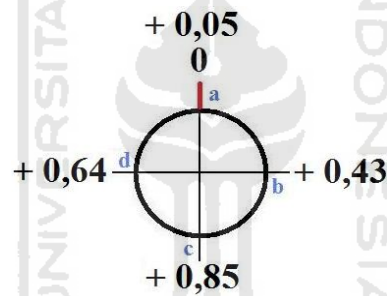


Gambar B.12 Nilai Kelengkungan sumbu X pinggir motor

Tabel B.4 Tabel kesimpulan pengukuran ketiga

Notasi	Range (mm)	Kesimpulan
A→C	+ 0,24	Ulir condong ke arah bawah atau ke C
B→D	+ 0,22	Ulir condong ke arah kanan atau ke B

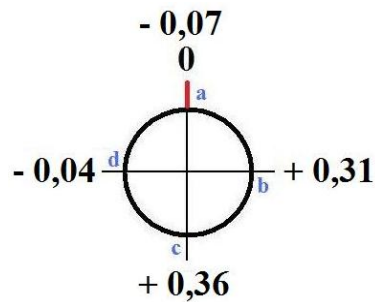
Perbandingan Kelengkungan Kopling



Gambar B.13 Nilai kelengkungan sebelum motor step dibaut.

Tabel B.5 Tabel kesimpulan motor belum terbaut

Notasi	Range	Kesimpulan
A→C	+ 0,90	Ulir condong ke arah bawah atau ke C
B→D	+ 1,07	Ulir condong ke arah kanan atau ke D



Gambar B.14 Nilai kelengkungan setelah motor step dibaut.

Tabel B.6 Tabel kesimpulan motor terbaut

Notasi	Range	Kesimpulan
A→C	+ 0,29	Ulir condong ke arah bawah atau ke C
B→D	+ 0,27	Ulir condong ke arah kanan atau ke B

Gambar B.13 dan B.14 adalah nilai pengukuran poros motor step dalam 2 kondisi, terbaut dan tidak terbaut. Kesimpulan yang bisa diambil dari perbandingan antara nilai kelengkungan motor terbaut dengan motor tidak terbaut pada tabel B.5 dan B.6 adalah nilai kelengkungan motor setelah terbaut berkurang sekitar 80%.

