



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI FEM DAN PROSES PRODUKSI ALAT PENGUKUR
KESTABILAN PUTARAN RODA DEPAN SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Ragiel Naradiagung

0405020561

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN**

DEPOK

JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Ragiel Naradiagung

NPM : 0405020561

Tanda Tangan :

Tanggal : 10 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ragiel Naradiagung
NPM : 0405020561
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Simulasi FEM dan Proses Produksi Perancangan Alat
Ukur Kestabilan Putaran Roda Depan Sepeda Motor
Honda Supra 125 X

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Hendri D.S. Budiono, M.Eng. ()
Penguji : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, M.Eng ()
Penguji : Sugeng Supriadi., Ms.Eng ()
Penguji : Mohammad Adhitya, S.T.,M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal :

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

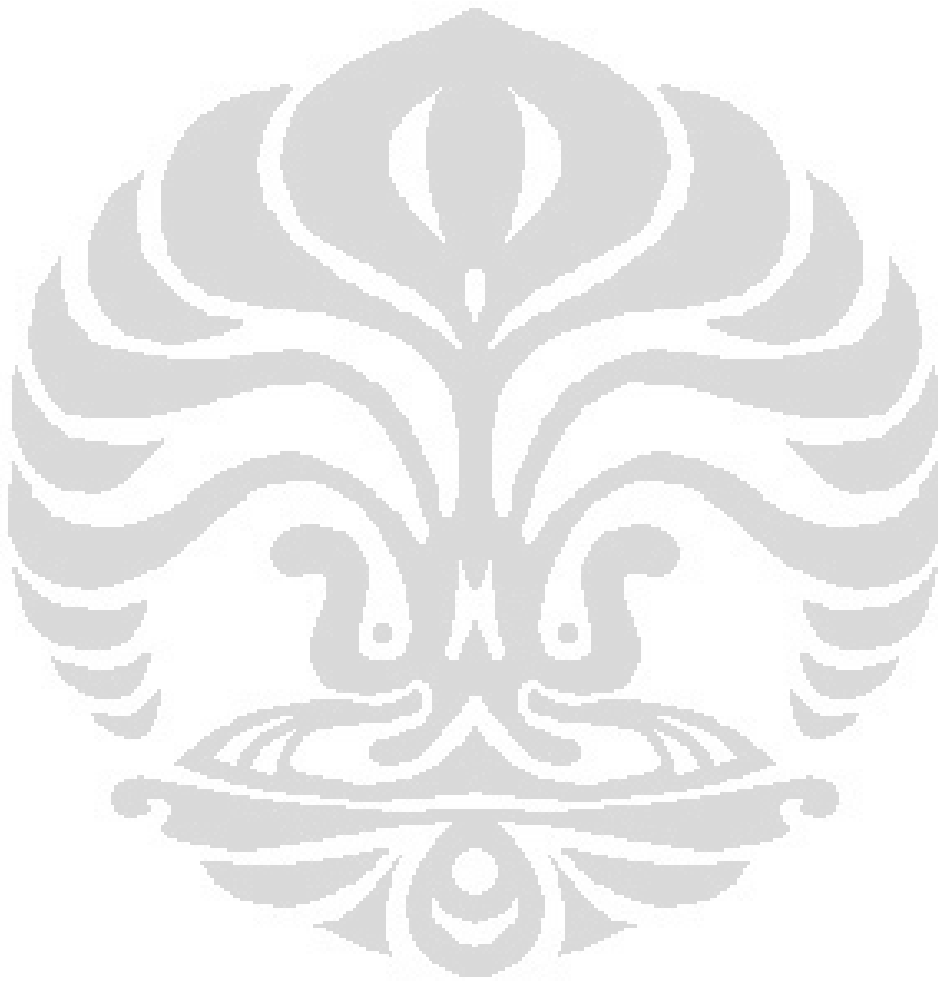
Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Adapun penulisan skripsi ini berdasarkan pada pengetahuan kami dari media elektronik dan sumber berupa tulisan yang kami dapatkan dari internet ataupun media cetak, juga penelitian yang telah dilakukan serta yang kami lakukan sendiri. Dalam penelitian ini kami mencoba mengulas lebih jauh lagi mengenai pengukuran *wheel alignment* dan *roundness* dari roda sepeda motor. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Hendri D.S. Budiono, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Bapak Yudi dan rekan-rekan di LUK Puspipstek, Serpong, yang telah rela meluangkan waktu;
- (4) Bapak Panggung yang telah banyak membantu dalam kegiatan manufaktur alat dan
- (5) para sahabat dan teman dekat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok,
Ragiel Naradiagung



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ragiel Naradiagung

NPM : 0405020561

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

ALAT PENGUKUR KESTABILAN PUTARAN RODA SEPEDA MOTOR

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal :

Yang menyatakan

(Ragiel Naradiagung)

ABSTRAK

Nama : Ragiel Naradiagung
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul : Perancangan dan Pembuatan Alat Pengukur Kestabilan Putaran Roda Sepeda Motor

Keamanan di dalam berkendara menjadi suatu hal yang harus diperhatikan. *Miss-alignment* dan sudut yang terbentuk pada roda motor akan mempengaruhi performa juga keamanan bagi pengendara. Maka berdasarkan rancangan yang dilakukan oleh Ricky, diperlukan simulasi dan analisa lebih lanjut dengan menggunakan metode FEM.

