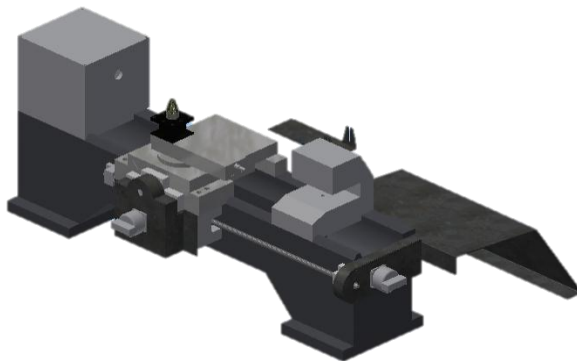




**PERANCANGAN SISTEM MEKANIK PENGGERAK SUMBU PADA
MODIFIKASI MESIN BUBUT KONVENSIONAL MENJADI MESIN
BUBUT CNC**

PROYEK AKHIR

**Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya**



**Oleh :
DITYA KUNCORO ADY
12508134006**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

2015

HALAMAN PERSETUJUAN

PROYEK AKHIR

**“PERANCANGAN SISTEM MEKANIK PENGGERAK SUMBU PADA
MODIFIKASI MESIN BUBUT KONVENSIIONAL MENJADI MESIN
BUBUT CNC”**

Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

Ditya Kuncoro Ady
12508134006

Diajukan kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Guna Memperoleh Kewenangan Gelar ahli Madya

Program Studi Teknik Mesin

Yogyakarta, Mei 2016

Dosen Pembimbing



Bambang Setiyo Hari Purwoko, Drs., M.Pd

NIP. 19571006 198812 1 001

HALAMAN PENGESAHAN
PROYEK AKHIR

PERANCANGAN SISTEM MEKANIK PENGGERAK SUMBU PADA
MODIFIKASI MESIN BUBUT KONVENSIONAL MENJADI MESIN
BUBUT CNC

Disusun Oleh :

Ditya Kuncoro Adv
12508134006

Telah dipertahankan didepan panitia penguji Proyek Akhir
Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Pada tanggal : 21 Juni 2016
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk memperoleh
Gelar Ahli Madya Program Studi Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

Nama Lengkap	Jabatan	Tanda tangan	Tanggal
1. <u>Bambang Setiyo Hari</u> <u>Purwoko,Drs., M.Pd</u>	Ketua Penguji		27/06 2016
2. Febrianto Amri Ristadi, M.Eng.Sc.	Sekretaris Penguji		27/06 2016
3. Dr. Nuchron, M.Pd.	Penguji Utama		24/06 2016

Yogyakarta, Juli 2016
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta


Dr. Moch. Bruri Trivono, M.Pd
NIP. 19560216 198603 1 003

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ditya Kuncoro Ady
Nim : 12508134006
Prodi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Laporan : Perancangan Sistem Mekanik Penggerak Sumbu Pada
Modifikasi Mesin Bubut Konvensional Menjadi
Mesin Bubut CNC

Dengan ini saya menyatakan bahwa, Proyek Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau gelar lainnya di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat kata atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 21 Mei 2016

Yang Menyatakan,



Ditya Kuncoro Ady
NIM. 12508134006

**PERANCANGAN SISTEM MEKANIK PENGGERAK SUMBU PADA
MODIFIKASI MESIN BUBUT KONVENSIONAL MENJADI MESIN
BUBUT CNC**

DITYA KUNCORO ADY
12508134006

ABSTRAK

Tujuan dari modifikasi mesin bubut konvensional menjadi mesin bubut CNC ini adalah untuk meningkatkan ketelitian, ketepatan, fleksibilitas, dan kapasitas produksi pada pengerjaan produk. Mesin ini merupakan modifikasi dari mesin bubut konvensional yang sudah ada. Dengan mesin ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas produk yang dibuat.

Proses perancangan sistem mekanik penggerak sumbu pada modifikasi mesin bubut konvensional menjadi mesin bubut CNC dilakukan dengan tahapan atau metode yaitu menganalisis kebutuhan, menjabarkan perancangan konsep produk, merancang produk, dan terakhir mendokumentasikan produk dalam gambar kerja dan desain mesin. Tenaga penggerak direncanakan menggunakan *motor stepper*.

Hasil perancangan adalah spesifikasi dan desain gambar kerja produk mesin CNC. Motor stepper yang digunakan yaitu motor berarus DC 5 Phasa, arus 2,8 Ampere, putaran motor $0,72^\circ$ per *step*, dan putaran maksimal 24 rpm. Mesin bubut CNC yang dihasilkan memiliki dimensi panjang x lebar x tinggi yaitu 1410mm x 933mm x 524mm. Taksiran untuk harga jual mesin bubut CNC yang ditawarkan, yaitu senilai RP 14.337.250,- (empat belas juta tiga ratus tig puluh tujuh dua ratus lima puluh rupiah).

Kata kunci: perancangan, modifikasi, mesin bubut, CNC

MOTTO

“Punggung pisaupun bisa diasah menjadi tajam”

“Jadilah diri sendiri, bukan orang lain”

“Hidup itu seperti naik sepeda. Agar tetap seimbang, kau harus terus bergerak” (Albert Einstein)

PERSEMBAHAN

Laporan proyek akhir yang berjudul **“PERANCANGAN SISTEM MEKANIK PENGGERAK SUMBU PADA MODIFIKASI MESIN BUBUT KONVENSIONAL MENJADI MESIN BUBUT CNC”** ini saya persembahkan kepada :

1. Bapak dan Ibu yang selalu memberikan dukungan dan doa agar diberi kemudahan dalam setiap langkah.
2. Bambang Setiyo Hari Purwoko, Drs., M.Pd selaku pembimbing yang tidak henti-hentinya membimbing dan memberi arahan agar lebih baik lagi.
3. Seluruh Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat serta kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir yang berjudul **“PERANCANGAN SISTEM MEKANIK PENGGERAK SUMBU PADA MODIFIKASI MESIN BUBUT KONVENSIONAL MENJADI MESIN BUBUT CNC”** dengan baik dan lancar. Laporan ini ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Ahli Madya D3 Program Studi Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta.

Dalam menyelesaikan laporan proyek akhir ini penulis mendapat pantauan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak terutama dosen pembimbing, sahabat-sahabat mahasiswa. Maka penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Mochamad Bruri Triyono, M.Pd. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Dr. Sutopo, MT. Ketua Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta.
3. Dr. Mujiyono, S.T., M.T. W.eng. Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin dan Penasehat Akademik.
4. Aan Ardian, M.Pd. Koordinatir Proyek Akhir D3 Teknik Mesin.
5. Bambang Setiyo Hari Purwoko, Drs., M.Pd, Dosen Pembimbing Proyek Akhir.
6. Seluruh Staf dan Karyawan bengkel permesinan yang membantu dan memudahkan dalam pembuatan alat.
7. Teman-teman seperjuangan yang selalu bekerjasama dan memberi dukungan untuk menyelesaikan laporan ini.
8. Kelompok Modifikasi Mesin Konvensional Menjadi CNC, Ardhi Novatra Setiawan (Pemesinan) dan Devin Setiawan (Fabrikasi) selaku partner kerja dalam pembuatan Modifikasi Mesin Konvensional Menjadi CNC.

9. Kedua orang tua tercinta, karena doamulah saya bisa menyelesaikan laporan proyek akhir ini.
10. Seluruh pihak yang membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Yang telah membantu dalam pembuatan Karya Teknologi dan Laporan Proyek Akhir sehingga selesai dengan baik

Dalam penyusunan laporan proyek akhir ini penulis masih merasa kurang dari sempurna, untuk itu perlu saran dan kritik yang membangun agar menjadikanya lebih baik lagi. Semoga laporan proyek akhir ini bermanfaat untuk penulis dan para pembaca khususnya.

Yogyakarta, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan.....	5
F. Manfaat.....	5
G. Keaslian	6

BAB II PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

A. Kajian Singkat Produk.....	7
B. Tuntutan Mesin dari Sisi Calon Pengguna	10
C. Analisis Morfologi Alat	11
D. Gambar Alat	16
E. Identifikasi Analisis Teknik yang Digunakan dalam Perancangan	16
1. Teori Desain Perancangan	16
2. Pemilihan Bahan.....	17
a. Pertimbangan Sifat	17
b. Pertimbangan Ekonomi	18
c. Pertimbangan Fabrikasi	18
3. Motor Listrik	18
4. Poros	20
a. Poros Transmisi/Shaft	20
b. Spindel	20
c. Line Shaft	21
1) Kekuatan Poros	21
2) Kekakuan Poros	21
3) Putaran Kritis	21
4) Korosi	22
5) Bahan Poros	22
a) Menghitung Daya Rencana.....	22

b)	Menghitung Momen yang Terjadi	23
c)	Mencari Tegangan Geser yang Diizinkan	23
d)	Macam – Macam Tegangan yang Terjadi pada Poros Berulir	23
i.	Tegangan Bengkok pada Ulir	23
ii.	Tegangan Geser pada Ulir	23
iii.	Tekanan Bidang pada Ulir	24
5.	Transmisi Sabuk Gilir	24
a.	Daya Rencana	25
b.	Momen Rencana	25
c.	Diameter Lingkaran Jarak Bagi Puli	25
d.	Panjang Keliling Sabuk	26
e.	Jarak Sumbu Poros	26
f.	Sudut Kontak	26
g.	Jumlah Gigi Terkait	26
h.	Faktor Lebar Gigi	27
6.	Suaian - Suaian	27
1)	Sistem Basis Lubang	27
2)	Sistem Basis Poros	28

BAB III KONSEP PERANCANGAN

A.	Konsep Dasar Modifikasi.....	29
1.	Pembuatan	30

2. Kegunaan	30
3. Biaya / Ekonomi	30
4. Bentuk	31
5. Pengaturan / Cara Kerja	31
B. Diagram Alir Proses Perancangan	31
C. Pernyataan Kebutuhan	32
D. Analisis Kebutuhan	34
1. Suplai Kebutuhan	34
2. Peningkatan Mutu di Bidang Teknologi Industri Mesin Perkakas	34
3. Target Keunggulan Produk	35
E. Pertimbangan Perancangan	35
1. Pertimbangan Teknis	35
2. Pertimbangan Ekonomi	36
3. Pertimbangan Ergonomis	36
F. Tuntutan Perancangan	36
1. Tuntutan Konstruksi	36
2. Tuntutan Keamanan	37
3. Tuntutan Pengoperasian	37
4. Tuntutan Fungsi	38
5. Tuntutan Pemeliharaan dan Perawatan	38

BAB IV PROSES, HASIL, & PEMBAHASAN

A. Proses Perancangan Mesin Bubut Manual Menjadi Mesin Bubut CNC	39
B. Perencanaan Daya Penggerak	41
C. Kapasitas Efektivitas Mesin	43
D. Proses Perancangan Modifikasi Eretan Melintang	48
E. Proses Perancangan Modifikasi Eretan Memanjang	52
F. Hasil Perancangan Modifikasi & Analisis	55
1. Proses perancangan & analisis poros ball screw eretan pembawa	55
2. Proses perencanaan dan analisis sistem transmisi sabuk gilir	61
G. Perencanaan Komponen, Pemilihan Bahan, & Proses <i>Assembly</i>	67
H. Analisis Ekonomi	69
I. Hasil & Pembahasan	71
1. Efektifitas Kerja Mesin	71
2. Modifikasi Eretan Melintang	71
3. Modifikasi Eretan Memanjang	72
4. Poros Ballscrew Eretan Pembawa	73
5. Sistem Transmisi Sabuk Gilir	73
6. Aspek Finansial	74
J. Uji Kinerja	74

K. Kelemahan – Kelemahan	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	76
B. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	79

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Modifikasi Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC	16
Gambar 2. Klasifikasi Jenis Motor Listrik	19
Gambar 3. Diagram Alir Proses Perancangan	32
Gambar 4. Diagram Alir Proses Perancangan Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC	39
Gambar 5. Pengaruh Besar Step Terhadap Putaran <i>Output Shaft</i> Motor <i>Stepper</i>	41
Gambar 6. Diagram Alir Cara Kerja Motor <i>Stepper</i>	42
Gambar 7. Diagram Alir Efektifitas Kerja Mesin	44
Gambar 8. Diagram Alir Proses Perencanaan Modifikasi Eretan Melintang	49
Gambar 9. Konstruksi Eretan Melintang	50
Gambar 10. Pandangan Samping Eretan Melintang	51
Gambar 11. Diagram Alir Proses Perencanaan Modifikasi Eretan	53
Gambar 12. Konstruksi Modifikasi Eretan Memanjang	54
Gambar 13. Pandangan Depan Modifikasi Eretan Memanjang.....	55
Gambar 14. Mekanisme Eretan Memanjang	57
Gambar 15. Sabuk Gilir	61
Gambar 16. Diagram Alir Perencanaan Sabuk Gilir	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tuntutan Perancangan Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC	13
Tabel 2. Matriks Morfologi Modifikasi Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC	14
Tabel 3. Spesifikasi Modifikasi Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC	15
Tabel 4. Penggolongan Bahan Poros	22
Tabel 5. Ukuran Transmisi Sabuk Gilir	62
Tabel 6. Penentuan Harga Mesin	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Kerja Mesin

Lampiran 2. Tabel Ukuran Bearing

Lampiran 3. Tabel Ukuran Sabuk Gilir

Lampiran 4. Tabel Cara Menyatakan Konfigurasi Permukaan dalam Gambar

Lampiran 5. Tanda-tanda Gambar dalam Pengelasan

Lampiran 6. Nilai-nilai Toleransi untuk Lubang

Lampiran 7. Simbol dengan Tambahan Perintah Pengerjaan

Lampiran 8. Nilai Kekerasan dan Tingkat Kekerasan Menurut ISO

Lampiran 9. Lambang-lambang dari Diagram Alir

Lampiran 10. Dokumentasi

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Ilmu Pengetahuan dan Teknologi setiap saat akan berkembang seiring dengan kemajuan zaman, serta menyesuaikan kebutuhan manusia. Hampir semua pekerjaan manusia dapat dikerjakan dengan cepat, mudah, dan lebih baik. Hal ini dikarenakan adanya mesin-mesin yang sengaja diciptakan untuk mempermudah pekerjaan manusia, penggunaan mesin juga sangat membantu meningkatkan produktivitas dengan waktu pengerjaan relatif lebih cepat dan menghasilkan produk yang lebih baik dari segi ukuran dan dimensinya.

Kemajuan dalam bidang teknologi yang semakin berkembang merupakan aspek sebuah pengetahuan dan teknologi yang mengharuskan kalangan pendidikan tinggi untuk dapat meningkatkan kemampuan dalam penggunaan teknologi, terutama pada teknologi tepat guna. Teknologi tepat guna merupakan teknologi yang tepat sasaran, yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat umum. Pengembangan teknologi tepat guna harus lebih ditingkatkan sebagai penunjang pemanfaatan teknologi masyarakat Indonesia.

Pemanfaatan teknologi pada masyarakat berdampak sangat luas dan berimbas pula pada industri-industri kecil dan menengah, khususnya yang masih menggunakan peralatan konvensional atau bahkan menggunakan peralatan tradisional. Pemahaman teknologi secara mendasar, rinci dan mendalam

dilakukan melalui pelaksanaan program yang kongkrit untuk memproduksi barang dan jasa.

Perkembangan teknologi komputer saat ini telah mengalami kemajuan yang amat pesat. Dalam hal ini komputer telah diaplikasikan ke dalam alat-alat mesin perkakas diantaranya mesin bubut, mesin frais, mesin skrap, dan mesin bor. Hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan CNC (*Computer Numerical Controlled*). Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setaraf dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi, sehingga di era modern seperti saat ini banyak industri mulai meninggalkan mesin-mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan perkakas CNC.

Secara garis besar pengertian mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa *numeric* (perintah gerakan yang menggunakan angka dan huruf). Sebagai contoh apabila layar monitor mesin penulis tertulis **M03** maka *spindle* utama mesin akan berputar, dan apabila penulis tertulis **M05** maka *spindle* utama mesin akan berhenti berputar. Mesin CNC tingkat dasar yang ada pada saat ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu mesin CNC *Two Axis* atau yang lebih dikenal dengan Mesin Bubut (*Lathe*)

dan Mesin CNC *Three Axis* atau yang lebih dikenal dengan Mesin Frais (*Milling Machine*).

Dari hasil di atas maka penulis memiliki inisiatif untuk melakukan modifikasi pada penggerak Mesin Bubut konvensional menjadi Mesin Bubut CNC. Untuk proses pembuatan komponen dengan mesin CNC akan lebih efisien dengan hasil yang lebih baik dibanding dengan menggunakan mesin bubut konvensional.

Mesin Bubut CNC terdiri dari beberapa bagian utama, yakni : rangka mesin, tutup rangka, motor penggerak sumbu, peralatan komputer, *chuck*, eretan, dan *tool post*. Masing-masing bagian mesin mempunyai fungsi dan kegunaan sendiri. Gerakan Mesin Bubut CNC dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan. Keuntungan dari sistem ini adalah memungkinkan mesin untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama.

Dalam pembuatan Karya Teknologi modifikasi penggerak mesin bubut konvensional ini difokuskan pada perancangan penggerak sumbu pada mesin CNC. Ada tiga bagian utama pada sistem penggerak sumbu yang dibuat yaitu : dudukan motor *staper*, *timing gear*, dan leher poros *ball screw*.

B. Identifikasi Masalah

Dari penjabaran latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang terdapat pada perancangan penggerak pada modifikasi mesin bubut konvensional adalah sebagai berikut :

1. Mengubah sistem kerja mesin manual menjadi sistem kontrol komputer agar dapat menghasilkan gerakan seperti mesin CNC.
2. Merancang modifikasi pada dua bagian penting dari mesin bubut manual yaitu eretan melintang dan eretan memanjang.
3. Mengubah cara kerja gerak poros eretan memanjang (sumbu z) dan eretan melintang (sumbu x) dari sistem manual menjadi gerak otomatis yang memanfaatkan tenaga hasil putaran motor *stepper*.
4. Membuat komponen dengan rancangan sederhana, tetapi memiliki fungsi yang sesuai agar mampu mendukung cara kerja mesin.
5. Modifikasi tidak mengurangi fungsi dan prinsip kerja dari mesin sebelumnya sehingga mempunyai ciri khas tersendiri.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah dan identifikasi masalah, modifikasi mesin bubut konvensional sehingga pada pembuatan laporan ini hanya akan membahas mengenai perancangan pada sistem mekanik penggerak sumbu pada mesin CNC.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana proses perancangan eretan melintang pada modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC?

2. Bagaimana proses perancangan eretan memanjang pada modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC?
3. Bagaimana merancang sistem transmisi pada eretan memanjang dan eretan melintang?
4. Bagaimana proses perancangan komponen pada modifikasi mesin?

E. Tujuan

Tujuan dari pembuatan laporan proyek akhir dengan judul Peancangan Penggerak pada Modifikasi Mesin Bubut Konvensional adalah sebagai berikut :

1. Dapat menghasilkan perubahan pada bagian utama mesin bubut yaitu pada eretan melintang agar mampu mendukung cara kerja mesin dengan sistem kontrol komputer.
2. Melalui proses perancangan dapat dihasilkan perubahan pada bagian eretan memanjang dengan perubahan komponen utama agar dapat mendukung cara kerja mesin dengan sistem kontrol komputer.
3. Dapat merancang dan menganalisa sistem transmisi pada eretan memanjang dan eretan melintang.
4. Dapat merancang komponen-komponen yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pada modifikasi mesin.

F. Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari modifikasi mesin bubut konvensional adalah :

1. Bagi penulis
 - a. Sebagai suatu penerapan teori dan praktek kerja yng diperoleh saat di bangku perkuliahan.
 - b. Sebagai model belajar aktif tentang cara inovasi teknologi bidang teknik mesin.
 - c. Sebagai proses pembentukan karkter kerja mahaiswa dalam menghadapi persaingan dunia kerja.
2. Bagi Perguruan Tinggi
 - a. Secara teoritis dapat memberikan informasi perkembangan teknologi terbaru khususnya Fakultas Teknik-UNY kepada institusi pendidikan lain.
 - b. Sebagai bahan kajian kuliah di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNY dalam matakuliah bidang tchnik mesin.
3. Bagi Masyarakat

Menambah perbendaharaan inovasi alat yang ada di industri, sehingga mendukung kemajuan dibidang industri.

G. Keaslian Gagasan

Percanaan penggerak pada mesin bubut konvensional menjadi mesin bubut CNC merupakan modifikasi mesin bubut yang sudah ada. Pengerjaan mesin difokuskan pada perbaikan penggerak sumbu pada mesin bubut konvensional, sistem kontrol, dan penambahan sistem komputer pada mesin. Modifikasi mesin ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas, kuantitas, dan keamanan pada proses produksi.

BAB II

PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

A. Kajian Singkat Produk

Seiring dengan berkembangnya teknologi di bidang industri mesin perkakas, maka telah diciptakan mesin yang bekerja dengan sistem kerja otomatis yang berbasis pada sistem komputerisasi, yaitu mesin CNC (*Computer Numerical Controlled*). Berdasarkan penggunaannya, hingga saat ini mesin bubut jenis konvensional (manual) masih banyak digunakan terutama bagi para pemilik usaha mandiri maupun sebagai alat praktek pada lembaga pendidikan, karena memang harga mesin CNC buatan pabrik masih sangat mahal.

Perbedaan yang sangat mendasar antara mesin bubut konvensional dengan mesin bubut CNC ialah terletak pada sistem kontrol, seperti telah diketahui untuk pengoperasian mesin bubut konvensional tersebut mengandalkan kemampuan seseorang, sehingga ketelitian maupun kesalahan yang terjadi sangat tergantung dari kemampuan masing – masing pemakai. Apabila diinginkan untuk memproduksi barang/komponen dalam jumlah banyak, akan dimungkinkan terjadi ketidaksamaan ukuran antara barang yang satu dengan yang lain. Dalam hal ini, ketika suatu produk dituntut untuk menghasilkan kepresisian, maka hasil produk dengan proses mesin bubut konvensional ini hanya tergantung dari pemakainya. Sedangkan untuk cara pengoperasian mesin bubut CNC dengan memasukkan program yang telah dibuat ke dalam sistem komputerisasi melalui tombol – tombol yang kemudian program tersebut akan

ditampilkan dalam sebuah layar (*display*). Tentu mesin seperti ini mempunyai banyak keunggulan, seperti cara kerja mesin yang lebih cepat dan apabila digunakan untuk memproduksi barang dalam jumlah banyak, maka mesin ini akan mampu menghasilkan ukuran yang sama antara barang yang satu dengan yang lainnya. Selain itu mesin bubut CNC mampu menghasilkan ukuran dengan kepresisian yang baik. Berdasarkan manfaat keunggulan tersebut, maka banyak pabrik besar saat ini lebih memilih mesin type CNC (sistem komputerisasi), karena selain untuk meningkatkan efisiensi waktu produksi, mesin seperti ini sangat mendukung untuk proses produksi massal, karena ukuran maupun bentuk barang yang dihasilkan akan sama antara satu dengan yang lainnya, sehingga mesin ini akan mampu meminimalisasi kesalahan yang mungkin terjadi.

Mengoperasikan mesin CNC dibutuhkan seorang pengguna (*programmer*, untuk sebutan orang yang menjalankan mesin CNC) yang benar-benar mampu dan mengerti tentang mesin tersebut. Untuk menyiapkan kebutuhan tenaga – tenaga yang baik, maka harus dilatih dan diajarkan sejak dini dan tidak hanya materi teori yang diberikan akan tetapi juga dilengkapi dengan praktek. Kendala lain yang masih dihadapi oleh kebanyakan lembaga pendidikan terkait ialah terbatasnya masalah biaya, seperti telah diketahui bahwa harga mesin CNC buatan pabrik sangat mahal, sehingga pihak sekolah sulit untuk menyediakan mesin tersebut, terutama untuk SMK yang terletak di kota – kota kecil ataupun pedesaan, karena untuk menciptakan sumber daya manusia yang mengerti tentang teknologi harus diberikan pengetahuan yang secara kontinyu dan merata,

tidak hanya siswa yang di kota besar maupun perkotaan akan tetapi harus merata sampai ke kota kecil maupun pedesaan.

Berdasarkan tujuan untuk membantu memenuhi kebutuhan terhadap mesin tersebut, maka telah dibuat sebuah mesin serupa dengan konsep modifikasi, memanfaatkan komponen utama mesin bubut manual yang ada, selanjutnya proses modifikasi dilakukan. Modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini lebih bersifat pada penambahan maupun penggantian komponen yang akan dibutuhkan. Spesifikasi komponen utama yang diperlukan untuk memodifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC antara lain dua buah motor *stepper* dengan spesifikasi 5 phase, 2.8 Ampere, 0.47 Ω , 0.72°, dua buah poros *ballscrew* dengan panjang 942 mm & 200 mm, dan dua set sistem transmisi berupa sabuk gilir (*timing belt*). Perubahan yang sangat terlihat ialah pada bagian eretan melintang dan eretan memanjang, awalnya bagian ini digerakkan dengan *handle* pemutar untuk menggerakkan eretan tersebut, dalam modifikasi ini kemudian diubah menjadi tempat/dudukan casing motor *stepper*. Selain itu, dudukan poros eretan memanjang bagian kanan dan kiri juga diganti, karena dudukan yang baru telah disesuaikan dengan kebutuhan ukuran dari poros *ballscrew* yang akan digunakan. Kemudian di bagian atas dari eretan juga ditambahkan untuk dudukan poros *ballscrew*. Memanfaatkan tempat sisa di bagian belakang mesin, dipasang rangkaian dudukan box unit kontrol. Agar lebih terlihat baik dari segi estetik dan keamanan, maka pada bagian-bagian tertentu misalnya pada bagian yang berputar ditutup dengan casing yang

berfungsi sebagai pelindung, sedangkan untuk peralatan elektronik, ditempatkan di dalam box unit kontrol.