FEM berfungsi untuk menghasilkan simulasi perhitungan alat yang berdasarkan kondisi serta parameter mendekati aktual serta tingkat kesalahan yang lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan secara manual. Kemudian berdasarkan hasil dari simulasi dan analisa dapat diketahui apakah perhitungan manual dan FEM memiliki nilai yang hampir serupa. Analisa FEM yang saya lakukan dibantu oleh *software Autodesk Inventor Pro 2009*.

Kata kunci: *miss-alignment*, FEM, *Autodesk Inventor Pro 2009*.

ABSTRACT

Name : Ragiel Naradiagung
 Study Program : Mechanical Engineering
 Judul : Designing and Manufacturing a Measuring Equipment of Stability of Motorcycles' Wheels

Nowadays, security in driving is a matter that need to be considered. Miss-alignment and angle that appear on motor cycle wheel will also affect the performance and also the security oh the rider. So, depends on design that was made by Ricky, a simulation and analysis needs to be done using FEM method.

Fem is used to produce a simulation based on actual conditions and parameters approach and the level of error is smaller than the manual calculation. Then from the simulation and analysis result we can compare wether it is match with the manual calculation or at least close. I am using *Autodesk Inventor Pro 2009 software to help me analyze with FEM method*.

Keywords: *miss-alignment*, FEM, *Autodesk Inventor Pro 2009*.

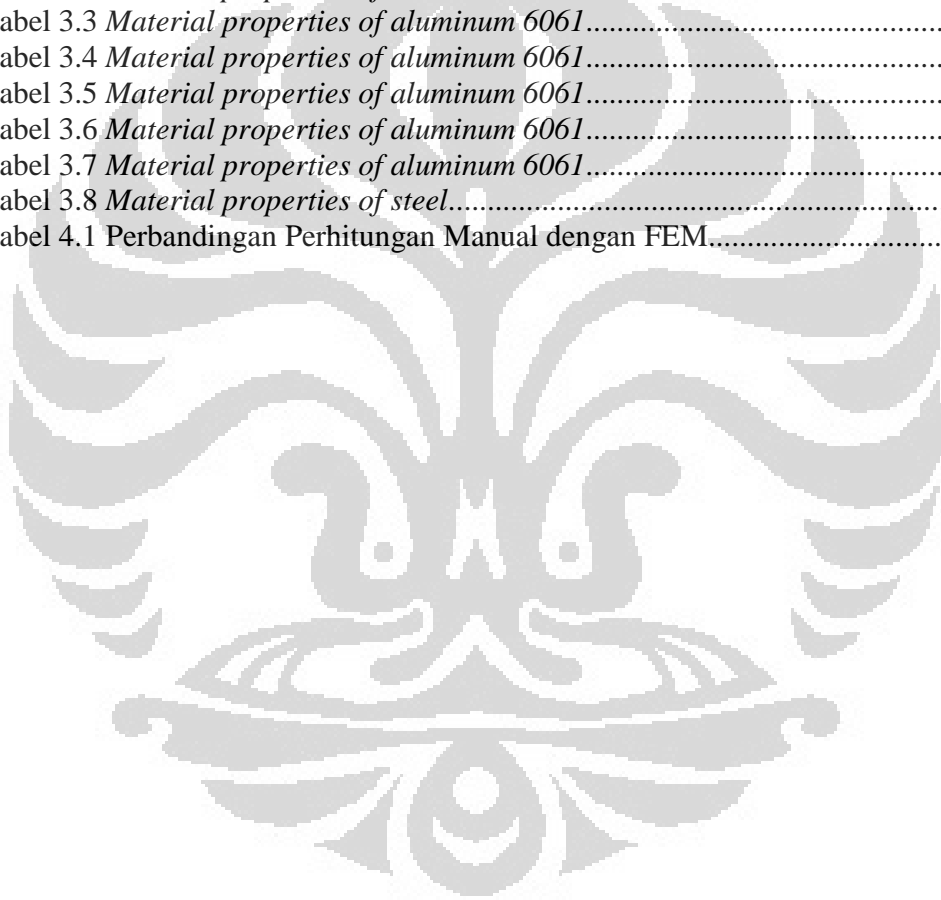
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Pembatasan Masalah	6
1.5 Metodolgi Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan	9
2. DASAR TEORI	12
2.1 FEM	12
2.1.1 <i>Bar Structures</i>	14
2.1.2 <i>Beam Structures</i>	18
2.1.3 Penggunaan FEM pada Software Autodesk Inventor Pro 2009.....	23
2.2 Pemilihan Material	24
2.2.1 Seleksi Material dan Manufaktur	24
2.2.2 Proses Disain.....	25
2.2.3 Prosedur Penyeleksian Material.....	26
2.3 Proses Produksi.....	28
2.3.1 <i>Milling</i>	34
2.3.2 <i>Turning</i>	36
2.3.3 <i>Drilling and Related Hole-Making Processes</i>	41
3. FEM DAN PROSES MANUFAKTUR	53
3.1 FEM.....	53
3.1.1 <i>Base Material</i>	53
3.1.2 <i>Slide</i>	57
3.1.3 Lengan Kiri.....	61
3.1.4 Lengan Atas.....	65

3.1.5 Lengan Bawah.....	69
3.1.6 Plat Utama.....	73
3.1.7 Batang Utama.....	77
3.1.8 Batang <i>Spooring</i>	81
3.2 Proses manufaktur.....	85
3.2.1 Plat Utama.....	86
3.2.2 Lengan Kiri.....	94
3.2.3 Lengan Atas.....	99
3.2.4 Lengan Bawah	101
3.2.5 <i>Slide</i>	103
3.2.6 <i>Slider</i>	108
3.2.7 Batang Utama.....	112
3.2.8 <i>Base material</i>	117
4. ASSEMBLY DAN PROSES PRODUKSI.....	124
4.1 Perbandingan Perhitungan Manual dan Simulasi FEM.....	124
4.2 Analisa Proses Produksi.....	125
4.3 <i>Assembly</i>	125
4.3.1 Plat Utama.....	126
4.3.2 Batang Utama.....	127
4.3.3 Lengan.....	128
4.3.4 <i>Adjuster Slip</i>	130
4.3.5 <i>Base Material</i>	132
4.3.6 Cekam.....	134
4.4 Pemasangan alat ukur pada roda depan sepeda motor.....	134
5. KESIMPULAN.....	139
DAFTAR REFERENSI	142

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Pengguna kendaraan bermotor.....	2
Tabel 1.2 Jumlah kecelakaan yang terjadi.....	3
Tabel 2.1 <i>HSS twist drill recommended speeds and point angles</i>	45
Tabel 2.2 <i>HSS twist drill recommended feed rates by diameter</i>	47
Tabel 2.3 <i>Drilling speed and coolant</i>	48
Tabel 3.1 <i>Material properties of aluminum 6061</i>	54
Tabel 3.2 <i>Material properties of aluminum 6061</i>	58
Tabel 3.3 <i>Material properties of aluminum 6061</i>	62
Tabel 3.4 <i>Material properties of aluminum 6061</i>	66
Tabel 3.5 <i>Material properties of aluminum 6061</i>	70
Tabel 3.6 <i>Material properties of aluminum 6061</i>	74
Tabel 3.7 <i>Material properties of aluminum 6061</i>	78
Tabel 3.8 <i>Material properties of steel</i>	82
Tabel 4.1 Perbandingan Perhitungan Manual dengan FEM.....	124



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsep dasar pembagian suatu benda menjadi beberapa elemen....	13
Gambar 2.2 Deformasi dari bar dalam <i>tensile load</i>	14
Gambar 2.3 Finite elemen pada elemen bar.....	14
Gambar 2.4 Elemen kekakuan dan beban dalam sistem koordinat x-y.....	16
Gambar 2.5 Elemen bar dalam koordinat global.....	17
Gambar 2.6 Struktur (a) Beam dan (b) Frame.....	19
Gambar 2.7 <i>Free body diagram</i> struktur <i>beam</i> dan <i>frame</i>	19
Gambar 2.8 Elemen <i>frame</i> dalam global koordinat	22
Gambar 2.9 Diagram <i>Von Misses</i>	24
Gambar 2.10 Hubungan material, sifat material, proses, dan kemampuan material.....	25
Gambar 2.11. <i>Flow chart selection of materials</i>	26
Gambar 2.12 Jenis-jenis proses manufaktur.....	29
Gambar 2.13 a. <i>Forging</i> b. <i>Rolling</i> c. <i>Extrusion</i> d <i>Drawing</i>	31
Gambar 2.14 a. <i>Bending</i> b. <i>Drawing</i> . c. <i>Shearing</i>	32
Gambar 2.15 <i>Turning</i>	32
Gambar 2.16 <i>Milling</i>	33
Gambar 2.17. <i>Drilling</i>	33
Gambar 2.18 <i>Taping</i>	34
Gambar 2.19 <i>Twist drill with parallel skank</i>	42
Gambar 2.20 <i>Twist drill with taper skank</i>	42
Gambar 2.21 <i>Cutting portion</i>	43
Gambar 2.22 <i>Angle at cutting edges</i>	43
Gambar 2.23 <i>Web thickness</i>	44
Gambar 2.24 <i>Margin</i>	44
Gambar 2.25 <i>Twist bits</i>	48
Gambar 2.26 <i>Masonry bits</i>	49
Gambar 2.27 <i>Spur point bits</i>	50
Gambar 2.28 <i>Tile bits</i>	50
Gambar 2.29 <i>Flat wood bits</i>	51
Gambar 2.30 <i>Hole saw bits</i>	51
Gambar 2.31 <i>Forstner bits</i>	51
Gambar 2.32 <i>Wood auger bits</i>	52
Gambar 3.1 Hasil analisa FEM: <i>Equivalent Stress</i>	54
Gambar 3.2 Hasil analisa FEM: <i>maximum principal stress</i>	55
Gambar 3.3 Hasil analisa FEM: <i>minimum principal stress</i>	55
Gambar 3.4 Hasil Analisa FEM: <i>deformation</i>	56
Gambar 3.5 Hasil analisa FEM: <i>safety factor</i>	57
Gambar 3.6 Hasil analisa FEM: <i>equivalent stress</i>	58
Gambar 3.7 Hasil analisa FEM: <i>maximum principal stress</i>	59