B. Tuntutan Mesin dari Sisi Calon Pengguna

Sejalan dengan berkembangnya teknologi dan guna memenuhi tujuan untuk meningkatkan jumlah produksi, kualitas produksi, maupun efisiensi waktu produksi, maka telah banyak perusahaan ataupun pabrik yang memanfaatkan mesin atau alat dengan cara kerja otomatis yang berdasar pada bantuan sistem kontrol komputer. Keuntungan lain yang ingin dicapai oleh pabrik dalam menggunakan mesin tersebut ialah dapat menghemat pengeluaran untuk biaya tenaga kerja, karena umumnya mesin ini bisa dioperasikan oleh satu tenaga/operator saja.

Beberapa perbedaan yang sangat kontras antara mesin bubut manual dengan mesin bubut CNC ialah terletak pada sistem kontrol dan cara pengoperasian. Guna lebih mengembangkan inovasi, maka telah dibuat sebuah mesin bubut berprinsip kerja sistem CNC, mesin ini dibuat dengan konsep modifikasi dari mesin bubut manual (konvensional) yang telah ada sebelumnya. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, konsep modifikasi ini lebih bersifat pada penambahan maupun penggantian komponen yang dibutuhkan. Penambahan beberapa komponen utama diantaranya motor *stepper*, poros *ballscrew*, dan sistem transmisi sabuk gilir (*timing belt*), maka diharapkan mesin hasil modifikasi ini mampu menghasilkan gerakan seperti mesin CNC yang ada.

Adapun tuntutan dari modifikasi mesin tersebut antara lain :

1. Mampu menghasilkan gerakan seperti pada mesin CNC.
2. Mempunyai bentuk modifikasi yang ergonomis.
3. Mempunyai harga jual yang relatif terjangkau (apabila telah layak jual).
4. Mudah dalam penggunaan dan perawatan.

C. Analisis Morfologis Alat

Modifikasi mesin bubut manual ini dibuat agar dapat bekerja seperti mesin bubut CNC. Proses pengoperasian juga sama seperti mesin CNC, yaitu dengan memasukkan program (*NC Code*) ke dalam sistem komputer. Beberapa tambahan komponen utama yang dibutuhkan antara lain dua buah motor *stepper*, dua buah poros *ballscrew* dengan panjang 942 mm & 200 mm, dan sistem transmisi sabuk gilir (*timing belt*) dengan diameter 28,5 mm & diameter 40 mm, transmisi juga berfungsi untuk meneruskan daya yang dihasilkan dari motor *stepper* ke poros *ballscrew*.

Bagian utama mesin kemudian diubah diantaranya pada eretan memanjang dan eretan melintang, pada bagian tersebut ditambahkan dudukan motor *stepper* yang juga berfungsi sebagai *casing* transmisi, dudukan poros eretan memanjang dibagian kanan dan kiri juga diganti dengan dudukan baru yang telah disesuaikan dengan ukuran poros *ballscrew* yang dipakai, bagian eretan melintang juga dibuat dudukan untuk poros *ballscrew*. Secara umum desain dibuat secara sederhana akan tetapi dengan mementingkan fungsi dan ukuran yang sesuai.

Secara garis besar pertimbangan dalam merancang mesin ini berdasarkan :

1. Secara teknis mesin harus dapat dipertanggungjawabkan, dalam hal ini alat harus :
 - a. Mesin mudah dioperasikan dan mudah dalam perawatan dan perbaikannya.
 - b. Konstruksi mesin yang ergonomi.
 - c. Konstruksi mesin harus mampu bekerja sesuai dengan fungsi utamanya.
2. Secara ekonomi menguntungkan (ekonomis), hal ini terkait dalam :
 - a. Material konstruksi yang digunakann untuk pembuatan komponen dapat menggunakan besi bekas, sehingga mampu menekan biaya pembuatan/produksi.
 - b. Memiliki harga jual yang relatif terjangkau (apabila mesin telah layak jual).
3. Secara sosial dapat diterima

Modifikasi mesin bubut ini merupakan hasil inovasi, sehingga nantinya alat ini dapat dimanfaatkan di bidang pendidikan sebagai penunjang alat praktek mesin CNC. Berdasarkan hal di atas maka spesifikasi yang dibuat harus memiliki persyaratan yang terdiri dari dua kategori, yaitu keharusan dan keinginan. Berikut ini adalah daftar spesifikasi dari alat yang dimaksud :

Tabel 1. Tuntutan Perancangan Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC.

No.	Tuntutan Perancangan	Persyaratan	Tingkat Kebutuhan
1.	KINEMATIKA	Mekanismenya mudah beroperasi.	D
2.	GEOMETRI	1. Bentuk dan ukuran mesin bubut asli tetap dipertahankan. 2. Dimensi komponen dapat diubah.	D W
3.	ENERGI	1. Menggunakan tenaga motor <i>stepper</i> . 2. Dapat diganti tenaga penggerak lain.	D W
4.	MATERIAL	1. Mudah didapat. 2. Harga yang relatif sesuai dengan kualitasnya. 3. Baik mutunya. 4. Tahan terhadap korosi. 5. Sesuai dengan standar umum. 6. Memiliki umur pakai yang panjang. 7. Mempunyai kekuatan yang baik.	D D W D D D D
5.	ERGONOMI	1. Nyaman dalam penggunaan. 2. Tidak bising. 3. Mudah dioperasikan.	D D D
6.	SINYAL	1. Petunjuk pengoperasian mudah dimengerti. 2. Petunjuk pengoperasian dalam bahasa yang mudah dipahami.	D D
7.	KESELAMATAN	1. Konstruksi harus kokoh. 2. Bagian panas harus terlindungi. 3. Tidak menimbulkan polusi.	D D W
8.	PRODUKSI	1. Dapat diproduksi kembali. 2. Biaya produksi relatif rendah. 3. Dapat dikembangkan kembali.	D W D
9.	PERAWATAN	1. Biaya perawatan murah. 2. Suku cadang mudah didapat. 3. Suku cadang dengan harga yang relatif sesuai dengan kualitas. 4. Perawatan mudah dilakukan. 5. Perawatan secara berkala.	D D D D W

Keterangan :

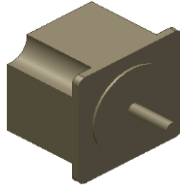
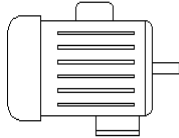
1. Keharusan (*Demands*) disingkat D, yaitu syarat mutlak yang harus dimiliki mesin bila tidak terpenuhi maka mesin tidak diterima.
2. Keinginan (*Wishes*) disingkat W, yaitu syarat yang masih bisa dipertimbangkan keberadaannya agar jika mungkin dapat dimiliki oleh mesin yang dimaksud.

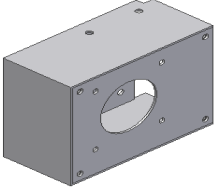
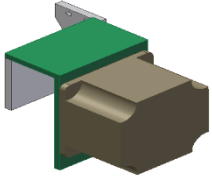
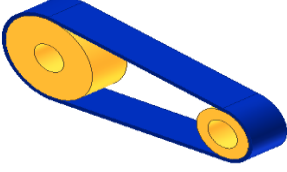
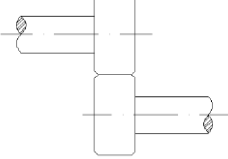
Berdasarkan spesifikasi di atas maka mesin modifikasi yang akan dibuat ini nantinya mampu bekerja sesuai dengan sistem kerja dari mesin CNC yang sudah ada. Melalui urutan proses diatas, maka secara fungsional modifikasi mesin bubut ini memiliki komponen utama sebagai berikut :

1. Sistem penggerak
2. Casing dan dudukan motor penggerak
3. Sistem transmisi

Berdasarkan data di atas maka didapat gambaran komponen yang akan membentuk modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC yang sedang dirancang. Dengan demikian maka dapat disusun suatu skema klasifikasi yang disebut matriks morfologi, dan lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Tabel 2. Matriks Morfologi Modifikasi Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC

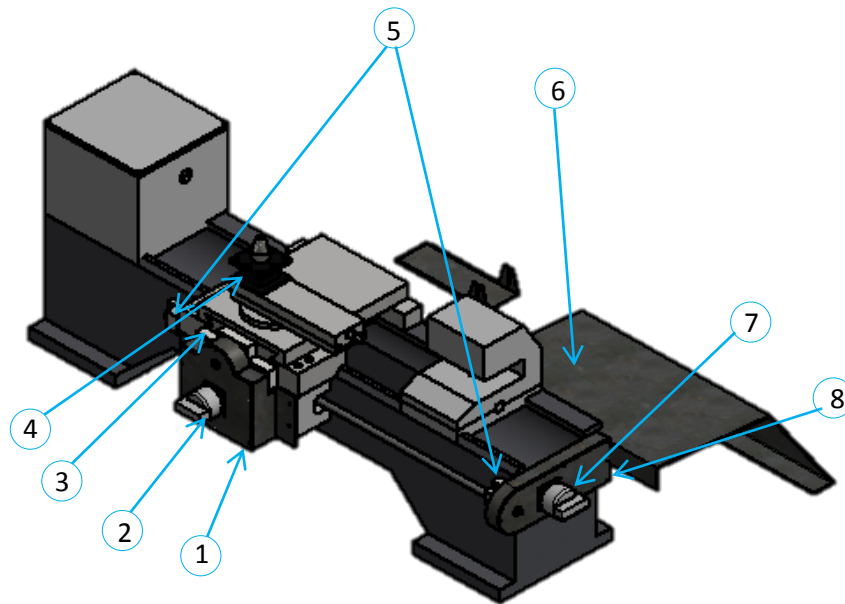
No.	Sub Komponen	Varian yang mungkin	
		1	2
1.	Sistem penggerak	 <i>Motor Stepper</i>	 <i>Motor Servo</i>

2.	Casing dan dudukan motor penggerak	 Casing tertutup & dudukan jadi satu	 Casing transmisi terbuka
3.	Sistem transmisi	 <i>Timing Belt</i>	 Susunan Roda gigi

Tabel 3. Spesifikasi Modifikasi Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC

No	Nama Bagian	Keterangan
1.	Motor <i>stepper</i>	5 Phase, 2.8 Ampere, 0.47 Ω , 0.72°
2.	Poros <i>ballscrew</i> (eretan memanjang)	Panjang 942 mm & \varnothing 16 mm Bahan : - Baja <i>chrom</i> (pengerasan kulit) - $\sigma = 80 \text{ kg/mm}^2$
3.	Poros <i>ballscrew</i> (eretan melintang)	Panjang 200 mm & \varnothing 16 mm Bahan : - Baja <i>chrom</i> (pengerasan kulit) - $\sigma = 80 \text{ kg/mm}^2$
4.	<i>Pulley</i> transmisi	<i>Pulley</i> kecil : - \varnothing 28,5 mm - Z = 18 <i>Pulley</i> besar : - \varnothing 40 mm - Z = 80
5.	Sabuk gilir (<i>Timing belt</i>)	Luas penampang/lebar = 10,5 mm Z = 40 Bahan : Karet <i>neopren</i>
6.	Casing dan dudukan motor <i>stepper</i>	Bahan : Pelat tebal 3 mm
7.	Dudukan poros <i>ballscrew</i> eretan memanjang	Bahan : <i>Mild Steel</i> (ST-37) dengan $\sigma = 37 \text{ kg/mm}^2$
8.	Box	Casing : pelat 1 mm

D. Gambar Alat



Gambar 1. Modifikasi Mesin Bubut Konvensional Menjadi Mesin Bubut CNC.

Keterangan gambar :

1. Dudukan motor *stepper* eretan melintang.
2. Motor *stepper* eretan melintang.
3. Dudukan poros *ball screw* eretan melintang.
4. *Tool post*.
5. Dudukan poros *ball screw* eretan memanjang
6. Dudukan box sistem kontrol.
7. Motor *stepper* eretan memanjang.
8. Dudukan motor *stepper* eretan memanjang.

E. Identifikasi Analisis Teknik yang Digunakan dalam Perancangan

1. Teori Desain Perancangan

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian dalam proses pembuatan produk. Tahap perancangan tersebut dibuat keputusan – keputusan penting yang mempengaruhi kegiatan – kegiatan lain yang menyusulnya. Sehingga sebelum sebuah produk dibuat terlebih dahulu

dilakukan proses perancanganyang nantinya menghasilkan sebuah gambar skets atau gambar sederhana dari produk yang akan dibuat.gambar skets yang telah dibuat kemudian digambar kembali dengan aturan gambar, sehingga dapat dimengerti oleh semua orang yang terlibat dalam pembuatan produk tersebut. Gambar hasil perancangan adalah hasil akhir dari proses perancangan dan sebuah produk dibuat setelah dibuat gambar – gambar rancangannya dalam hal ini adalah gambar kerja.

2. Pemilihan Bahan

Perancangan suatu elemen mesin memiliki beberapa aspek yang harus diperhatikan. Salah satu aspek tersebut adalah pemilihan jenis bahan teknik yang akan digunakan. Pemilihan bahan untuk elemen atau komponen mesin sangat berpengaruh terhadap kekuatan elemen tersebut.

Penentuan bahan yang tepat, pada dasarnya merupakan kompromi antara berbagai sifat, lingkungan, dan cara penggunaan sampai dimana sifat bahan dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Dalam pemilihan suatu bahan teknik ada beberapa aspek yang benar – benar memerlukan peninjauan yang teliti menurut Amstead (1995: 15).

Peninjauan tersebut antara lain :

a. Pertimbangan Sifat, meliputi :

- | | |
|----------------|-------------------------------|
| 1) Kekuatan | 4) Keuletan |
| 2) Kekerasan | 5) Daya tahan terhadap korosi |
| 3) Elastisitas | 6) Daya tahan terhadap panas |

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 7) Sifat kelistrikan | 10) Daya tahan fatik |
| 8) Berat jenis | 11) Daya tahan mulur |
| 9) Sifat kemagnetan | 12) Sifat mampu dukung |

b. Pertimbangan Ekonomi, meliputi :

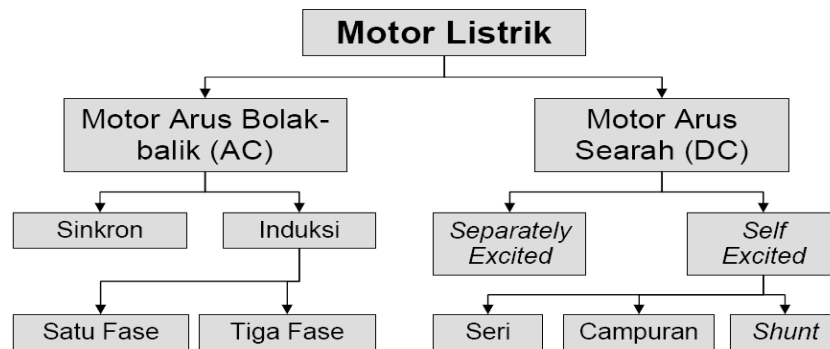
- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1) Ketersediaan barang | 4) Biaya penyambungan |
| 2) Waktu pengerjaan | 5) Biaya pemesinan |
| 3) Biaya pengerjaan | 6) Harga bahan |

c. Pertimbangan Fabrikasi, meliputi :

- | | |
|----------------|----------------------------|
| 1) Mampu cetak | 4) Mampu tuang |
| 2) Mampu mesin | 5) Kemudahan sambungan las |
| 3) Mampu tempa | 6) Perlakuan panas |

3. Motor Listrik

Motor listrik merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanis. Berdasarkan *input* arus, motor listrik dibagi menjadi dua jenis yaitu motor arus searah (AC) dan motor arus bolak – balik (DC). Motor listrik dapat dikategorikan menjadi berbagai jenis berdasarkan konstruksi dan mekanisme operasi, dan pembagiannya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Klasifikasi Jenis Motor Listrik. (United Nations Environment Programme, 2006)

Mekanisme kerja seluruh jenis motor secara umum adalah sama, yaitu arus listrik menghasilkan medan magnet yang akan memberikan gaya. Gaya tersebut akan menghasilkan tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan. Motor – motor memiliki beberapa *loop* pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan. (United Nations Environment Programme, 2006)

Motor *Stepper* adalah motor DC yang gerakannya bertahap (step per step) dan memiliki akurasi yang tinggi tergantung pada spesifikasinya. Setiap motor *stepper* mampu berputar setiap stepnya dalam satuan sudut (0.72° , 0.9° , 1.8°), semakin kecil sudut *step*-nya maka gerakan per *step*-nya makin presisi. Motor *stepper* banyak digunakan banyak untuk aplikasi – aplikasi yang biasanya cukup menggunakan torsi yang kecil, seperti untuk penggerak piringan disket atau piringan CD. Dalam hal kecepatan,

kecepatan motor *stepper* cukup cepat jika dibandingkan dengan motor DC. Motor *stepper* merupakan motor DC yang tidak memiliki komutator. Pada umumnya motor *stepper* hanya memiliki kumparan *stator*-nya, sedangkan pada bagian *rotor*-nya merupakan magnet permanen. Dengan model motor seperti ini maka motor *stepper* dapat diatur posisinya pada posisi tertentu atau berputar ke arah yang diinginkan.

Konstruksi dari motor *stepper* terdiri dari *stator* merupakan bagian motor yang diam, *rotor* merupakan bagian motor yang berputar, celah udara merupakan ruangan antara *stator* dan *rotor*. Jenis motor listrik yang digunakan pada modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC yaitu motor *stepper*.

4. Poros

Poros adalah salah satu elemen terpenting dari setiap mesin. Peran utama poros yaitu meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Pada aplikasi di dunia industri, poros digunakan untuk mentransmisikan daya. Poros dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Poros transmisi/*Shaft*

Poros semacam ini mendapat beban puntir murni atau beban puntir dan lentur. Daya yang ditransmisikan kepada poros melalui kopling, roda gigi, puli sabuk, atau sproket rantai, dan lain-lain.

b. Spindel

Poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama pada mesin bubut, dimana beban utamanya berupa puntiran, disebut

spindel. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

c. Line Shaft

Poros ini berhubungan langsung dengan mekanisme yang digerakkan dan berfungsi memindahkan daya dari motor penggerak ke mekanisme tersebut.

Adapun hal-hal penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan sebuah poros, yaitu :

1) Kekuatan poros

Poros transmisi mengalami beban puntir atau lentur maka kekuatannya harus direncanakan sebelumnya agar cukup kuat dan mampu menahan beban.

2) Kekakuan poros

Lenturan yang dialami poros terlalu besar maka akan menyebabkan ketidaktelitian atau getaran dan suara. Oleh karena itu kekakuan poros juga perlu diperhatikan dan disesuaikan dengan mesin.

3) Putaran kritis

Putaran kerja poros haruslah lebih rendah dari putaran kritisnya demi keamanan karena getarannya sangat besar akan terjadi apabila putaran poros dinaikkan pada harga putaran kritisnya.

4) Korosi

Poros-poros yang sering berhenti lama maka perlu dipilih poros yang terbuat dari bahan yang tahan korosi dan perlu untuk dilakukannya perlindungan terhadap korosi secara berkala.

5) Bahan poros

Poros yang biasa digunakan pada mesin adalah baja dengan kadar karbon yang bervariasi. Adapun penggolongannya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Penggolongan Bahan Poros

Golongan	Kadar C (%)
Baja lunak	-0,15
Baja liat	0,2-0,3
Baja agak keras	0,3-0,5
Baja keras	0,5-0,8
Baja sangat keras	0,8-1,2

(Sularso, 1978:4).

Dari bermacam-macam tentang definisi poros diatas maka poros yang digunakan pada modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC tergolong sebagai poros transmisi/*shaft*. Perhitungan yang digunakan dalam merancang dan guna untuk menganalisa kerja poros transmisi yang mengalami beban puntir murni (torsi) adalah sebagai berikut :

a) Menghitung daya rencana (P_d)

$$P_d = f_c \cdot P \quad (kW) \quad (\text{Sularso, 1978:7}) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

f_c = faktor koreksi.

P = daya nominal (kW).

- b) Menghitung momen yang terjadi pada poros (T)

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1} \text{ (kg.mm) (Sularso, 1978:7) (2)}$$

Keterangan:

n_1 = putaran poros (rpm)

- c) Mencari tegangan geser yang diizinkan (τ_a)

$$\tau_a = \sigma_B / (Sf_1 \times Sf_2) \quad \text{(Sularso, 1978:8) (3)}$$

Keterangan:

σ_B = kekuatan tarik (kg/mm²).

Sf_1, Sf_2 = faktor keamanan.

- d) Macam-macam tegangan yang terjadi poros berulir :

- i. Tegangan bengkok pada ulir (σ_b) :

$$\sigma_b = \frac{3.w.h}{2\pi.r_m.n.b} \quad \text{(Sularso, 1978:8) (4)}$$

Keterangan :

w = gaya/beban yang sejajar sumbu ulir (N)

h = tinggi ulir (mm)

n = jumlah ulir

b = tebal ulir (mm)

r_m = jari-jari rerata ulir (mm)

- ii. Tegangan geser pada ulir (σ_g):

$$\tau_g = \frac{w}{2\pi.r_m.n.b} \quad \text{(Sularso, 1978:8) (5)}$$

Keterangan :

w = gaya/beban yang sejajar sumbu ulir (N)

n = jumlah ulir

b = tebal ulir (mm)

r_m = jari-jari rerata ulir (mm)

iii. Tekanan bidang pada ulir (σ_p) :

$$\sigma_p = \frac{w}{2\pi \cdot r_m \cdot n \cdot h} \quad (\text{Sularso, 1978:8}) \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

- w = gaya/beban yang sejajar sumbu ulir (N)
- h = tinggi ulir (mm)
- n = jumlah ulir
- r_m = jari-jari rerata ulir (m)

5. Transmisi Sabuk Gilir (*Timing Belt*)

Transmisi sabuk yang bekerja atas dasar gesekan belitan memiliki beberapa keuntungan karena murah harganya, sederhana konstruksinya, dan mudah untuk mendapatkan perbandingan putaran yang diinginkan. Namun demikian transmisi tersebut memiliki kekurangan dibandingkan dengan transmisi rantai dan roda gigi, yaitu karena terjadinya slip antara sabuk dan puli. Karena itu, macam transmisi sabuk biasa tidak dapat dipakai bila dikehendaki putaran tetap atau perbandingan transmisi yang tetap. Maka telah dikembangkan macam sabuk yang dapat mengatasi kekurangan tersebut yaitu, sabuk gilir (*timing belt*).

Sabuk gilir (*timing belt*) dibuat dari karet neopren atau plastik poliuretan sebagai bahan cetak, serta gigi – gigi yang dicetak serta teliti di permukaan sebelah dalam dari sabuk. Karena sabuk gilir dapat melakukan transmisi mengait seperti pada roda gigi atau rantai, maka gerakan dengan perbandingan putaran yang tetap dapat diperoleh.

Batas maksimum kecepatan sabuk gilir ± 35 (m/s), yang berarti lebih tinggi dari sabuk V, dan daya yang dapat ditransmisikan adalah sampai 60

kW. Sabuk gilir dibuat dalam dua tipe, yaitu jenis jarak bagi lingkaran dalam inch dan jenis modul dalam mm. (Sularso, 1978:180-181)

Beberapa rumus yang dapat digunakan untuk merancang dan menganalisa sabuk gilir adalah sebagai berikut :

a. Daya rencana (P_d)

$$P_d = f_c \times P \quad (\text{Sularso, 1978:7}) \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

P = daya (kW).