Gambar 3.8 Hasil analisa FEM: <i>minimum principal stress</i>	59
Gambar 3.9 Hasil Analisa FEM: <i>deformation</i>	60
Gambar 3.10 Hasil analisa FEM: <i>safety factor</i>	61
Gambar 3.11 Hasil analisa FEM: <i>equivalent stress</i>	62
Gambar 3.12 Hasil analisa FEM: <i>maximum principal stress</i>	63
Gambar 3.13 Hasil analisa FEM: <i>minimum principal stress</i>	63
Gambar 3.14 Hasil Analisa FEM: <i>deformation</i>	64
Gambar 3.15 Hasil analisa FEM: <i>safety factor</i>	65
Gambar 3.16 Hasil analisa FEM: <i>equivalent stress</i>	66
Gambar 3.17 Hasil analisa FEM: <i>maximum principal stress</i>	67
Gambar 3.18 Hasil analisa FEM: <i>minimum principal stress</i>	67
Gambar 3.19 Hasil Analisa FEM: <i>deformation</i>	68
Gambar 3.20 Hasil analisa FEM: <i>safety factor</i>	69
Gambar 3.21 Hasil analisa FEM: <i>equivalent stress</i>	70
Gambar 3.22 Hasil analisa FEM: <i>maximum principal stress</i>	71
Gambar 3.23 Hasil analisa FEM: <i>minimum principal stress</i>	71
Gambar 3.24 Hasil Analisa FEM: <i>deformation</i>	72
Gambar 3.25 Hasil analisa FEM: <i>safety factor</i>	73
Gambar 3.26 Hasil analisa FEM: <i>equivalent stress</i>	74
Gambar 3.27 Hasil analisa FEM: <i>maximum principal stress</i>	75
Gambar 3.28 Hasil analisa FEM: <i>minimum principal stress</i>	75
Gambar 3.29 Hasil Analisa FEM: <i>deformation</i>	76
Gambar 3.30 Hasil analisa FEM: <i>safety factor</i>	77
Gambar 3.31 Hasil analisa FEM: <i>equivalent stress</i>	78
Gambar 3.32 Hasil analisa FEM: <i>maximum principal stress</i>	79
Gambar 3.33 Hasil analisa FEM: <i>minimum principal stress</i>	79
Gambar 3.34 Hasil Analisa FEM: <i>deformation</i>	80
Gambar 3.35 Hasil analisa FEM: <i>safety factor</i>	81
Gambar 3.36 Hasil analisa FEM: <i>equivalent stress</i>	82
Gambar 3.37 Hasil analisa FEM: <i>maximum principal stress</i>	83
Gambar 3.38 Hasil analisa FEM: <i>minimum principal stress</i>	83
Gambar 3.39 Hasil Analisa FEM: <i>deformation</i>	84
Gambar 3.40 Hasil analisa FEM: <i>safety factor</i>	85
Gambar 3.41 Bagian dari komponen plat yang mengalami proses manufaktur berbeda.....	86
Gambar 3.42 Bagian dari <i>part</i> lengan kiri yang mengalami proses manufaktur berbeda.....	94
Gambar 3.43 Bagian dari <i>part</i> lengan atas yang mengalami proses manufaktur berbeda.....	99
Gambar 3.44 Bagian dari <i>part</i> lengan bawah yang mengalami proses manufaktur berbeda.....	101
Gambar 3.45 Bagian dari <i>part</i> slide yang mengalami proses manufaktur berbeda.....	104
Gambar 3.46 Bagian dari <i>part</i> slider yang mengalami proses manufaktur berbeda.....	108

Gambar 3.47 Bagian dari <i>part</i> batang utama yang mengalami proses manufaktur berbeda.....	112
Gambar 3.48 Bagian dari <i>part base material</i> yang mengalami proses manufaktur berbeda.....	117
Gambar 4.1 Hasil akhir rancangan.....	126
Gambar 4.2 Plat utama.....	127
Gambar 4.3 Batang utama.....	128
Gambar 4.4a Lengan kiri.....	129
Gambar 4.4b Lengan atas.....	129
Gambar 4.4c Lengan bawah.....	130
Gambar 4.5a <i>Slide</i> dan <i>slider</i>	131
Gambar 4.5b <i>Slide</i> lengan kiri.....	131
Gambar 4.6 <i>Base material</i> dengan <i>slider</i>	132
Gambar 4.7. <i>Base material</i>	133
Gambar 4.8. Posisi <i>bearing</i> saat menyentuh <i>velg</i> roda.....	133
Gambar 4.9. Cekam.....	134
Gambar 4.9a. Posisi pemasangan alat pengukur terhadap roda depan (isometri)	135
Gambar 4.9b. Posisi pemasangan alat pengukur terhadap roda depan (depan)..	135
Gambar 4.9c. Posisi pemasangan alat pengukur terhadap roda depan (belakang)	136
Gambar 4.9d. Posisi pemasangan alat pengukur terhadap roda depan (depan)...	136
Gambar 4.10 Tampak isometri proses <i>assembly</i>	137
Gambar 4.11 Tampak atas proses <i>assembly</i>	137
Gambar 4.12 Tampak kiri proses <i>assembly</i>	138
Gambar 5.1. Hasil akhir rancangan.....	140
Gambar 5.2. Posisi pemasangan alat ukur terhadap roda depan.....	141

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Dimensi
D	Diameter <i>cutting tool</i>	inch
f_m	<i>Feed rate in minute</i>	Inch/min
f_r	<i>Feed rate</i>	Inch/rev
N	Putaran	Rpm
Ns	Putaran alat potong	Rpm
V	Cutting speed	Inch/min
g	Percepatan gravitasi	m/s ²
T _m	<i>Machining Time</i>	Min
MRR	Material Removal Rate	Inch ³ /min

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Gambar <i>Assembly</i> Alat Ukur
Lampiran 2	Gambar Pemasangan Alat Ukur Terhadap Roda Depan
Lampiran 3	Gambar Part Plat
Lampiran 4	Gambar Part Lengan Kiri
Lampiran 5	Gambar Part Lengan Atas
Lampiran 6	Gambar Part Lengan Bawah
Lampiran 7	Gambar Part Slide
Lampiran 8	Gambar Part Slide Lengan Kiri
Lampiran 9	Gambar Part Slider
Lampiran 10	Gambar Part Base Material
Lampiran 11	Gambar Part Batang Utama
Lampiran 12	Gambar Part Sporing
Lampiran 13	Gambar Part Cekam
Lampiran 14	Gambar Teknik Alat ukur 1
Lampiran 15	Gambar Teknik Alat ukur 2
Lampiran 16	Gambar Teknik Alat ukur 3
Lampiran 17	Tabel HSS <i>End Mill</i>
Lampiran 17	Tabel Turning Speed and Feeds

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini seiring dengan berkembangnya zaman yang juga mendorong meningkatnya kebutuhan serta kegiatan orang-orang, maka otomatis mobilitas dari tiap individu pun akan semakin meningkat dengan sendirinya. Mobilitas yang dilakukan orang bertujuan untuk menunjang kegiatan yang ingin atau harus ia lakukan. Tersendat atau terhambatnya mobilitas tersebut, tentu saja akan memberikan dampak kepada kehidupan setiap individu baik secara langsung maupun tak langsung. Maka itu dapat dilihat bahwa peran mobilitas sangat penting dalam menunjang keberlangsungan kehidupan manusia.

Jika dulu orang berpindah tempat dengan berjalan kaki saja, seiring dengan berkembangnya teknologi, alat-alat yang dapat membantu atau mempermudah kita di dalam melakukan mobilitas semakin banyak dan berkembang. Saat ini sudah sedemikian banyak alat transportasi, antara lain: sepeda, mobil, motor, kereta, kapal laut, dan lain-lain. Setiap alat transportasi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Salah satu alat transportasi yang banyak digunakan adalah sepeda motor.

Sepeda motor merupakan suatu alat transportasi beroda dua, yang mengadopsi prinsip dasar dari sepeda namun perbedaannya adalah seperti pada namanya, ia menggunakan motor sebagai tenaga penggerak. Motor itu bergerak dengan menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber tenaganya.

Dahulu motor kurang digemari dikarenakan harganya yang relatif mahal, namun hal itu sangat berbeda dengan saat ini dimana hampir semua orang memiliki motor, hal ini dapat diketahui melalui data yang didapat dari Biro Pusat Statistik mengenai banyaknya pengguna sepeda motor di seluruh Indonesia dari 1987 – 2005.

Tabel 1.1 Pengguna kendaraan bermotor

Year	Passenger Car	Buses	Trucks	Motor Cycles	Total
1987	1 170 103	303 378	953 694	5 554 305	7 981 480
1988	1 073 106	385 731	892 651	5 419 531	7 771 019
1989	1 182 253	434 903	952 391	5 722 291	8 291 838
1990	1 313 210	468 550	1 024 296	6 082 966	8 889 022
1991	1 494 607	504 720	1 087 940	6 494 871	9 582 138
1992	1 590 750	539 943	1 126 262	6 941 000	10 197 955
1993	1 700 454	568 490	1 160 539	7 355 114	10 784 597
1994	1 890 340	651 608	1 251 986	8 134 903	11 928 837
1995	2 107 299	688 525	1 336 177	9 076 831	13 208 832
1996	2 409 088	595 419	1 434 783	10 090 805	14 530 095
1997	2 639 523	611 402	1 548 397	11 735 797	16 535 119
1998	2 769 375	626 680	1 586 721	12 628 991	17 611 767
1999*)	2 897 803	644 667	1 628 531	13 053 148	18 224 149
2000	3 038 913	666 280	1 707 134	13 563 017	18 975 344
2001	3 261 807	687 770	1 759 547	15 492 148	21 201 272
2002	3 403 433	714 222	1 865 398	17 002 140	22 985 193
2003	3 885 228	798 079	2 047 022	19 976 376	26 706 705
2004	4 464 281	933 199	2 315 779	23 055 834	30 769 093
2005	5 494 034	1 184 918	2 920 828	28 556 498	38 156 278