P_d = daya rencana (kW).

b. Momen rencana (T_1, T_2)

$$T_1 = 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{P_d}{n_1}\right) (\text{kg.mm}) \quad (\text{Sularso, 1978:7}) \dots\dots\dots (8)$$

$$T_2 = 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{P_d}{n_2}\right) (\text{kg.mm}) \quad (\text{Sularso, 1978:7}) \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

P_d = daya rencana (kW).

n_1 = putaran poros penggerak (rpm).

n_2 = putaran poros yang digerakkan (rpm).

c. Diameter lingkaran jarak bagi puli (d_p, D_p)

$$1. \quad d_p = \frac{p \times z_1}{3,14} (\text{mm}) \quad (\text{Sularso, 1978:189}) \dots\dots\dots(10)$$

$$2. \quad D_p = \frac{p \times z_2}{3,14} (\text{mm}) \quad (\text{Sularso, 1978:189}) \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan :

D_p = diameter lingkaran jarak bagi puli besar (mm)

d_p = diameter lingkaran jarak bagi puli kecil (mm)

p = jarak bagi sabuk (mm)

z_1, z_2 = jumlah gigi puli

- d. Panjang keliling sabuk L_p (dalam jumlah jarak bagi)

$$L_p = \frac{z_1 + z_2}{2} + 2C_p + \frac{[(z_1 - z_2) / 6,28]^2}{C_p} \quad (\text{Sularso, 1978:185}) \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

- L_p = panjang keliling sabuk (mm)
 z_1, z_2 = jumlah gigi puli
 C_p = jarak sumbu poros dibagi jarak bagi gigi (mm)

- e. Jarak sumbu poros C_p (dalam jarak bagi)

$$C_p = \frac{1}{4} \left\{ \left(L - \frac{z_1 + z_2}{2} \right) + \sqrt{\left(L - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - \frac{2}{9,86} (z_2 - z_1)^2} \right\}$$

(Sularso, 1978:185) (13)

Keterangan :

- C_p = jarak sumbu poros dibagi jarak bagi gigi (mm)
 L = harga L_p yang sudah ditetapkan
 z_1, z_2 = jumlah gigi puli

- f. Sudut kontak θ (°)

$$\theta = 180^\circ - \frac{57(D_p - d_p)}{C} \quad (\text{Sularso, 1978:184}) \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan :

- θ = sudut kontak sabuk pada puli kecil (°)
 D_p = diameter lingkaran jarak bagi puli besar (mm)
 d_p = diameter lingkaran jarak bagi puli kecil (mm)
 C = jarak sumbu poros (mm)

- g. Jumlah gigi terkait (JGT)

$$\text{JGT} = \frac{\theta}{360} \times Z_1 \quad (\text{Sularso, 1978:184}) \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan :

θ = sudut kontak sabuk pada puli kecil (°)

z_1 = jumlah gigi puli

h. Faktor lebar gigi f_w

$$f_w = \frac{P_d}{P_o \cdot f_t} \quad (\text{Sularso, 1978:184}) \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan :

P_d = daya rencana (kW)

P_o = daya yang ditransmisikan per satuan lebar

f_t = faktor koreksi untuk JGT

6. Suaian – Suaian (*Fits*)

Dua benda yang berhubungan mempunyai ukuran-ukuran yang berbeda sebelum dirakit. Perbedaan ukuran yang diizinkan untuk suatu pemakaian tertentu dari pasangan ini disebut suaian. (G. Takeshi Sato & N. Sugiarto Hartanto, 1992:127-129). Tergantung dari kedudukan masing-masing daerah toleransi dari lubang atau poros, terdapat tiga jenis suaian :

- a. Suaian longgar (*Clearance Fit*)
- b. Suaian pas (*Transition Fit*)
- c. Suaian paksa/sesak (*Interference Fit*)

Secara garis besar, sistem suaian yang dipakai dapat dibagi menjadi dua basis, yaitu :

1) Sistem Basis Lubang

Dalam sistem ini semua toleransi lubang ditentukan di daerah “H”. Batas ukuran terkecil dari setiap lubang ini tergantung garis batas dasar, karena itu daerah toleransinya terletak pada garis batas dasar. Kemudian

macam tingkatan suaian yang dikehendaki, dibuat dengan cara mengubah-ubah ukuran poros, dengan demikian didapatkan kelompok tingkatan suaian :

- a) Suaian longgar (*Clearance fits*) dengan rangkaian toleransi lubang selalu dengan "H" dan poros dari "a" hingga "h".
- b) Suaian pas (*Transition fits*) dengan rangkaian toleransi lubang selalu dengan "H" dan poros dari "i" hingga "n".
- c) Suaian sesak (*Interference fits*) dengan rangkaian toleransi lubang selalu dengan "H" dan poros dari "p" hingga "z".

2) Sistem Basis Poros

Dalam sistem ini semua toleransi poros ditentukan didaerah "h". Batas ukuran terbesar untuk setiap poros ini tergantung pada garis batas dasar. Macam-macam tingkatan suaian yang dikehendaki dibuat dengan cara mengubah-ubah ukuran lubang, dengan demikian didapatkan kelompok tingkatan suaian :

- a) Suaian longgar (*Clearance fits*) dengan rangkaian toleransi poros selalu dengan "h" dan lubang dari "A" hingga "H".
- b) Suaian pas (*Transition fits*) dengan rangkaian toleransi poros selalu dengan "h" dan poros dari "J" hingga "N".
- c) Suaian sesak (*Interference fits*) dengan rangkaian toleransi poros selalu dengan "h" dan poros dari "P" hingga "Z".

BAB III

KONSEP PERANCANGAN

A. Konsep Dasar Modifikasi

Modifikasi adalah salah satu ide yang dicurahkan untuk mewujudkan sesuatu yang berguna dan bermanfaat bagi manusia. Didalam proses memodifikasi suatu jenis alat atau semacamnya, pelaku (perancang) pasti mempunyai target yang hendak dicapai, dengan adanya target ini maka para pelaku akan berupaya untuk mewujudkannya.

Lingkup bidang teknik khususnya teknik mesin, proses desain sangat besar peranannya karena pelaku (perancang) dapat mewujudkan suatu produk untuk dapat diterima di masyarakat. Sehingga dari proses desain ini, banyak permasalahan yang sering muncul, hal ini sangat wajar karena desain merupakan sesuatu yang baru yang membutuhkan pengujian lebih lanjut. Namun dari ketidaksempurnaan, hasil desain tersebut tidak terlalu jauh dari keadaan ideal. Melalui identifikasi dan diketahuinya masalah dari hasil desain itu maka secara langsung perancang dapat melakukan pembenahan terhadap hasil desainnya. Untuk menghadapi masalah proses desain, para perancang harus bisa menganalisa permasalahan yang dihadapi, hal ini bermanfaat terhadap proses selanjutnya yaitu mewujudkan hasil desain tersebut menjadi suatu alat yang bermanfaat dan bahkan mempunyai keunggulan yang lebih dari alat yang telah ada selama ini.

Faktor yang harus dipenuhi dalam memodifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC, antara lain :

1. Pembuatan

Modifikasi mesin sebagian besar pekerjaannya terletak pada pembuatan komponen, baik yang bersifat penggantian maupun penambahan sesuai dengan kebutuhan. Pembuatan komponen harus dibuat sesuai dengan rencana/desain yang telah disepakati, sehingga ketika dilakukan proses *assembly*, komponen tersebut harus berfungsi dengan baik. Pengerjaan komponen tersebut menggunakan berbagai macam alat berupa mesin perkakas maupun alat – alat manual (konvensional).

2. Kegunaan

Tujuan diciptakan modifikasi mesin bubut manual menjadi menjadi mesin bubut CNC ialah untuk kepentingan sebagai alat/media belajar mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*). Oleh karena itu, modifikasi ini diciptakan sesuai dengan kondisi dan keadaan pada mesin CNC asli, baik itu pada cara kerja mesin dan cara pengoperasiannya, walaupun masih ada beberapa kekurangan karena faktor pengalaman.

3. Biaya/Ekonomi

Hasil dari modifikasi mesin ini diharapkan agar harga jual dari mesin menjadi lebih terjangkau daripada mesin CNC buatan pabrik, walaupun kualitasnya masih jauh dari mesin CNC buatan pabrik, karena target dari modifikasi mesin ini ialah mesin mampu bekerja sebagaimana yang ada pada mesin CNC asli.

4. Bentuk

Sesuai konsep rencana awal, modifikasi ini diproses sesuai dengan kondisi mesin. Komponen – komponen yang dibutuhkan baik yang bersifat penggantian maupun penambahan disesuaikan dengan kondisi awal mesin maupun disesuaikan dengan komponen utama dari modifikasi mesin ini. Untuk penambahan komponen lainnya juga disesuaikan dengan pertimbangan target ekonomi.

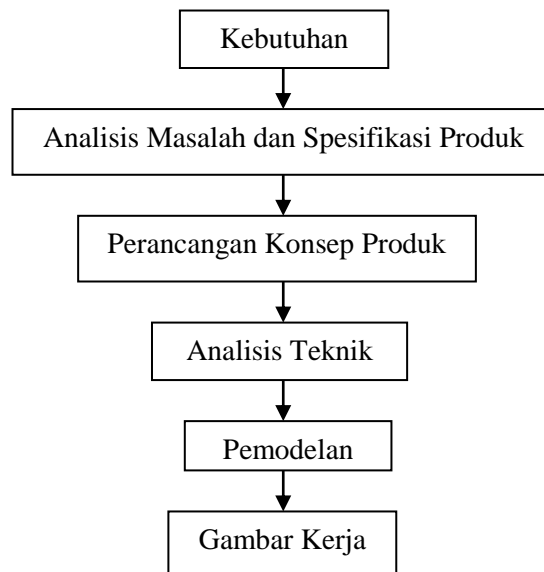
5. Pengaturan/Cara Kerja

Cara kerja maupun cara pengoperasian dari mesin hasil modifikasi mesin ini mirip dengan mesin CNC asli, karena komponen – komponen pada modifikasi mesin ini sebagian besar sama dengan yang terdapat pada mesin CNC asli.

B. Diagram Alir Proses Perancangan

Diagram alir adalah suatu gambaran utama yang dipergunakan untuk dasar dalam bertindak. Seperti halnya dalam perancangan diperlukan suatu diagram alir yang bertujuan untuk mempermudah dalam pelaksanaan proses perancangan.

Diagram alir proses perancangan secara umum yang dikemukakan oleh *Darmawan*, terlihat seperti dibawah ini :



Gambar 3. Diagram Alir Proses Perancangan (Darmawan Harsokusomo, 2000:21)

C. Pernyataan Kebutuhan

Perkembangan teknologi yang semakin pesat saat ini telah sampai kepada penggunaan dalam mengaplikasikannya ke sebuah alat. Oleh karena itu, perkembangan teknologi harus didukung pula dengan sumber daya manusia yang memadai dan memahami tentang teknologi tersebut, seperti contohnya pada lingkup tentang mesin produksi ataupun mesin perkakas yang telah dikembangkan menjadi sebuah mesin berbasis komputerisasi dengan sistem kerja yang otomatis yaitu mesin CNC (*Computer Numerical Controlled*) Type 2A (tipe mesin bubut). Cara kerja mesin ini ialah dengan memasukkan program yang telah lebih dulu dibuat, kemudian dimasukkan ke sistem komputer dari mesin ini, tentu alat ini membutuhkan sebuah ketelitian mulai dari pembuatan program hingga memasukkannya ke dalam komputer.

Guna menciptakan sumber daya manusia yang benar – benar berkualitas harus dibekali dengan pengetahuan sejak dini, sehingga pelajaran tentang mesin – mesin seperti ini harus diberikan sejak menempuh pendidikan di SMK. Dalam pemberian materinya juga tidak hanya teori, tetapi juga harus dilengkapi dengan praktek. Sedangkan dalam kebutuhan fasilitas, alat untuk media belajar untuk digunakan sebagai alat praktek, sampai saat ini masih menjadi kendala tersendiri bagi beberapa lembaga pendidikan. Banyak dari lembaga tersebut terbentur dengan masalah pendanaan untuk mempunyai mesin tersebut, hal ini juga disebabkan karena harga mesin CNC buatan pabrik mencapai puluhan juta hingga ratusan juta rupiah, sehingga dengan masalah tersebut sangat diperlukan sebuah mesin dengan sistem kerja yang sama dan dengan harga jual yang relatif terjangkau. Walaupun untuk kualitas dimungkinkan memang sedikit dibawah dari buatan pabrik dikarenakan beberapa hal, diantaranya mesin–mesin produksi yang digunakan dalam memproses berbagai bagian komponennya. Akan tetapi dari hal yang terpenting ialah didapat cara kerja mesin yang sama dengan mesin bubut CNC buatan pabrik, sehingga tujuan utama untuk memberi pengetahuan tentang cara kerja mesin akan dapat dimengerti oleh para siswa maupun calon pemakai.

Modifikasi mesin bubut ini dirancang agar bisa digunakan untuk memproduksi komponen mesin secara masal. Mekanisme pengoperasian juga dibuat seperti mesin CNC yang sudah ada, yaitu dengan memasukkan program yang telah dibuat, kemudian hasil program tersebut menghasilkan putaran pada motor *stepper*, kemudian putaran motor tersebut dihubungkan dengan sistem

transmisi berupa sabuk gilir (*timing belt*), sehingga ketika *timing belt* berputar akan difungsikan untuk menggerakkan poros *ballscrew*, baik yang ada di eretan lintang maupun eretan pembawa.

Modifikasi mesin ini tidak mengubah keadaan awal dari mesin bubut yang ada, sehingga mempunyai ciri tersendiri pada mesin ini. Dengan adanya mesin ini, diharapkan dapat membantu memberi solusi terhadap masalah yang ada, sehingga tujuan untuk menciptakan generasi sumber daya manusia yang baik dan mengerti tentang teknologi akan terwujud.

D. Analisis Kebutuhan

Modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC diciptakan atas dasar dari analisis kebutuhan sebagai berikut :

1. Suplai Kebutuhan

Mesin modifikasi diciptakan untuk pemenuhan kebutuhan sebagai media praktek mesin CNC bagi lembaga pendidikan. Tujuan pemilihan konsep modifikasi ialah agar harga jual mesin menjadi lebih terjangkau, sehingga biaya yang dibutuhkan hanya sebatas untuk pembelian komponen utama maupun biaya pembuatan untuk bahan dan proses produksi komponen pengganti.

2. Peningkatan Mutu di Bidang Teknologi Industri Mesin Perkakas

Modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC dibuat sebagai tujuan untuk meningkatkan mutu SDM di bidang pengetahuan teknologi industri mesin perkakas. Seperti telah diketahui, bahwa

perkembangan teknologi saat ini telah mengarah pada aplikasi penggunaan alat, sehingga sangat dibutuhkan mesin-mesin tersebut untuk keperluan sebagai fasilitas penunjang media praktek.

3. Target Keunggulan Produk

Sasaran keunggulan yang ingin dicapai dari modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC, adalah :

- a. Proses pembuatannya dapat dikerjakan dengan sederhana.
- b. Pengoperasian yang sama dengan mesin asli buatan pabrik.
- c. Pemeliharaan dan perawatan mesin cukup mudah.

E. Pertimbangan Perancangan

1. Pertimbangan Teknis

Pertimbangan teknis dalam hal ini lebih dititikberatkan pada :

- a. Kemudahan dalam pengoperasian alat
- b. Pemasangan (proses *assembly*) dan pembongkaran komponen yang relatif mudah.
- c. Kesederhanaan desain tiap – tiap komponen yang dibutuhkan.
- d. Bahan – bahan yang digunakan mudah didapat.
- e. Desain beberapa komponen yang mudah dibuat, misalnya padaudukan motor *stepper*, rangkaian komponen rangka, dan dudukan monitor.
- f. Mempunyai daya saing dengan mesin/alat yang lainnya.

2. Pertimbangan Ekonomi

Pertimbangan ekonomi pada modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini lebih ditekankan pada pemilihan bahan yang digunakan. Bahan yang digunakan relatif murah harganya dan mudah untuk mendapatkannya, walaupun beberapa komponen – komponen inti seperti poros *ballscrew* dan motor *stepper* harganya relatif mahal karena kebutuhan komponen ini telah disesuaikan dengan spesifikasi mesin – mesin CNC yang telah ada. Dengan menggunakan bahan yang relatif terjangkau dan bisa didapatkan di pengumpul besi rongsokan, maka diharapkan dapat meminimalkan biaya untuk memodifikasi.

3. Pertimbangan Ergonomis

Pertimbangan ergonomis dalam modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini adalah sebagai berikut :

- a. Ukuran mesin yang masih seperti ukuran mesin asli.
- b. Ukuran ketinggian posisi dari tempat pengoperasian juga didesain sesuai dengan tinggi badan rata – rata orang Indonesia.

F. Tuntutan Perancangan

1. Tuntutan Konstruksi

- a. Konstruksi harus kuat dan rapat.
- b. Konstruksi harus mudah dibongkar pasang.
- c. Konstruksi harus tahan getaran, seperti padaudukan motor *stepper*.

d. Konstruksi harus ergonomi.

2. Tuntutan Keamanan

Sebuah alat/mesin harus mempunyai keamanan agar pemakai mampu bekerja secara optimal, sehingga dengan adanya tuntutan keamanan ini pemakai tidak perlu khawatir akan bahaya yang ditimbulkan dari mesin. Beberapa tuntutan yang ada pada modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC, antara lain :

- a. Pada bodi mesin maupun komponen tidak ada sisi yang tajam
- b. Dilengkapi dengan program darurat untuk sistem pengoperasiannya.
- c. Kabel–kabel ditutup dengan pelindung, seperti selang plastik.

3. Tuntutan Pengoperasian

Modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC dalam desain pengoperasiannya dibuat seperti dengan cara pengoperasian mesin CNC type 2A. Dalam hal ini, program yang dijalankan telah disesuaikan dengan program yang sama pada mesin CNC. Karena ketebatasan kemampuan dan pengalaman maka pembuatan program dan rangkaian elektrik bekerja sama dengan ahli dari jurusan Elins dan Elektro. Dengan kondisi pengoperasian seperti mesin CNC, maka pemakai yang sebelumnya telah memakai mesin CNC diharapkan tidak menemui kesulitan ketika memakai modifikasi mesin ini.

4. Tuntutan Fungsi

Modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini diorientasikan sebagai penunjang media praktek di lembaga pendidikan. Sistem kerja mesin yang sama dengan mesin – mesin CNC buatan pabrik, sehingga diharapkan modifikasi mesin ini mampu membantu para siswa untuk digunakan sebagai alat praktek.

5. Tuntutan Pemeliharaan dan Perawatan

Pemeliharaan & perawatan modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini tergolong cukup mudah. Ada 3 macam cara perawatan utama yang bisa dilakukan, yaitu :

- a. Kebersihan
- b. Pelumasan
- c. Inspeksi

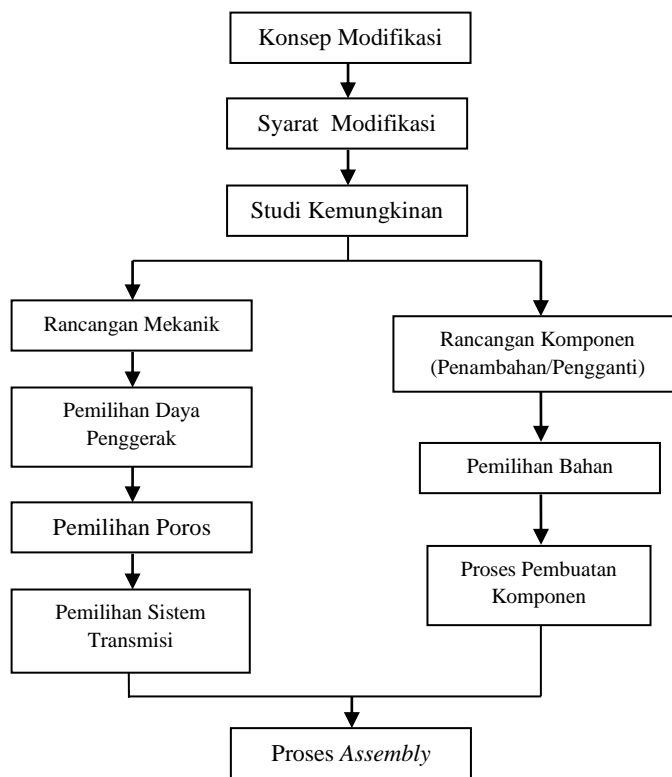
Waktu yang dibutuhkan untuk pemeliharaan dan perawatan mulai dari pemeriksaan bulanan hingga harian, dari pengecekan kinerja mesin sampai dengan kebersihan mesin.

BAB IV

PROSES, HASIL, & PEMBAHASAN

A. Proses Perancangan Mesin Bubut Manual Menjadi Mesin Bubut CNC

Proses mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC mempunyai langkah-langkah perencanaan yang dapat digambarkan seperti dalam diagram alir pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Proses Perancangan Mesin Bubut Manual Menjadi Mesin Bubut CNC.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini sebagian besar pengerjaannya ialah terletak pada penggantian dan penambahan komponen. Dengan memanfaatkan mesin manual

yang ada kemudian dilakukan identifikasi dan pemilihan dari bagian mesin bubut yang merupakan bagian paling penting. Melalui proses identifikasi, kemudian dibuat rancangan (*design*) komponen yang dibutuhkan. Beberapa bagian penting yang harus diubah diantaranya pada bagian poros eretan memanjang maupun eretan melintang danudukan poros harus diganti, selain itu ditambah komponen seperti dudukan motor *stepper*, dan beberapa komponen pendukung lainnya.

Sesuai dengan konsep modifikasi awal, proses modifikasi dirancang tanpa mengurangi bentuk asli dari mesin sebelumnya sehingga komponen - komponen baru dibuat dengan menyesuaikan kondisi mesin. Seperti halnya, perubahan komponen bagian dudukan poros eretan melintang dan eretan memanjang, untuk desain lubang baut yang berfungsi sebagai tempat pemasangan pada dudukan pengganti disesuaikan dengan lubang baut yang terdapat pada mesin, baik ukuran maupun jarak antar pusat lubang. Komponen yang lebih bersifat sebagai komponen tambahan/pendukung ialah *box* kontrol unit.

Pengerjaan dari semua komponen tersebut dikerjakan dengan menggunakan mesin perkakas yang ada di bengkel mesin jurusan Teknik Mesin FT UNY. Beberapa mesin yang digunakan untuk proses pembuatan komponen pada modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut type NC, ialah :

Modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC dirancang agar mampu bekerja sesuai dengan mesin CNC asli yang telah ada, baik meliputi dari sisi pengoperasian maupun cara kerja mesin tersebut.

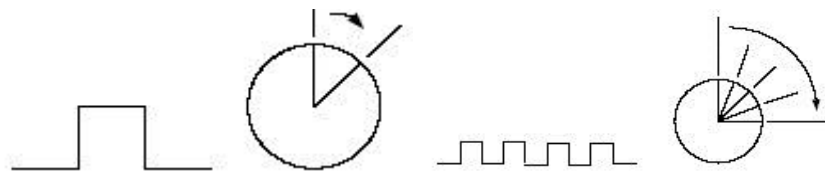
- | | |
|-----------------------|------------------------|
| a. Mesin bubut manual | e. Mesin gerinda |
| b. Mesin skrap | f. Las busur / listrik |
| c. Mesin slot | g. Mesin pemotong plat |
| d. Mesin bor | h. Mesin penekuk |

B. Perencanaan Daya Penggerak

Motor yang digunakan sebagai sumber daya penggerak pada poros transmisi adalah motor *stepper*. Motor *stepper* adalah motor DC yang gerakannya bertahap (*step per step*) dan memiliki akurasi yang tinggi tergantung pada spesifikasinya. Setiap motor *stepper* mampu berputar untuk setiap *step*-nya dalam satuan sudut (misalnya 0.7° , 0.9° , 1.8°), semakin kecil sudut per *step* dari tiap spesifikasi motor, maka gerakan dari motor *stepper* akan semakin presisi.

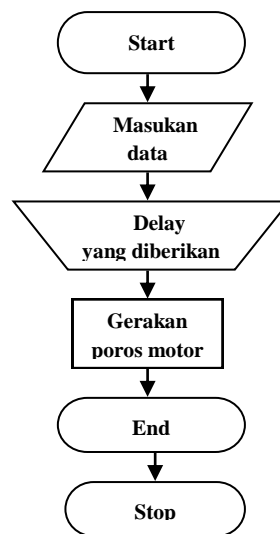
Motor *stepper* dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital, bukan dengan tegangan yang terus menerus. Deretan pulsa diterjemahkan menjadi putaran poros, dimana setiap putaran membutuhkan jumlah pulsa yang ditentukan. Satu pulsa menghasilkan satu kenaikan putaran atau *step*, yang merupakan bagian dari satu putaran penuh. Oleh karena itu, perhitungan jumlah pulsa dapat diterapkan untuk mendapatkan jumlah putaran yang diinginkan.

Asumsi besar langkah/*step* motor *stepper* seperti dalam gambar dibawah ini :



Gambar 5. Pengaruh Besar *Step* Terhadap Putaran *Output Shaft* Motor *Stepper*

Prinsip dasarnya, kecepatan motor *stepper* ditentukan dari kecepatan pemberian data yang diberikan. Semakin cepat data yang diberikan, maka motor *stepper* akan semakin cepat pula berputar. Untuk mengatur kecepatan tersebut maka diberikan *delay* antar program, jadi semakin kecil *delay* waktu yang diberikan maka motor *stepper* akan semakin cepat pula dalam berputar. Asumsi arus cara kerja dari motor *stepper* dapat dijelaskan seperti pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 6. Diagram Alir Cara Kerja Motor *Stepper*

Modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC, menggunakan motor *stepper* dengan spesifikasi $0,72^\circ$ per *step*. Data-data (pulsa) yang diberikan sebanyak 5 perintah, kemudian waktu *delay* antar perintah sekitar 1 ms. Sehingga untuk menggerakkan motor satu *step* diperlukan waktu sekitar $5 \times 1 \text{ ms} = 5 \text{ ms}$, dengan diketahuinya waktu yang diperlukan untuk menggerakkan poros motor *stepper* sebesar 1 *step* ($0,72^\circ$), maka perhitungan kecepatan putar motor bisa dilakukan sebagai berikut :

1 *step* setara dengan 0.72° , dibutuhkan waktu sekitar 5 ms.