^{*)} since 1999 excluding East Timor

(Sumber: Biro Pusat Statistik)

Berdasarkan data di atas dapat dilihat bahwa angka penggunaan motor di Indonesia ini sangat besar, bahkan dapat dikatakan sudah berlebihan. Banyaknya jumlah motor yang ada ikut meningkatkan presentase terjadinya kecelakaan lalu lintas. Adapun data mengenai kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh penggunaan sepeda motor dapat dilihat dalam tabel 1.2.

Tabel 1.2 Jumlah kecelakaan yang terjadi

Year	Number of	Killed Person	Seiously	Slight	Matreial Losses (Million Rp)
1992	19 920	9 819	13 363	14 846	15 077
1993	17 323	10 038	11 453	13 037	14 714
1994	17 469	11 004	11 055	12 215	16 544
1995	16 510	10 990	9 952	11 873	17 745
1996	15 291	10 869	8 968	10 374	18 411
1997	17 101	12 308	9 913	12 699	20 848
1998	14 858	11 694	8 878	10 609	26 941
1999*)	12 675	9 917	7 329	9 385	32 755
2000	12 649	9 536	7 100	9 518	36 281
2001	12 791	9 522	6 656	9 181	37 617
2002	12 267	8 762	6 012	8 929	41 030
2003	13 399	9 856	6 142	8 694	45 778
2004	17 732	11 204	8 983	12 084	53 044
2005	18 116	11 451	9 253	11 168	51 355

^{*)} since 1999 excluding East Timor

(Sumber: Biro Pusat Statistik)

Menurut Heru Sutomo, Koordinator Forum Keselamatan Transportasi dari Masyarakat Transportasi Indonesia (MTI). Selama tahun 2008, Kecelakaan lalu lintas yang terjadi di Jadetabek pada 2008 sampai dengan bulan Juni, sebesar 3.265 kejadian, dengan jumlah korban sebanyak 4.078 jiwa. Dari jumlah tersebut, 578 jiwa meninggal dunia, 1.274 menderita luka berat, dan 2.226 mengalami luka ringan.

Dari jumlah meninggal dunia, sebanyak 41 jiwa merupakan korban kecelakaan lalulintas di Jakarta Pusat, 81 jiwa di Jakarta Utara, 66 jiwa di Jakarta Barat, 39 jiwa di Jakarta Selatan, 75 jiwa di Jakarta Timur, 125 jiwa di Kota dan Kabupaten Tangerang, 93 jiwa di Kota dan Kabupaten Bekasi, 36 di Depok, 5 jiwa di KPPP Tanjung Priok dan Bandara Suta, sementara 17 jiwa di Polda Metro Jaya. Di tahun 2007, jumlah kecelakaan lalu lintas di jadetabek adalah sebesar 5.154 kejadian, dengan jumlah meninggal dunia sebanyak 999 jiwa, 2.345 menderita luka berat, dan 3.398 menderita luka ringan.

Di tahun 2007, jumlah kecelakaan lalu lintas di jadetabek adalah sebesar 5.154 kejadian, dengan jumlah meninggal dunia sebanyak 999 jiwa, 2.345 menderita luka berat, dan 3.398 menderita luka ringan. Dari jumlah korban meninggal tersebut, sebanyak 82 jiwa merupakan korban kecelakaan lalu lintas di Jakarta Pusat, 132 jiwa di Jakarta Utara, 98 jiwa di Jakarta Barat, 85 jiwa di Jakarta Selatan, 66 jiwa di Jakarta Timur, 295 jiwa di Kota dan Kabupaten Tangerang, 122 jiwa di Kota dan Kabupaten Bekasi, 73 di Depok, 11 jiwa di KPPP Tanjung Priok dan Bandara Suta, sementara 35 jiwa di Polda Metro Jaya.

Menurut data yang dikeluarkan Direktorat Lalu Lintas Polda Metro Jaya, jumlah kecelakaan sepeda motor selama sepekan awal Agustus 2008 mencapai 114 kasus. Padahal ketika aturan penggunaan lajur kiri masih ditaati pengendara sepeda motor, jumlah kecelakaan di bawah 100 kasus.