Jumlah *step* (langkah) yang dibutuhkan untuk sekali putar dari *output shaft* motor *stepper* ini, ialah :

$$\frac{360^\circ}{0,72^\circ} = 500 \text{ step}$$

Sehingga dibutuhkan waktu,

$$500 \text{ step} \times 5 \text{ ms} = \mathbf{2500 \text{ ms}}$$

$$= \mathbf{2,5 \text{ s/putaran}}$$

Dengan demikian kecepatan putar maksimalnya,

$$\frac{360^\circ}{2,5 \text{ s}} = 144^\circ / \text{s}$$

$$= \mathbf{2,5 \text{ Rad/s}}$$

Sehingga kecepatan putar maksimal tersebut setara dengan,

$$2,5 \text{ Rad/s} \times \frac{60}{2\pi} = 23,8732 \text{ rpm}$$

$$= \mathbf{24 \text{ rpm}}$$

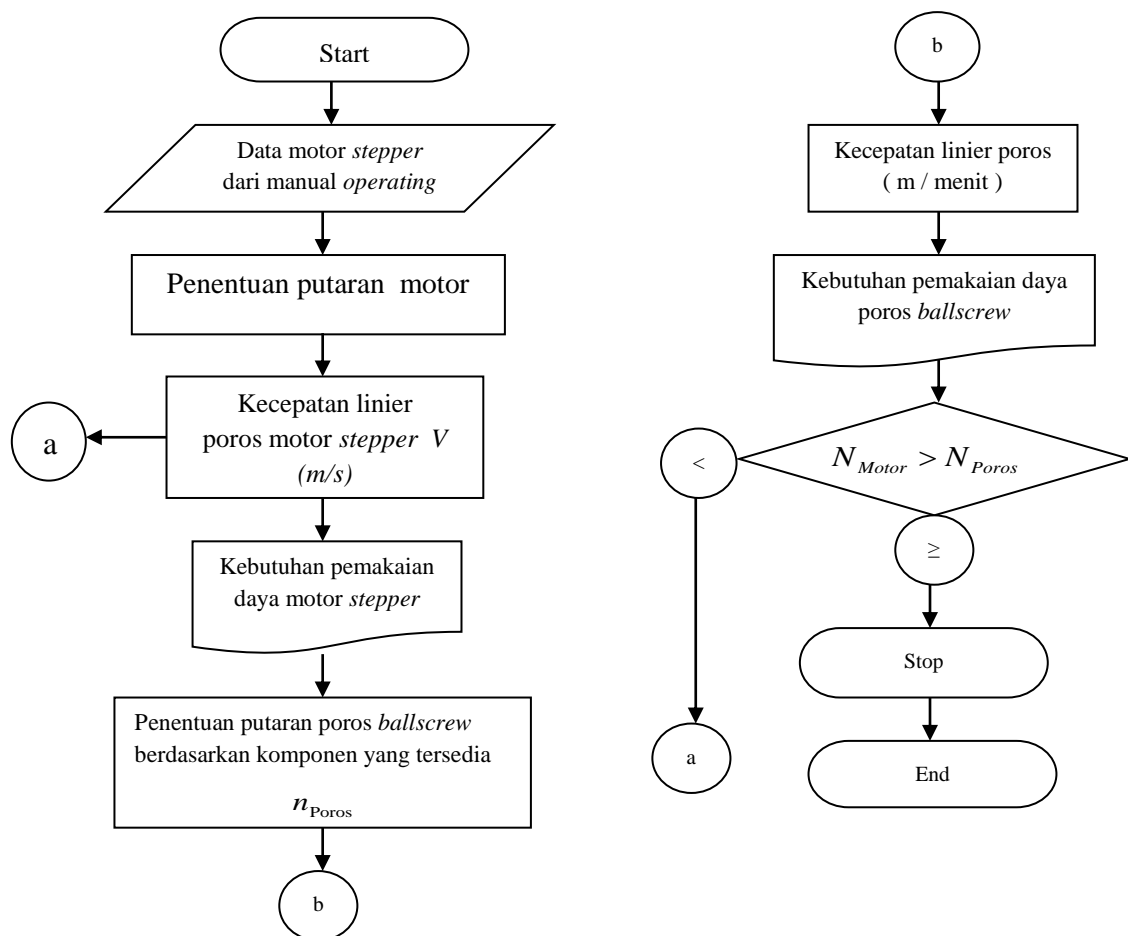
C. Kapasitas Efektivitas Mesin

Modifikasi bersifat minimalis (sederhana) karena menyesuaikan dengan komponen utama yang diperlukan seperti motor *stepper*, sistem transmisi sabuk gilir (*timing belt*) dan poros *ballscrew*, sehingga modifikasi ini lebih

mementingkan pada fungsi komponen-komponen pengganti yang diperlukan. Sehingga dalam modifikasi ini, tahap akhir yang dicapai ialah proses *assembly*.

Beberapa tahapan sebelum dilakukan proses *assembly*, diantaranya ialah menentukan efektifitas kerja dari mesin hasil modifikasi ini. Tujuan menentukan efektifitas kerja untuk mengetahui dan memaksimalkan kerja mesin harus, dilakukan dengan menyesuaikan terhadap beberapa komponen-komponen utama yang telah tersedia, seperti motor *stepper*, poros *ballscrew*, maupun sistem transmisi sabuk gilir (*timing belt*).

Tahapan-tahapan untuk menentukan efektifitas kerja mesin dapat digambarkan seperti pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 7. Diagram Alir Efektifitas Kerja Mesin

Putaran motor (n_{motor}) yang digunakan sebesar 24 rpm, maka selanjutnya dapat diketahui kecepatan linier poros dengan rumus berikut :

$$V = \pi \cdot D_{\text{motor}} \cdot n_{\text{motor}}$$

Dimana : V = kecepatan linier (m/menit)

D_{motor} = diameter poros (meter)

n_{Motor} = putaran poros (rpm)

Sehingga : $V = \pi \cdot 0,01 \text{ m} \cdot 24 \text{ rpm}$
 $= 0,753 \text{ m/menit}$

Melalui hasil kecepatan linier poros motor diatas maka daya motor *stepper* dapat diketahui dengan rumus :

$$N = \frac{(P \times V)}{75}, \text{ di mana}$$

N = daya (Hp)

P = gaya/beban (Kg)

Diketahui : V = kecepatan linier poros (m/menit)

P = 15 Kg (asumsi berat *toolpost* dan dudukannya)

V = 0,753 m/menit

Sehingga : $N = \frac{(15 \text{ Kg} \times 0,753 \text{ m/menit})}{75}$
 $= 0,15 \text{ Hp}$

Sistem transmisi yang dipakai berupa sabuk gilir (*timing belt*) dengan \emptyset puli $D_1 = 28,5$ mm, dan \emptyset puli $D_2 = 40$, maka putaran poros dapat (n_{Poros}) dicari dengan menggunakan rumus:

$$n_{\text{Poros}} = \frac{D_1}{D_2} \times n_{\text{Motor}}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } n_{\text{Poros}} &= \frac{28 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} \times 24 \\ &= 16,8 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Diketahuinya kebutuhan putaran poros sebesar 16,8 rpm, maka kecepatan linier poros dapat diketahui dengan mengacu pada rumus yang sama seperti diatas :

$$V = \pi \cdot D_{\text{Poros}} \cdot n_{\text{Poros}}$$

Dimana :
 V = kecepatan linier (m/menit)
 D_{Poros} = diameter poros (meter)
 n_{Poros} = putaran poros (rpm)

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } V &= \pi \cdot 0,016 \text{ m} \cdot 16,8 \text{ rpm} \\ &= 0,844 \text{ m/menit} \end{aligned}$$

Poros yang berfungsi sebagai ulir gerak atau ulir daya mempunyai efisiensi kerja yang sangat baik, seperti halnya dalam konstruksi katrol dimana beban akan menjadi lebih ringan ketika diangkat menggunakan katrol, begitu juga yang terjadi pada poros *ballscrew* eretan pembawa modifikasi mesin ini. Besar nilai efisiensi dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{w \times \text{kisar}}{2 \cdot \pi \cdot T} \times 100 \%$$

Dimana : w = beban (gaya) sejajar sumbu poros (N)
 T = torsi pada poros (N/m)

$$\eta = \frac{158,37 \times 5 \text{ mm}}{2 \cdot \pi \cdot 12,67 \text{ N/m}} \times 100 \%$$

Sehingga : $= 7,96 (8)$
 $= 80 \%$

Melalui nilai efisiensi hasil perhitungan diatas, maka bisa diasumsikan bahwa gaya dorong yang harus diterima poros menjadi 31,68 N dari 158,37 N, pengurangan beban yang diterima juga dipengaruhi oleh licinnya permukaan *bed* yang telah diberi pelumas dan proses pelumasan ketika poros *ballscrew* sehingga gaya gesek yang terjadi pada rumah pahat (*toolpost*) dan dudukan menjadi lebih kecil.

Dengan hasil kecepatan linier poros diatas maka daya yang dibutuhkan untuk memutar poros dapat diketahui dengan rumus :

$$N = \frac{(P \times V)}{75}, \text{ di mana}$$

N = daya (Hp)

P = gaya/beban (Kg)

V = kecepatan linier poros (m/menit)

Diketahui : - W = 31,68 N (3,168 Kg)

- V = 0,884 m/menit

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } N &= \frac{(3,168 \text{ Kg} \times 0,884 \text{ m/menit})}{75} \\ &= 0,037 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Torsi pada poros *ballscrew* eretan memanjang dapat dihitung dengan mengacu pada rumus :

$$\tau = F \times r, \text{ di mana}$$

F = gaya sejajar sumbu poros (N)

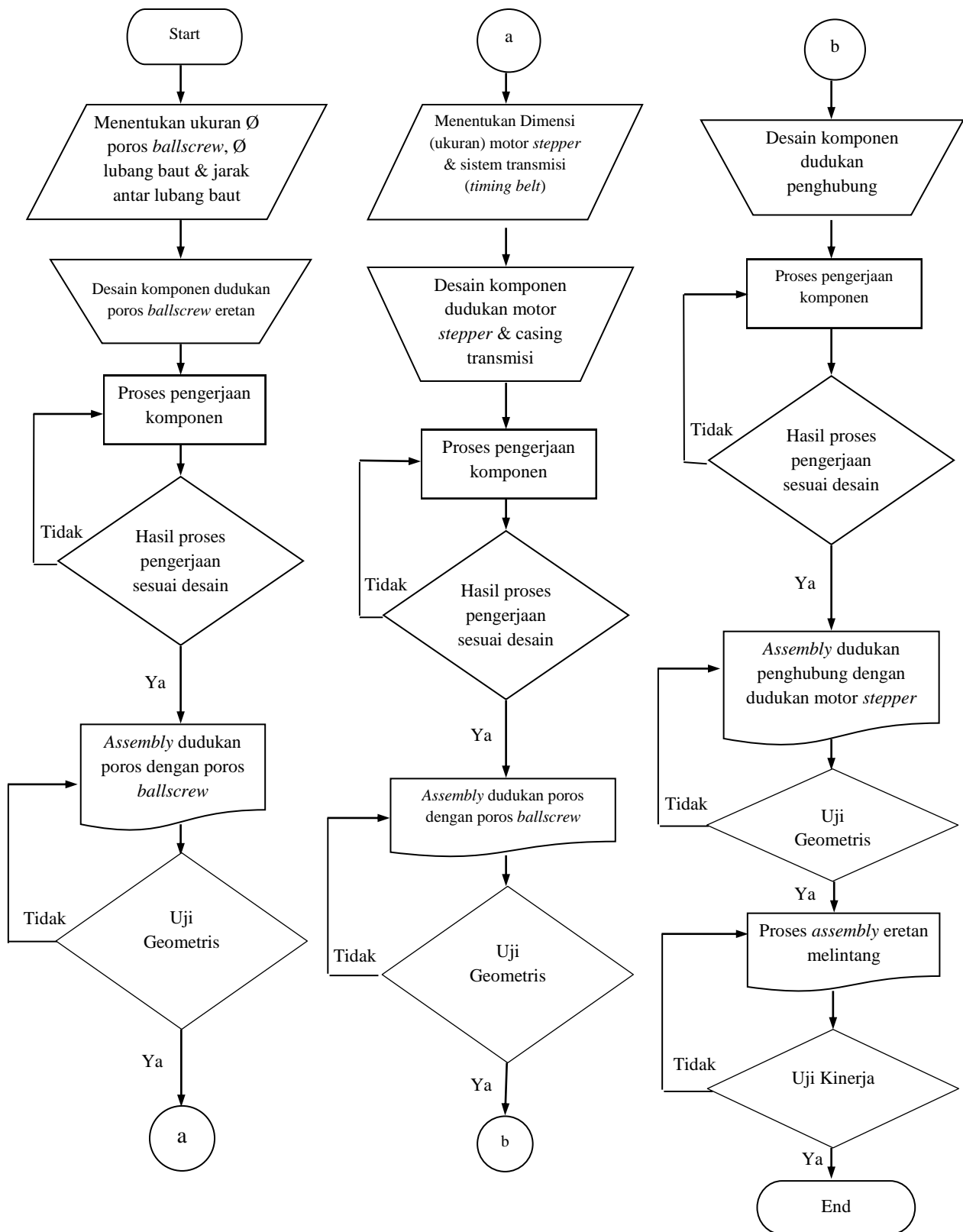
r = jari-jari poros *ballscrew* (m)

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } \tau &= 31,68 \text{ N} \times (8 \times 10^{-3}) \\ &= 0,25 \text{ N.m} (2,53 \text{ Kg.cm}) \end{aligned}$$

D. Proses Perancangan Modifikasi Eretan Melintang

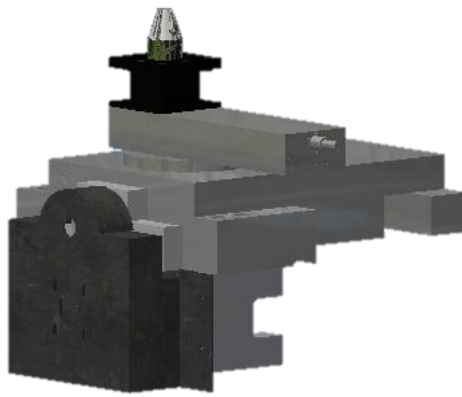
Eretan melintang merupakan bagian penting pada mesin bubut, eretan tersebut berfungsi untuk menggerakkan *toolpost* dan pahat saat dilakukan proses pembubutan. Eretan melintang yang terdapat dalam mesin bubut manual merupakan salah satu bagian yang harus diubah. Kondisi awal seperti yang umumnya terdapat pada mesin bubut manual yaitu sistem kerja manual dengan cara memutar *handle* untuk menggerakkan eretan maka dalam modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC diubah menjadi sistem kerja mekanis dengan memanfaatkan putaran dari motor. Rangkaian alat penggerak (*handle*) yang ada pada mesin diubah menjadi tempat dudukan motor.

Perencanaan dalam memodifikasi eretan melintang pada modifikasi (retrofit) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC dapat digambarkan dalam diagram alir dibawah ini :



Gambar 8. Diagram Alir Proses Perencanaan Modifikasi Eretan Melintang

Komponen utama yang digunakan adalah poros *ballscrew* dengan ukuran panjang 200 mm (\varnothing 16 mm), motor *stepper* sebagai tenaga penggerak, dan sistem transmisi sabuk gilir (*timing belt*), sedangkan komponen pengganti yang dibuat ialah dudukan poros *ballscrew* dan dudukan motor *stepper* yang juga berfungsi sebagai casing sistem transmisi. Konstruksi modifikasi eretan melintang seperti dijelaskan dalam gambar berikut ini :



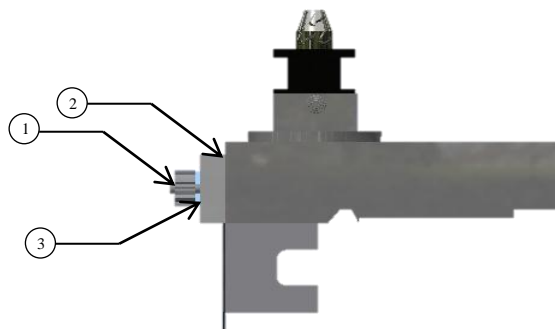
Gambar 9. Konstruksi Modifikasi Eretan Melintang

Hasil desain/rancangan pada komponen pengganti dudukan poros *ballscrew* lebih menyesuaikan pada poros *ballscrew* terutama letak lubang, jarak lubang, maupun diameter lubang, sedangkan dudukan motor *stepper* dan casing transmisi dirancang agar bisa berfungsi menjadi satu bagian, karena salah satu masalah dalam modifikasi mesin ini ialah terbatasnya tempat. Bahan yang digunakan untuk membuat dudukan poros *ballscrew* adalah *mild steel* (ST. 37) dengan tebal 8 mm sedangkan untuk dudukan motor dan casing transmisi menggunakan plat eyser tebal 2 mm.

Proses vital yang harus dilakukan adalah men-*setting* posisi lubang sumbu poros antara dudukan poros dengan komponen dudukan motor *stepper*. Berdasarkan proses perancangan telah dijelaskan bahwa, komponen dudukan poros *ballscrew* telah disesuaikan dalam ukurannya (lebar), sehingga penentuan letak dan ukuran lubang akan lebih mudah.

Tahap akhir dari proses diatas adalah proses *assembly*. Hubungan yang terjadi dalam 2 komponen ataupun lebih yang akan dirakit (*assembled*), ditimbulkan karena adanya perbedaan ukuran disebut suaian/fit. Dalam modifikasi eretan melintang terdapat beberapa komponen yang harus dirakit (*assembled*), yaitu :

- a. *Assembly* poros *ballscrew* dengan puli.
- b. *Assembly* dudukan *bearing* dengan rumah *bearing*.
- c. *Assembly* poros *ballscrew* dengan *bearing*.
- d. *Assembly* motor *stepper* dengan lubang dudukan motor.
- e. *Assembly* poros *ballscrew* dengan dudukan poros.



Gambar 10. Pandangan Samping Modifikasi Eretan Melintang

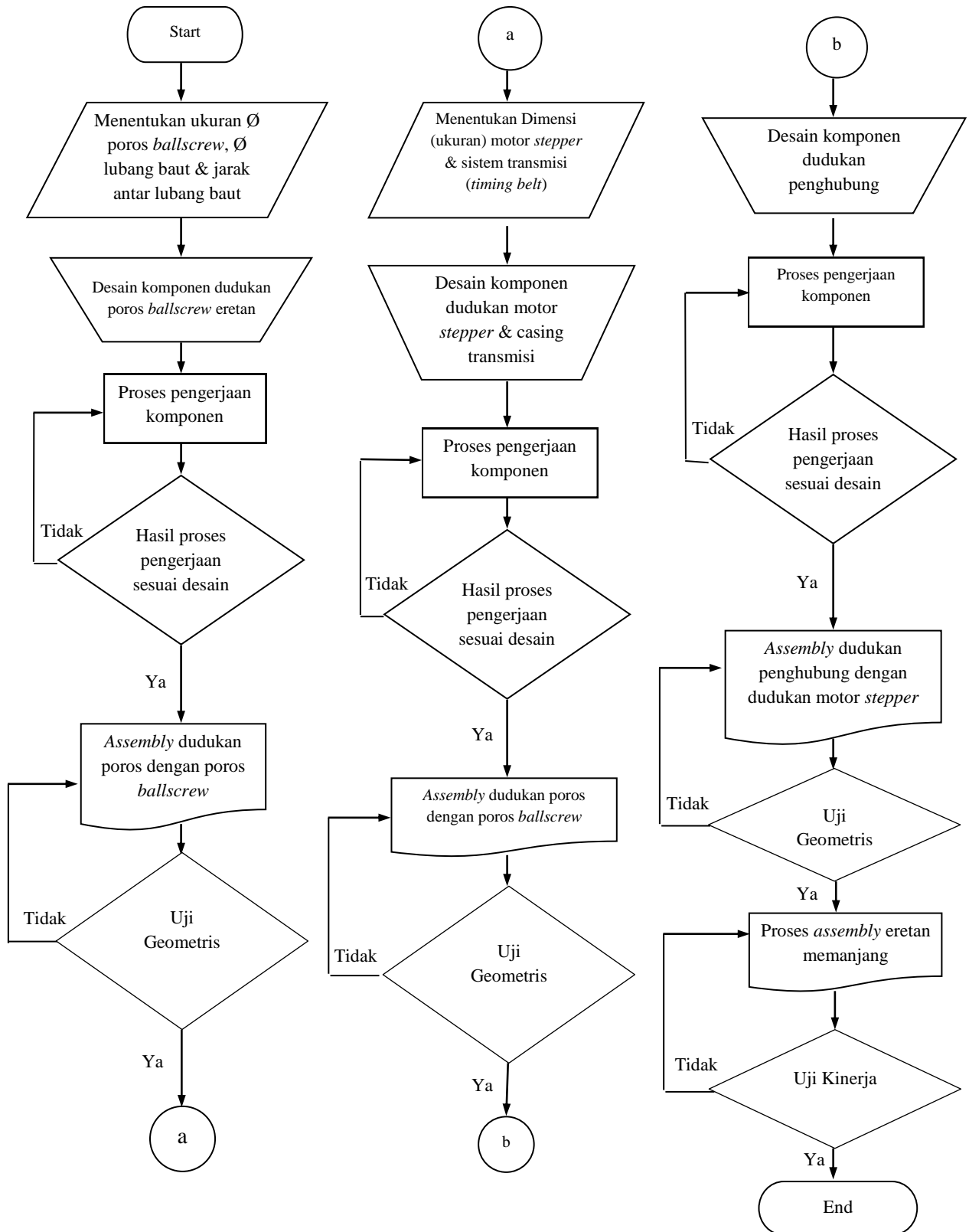
Keterangan gambar :

1. Suaian pas antara poros *ballscrew* dengan lubang puli dengan toleransi $\text{Ø}10 \text{ H6/k5}$.
2. Suaian sesak antara *bearing* dengan rumah bearing dengan toleransi $\text{Ø}32 \text{ P7/h5}$.
3. Suaian pas antara poros *ballscrew* dengan *bearing* dengan toleransi $\text{Ø}12 \text{ H6/k5}$.

E. Proses Perancangan Modifikasi Eretan Memanjang (Pembawa)

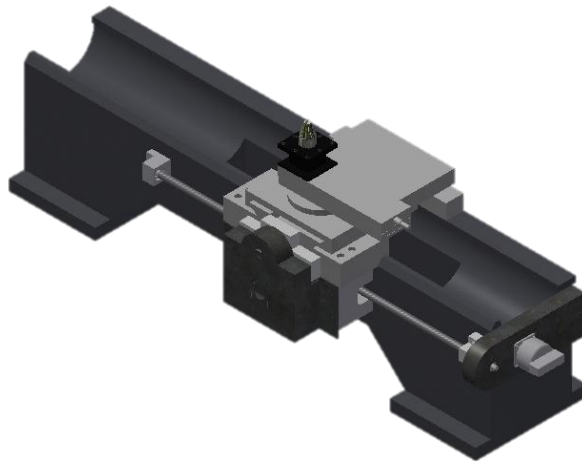
Bagian penting lain dari mesin bubut adalah eretan memanjang (pembawa), eretan tersebut berfungsi untuk mendorong eretan melintang. Komponen utama dari eretan memanjang yaitu poros ulir (*lead screw*). Cara kerja rangkaian eretan memanjang yang terdapat dalam mesin bubut manual yaitu dengan memutar *handle*, guna memenuhi kebutuhan dalam modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC, maka cara kerja rangkaian eretan memanjang diubah menjadi sistem mekanis dengan menggunakan tenaga dari putaran motor.

Perencanaan dalam modifikasi eretan memanjang (pembawa) dalam modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC dapat dijelaskan dalam diagram alir berikut ini :



Gambar 11. Diagram Alir Proses Perencanaan Modifikasi Eretan Memanjang

Proses awal perencanaan modifikasi eretan pembawa adalah menentukan rancangan dudukan poros *ballscrew*. Perubahan dudukan poros disebabkan ukuran diameter poros lebih kecil dari ukuran diameter lubang dudukan poros, selain itu salah satu dudukan pengganti juga berfungsi sebagai dudukan motor *stepper* dan casing transmisi. Konstruksi modifikasi eretan memanjang dalam modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC dapat dijelaskan dalam gambar berikut ini :

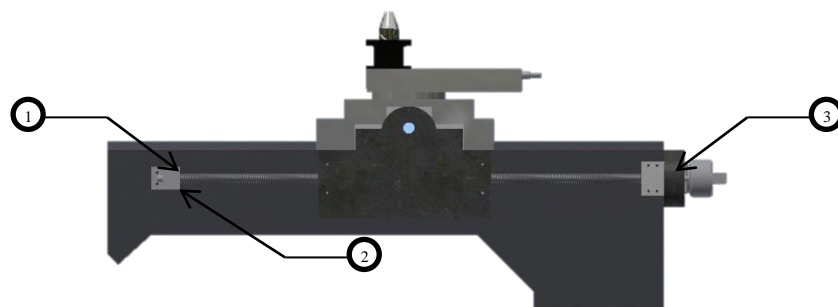


Gambar 12. Konstruksi Modifikasi Eretan Memanjang

Permasalahan yang ada sebelum dilakukan proses *assembly* yaitu perencanaan *setting* (kelurusan) sumbu lubang antara dua dudukan. Sebelumnya telah dijelaskan bahwa perencanaan komponen berbasis pada kondisi nyata mesin bubut yang dipakai, sehingga dengan memanfaatkan bekas lubang baut yang ada pada mesin sebagai letak dudukan, maka proses penentuan *setting* (kelurusan) akan sedikit lebih mudah. Proses *setting* sumbu antara lubang

dudukan menggunakan bantuan alat ukur *height gauge* dan *dial indicator*. Seperti yang ada pada proses eretan melintang maka dalam modifikasi eretan memanjang juga terdapat beberapa *assembly*, yaitu:

- a. *Assembly* dudukan poros dengan rumah *bushing*.
- b. *Assembly* rumah *bushing* dengan *bushing*.
- c. *Assembly* poros dengan *bushing*.
- d. *Assembly bearing* dengan dudukan poros.
- e. *Assembly* poros *ballscrew* dengan bearing.
- f. *Assembly* poros *ballscrew* dengan puli.



Gambar 13. Pandangan Depan Modifikasi Eretan Memanjang

Keterangan gambar :

1. Suaian pas antara *bearing* dengan dudukan poros dengan toleransi $\text{Ø}28 \text{ JS6/h5}$.
2. Suaian sesak antara poros *ballscrew* dengan *bearing* dengan toleransi $\text{Ø}12 \text{ P7/h5}$.
3. Suaian pas antara poros *ballscrew* dengan puli dengan toleransi $\text{Ø}10 \text{ JS6/h5}$.

F. Hasil Perencanaan Modifikasi & Analisis

Berbagai permasalahan yang ditemukan selama proses modifikasi, kaitannya dengan proses pembuatan komponen hingga proses *assembly*, akan dibahas dalam subbab ini. Dalam pembahasannya akan didasarkan pada fungsi bagian/komponen tersebut, baik ditinjau dari cara kerja mesin maupun proses pembuatannya.

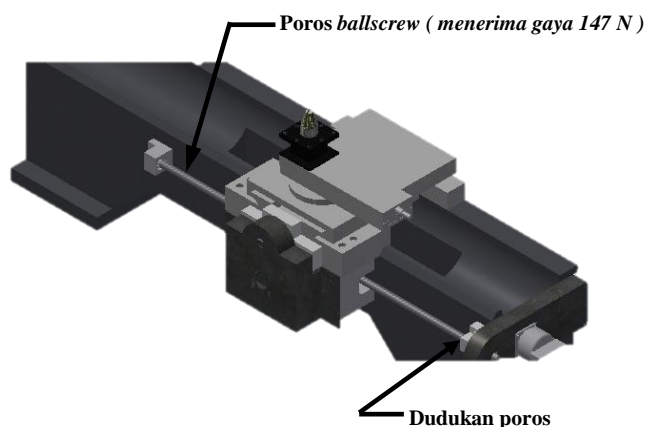
Adapun beberapa pembahasan tersebut antara lain :

1. Proses perancangan & analisis poros *ball screw* eretan pembawa

Poros adalah salah satu elemen terpenting dalam setiap konstruksi bagian mesin. Fungsi utama poros yaitu menurunkan tenaga bersama-sama dengan putaran. Poros transmisi mendapat beban puntir (torsi). Poros yang akan digunakan pada modifikasi mesin bubut ialah poros *ballscrew*. Dari beberapa definisi tentang poros, maka poros ini tergolong sebagai poros transmisi, karena poros semacam ini mendapat beban puntir murni, poros transmisi menerima daya dari sistem transmisi. Poros *ballscrew* yang digunakan juga merupakan ulir gerak. Ulir gerak ialah suatu bentuk profil yang dipakai dalam bidang pemesinan untuk mengubah gerakan sudut menjadi gerakan linier dan ulir gerak yang ada dalam suatu konstruksi digunakan sebagai pemindah daya. Beberapa macam tegangan yang diterima poros ulir (ulir daya) ialah tegangan bengkok pada ulir, tegangan geser pada ulir, dan tekanan bidang pada ulir.

Eretan pembawa merupakan bagian penting selain eretan melintang pada konstruksi mesin bubut, karena poros berulir yang digunakan pada

eretan ini berfungsi sebagai transmisi untuk membawa beban yang ada di atasnya, dalam hal ini ialah *toolpost* (rumah pahat) dan dudukannya. Melalui pertimbangan akan pentingnya fungsi dari poros ini, maka perlu diketahui gaya-gaya yang akan diterima poros. Keuntungan yang bisa diperoleh dengan menggunakan poros *ballscrew* ialah memiliki pergerakan lancar (*slidding*) yang sangat baik, sehingga beban awal yang akan diterima poros akan berkurang. Poros *ballscrew* mempunyai efisiensi yang bisa dimaksimalkan (efisiensi yang dihasilkan sekitar $\pm 70\text{--}90\%$).



Gambar 14. Mekanisme Eretan Memanjang

Dilihat dari segi konstruksi mesin bubut, pada bagian eretan pembawa/memanjang, poros yang digunakan akan mengalami gaya dorong, karena ditinjau dari fungsinya poros digunakan untuk membawa *toolpost* (rumah pahat) dan dudukannya, dengan perantara dudukan tambahan yang di baut dengan ukuran M8. Sedangkan beban vertikal dari (tegak lurus dengan sumbu poros) bisa diabaikan, karena beban tersebut ditumpu oleh *bed* mesin bubut. Panjang poros *ballscrew* mula-mula ialah

942 mm dengan Ø 16 mm dan terdiri dari batang ulir seluruhnya. Agar difungsikan sebagai ulir gerak, maka pada kedua ujung poros dibubut dengan ukuran Ø 10 mm yang dihubungkan dengan transmisi sabuk gilir (*timing belt*), dan Ø 14 mm yang dipasang pada dudukan poros eretan, sehingga total panjang ulir yang tersisa ialah 818 mm. Putaran poros *ballscrew* akibat transmisi sabuk gilir (*timing belt*) adalah 16,8 rpm dari putaran motor sebesar 24 rpm.

Berikut hasil analisa pada perancangan poros *ballscrew* eretan pembawa :

a. Daya rencana (P_d) :

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \times P \text{ (Kw)} \\ &= 1,2 \times (0,035 \times 0,735) \\ &= 0,03 \text{ Kw} \end{aligned}$$

b. Momen puntir (momen rencana) (T) :

$$\begin{aligned} T &= 9,42 \times 10^5 \frac{P_d}{n_{Poros}} \\ &= 9,42 \times 10^5 \frac{0,03 \text{ Kw}}{16,8} \\ &= 1682,14 \text{ Kg.mm} \end{aligned}$$

c. Macam-macam tegangan yang terjadi pada ulir poros :

1) Tegangan bengkok pada ulir

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3.w.h}{2\pi.r_m.n.b} \\ &= \frac{3.15 \text{ Kg}.3 \text{ mm}}{2\pi.7,25 \text{ mm}.14.2 \text{ mm}} \\ &= 0,15 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

2) Tegangan geser pada ulir :

$$\begin{aligned}\tau_g &= \frac{w}{2\pi.r_m.n.b} \\ &= \frac{15 \text{ Kg}}{2\pi.7,25 \text{ mm}.14.2 \text{ mm}} \\ &= 0,012 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

3) Tekanan bidang pada ulir :

$$\begin{aligned}\sigma_p &= \frac{w}{2\pi.r_m.n.h} \\ &= \frac{15}{2\pi.7,25.14.3} \\ &= 0,078 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

4) Tegangan geser poros *ballscrew* (τ) :

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{T}{\left(\frac{\pi.d_s^3}{16}\right)} \\ &= \frac{1682,14 \text{ Kg}.mm^2}{\left(\frac{\pi.16^3}{16}\right)} \\ &= 2,09 \text{ Kg} / mm^2\end{aligned}$$

- d. Bahan poros *ballscrew* yang digunakan pada modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC, menggunakan baja *chrom* (SCr

21), dengan perlakuan pengerasan kulit, sesuai tabel yang didapatkan kekuatan tarik sebesar 80 kg/mm^2 . Dalam perencanaan sebuah poros harus diperhatikan tentang pengaruh yang akan dihadapi oleh poros tersebut. Adapun pengaruh tersebut diantaranya ialah konsentrasi tegangan yang cukup besar sehingga harus diberi alur pasak dan pengaruh kekasaran permukaan. Faktor keamanan bahan yang diambil 18 % dari harga kekuatan tarik (σ_b), untuk bahan S - C diambil sebesar 6.0, faktor ini dinyatakan dengan sf_1 . Sedangkan pengaruh kekasaran permukaan dengan harga sebesar 1.3 sampai 3.0, faktor ini dinyatakan dengan sf_2 .

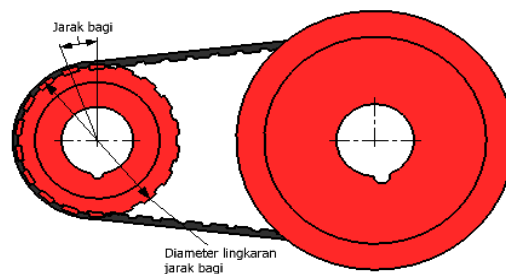
Sehingga besarnya tegangan yang diijinkan (σ_a) dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}\tau_a &= \frac{\sigma_b}{(sf_1 \times sf_2)} \\ &= \frac{80 \text{ kg/mm}^2}{(6 \times 2)} \\ &= 6,6 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

Dengan hasil ini maka tegangan geser yang terjadi yaitu sebesar $2,09 \text{ kg/mm}^2$, lebih kecil dari batas tegangan geser yang diijinkan, sehingga poros *ballscrew* masih aman digunakan. Sedangkan keamanan dari tegangan geser yang terjadi dipengaruhi oleh besarnya torsi pada poros.

2. Proses perencanaan dan analisis sistem transmisi sabuk gilir (*timing belt*)

Modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC, menggunakan sistem transmisi sabuk gilir (*timing belt*). Transmisi sabuk gilir bekerja atas dasar gesekan belitan dan mempunyai beberapa keuntungan karena murah harganya, sederhana konstruksinya, dan mudah untuk mendapatkan perbandingan yang diinginkan. Pemilihan menggunakan transmisi sabuk gilir juga didasari karena untuk kebutuhan putaran tetap atau perbandingan transmisi yang tetap, dan untuk menghindari terjadinya slip antara sabuk dan puli seperti yang sering terjadi pada transmisi sabuk V, juga didasarkan karena kebutuhan sistem transmisi dengan ukuran yang semaksimal mungkin (kecil).



Gambar 15. Sabuk Gilir (*Timing belt*)

Sabuk gilir dibuat dari karet *neopren* atau plastik *poliuretan* sebagai bahan cetak dengan inti dari serat gelas atau kawat baja, serta gigi-gigi yang dicetak secara teliti dipermukaan sebelah dalam dari sabuk. Karena sabuk gilir dapat melakukan transmisi mengait seperti pada roda gigi atau rantai,

maka gerakan dengan perbandingan putaran yang tetap dapat diperoleh.
 Batas maksimum kecepatan sabuk gilir ± 35 (m/s). (Sularso, 1978:181)

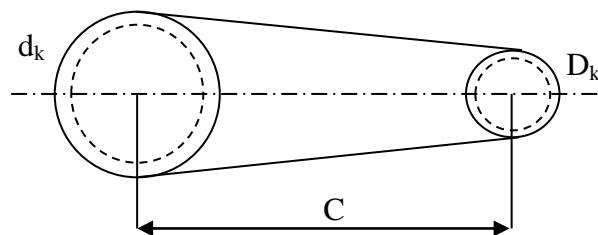
Didapatkan data dari komponen yang telah diperoleh sebagai berikut :

Tabel 5. Ukuran Transmisi Sabuk Gilir

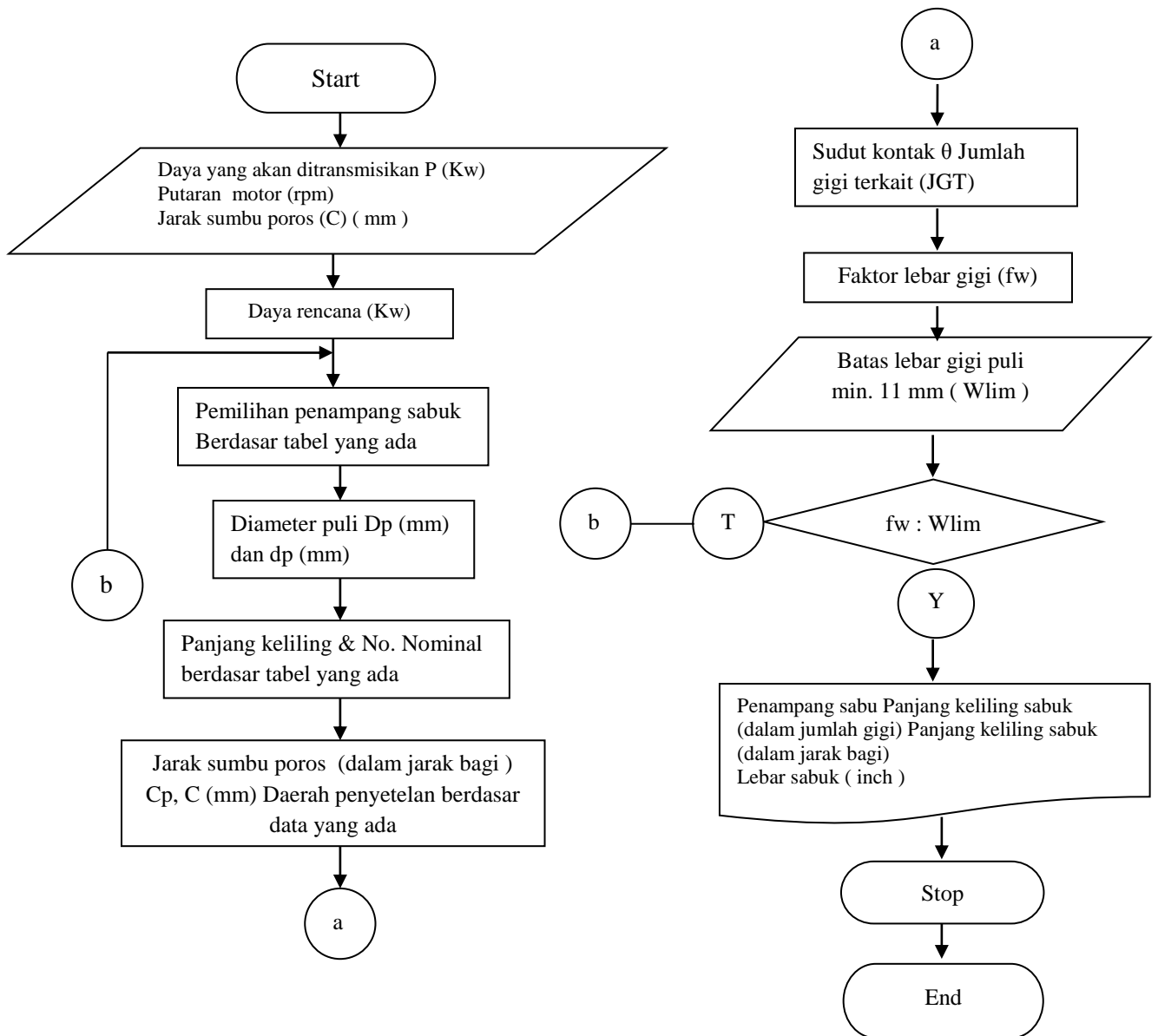
Puli penggerak (Z₁)	Puli digerakkan (Z₂)
- Z = 18	- Z = 28
- Ø 28,5 mm	- Ø 40 mm
- Lebar gigi = 28 mm	- Lebar gigi = 11 mm

Kecepatan linier sabuk :

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{d_p \cdot n_1}{60 \times 1000} \\
 &= \frac{28,5 \cdot 24}{60000} \\
 &= 0,0114 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$



Dari diatas, maka dapat dilakukan perencanaan pemilihan sabuk yang sesuai. Berikut adalah diagram alir untuk memilih sabuk gilir :



Gambar 16. Diagram Alir Perencanaan Sabuk Gilir (*Timing Belt*)

Dari data tersebut maka perhitungan perencanaan sabuk gilir sebagai berikut :

a. Daya yang akan ditransmisikan :

$$\begin{aligned}
 P &= 0,0328 \text{ Hp} \\
 &= 0,02 \text{ Kw} \\
 n_{\text{motor}} &= 24 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Jarak sumbu poros yang direncanakan = 80 mm

b. Daya rencana (P_d) :

$$\begin{aligned}P_d &= f_c \times P \\ &= 1,5 \times 0,02 \\ &= 0,03 \text{ kw}\end{aligned}$$

c. Sesuai dengan data yang ada, yang akan digunakan penampang L digunakan untuk mesin perkakas, dengan jarak bagi (p) = 9,525

d. Diameter lingkaran jarak bagi puli kecil (d_p)

$$\begin{aligned}d_p &= \frac{p \times Z_1}{3,14} \\ &= \frac{9,525 \times 18}{3,14} \\ &= 54,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

Diameter lingkaran jarak bagi puli besar (D_p)

$$\begin{aligned}D_p &= \frac{p \times Z_2}{3,14} \\ &= \frac{9,525 \times 28}{3,14} \\ &= 84,9 \text{ mm}\end{aligned}$$

e. Panjang keliling sabuk dalam jumlah jarak bagi (L_p), mengacu rumus

$$\begin{aligned}
L_p &= \frac{Z_1 + Z_2}{2} + 2 \left(\frac{C}{p} \right) + \frac{[(Z_1 - Z_2) / 6,28]^2}{\left(\frac{C}{p} \right)} \\
&= \frac{18 + 28}{2} + 2 \left(\frac{80}{9,525} \right) + \frac{[(18 - 28) / 6,28]^2}{\left(\frac{80}{9,525} \right)} \\
&= 40,09 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Sehingga didapat dalam tabel, L = 40 & No. Nominal 150 L

f. Jarak sumbu poros dalam jarak bagi (C_p)

$$\begin{aligned}
C_p &= \frac{1}{4} \left\{ \left(L - \frac{Z_1 + Z_2}{2} \right) + \sqrt{\left(L - \frac{Z_1 - Z_2}{2} \right)^2 - \frac{2}{9,86} (Z_2 - Z_1)^2} \right\} \\
&= \frac{1}{4} \left\{ \left(40,09 - \frac{18 + 28}{2} \right) + \sqrt{\left(40,09 - \frac{18 + 28}{2} \right)^2 - \frac{2}{9,86} (28 - 18)^2} \right\} \\
&= 8,34 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$C = 8,34 \text{ mm} \times 9,525$$

Sehingga :

$$= 79,51 \text{ mm}$$

Dari tabel didapatkan daerah penyetelan ialah $\Delta C_i = 5$, $\Delta C_t = 5$

g. Sudut kontak sabuk (θ) :

$$\begin{aligned}
\theta &= 180^\circ - \frac{57(D_p - d_p)}{C} \\
&= 180^\circ - \frac{57(84,9 - 54,6)}{79,43} \\
&= 158,27^\circ
\end{aligned}$$

Jumlah pasang gigi terkait (JGT) :

$$\begin{aligned} \text{JGT} &= \frac{\theta}{360} \times Z_1 \\ &= \frac{158,27^\circ}{360} \times 18 \\ &= 7,9 \end{aligned}$$

Jika $\text{JGT} < 6$, maka perlu dilakukan koreksi. Dengan JGT sebesar 7,9, maka faktor koreksi (f_t) adalah 1.

Lebar gigi sabuk (f_w) :

$$f_w = \frac{P_d}{P_o \cdot f_t}$$

didapat $P_o = 0,075 \text{ Kw/m}$

$$\begin{aligned} f_w &= \frac{0,03 \text{ Kw}}{0,075 \cdot 1} \\ &= 0,4 \text{ inch} \end{aligned}$$

Dari hasil diatas maka telah didapat kesimpulan, yaitu :

- a. Penampang sabuk : No. Nominal 150 L (lihat lampiran 3)
- b. Jumlah gigi : 40 mm (lihat lampiran 3)
- c. Panjang keliling sabuk : 381,00 mm (lihat lampiran 3)
- d. Lebar sabuk : 0,4 inch
- e. Jarak sumbu poros : $79,53 \pm 5 \text{ mm}$

Lebar puli kecil sebesar 11 mm, maka sabuk dengan ukuran tersebut dapat digunakan. Sedangkan jarak sumbu poros yang mendekati perencanaan yaitu sebesar $79,53 \pm 5 \text{ mm}$.

G. Perencanaan Komponen, Pemilihan Bahan, & Proses *Assembly*

Modifikasi (*retrofit*) mesin bubut konvensional menjadi mesin bubut CNC mempunyai prinsip kerja seperti pada mesin CNC type 2A (jenis *Turning*). Guna mendapatkan cara kerja tersebut maka perlu perubahan yang harus dilakukan pada mesin. Proses perencanaan desain komponen yang diperlukan disesuaikan dengan keadaan mesin sebelumnya, sehingga dalam perencanaannya mempunyai kesamaan komponen asli dari mesin. Prinsip perencanaan yaitu lebih mementingkan akan fungsi dari komponen yang diganti, sehingga bisa dimungkinkan beberapa komponen baru/pengganti masih memiliki kesamaan bentuk. Sebagian besar komponen pengganti lebih menitik beratkan pada komponen – komponen mekanik yang dipakai, seperti motor *stepper*, sabuk gilir (*timing belt*), dan poros *ballscrew*.

Proses perencanaan desain komponen dilakukan secara bertahap, dilakukan mulai perencanaan dari komponen terpenting yang merupakan fungsi vital dari komponen utama, kemudian dilakukan perencanaan untuk komponen pendukung. Proses perencanan dengan prinsip yang sederhana menjadi suatu pilihan, karena terkendala dengan beberapa faktor diantaranya karena keterbatasan waktu dan pengalaman yang terbatas tentang masalah modifikasi ini. Komponen yang merupakan fungsi vital dari komponen utama ialah dudukan poros *ballscrew* eretan melintang, dudukan poros *ballscrew* eretan pembawa bagian kanan dan kiri, dudukan motor *stepper* dan berfungsi sebagai casing/tutup transmisi sabuk gilir, sedangkan komponen yang merupakan fungsi pendukung diantaranya box perangkat elektronik.

Proses pemilihan bahan untuk mendapatkan komponen yang baik juga disesuaikan dengan biaya pembuatan, kondisi awal mesin bubut dan komponen utamanya. Bahan yang digunakan diantaranya 80% terdiri dari plat – plat tebal (ST. 37) dan 20% lainnya terdiri dari besi profil kotak, plat tipis (plat eyser), plat aluminium, dan lain–lain. Bahan didapatkan dari penjual besi bekas pakai dan diantaranya juga memanfaatkan besi limbah bengkel yang tidak terpakai. Beberapa permasalahan dalam memilih bahan diantaranya terkendala dengan stok bahan yang ada, seperti misalnya dalam desain diinginkan untuk menggunakan bahan dengan tebal dan ukuran yang telah dirancang akan tetapi tidak ditemukan bahan dengan ukuran yang sesuai sehingga terpaksa harus memaksimalkan bahan yang ada, sehingga konsekuensinya akan mempengaruhi pada biaya pengeluaran untuk membeli bahan.

Tahapan akhir dari modifikasi mesin bubut yaitu proses *assembly*. Proses *assembly* merupakan proses penyesuaian antara komponen–komponen yang telah dibuat dengan keadaan dengan kondisi dari mesin yang ada dan kemudian dilakukan pemasangan. Bahan yang digunakan dalam pemasangan komponen yaitu baut dengan berbagai ukuran. Pemilihan baut dikarenakan mempunyai sifat kekuatan yang tinggi dan dipandang mampu menambah kesan estetika. Kesulitan yang dihadapi saat proses *assembly* diantaranya tidak sesuainya lubang–lubang baut pada mesin dengan komponen, sehingga komponen tersebut harus diperbaiki. Adapun faktor yang mempengaruhi diantaranya karena keterbatasan alat–alat pembuatan dan ketrampilan tenaga kerja.

H. Analisis Ekonomi

Penentuan harga modifikasi mesin bubut konvensional menjadi mesin bubut CNC dapat dilihat pada Tabel Penentuan Harga Mesin.