Dikatakan, meningkatnya kecelakaan salah satunya diakibatkan pelanggaran lajur dan marka jalan. Menurut data di Polda Metro Jaya, pelanggaran marka jalan mencapai

8.155 dari 12.326 kasus. Dari jumlah kasus sebanyak itu, korban meninggal dunia sebanyak 16 orang, luka berat 56 orang, dan luka ringan 75 orang.¹

Peningkatan presentase kecelakaan disebabkan oleh banyak faktor, antara lain:

- a. Cara mengemudi dari pengendara motor
- b. Kondisi jalan
- c. Cuaca
- d. Kondisi motor

Dari beberapa faktor di atas, salah satu yang dapat kita atasi atau teliti sebagai mahasiswa Teknik Mesin adalah pada poin “d” yaitu mengenai kondisi motor.

Kondisi motor merupakan suatu hal yang cukup menarik untuk diperhatikan dan dibahas lebih lanjut. Di dalam menggunakan setiap barang atau alat tentulah kita harus merawat dan memperhatikan kondisi dari alat tersebut agar, dapat terhindar dari kerusakan yang juga memungkinkan dapat mencelakakan diri kita sebagai penggunanya. Hal ini juga berlaku pada motor yang berguna sebagai alat transportasi bagi kita, apabila motor yang kita pergunakan tidak dirawat maka akan timbul masalah-masalah atau kerusakan yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan bagi pengendara motor.

Perawatan yang diperlukan bagi motor sangat bermacam-macam, mulai dari hal-hal yang kecil sampai hal-hal besar, antara lain: mengganti oli secara berkala, memeriksa tekanan ban, memeriksa kondisi rem depan dan belakang, memeriksa kondisi ban, keselarasan (*spooring*) dan keseimbangan (*balancing*), *roundness* dan lain-lain. Dengan melakukan perawatan secara berkala, maka resiko kecelakaan serta kerusakan motor pun dapat ditekan.

Seperti telah dikatakan di atas, bahwa keselarasan (*spooring*) dan *roundness* adalah salah satu komponen motor yang penting untuk diperhatikan. *Spooring* sendiri adalah suatu proses mengembalikan kondisi *steering system* kendaraan ke posisi semula sesuai dengan standar kendaraan tersebut. Proses yang dilakukan bertujuan

¹ Kompas, Selasa, 19 Agustus 2008

untuk menyelaraskan posisi roda kendaraan. Sedangkan *roundness* merupakan porses untuk memastikan apakah keadaan dari *velg* sepeda motor masih baik atau tidak. Melihat pentingnya tujuan proses *spooring* dan *roundness* maka perhatian terhadap hal ini sangatlah diperlukan.

Namun selama ini, masyarakat pengguna motor seringkali merasa malas atau mengabaikan proses *spooring* dan *roundness* dikarenakan prosesnya yang memakan waktu yang lama serta prosesnya yang harus dilakukan di bengkel dan membutuhkan tenaga ahli untuk mengerjakannya agar didapatkan hasil yang maksimal.

1.2 Perumusan Masalah

Seperti yang telah tertulis di atas, bahwa meningkatnya persentase kecelakaan, salah satunya diakibatkan oleh kurangnya perhatian masyarakat terhadap keselarasan roda. Hal ini juga diakibatkan kurang sadarnya masyarakat akan seberapa pentingnya hal ini, namun juga prosedur yang terkadang memakan waktu. Oleh karena itu di dalam penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan alat yang mengatasi semua masalah tersebut.

Agar dalam hasil rancangan memiliki presentase yang besar, maka dipergunakan metode *finite element*. Metode ini dipakai dengan bantuan program *Autodesk Inventor Pro 2009*. Sehingga dapat dianalisa kekuatan dari setiap elemen dari hasil rancangan tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Simulasi dan analisa kekuatan dari dimensi serta pemilihan material dengan menggunakan metode FEM
- b. Menganalisa proses dan biaya manufaktur dari alat yang dirancang

1.4 Pembatasan Masalah

Yang akan dibahas di dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui *roundness* dari *velg* pada roda depan serta belakang, dengan memanfaatkan deformasi

yang timbul pada batang yang disentuh ke permukaan *velg*, dimana pengukuran dilakukan dalam kondisi motor berjalan dengan kondisi jalan yang rata. Lalu mengukur *wheel alignment* dari roda depan dan belakang dengan menggunakan roda depa sebagai acuan, yang dilakukan di dalam keadaan motor tidak bergerak.

Kemudian hasil rancangan diuji dengan menggunakan metode *Finite Element* yang diaplikasikan pada program *Stress Analysis Autodesk Inventor Pro 2009*. Selain itu juga dilakukan perhitungan teoritis terhadap proses manufaktur yang diperlukan untuk setiap komponen. Namun perlu diketahui bahwa di dalam perhitungan ini terdapat beberapa parameter yang tidak dimasukkan, yaitu:

- Lama waktu persiapan benda kerja
- Lama waktu pemasangan benda kerja dan alat
- Biaya penggunaan listrik selama proses permesinan
- Biaya lain-lain