Tabel 6. Penentuan Harga Mesin

Macam biaya	Macam pekerjaan	Bahan (Rp)	Alat (Rp)	Tenaga (Rp)	Jumlah
A. Biaya Desain	Survey	-	-	50.000	50.000
	Analisis	-	-	50.000	50.000
	Gambar	50.000	50.000	100.000	200.000
Jumlah					300.000

Macam biaya	Macam komponen	Biaya Pembelian (RP)	Biaya Perakitan	Jumlah
B. Biaya Pembelian Komponen	Motor <i>Stepper</i> (2 Set)	@ 3.250.000	25.000	6.525.000
	Poros <i>Ballscrew</i> (Uk. 974 mm)	2.500.000	15.000	2.515.000
	Poros <i>Ballscrew</i> (Uk. 200 mm)	2.500.000	15.000	2.515.000
	<i>Timing Belt</i> (2 Set)	@ 75.000	@ 10.000	170.000
	Baut, Snapping, Laker	157.000	10.000	167.000
	Cat & Poxy	126.000	50.000	176.000
	Rangkaian Elektronik dan Komputer	1.100.000	100.000	1.200.000
	Box Panel	150.000		150.000
Jumlah				13.418.000

Macam Biaya	Macam Elemen	Bahan Baku	Bahan Penolong	Tenaga Kerja Langsung (TKL)	Jumlah
-------------	--------------	------------	----------------	-----------------------------	--------

C. Biaya Pembuatan Komponen	Dudukan Poros Eretan Melintang	35.000	5.000	20.000	60.000
	Dudukan Motor Stepper & Casing Timing Belt	67.500	5.000	25.000	97.500
	Dudukan Pengganti Eretan Pembawa (2 Set)	40.000	10.000	20.000	70.000
	Pulley gigi (2 set)	0	10.000	40.000	50.000
	Pembubutan Poros Ballscrew Eretan Memanjang	0	10.000	40.000	50.000
	Casing-Casing	40.000	20.000	30.000	90.000
	Proses Assembly	0	80.000	30.000	110.000
	Jumlah				

D. Biaya Non Produksi	Biaya Gudang (5% x C)	45.875
	Pajak Perusahaan (5% x C)	45.875
Jumlah		91.750

E. Laba yang dikehendaki	10% x (A+B+C+D)	1.433.725
---------------------------------	------------------------	------------------

F. Taksiran harga produk	(A+B+C+D+E)	14.337.250
---------------------------------	--------------------	-------------------

Jadi harga pokok Modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC adalah **Rp 14.337.250,-**

I. Hasil & Pembahasan

1. Efektifitas Kerja Mesin

Modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC dirancang sebagai alat dengan gerakan simulasi dari mesin CNC. Perencanaan modifikasi lebih bersifat kepada penggunaan komponen agar mampu mendukung cara kerja mesin sesuai dengan mesin CNC. Kecepatan putar motor yang digunakan masih sangat kecil yaitu sekitar 24 rpm dan dengan keluaran kecepatan putar dari transmisi sekitar 16,8 rpm, maka modifikasi mesin ini masih bisa menggunakan kecepatan yang lebih tinggi, baik pada eretan pembawa maupun pada eretan melintang.

Poros *ballscrew* yang digunakan mampu memberikan efisiensi sebesar 80% dari beban awal yaitu sekitar 147 N menjadi 31,68 N. Poros *ballscrew* mempunyai keunggulan yaitu gerak luncur (*slidding*) yang sangat baik, karena ketika poros berputar maka sistem pelumasan akan bekerja.

2. Modifikasi Eretan Melintang

Cara kerja rangkaian eretan melintang dalam mesin bubut manual diubah menjadi gerakan mekanis yang memanfaatkan tenaga motor *stepper*. Bagian penggerak (*handle*) diubah guna dijadikan tempat dudukan motor *stepper*, selain itu dudukan poros digantikan dengan dudukan pengganti yang telah dirancang dengan disesuaikan poros *ballscrew* yang akan dipakai. Beberapa komponen baru yang

ditambahkan dalam modifikasi eretan melintang antara lain dudukan poros *ballscrew*, dudukan motor & casing transmisi, dan dudukan untuk casing.

Proses *setting* untuk mendapatkan sumbu poros antara dudukan poros dengan dudukan motor sangat diperhatikan karena akan sangat mempengaruhi cara kerja poros, sehingga guna mengantisipasi kesalahan maka selama proses pembuatan komponen harus diberikan toleransi pengerjaan, sehingga saat proses *assembly* suaian – suaian dapat berfungsi.

3. Modifikasi Eretan Memanjang

Seperti yang terdapat pada modifikasi eretan melintang, maka rangkaian eretan memanjang juga dimodifikasi dengan melakukan penggantian pada dua dudukan poros. Bentuk maupun letak dudukan menyesuaikan pada kondisi awal sehingga penggantian komponen dikarenakan menyesuaikan ukuran diameter poros yang digunakan. Beberapa komponen baru yang ditambahkan antara lain dudukan poros (*bushing*), dudukan poros (terhubung transmisi), dan dudukan motor & casing transmisi.

Proses awal *setting* dilakukan untuk mendapatkan sumbu poros yang memanfaatkan letak dan jarak dudukan yang sebelumnya, sehingga untuk mendapatkan sumbu poros antar dudukan memanfaatkan bed sebagai basis penentuannya. Alat ukur yang bisa digunakan antara lain *height gauge* dan *dial indicator*. Selain itu untuk mendapatkan sumbu

poros yang sejajar antara kedua kedudukan poros, maka selama proses pembuatan komponen harus diberikan toleransi pengerjaan, sehingga saat proses *assembly* suaian – suaian dapat berfungsi.

4. Poros *Ballscrew* Eretan Pembawa

Poros *ballscrew* eretan pembawa berukuran 942 mm dengan \varnothing 16 mm, terdiri dari batang ulir seluruhnya. Poros *ballscrew* difungsikan sebagai poros transmisi dan ulir gerak, dengan mempertimbangkan konstruksi yang ada pada mesin bubut maka pada kedua ujung poros dibubut \varnothing 10 mm (dipasang *bushing*) dan \varnothing 8,5 mm (dipasang transmisi).

Hasil analisa poros *ballscrew* eretan pembawa diperoleh bahwa tegangan geser yang terjadi yaitu $2,09 \text{ Kg/mm}^2$ lebih kecil dari batas tegangan geser yang diijinkan sebesar $6,6 \text{ Kg/mm}^2$, sehingga poros *ballscrew* pada eretan pembawa masih aman untuk digunakan. Keamanan pada poros *ballscrew* dipengaruhi oleh besarnya torsi pada poros tersebut.

5. Sistem Transmisi Sabuk Gilir (*Timing Belt*)

Modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC menggunakan sistem transmisi sabuk gilir dengan puli \varnothing 28,5 mm dan \varnothing 40 mm. Dengan membandingkan antara perencanaan awal jarak antar sumbu (C) sebesar 80 mm dan hasil analisa perhitungan perencanaan sebesar $79,53 \pm 5$ mm, maka hasil yang didapatkan hampir seimbang sehingga proses pemasangan bisa menggunakan salah satu ukuran

tersebut. Melalui data diperoleh, penampang sabuk 150 L (tipe L khusus untuk mesin perkakas), panjang keililing sabuk (dalam jumlah jarak bagi) 40, dan panjang keliling sabuk (dalam jumlah jarak bagi) sebesar 381,00 mm.

6. Aspek Finansial

Kebutuhan dana yang digunakan untuk membuat modifikasi mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini totalnya mencapai Rp 14.337.250,- Harga tersebut belum termasuk biaya perawatan dan biaya bila terjadi kerusakan.

J. Uji Kinerja

Setelah dilakukan uji kinerja modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC dapat disimpulkan bahwa mesin belum dapat bekerja maksimal sesuai dengan harapan. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, penyebab kurang maksimalnya modifikasi mesin ini adalah kemampuan mesin untuk melakukan proses pembubutan belum bisa diketahui karena gerakan mesin masih sebatas pada perubahan cara kerja pada poros eretan melintang dan eretan memanjang, motor *stepper* yang digunakan belum mampu berputar secara maksimal, dan pembuatan beberapa komponen buatan masih kurang maksimal sehingga beberapa diantaranya dapat mengganggu cara kerja mesin.

K. Kelemahan–Kelemahan

Setelah dilakukan pengujian terhadap fungsi dari modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini ternyata masih memiliki beberapa kelemahan–kelemahan diantaranya :

1. Motor *stepper* belum mampu berputar dengan maksimal.
2. Gerakan masih terbatas pada gerak interpolasi lurus dan melingkar.

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

A. Kesimpulan

Proses perancangan, pembuatan, hingga pengujian dalam modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Menghasilkan perubahan bagian utama mesin eretan melintang (sumbu x) agar mampu mendukung cara kerja mesin dengan sistem kontrol komputer.
2. Mengubah bagian eretan memanjang (sumbu z) dengan penambahan komponen yang diperlukan agar mampu mendukung cara kerja mesin dengan sistem kontrol komputer.
3. Sistem transmisi pada modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC menggunakan sabuk gilir (*timing belt*) dengan spesifikasi luas penampang 0,4 inch dan jumlah gigi 40. Spesifikasi dari puli Z_1 dengan $\varnothing 28,5$ mm, $Z = 18$, lebar gigi 28 mm, sedangkan spesifikasi puli Z_2 dengan $\varnothing 40$ mm, $Z = 40$, lebar gigi 11 mm. Jarak antar sumbu poros (C) sebesar $79,53 \pm 5$ mm.

4. Desain komponen yang dibutuhkan dalam modifikasi (*retrofit*) mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC telah disesuaikan dengan kondisi pada mesin asli yang digunakan.

B. Saran

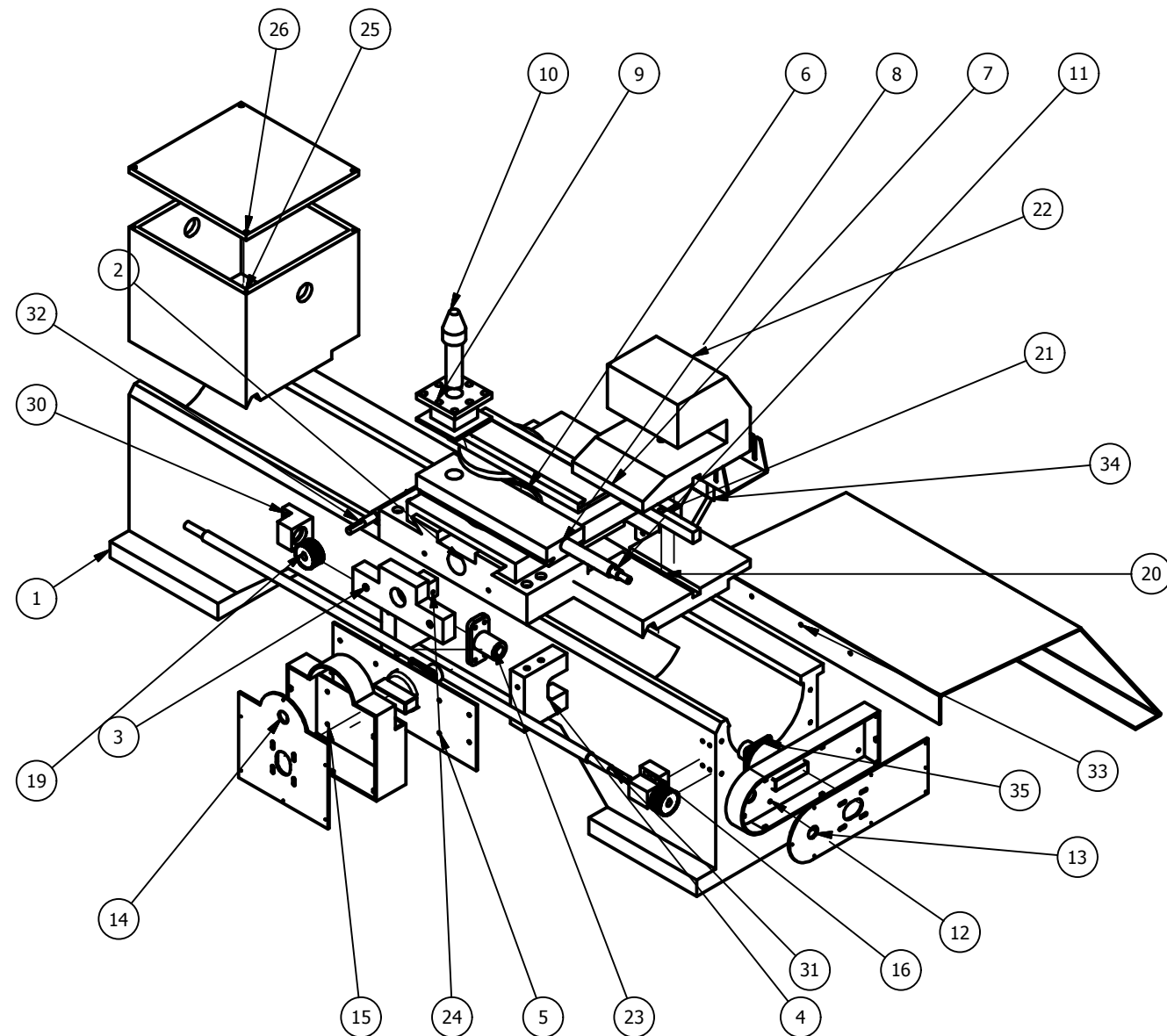
Perancangan mesin bubut manual menjadi mesin bubut CNC ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi kualitas bahan, penampilan, dan sistem kerja/fungsi. Oleh karena itu, untuk dapat menyempurnakan rancangan mesin ini perlu adanya pemikiran yang lebih jauh lagi dengan segala pertimbangannya. Beberapa saran untuk langkah yang dapat membangaun dan menyempurnakan mesin ini adalah sebagai berikut :

1. Putaran motor *stepper* bisa lebih dimaksimalkan sehingga kecepatan putaran poros bisa menjadi lebih tinggi.
2. Dibutuhkan perawatan ekstra untuk merawat komponen utama seperti poros *ballscrew* dan motor *stepper* agar umur pakai menjadi lebih panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Cormier, Denis. (2005) *McGraw-Hill Machining and Metalworking Handbook*. New York : McGraw-Hill Companies.
- Darmawan, H. 2000. *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*. Bandung : ITB
- Puspito, Jarwo (2009). *Diklat Kuliah Perancangan Alat dan Permesinan, Bersinergi dengan Karya Ilmiah Proyek Akhir*. Yogyakarta.
- Sato, G. T., dan Hartanto, N. S. 2003. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Sularso, Kiyokatsu Suga. 2002. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Tim Proyek Akhir. 2011. *Pedoman Proyek Akhir*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.

LAMPIRAN



35	Motor Stepper	2	
34	Dudukan Kertas	1	
33	Dudukan Control Panel	1	
32	Poros Ball Screw	1	
31	Poros Ball Screw	1	
30	Dudukan Poros Ball Screw	1	
26	Komponen Rumah Poros Spindel	1	
25	Rumah Poros Spindel	1	
24	Dudukan Motor Stepper	1	
23	Komponen Ball Screw	1	
22	Komponen Center Kepala Lepas	1	
21	Komponen Center Kepala Lepas	1	
20	Komponen Center Kepala Lepas	1	
19	Timing Gear	2	
16	Dudukan Poros Ball Screw	1	
15	Dudukan Motor Stepper	1	
14	Dudukan Motor Stepper	1	
13	Dudukan Motor Stepper	1	
12	Dudukan Motor Stepper	1	
11	Komponen Tool Post	1	
10	Komponen Tool Post	1	
9	Komponen Tool Post	1	
8	Komponen Tool Post	1	
7	Komponen Tool Post	1	
6	Komponen Tool Post	1	
5	Dudukan Motor Stepper	1	
4	Dudukan Motor Stepper	1	
3	Dudukan Poros Ball Screw	1	
2	Eretan Melintang	1	
1	Bed Mesin	1	

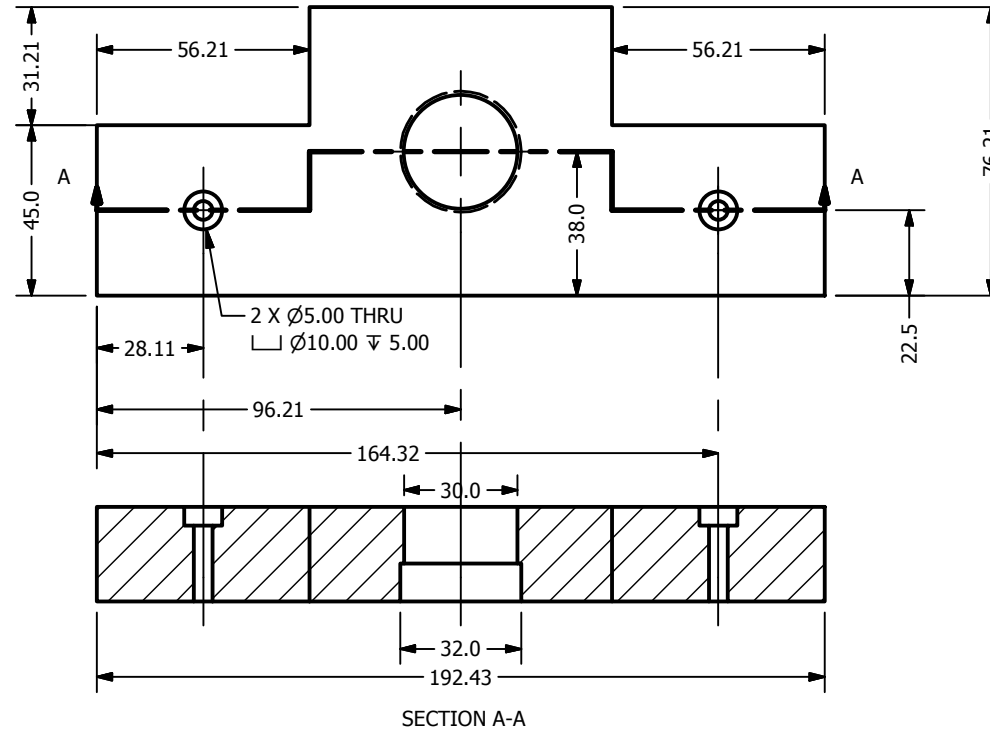
No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
	SKALA : 1:10	DIGAMBAR : DITYA K.A	
	SATUAN : mm	NIM/KELAS : 12508134006/P	
	TANGGAL : 23-12-2015	DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd	

TEKNIK MESIN FT UNY

MESIN BUBUT MODIFIKASI

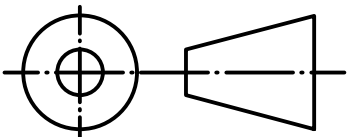
A3

N7
FRALS

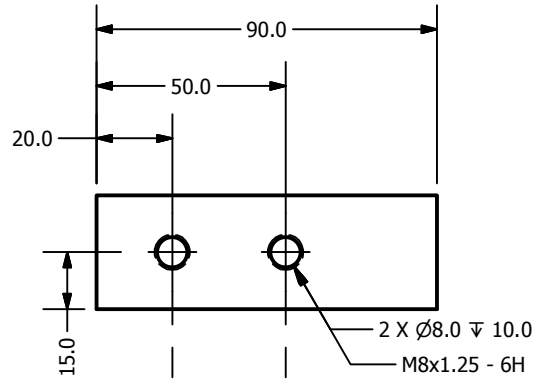


Ukuran Toleransi Umum

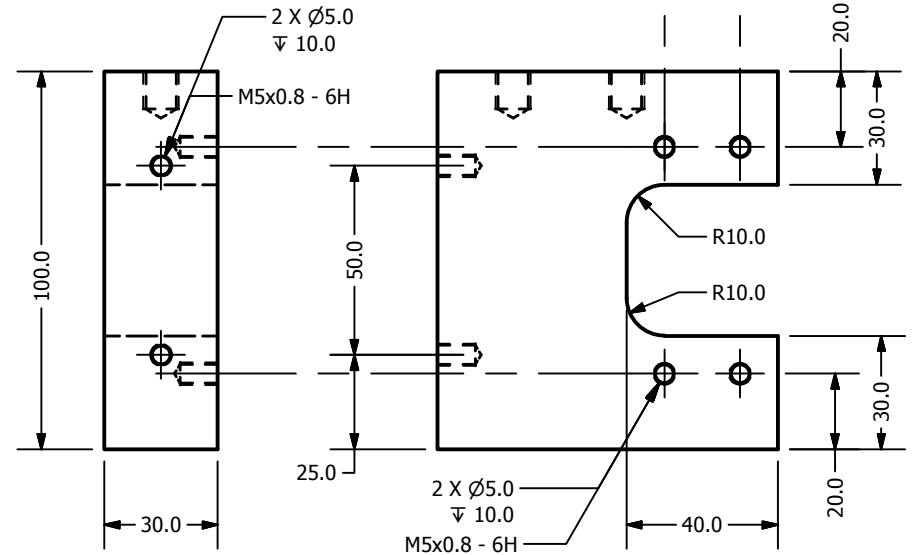
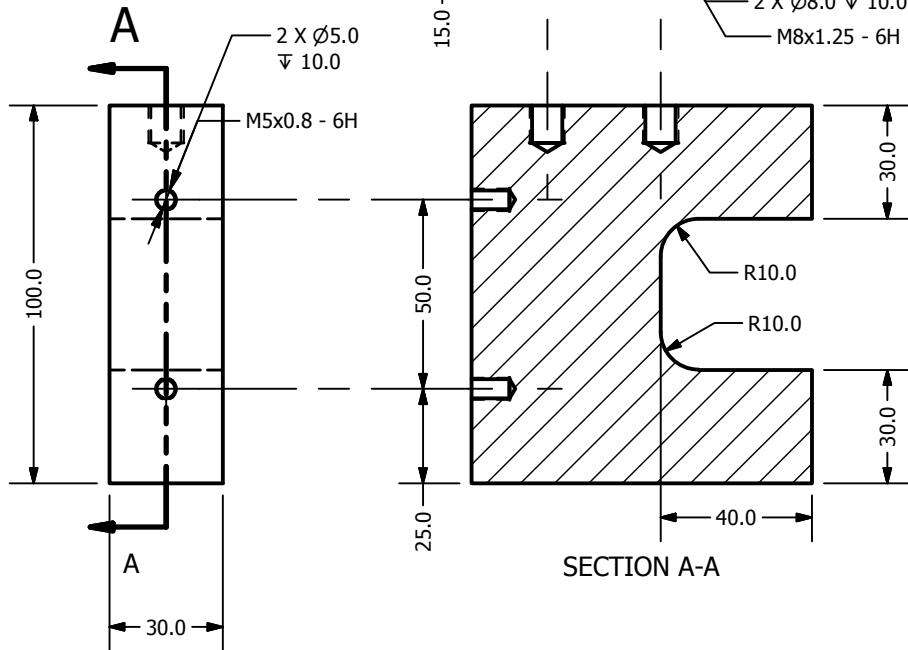
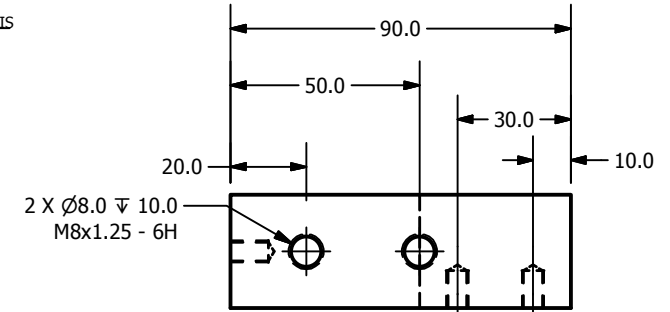
Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5

No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
3	Dudukan Poros Ball Screw	1	
		SKALA : 1:4 SATUAN : mm TANGGAL : 23-12-2015	DIGAMBAR : DITYA K.A NIM/KELAS : 12508134006/P DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd
TEKNIK MESIN FT UNY		DUDUKAN POROS BALL SCREW	
			A4

4 N7 FRAIS



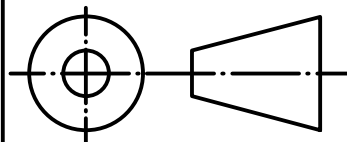
24 N7 FRAIS



Ukuran Toleransi Umum

Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5

No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
35	stepper motor	2	
24	Dudukan Motor Stepper	1	
4	Dudukan Motor Stepper	1	



SKALA : 1:2

SATUAN : mm

TANGGAL : 23-12-2015

DIGAMBAR : DITYA K.A

NIM/KELAS : 12508134006/P

DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd

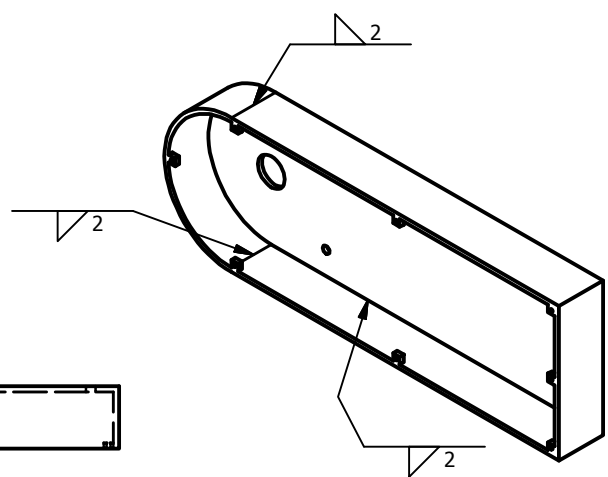
KETERANGAN :

TEKNIK MESIN FT UNY

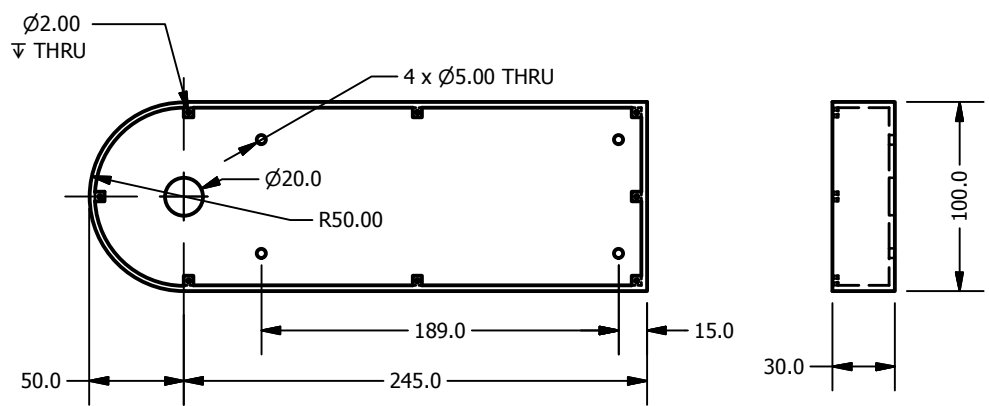
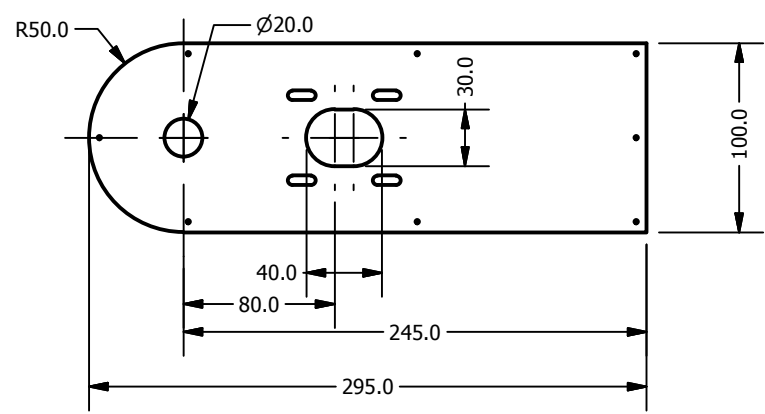
A4



12 N7



13 N7



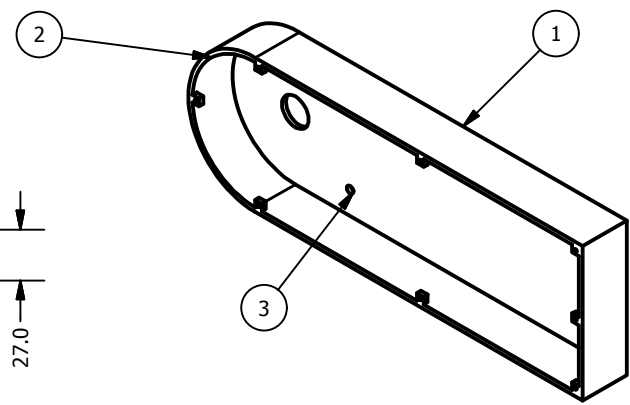
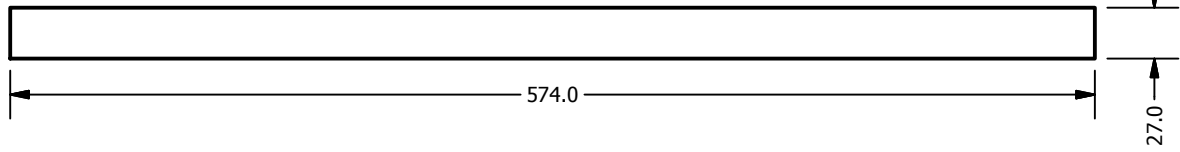
Ukuran Toleransi Umum

Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5

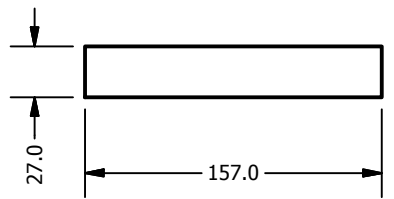
13	Dudukan Motor Stepper	1	Bahan Plat Eser Tebal 2 mm
12	Dudukan Motor Stepper	1	Bahan Plat Eser Tebal 2 mm
No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
		SKALA : 1:4	DIGAMBAR : DITYA K.A
		SATUAN : mm	NIM/KELAS : 12508134006/P
		TANGGAL : 23-12-2015	DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd
TEKNIK MESIN FT UNY			A4



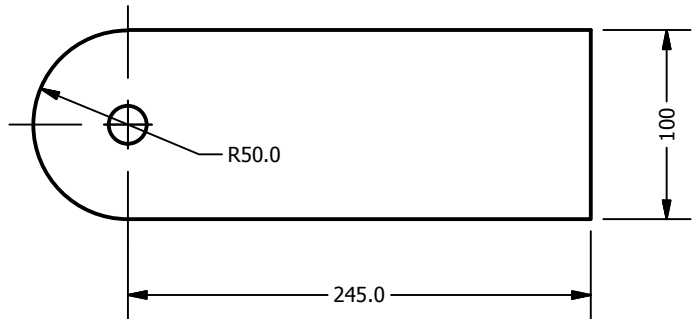
1



2



3

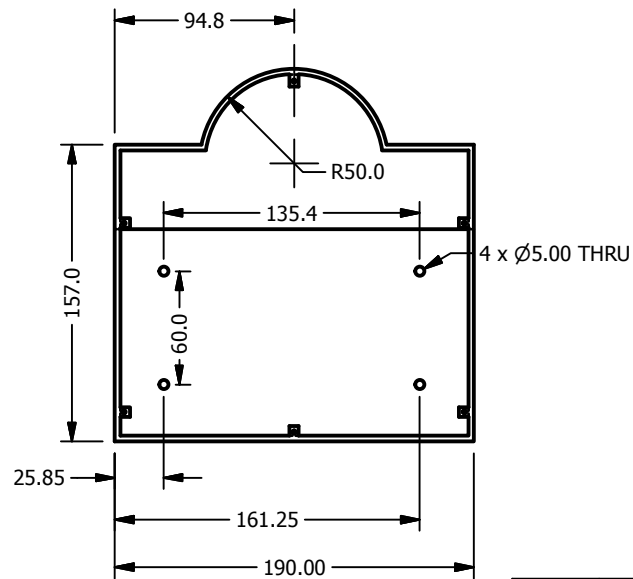
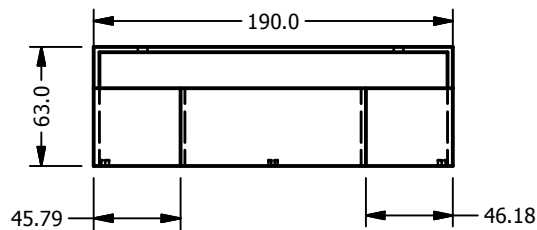


Ukuran Toleransi Umum

Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5

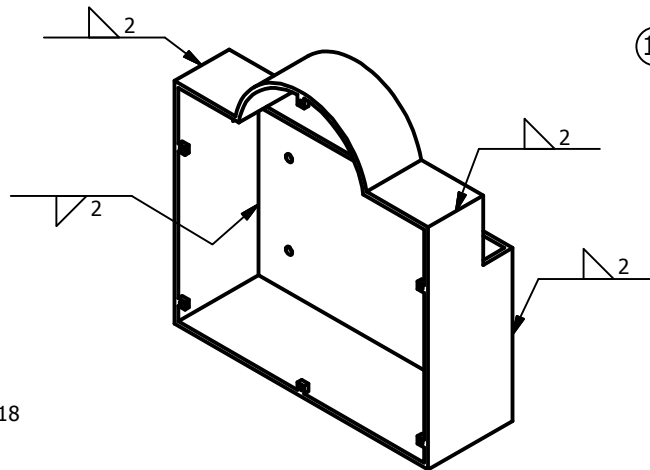
12	Dudukan Motor Stepper Eretan Memanjang	1	Bahan Plat Eser Tebal 1 mm
No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
	SKALA : 1:4	DIGAMBAR : DITYA K.A	
	SATUAN : mm	NIM/KELAS : 12508134006/P	
	TANGGAL : 23-12-2015	DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd	
TEKNIK MESIN FT UNY		GAMBAR BUKAAN	
			A4

15 ∇_{N7}

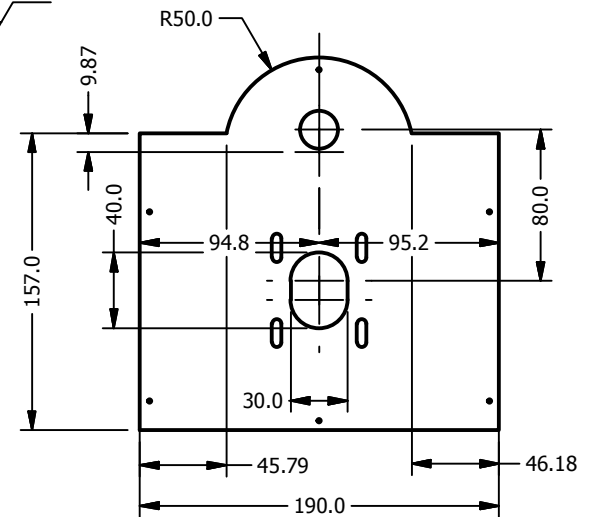


Ukuran Toleransi Umum

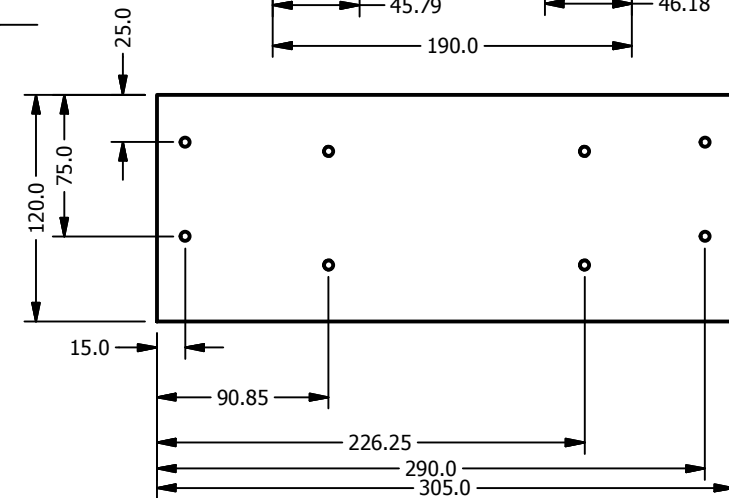
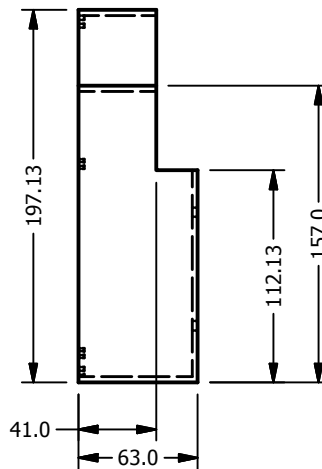
Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5



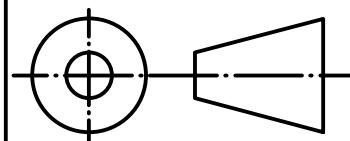
14 ∇_{N7}



5 ∇_{N10}



No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
15	Dudukan Motor Stepper Eretan Melintang	1	Bahan Plat Eser Tebal 2 mm
14	Tutup Dudukan Motor Stepper Eretan Melintang	1	Bahan Plat Eser Tebal 2 mm
5	Plat Dudukan Motor Stepper	1	Bahan Plat Eser Tebal 3 mm



SKALA : 1:4

SATUAN : mm

TANGGAL : 23-12-2015

DIGAMBAR : DITYA K.A

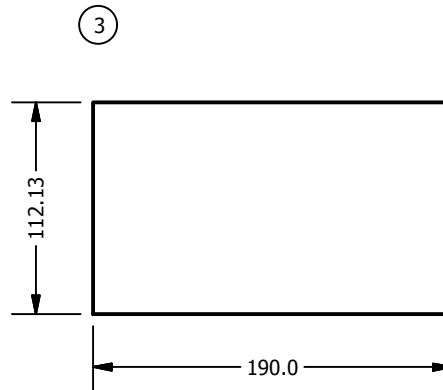
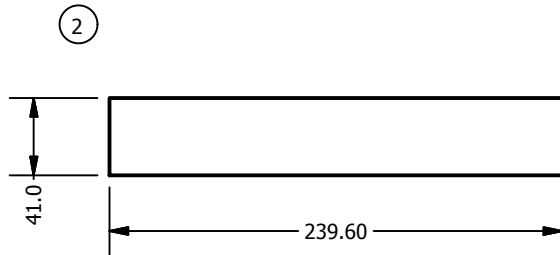
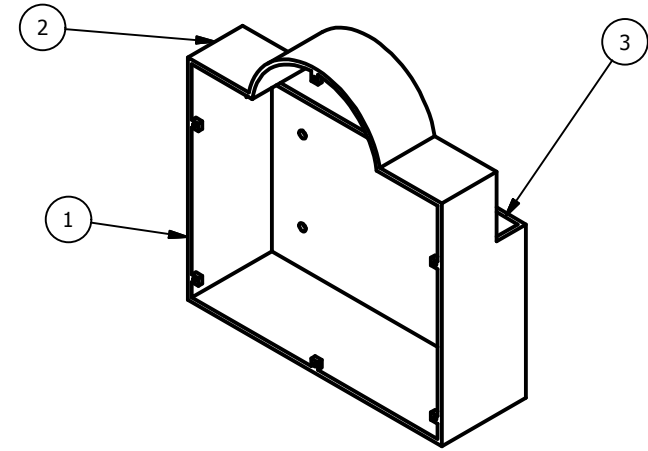
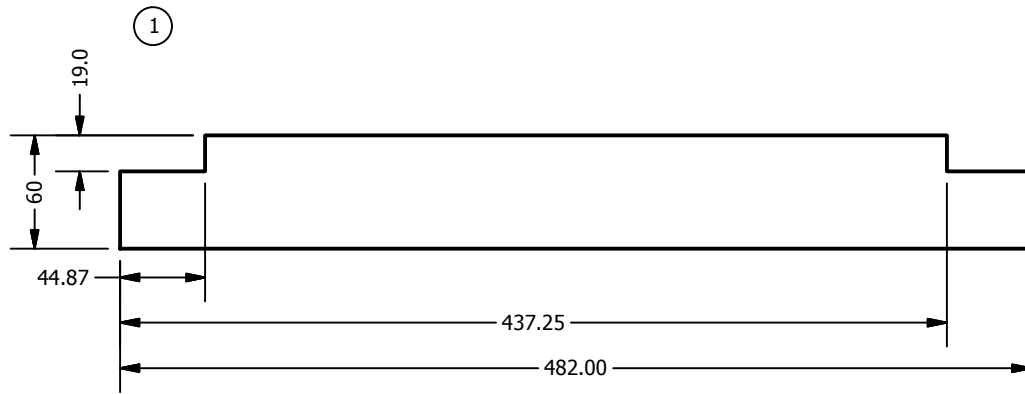
NIM/KELAS : 12508134006/P

DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd

KETERANGAN :

TEKNIK MESIN FT UNY

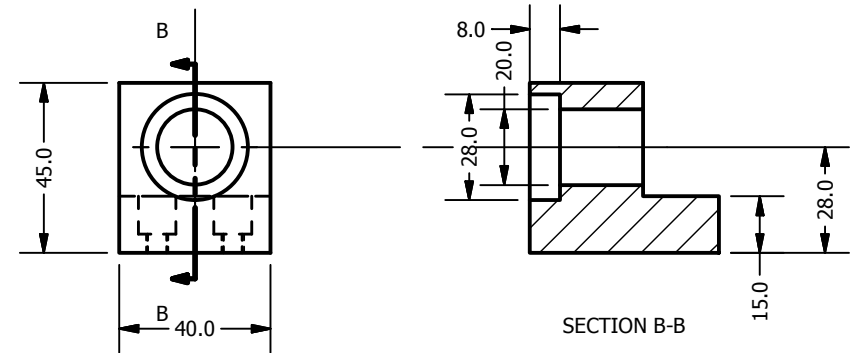
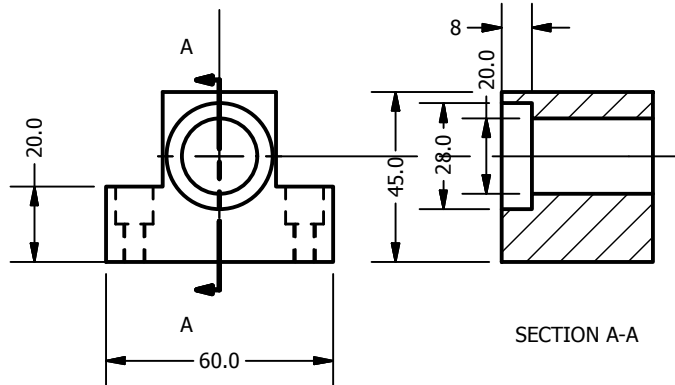
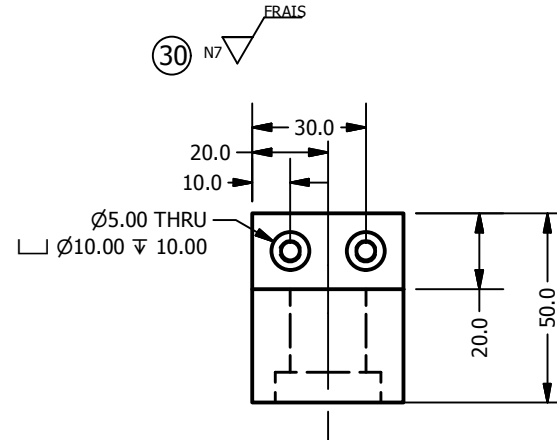
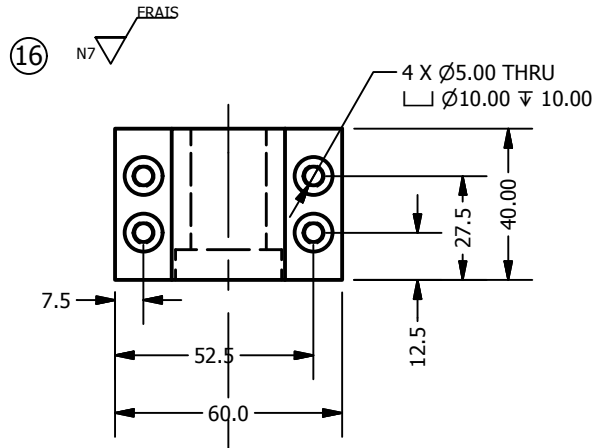
A4



Ukuran Toleransi Umum

Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5

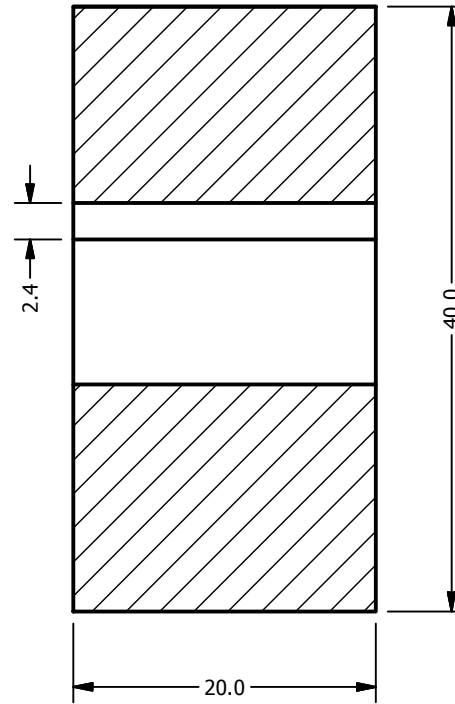
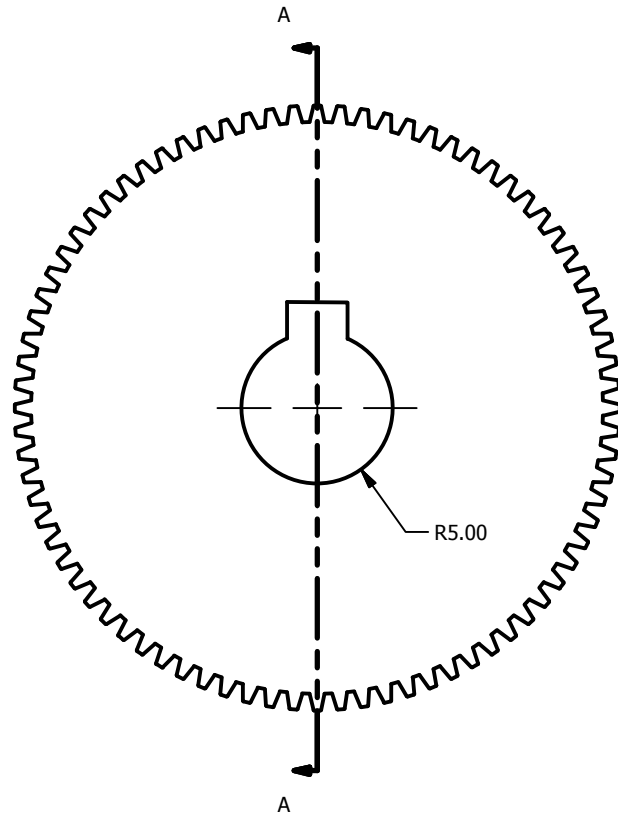
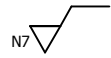
15	Dudukan Motor Stepper Eretan Melintang	1	Bahan Plat Eser Tebal 2 mm
No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
	SKALA : 1:4	DIGAMBAR : DITYA K.A	
	SATUAN : mm	NIM/KELAS : 12508134006/P	
	TANGGAL : 23-12-2015	DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd	
TEKNIK MESIN FT UNY		GAMBAR BUKAAN	
			A4



Ukuran Toleransi Umum

Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5

30	Dudukan Poros Ball Screw	1	Bahan Mild Steel
16	Dudukan Poros Ball Screw	1	Bahan Mild Steel
No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
		SKALA : 1:2	DIGAMBAR : DITYA K.A
		SATUAN : mm	NIM/KELAS : 12508134006/P
		TANGGAL : 23-12-2015	DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd
TEKNIK MESIN FT UNY			A4



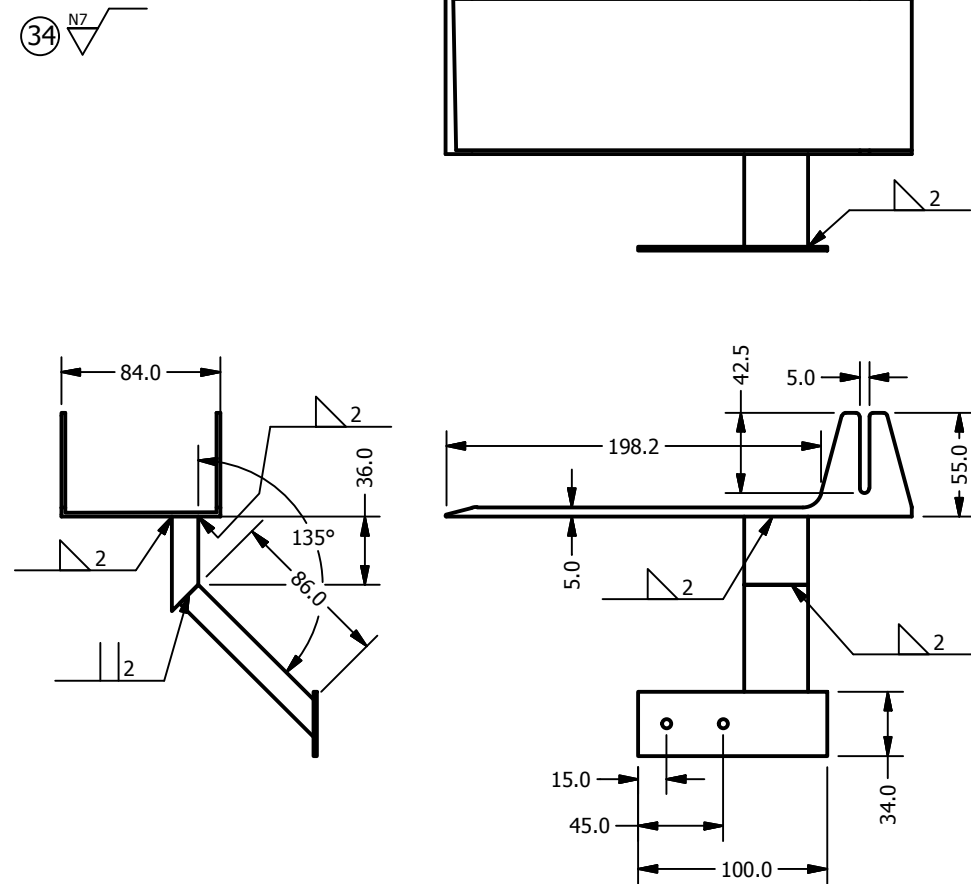
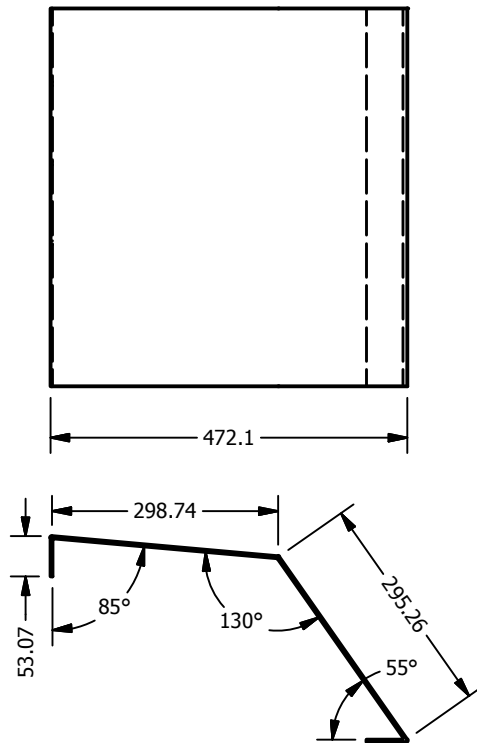
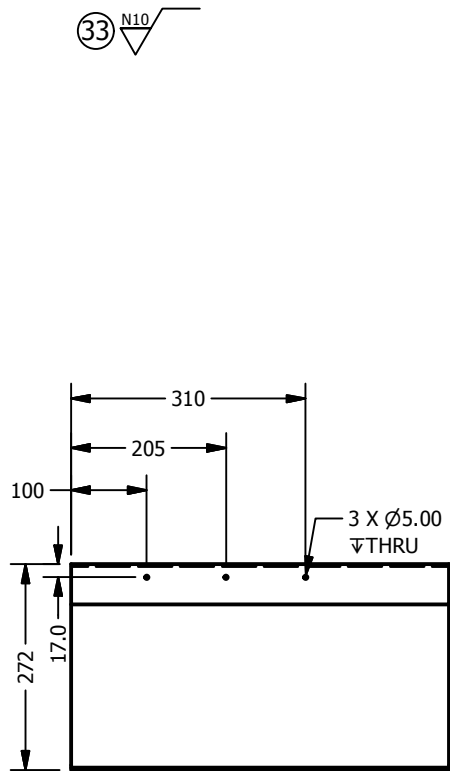
SECTION A-A

Roda Gigi Lurus	
Bentuk Gigi	Standar
Bentuk Gigi	Lebar Penuh
Modul	0.5
Jumlah Gigi	80

Ukuran Toleransi Umum

Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	± 0.1
6 s/d 30	± 0.2
30 s/d 120	± 0.3
120 s/d 315	± 0.4
135 s/d 1000	± 0.5

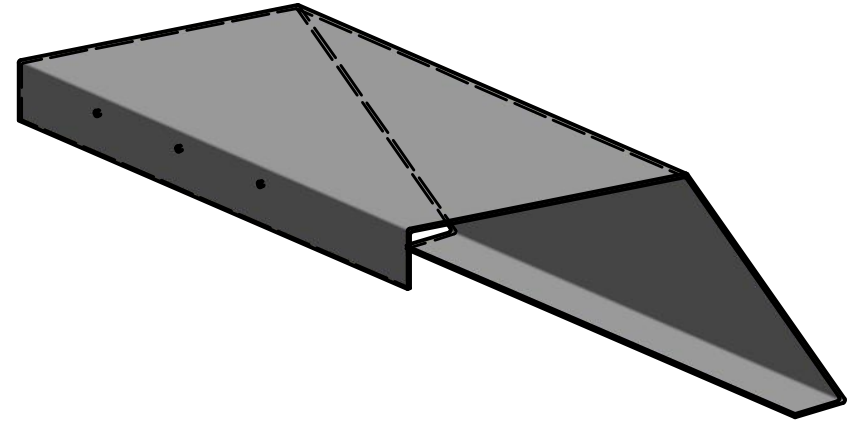
19	Timing Gear	2	
No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
	SKALA : 2:1	DIGAMBAR : DITYA K.A	
	SATUAN : mm	NIM/KELAS : 12508134006/P	
	TANGGAL : 23-12-2015	DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd	
TEKNIK MESIN FT UNY		RODA GIGI	
			A4



Ukuran Toleransi Umum

Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5

34	asw	1	
33	Dudukan Control Panel	1	Bahan Plat Eser Tebal 2 mm
No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
		SKALA : 1:10	DIGAMBAR : DITYA K.A
		SATUAN : mm	NIM/KELAS : 12508134006/P
		TANGGAL : 23-12-2015	DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd
TEKNIK MESIN FT UNY			A4



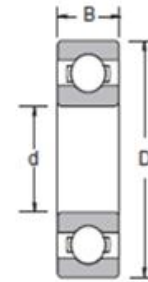
Ukuran Toleransi Umum

Ukuran	Toleransi
3 s/d 6	±0.1
6 s/d 30	±0.2
30 s/d 120	±0.3
120 s/d 315	±0.4
135 s/d 1000	±0.5

33	Dudukan Control Panel	1	Bahan Plat Eser Tebal 2 mm
No.	Nama Bagian	Jumlah	Keterangan
	SKALA : 1:10	DIGAMBAR : DITYA K.A	
	SATUAN : mm	NIM/KELAS : 12508134006/P	
	TANGGAL : 23-12-2015	DIPERIKSA : BAMBANG S.H.P,MPd	
TEKNIK MESIN FT UNY		GAMBAR BUKAAN	
			A4

Lampiran 2. Tabel Ukuran Bearing

Tabel ukuran Ball bearing
Type 6000



Bearing Number	Nominal Bearing Dimensions						Preferred Shoulder Diameters			
	<i>d</i>		<i>D</i>		<i>B</i>		<i>r*</i>	<i>da</i> (in)		<i>Da</i> (in)
	mm	inch	mm	inch	mm	inch	inch	min	max	max
6000	10	0.3937	26	1.0236	8	0.3150	0.012	0.472	0.512	0.949
6001	12	0.4724	28	1.1024	8	0.3150	0.012	0.551	0.611	1.024
6002	15	0.5906	32	1.2598	9	0.3543	0.012	0.669	0.749	1.181
6003	17	0.6693	35	1.3780	10	0.3937	0.012	0.748	0.847	1.299
6004	20	0.7874	42	1.6535	12	0.4724	0.024	0.945	1.005	1.496
6005	25	0.9843	47	1.8504	12	0.4724	0.024	1.142	1.182	1.693
6006	30	1.1811	55	2.1654	13	0.5118	0.039	1.378	1.438	1.969
6007	35	1.3780	62	2.4409	14	0.5512	0.039	1.575	1.635	2.244
6008	40	1.5748	68	2.6772	15	0.5906	0.039	1.772	1.872	2.480
6009	45	1.7717	75	2.9528	16	0.6299	0.039	1.969	2.108	2.756
6010	50	1.9685	80	3.1496	16	0.6299	0.039	2.165	2.305	2.953
6011	55	2.1654	90	3.5433	18	0.7087	0.039	2.421	2.528	3.287
6012	60	2.3622	95	3.7402	18	0.7087	0.039	2.618	2.719	3.484
6013	65	2.5591	100	3.9370	18	0.7087	0.039	2.815	2.876	3.681
6014	70	2.7559	110	4.3307	20	0.7874	0.039	3.012	3.172	4.075
6015	75	2.9528	115	4.5276	20	0.7874	0.039	3.209	3.369	4.272
6016	80	3.1496	125	4.9213	22	0.8661	0.039	3.406	3.585	4.665
6017	85	3.3465	130	5.1181	22	0.8661	0.039	3.602	3.782	4.862
6018	90	3.5433	140	5.5118	24	0.9449	0.059	3.858	4.058	5.197
6019	95	3.7402	145	5.7087	24	0.9449	0.059	4.055	4.275	5.394
6020	100	3.9370	150	5.9055	24	0.9449	0.059	4.252	4.452	5.591
6021	105	4.1339	160	6.2992	26	1.0236	0.079	4.528	4.728	5.906
6022	110	4.3307	170	6.6929	28	1.1024	0.079	4.724	4.905	6.299
6024	120	4.7244	180	7.0866	28	1.1024	0.079	5.118	5.299	6.693
6026	130	5.1181	200	7.8740	33	1.2992	0.079	5.512	5.851	7.480
6028	140	5.5118	210	8.2677	33	1.2992	0.079	5.906	6.245	7.874
6030	150	5.9055	225	8.8583	35	1.3780	0.079	6.339	6.698	8.425
6032	160	6.2992	240	9.4488	38	1.4961	0.079	6.732	7.131	9.016
6034	170	6.6929	260	10.2362	42	1.6535	0.079	7.126	7.663	9.803
6036	180	7.0866	280	11.0236	46	1.8110	0.079	7.520	8.195	10.591
6038	190	7.4803	290	11.4173	46	1.8110	0.079	7.913	8.589	10.984
6040	200	7.8740	310	12.2047	51	2.0079	0.079	8.307	9.121	11.772

Lampiran 3. Tabel Ukuran Sabuk Gilir

Tabel 5.10(b) Nomor nominal, jumlah gigi, dan panjang, untuk sabuk gilir standar.
[Penampang L] [Penampang H]

Lebar sabuk standar	Nomor nominal	Lebar sabuk (inch)	Lebar sabuk (mm)	Lebar sabuk standar	Nomor nominal	Lebar sabuk (inch)	Lebar sabuk (mm)	
	050	0,50	12,7		075	0,75	19,0	100
075	0,75	19,0	150	1,50	38,1	200	2,00	50,8
100	1,00	25,4	300	3,00	76,2			
150	1,50	38,1						
Variasi beban besar	Nomor nominal	Jumlah gigi	Panjang jarak bagi sabuk (mm)	Panjang sabuk standar	Nomor nominal	Jumlah gigi	Panjang jarak bagi sabuk (mm)	
	124 L	33	314,32		240 H	48	609,60	
150 L	40	381,00	270 H	54	685,80			
165 L	44	408,10	300 H	60	762,00			
173 L	46	438,15	310 H	62	787,40			
187 L	50	476,25	315 H	63	800,10			
210 L	56	533,40	320 H	64	812,80			
225 L	60	571,50	330 H	66	838,20			
240 L	64	609,60	350 H	70	889,00			
255 L	68	647,70	360 H	72	914,40			
270 L	72	685,80	375 H	75	952,50			
285 L	76	723,90	390 H	78	990,60			
300 L	80	762,00	410 H	82	1041,40			
322 L	86	819,15	420 H	84	1066,80			
337 L	90	857,25	430 H	86	1092,20			
345 L	92	876,30	450 H	90	1143,00			
367 L	98	933,45	465 H	93	1181,10			
375 L	100	952,50	480 H	96	1219,20			
390 L	104	990,00	490 H	98	1244,60			
420 L	112	1066,80	510 H	102	1295,40			
427 L	114	1084,58	540 H	108	1371,60			
450 L	120	1143,00	560 H	112	1422,40			
480 L	128	1219,20	570 H	114	1447,80			
510 L	136	1295,40	600 H	120	1524,00			
540 L	144	1371,60	630 H	126	1600,20			
600 L	160	1524,10	650 H	130	1651,00			
630 L	168	1600,20	660 H	132	1676,40			
			680 H	136	1727,20			

(Sularso : 1991:1)

Lampiran 4. Tabel Cara Menyatakan Konfigurasi Permukaan dalam Gambar

1. Lambang tanpa tulisan							
	Lambang		Pengertian				
1.1			Lambang dasar. Hanya dapat dipergunakan bila mana dijelaskan dengan catatan.				
1.2			Permukaan yang di mesin tanpa keterangan atau detil lain.				
1.3			Permukaan yang permukaannya tidak diperkenankan dibuang bahannya. Lambang ini dapat dipergunakan pada gambar mengenai proses produksi, yang menjelaskan bahwa sebuah permukaan harus tetap dalam keadaan akibat hasil proses pembuatan sebelumnya, meskipun keadaan ini diperoleh dari hasil pembuangan bahan maupun cara lain.				
2. Lambang-lambang dengan penunjukan persyaratan utama dari kekasaran R_a							
	Lambang						Pengertian
2.1							Sebuah permukaan dengan nilai kekasaran permukaan maksimum R_a dari 3,2 μm .
2.2							Sebuah permukaan dengan nilai kekasaran permukaan maksimum R_a dari 6,3 μm dan minimum dari 1,6 μm .
3. Lambang-lambang dengan penunjukan tambahan (Dapat dipergunakan sendiri, dlm. gabungan atau digabung dgn. lambang dr. 2 di atas)							
	Lambang		Pengertian				
3.1			Cara produksi: difres.				
3.2			Panjang contoh: 2,5 mm.				
3.3			Arah bekas pengerjaan: tegak lurus pada bidang proyeksi dari pandangan.				
3.4			Kelonggaran pemecinan: 2 mm.				
3.5			Penunjukan (dalam kurung) dari persyaratan kekasaran yang lain dari pada yang dipakai untuk R_a , umpamanya $R_a = 0,4 \mu\text{m}$				
4. Lambang-lambang yang disederhanakan							
	Lambang		Pengertian				
4.1			Sebuah catatan yang menyatakan pengertian lambang				
4.2			Sebuah catatan yang menyatakan pengertian lambang-lambang				


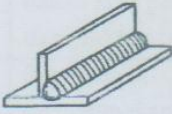
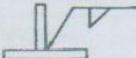
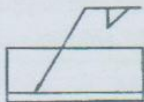
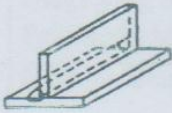
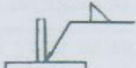
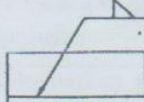
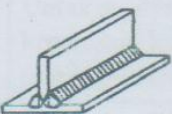

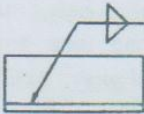
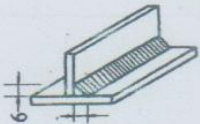
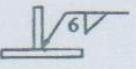
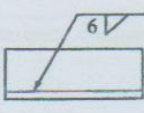

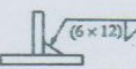
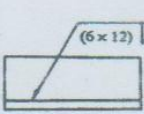
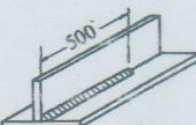
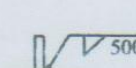
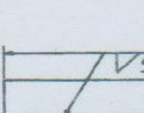
(G. Takeshi Sato, 2000:192)

Lampiran 5. Tanda-tanda Gambar dalam Pengelasan

Perencanaan Konstruksi Las		
Jenis lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur V		Tanda gambar bersudut 90°
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Sisi panah		
Di balik panah		
Tebal : 19 mm Dalam alur 16 mm Sudut alur 60° Celah akar 2 mm		
Dengan pelat penahan. Tebal : 12 mm Sudut alur 45° Celah akar 1,8 mm Penyelesaian : mesin	Dipotong dengan mesin 	
Contoh : 5		
Jenis lasan	Tanda gambar	Keterangan
Las tumpul alur V ganda		Tanda membuat sudut 90°
Tempat lasan	Lasan	Tanda gambar
Kedua sisi		
Dalamnya alur Sisi panah : 16 mm Di balik panah 9 mm Sisi panah : 60° Di balik panah 90° Celah akar : 3 mm		

(Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura 1996 : 168)

Lampiran 5. Tanda-tanda Gambar dalam Pengelasan (Lanjutan)

Tanda-Tanda Gambar Dalam Pengelasan			
Jenis lasan		Tanda gambar	Keterangan
Las sudut berlanjut			Segitiga siku-siku
Sisi panah			
Di balik panah			
Kedua sisi			
Panjang kaki 6 mm			
Panjang kaki tidak sama 6 dan 12 mm			
Panjang lasan 500 mm			

(Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura 1996 : 168)

Lampiran 6. Nilai-nilai Toleransi untuk Lubang

Tingkat diameter (mm)		B		C		D			E			F			G		H					
>	to	B 10	C 9	C 10	D 8	D 9	D 10	E 7	E 8	E 9	F 6	F 7	F 8	G 6	G 7	H 5	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	
—	3	+180 +140	+85 +60	+100	+34	+45 +20	+60	+24	+28 +14	+39	+12	+16 +6	+20	+8	+12 +10	+4	+6	+10 0	+14	+25	+40	
3	6	+188 +140	+100 +70	+118	+48	+60 +30	+78	+32	+38 +20	+50	+18	+22 +10	+28	+12	+16 +4	+5	+8	+12 0	+18	+30	+48	
6	10	+203 +150	+116 +80	+138	+62	+76 +40	+98	+40	+47 +25	+61	+22	+28 +13	+35	+14	+20 +5	+6	+9	+15 0	+22	+36	+58	
10	14	+220 +150	+138 +95	+165	+77	+93 +50	+120	+50	+59 +32	+75	+27	+34 +16	+43	+17	+24 +6	+8	+11	+18 0	+27	+43	+70	
14	18																					
18	24	+244 +160	+162 +110	+194	+98	+117 +65	+149	+61	+73 +40	+92	+33	+41 +20	+53	+20	+28 +7	+9	+13	+21 0	+33	+52	+84	
24	30																					
30	40	+270 +170	+182 +120	+220	+119	+142 +80	+180	+75	+89 +50	+112	+41	+50 +25	+64	+25	+34 +9	+11	+16	+25 0	+39	+62	+100	
40	50	+280 +180	+192 +130	+230																		
50	65	+310 +190	+214 +140	+260	+146	+174 +100	+220	+90	+106 +60	+134	+49	+60 +30	+76	+29	+40 +10	+13	+19	+30 0	+46	+74	+120	
65	80	+320 +200	+224 +150	+270																		
80	100	+360 +220	+257 +170	+310	+174	+207 +120	+260	+107	+126 +72	+159	+58	+71 +38	+90	+34	+47 +12	+15	+22	+35 0	+54	+87	+140	
100	120	+380 +240	+267 +180	+320																		
120	140	+420 +260	+300 +200	+360																		
140	160	+440 +280	+310 +210	+370	+208	+245 +145	+303	+125	+148 +85	+185	+68	+83 +43	+106	+39	+54 +14	+18	+25	+40 0	+63	+100	+180	
160	180	+470 +310	+330 +230	+390																		
180	200	+525 +340	+355 +240	+425																		
200	225	+565 +380	+375 +260	+445	+242	+285 +170	+355	+146	+172 +100	+215	+79	+96 +50	+122	+44	+61 +15	+20	+29	+46 0	+72	+115	+185	
225	250	+605 +420	+395 +280	+465																		
250	280	+690 +480	+430 +300	+510	+271	+320 +190	+400	+162	+191 +110	+240	+88	+108 +56	+137	+49	+69 +17	+23	+32	+52 0	+81	+130	+210	
280	315	+750 +540	+460 +330	+540																		
315	355	+830 +600	+500 +360	+590	299	+350 +210	+440	+182	+214 +125	+265	+98	+119 +62	+151	+54	+75 +18	+25	+36	+57 0	+89	+140	+230	
355	400	+910 +680	+540 +400	+630																		
400	450	+1010 +760	+595 +440	+690	+327	+385 +230	+480	+198	+232 +135	+290	+108	+131 +68	+165	+60	+83 +20	+27	+40	+63 0	+97	+155	+250	
450	500	+1090 +840	+635 +480	+730																		

(Takeshi Sato, 2000:132)

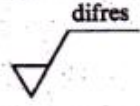
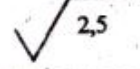
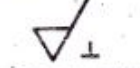

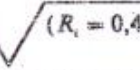
Lampiran 6. Nilai-nilai Toleransi untuk Lubang (Lanjutan)

Satuan μm

Tingkat diameter (mm)		Js			K			M			N		P		R	S	T	U	X
>	to	Js 5	Js 6	Js 7	K 5	K 6	K 7	M 5	M 6	M 7	N 6	N 7	P 6	P 7	R 7	S 7	T 7	U 7	X 7
—	3	± 2	± 3	± 5	0 -4	0 -6	0 -10	-2 -6	-2 -8	-2 -12	-4 -10	-4 -14	-6 -12	-6 -16	-10 -20	-14 -24	—	-18 -28	-20 -30
3	6	$\pm 2,5$	± 4	± 6	0 -5	+2 -8	+3 -9	-3 -8	-1 -9	0 -12	-5 -13	-4 -16	-9 -17	-8 -20	-11 -23	-15 -27	—	-19 -31	-24 -36
6	10	± 3	$\pm 4,5$	$\pm 7,5$	+1 -5	+2 -7	+5 -10	-4 -10	-3 -12	0 -15	-7 -16	-4 -19	-12 -21	-9 -24	-13 -28	-17 -35	—	-22 -37	-28 -43
10	14	± 4	$\pm 5,5$	± 9	+2	+2	+6	-4	-4	0	-9	-5	-15	-11	-16	-21	—	-26	-33
14	18				-6	-9	-12	-12	-15	-18	-20	-23	-26	-29	-34	-39	—	-44	-56
18	24	$\pm 4,5$	$\pm 6,5$	$\pm 10,5$	+1	+2	+6	-5	-4	0	-11	-7	-18	-14	-20	-27	—	-33	-46
24	30				-8	-11	-15	-14	-17	-21	-24	-28	-31	-35	-41	-48	-54	-67	-77
30	40	$\pm 5,5$	± 8	$\pm 12,5$	+2	+3	+7	-5	-4	0	-12	-8	-21	-17	-25	-34	-39	-51	-76
40	50				-9	-13	-18	-16	-20	-23	-28	-33	-37	-42	-50	-59	-70	-86	-106
50	65	$\pm 6,5$	$\pm 9,5$	± 15	+3	+4	+9	-6	-5	0	-14	-9	-26	-21	-30	-42	-55	-76	-111
65	80				-10	-15	-21	-19	-24	-30	-33	-39	-45	-51	-62	-78	-94	-121	-166
80	100	$\pm 7,5$	± 11	$\pm 17,5$	+2	+4	+10	-8	-6	0	-16	-10	-30	-24	-38	-58	-78	-111	-146
100	120				-13	-18	-25	-23	-28	-35	-38	-45	-52	-59	-76	-101	-126	-166	—
120	140	± 9	$\pm 12,5$	± 20	+3	+4	+12	-9	-8	0	-20	-12	-36	-28	-50	-85	-119	—	—
140	160				-15	-21	-28	-27	-33	-40	-45	-52	-61	-68	-90	-125	-159	—	—
160	180				-53	-93	-131	-171	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
180	200	± 10	$\pm 14,5$	± 23	+2	+5	+13	-11	-8	0	-22	-14	-41	-33	-60	-105	-151	—	—
200	225				-18	-24	-33	-31	-37	-46	-51	-60	-70	-79	-109	-159	—	—	—
225	250				-67	-123	-169	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250	280	$\pm 11,5$	± 16	± 26	+3	+5	+16	-13	-9	0	-25	-14	-47	-36	-74	-126	—	—	—
280	315				-20	-27	-36	-36	-41	-52	-57	-66	-79	-88	-130	—	—	—	—
315	355	$\pm 12,5$	± 18	$\pm 28,5$	+3	+7	+17	-14	-10	0	-26	-16	-51	-41	-87	-144	—	—	—
355	400				-22	-29	-40	-39	-46	-57	-62	-73	-87	-98	-150	—	—	—	—
400	450	$\pm 13,5$	± 20	$\pm 31,5$	+2	+8	+18	-16	-10	0	-27	-17	-55	-45	-103	-166	—	—	—
450	500				-25	-32	-45	-43	-50	-63	-67	-80	-95	-108	-172	—	—	—	—

(Takeshi Sato, 2000:133)

Lampiran 7. Simbol dengan Tambahan Perintah Pengerjaan

	Lambang	Pengertian
3.1		Cara produksi: difres.
3.2		Panjang contoh: 2,5 mm.
3.3		Arah bekas pengerjaan: tegak lurus pada bidang proyeksi dari pandangan.
3.4		Kelonggaran pemessinan: 2 mm.
3.5		Penunjukan (dalam kurung) dari persyaratan kekasaran yang lain dari pada yang dipakai untuk R_a , umpamanya $R_a = 0,4 \mu\text{m}$





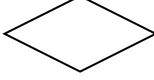



(Takeshi Sato, 2000:192)

Lampiran 8. Nilai Kekasaran dan Tingkat Kekasaran Menurut ISO

Harga kekasaran R_a (μm)	Angka kelas kekasaran
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

(Takeshi Sato, 2000:186)

Lampiran 9. Lambang-lambang dari Diagram Aliran

Lambang	Nama	Keterangan
	Terminal	Untuk menyatakan mulai (start), berakhir (end) atau berhenti (stop).
	Input	Data dan persyaratan yang diberikan disusun disini.
	Pekerjaan orang	Di sini diperlukan pertimbangan-petimbangan seperti pemilihan persyaratan kerja, persyaratan pengerjaan, bahan dan perlakuan panas, penggunaan faktor keamanan dan factor-faktor lain, harga-harga empiris, dll.
	Pengolahan	Pengolahan dilakukan secara mekanis dengan menggunakan persamaan, tabel dan gambar.
	Keputusan	Harga yang dihitung dibandingkan dengan harga Patokan, dll. Untuk mengambil keputusan.
	Dokumen	Hasil perhitungan yang utama dikeluarkan pada alat ini.
	Pengubung	Untuk menyatakan pengeluaran dari tempat keputusan ke tempat sebelumnya atau berikutnya, atau suatu pemasukan ke dalam aliran yang berlanjut.
	Garis aliran	Untuk menghubungkan langkah-langkah yang berurutan.

Catatan: Y = ya; T = tidak

(Sulaarso 1991:1)

Lampiran 10. Dokumentasi