1.5 Metodologi Penelitian

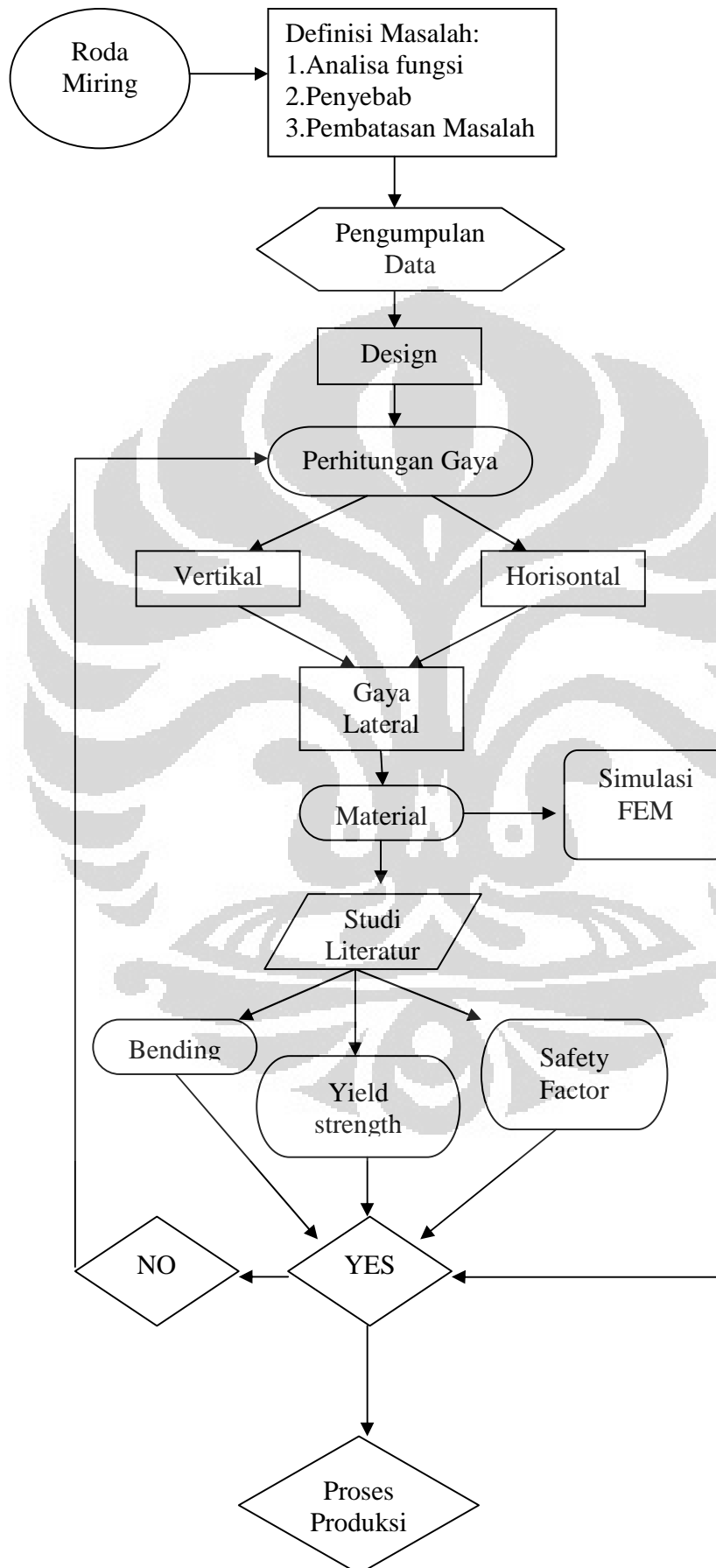
Metodologi penelitian ini dibagi di dalam tiga bagian, yaitu:

Yang pertama adalah penentuan topik. Tahap ini merupakan tahap awal namun juga penting, sehingga dengan adanya topik cakupan dari penelitian akan lebih jelas dan hasil dari penelitian tidak akan melenceng dari tujuan yang ingin dicapai.

Kedua adalah perhitungan dan analisa. Pada tahap ini hasil dari perhitungan secara teoritis dan konsep yang sudah ada, digambar dengan menggunakan program *Autodesk Inventor Pro 2009*. Kemudian dari teori yang telah diperhitungkan matang-matang, dibandingkan dengan analisa menggunakan fitur FEM pada *Autodesk Inventor Pro 2009*, apakah hasil perhitungan secara manual dengan perhitungan menggunakan *software* sama. Hal ini dilakukan untuk memastikan apakah ada kesalahan dari perhitungan secara manual serta memastikan bahwa alat yang dirancang sudah baik. Kemudian proses produksi yang dilakukan akan dibahas beserta perhitungan dari proses itu sendiri.

Ketiga adalah perhitungan proses permesinan. Perhitungan secara teoritis dari tiap-tiap proses manufaktur dilakukan, yang kemudian dapat diketahui perkiraan biaya serta lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu komponen.





1.6 Sistematika Penulisan

- BAB 1 PENDAHULUAN

Bab pertama terdiri dari latar belakang, pokok permasalahan, tujuan, pembatasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan dalam skripsi sehingga dapat terlihat gambaran skripsi secara umum.

- BAB 2 DASAR TEORI

Bab ini berisi landasan teori yang digunakan untuk melakukan analisa dengan menggunakan metode FEM, serta terdapat teori mengenai dasar-dasar dari proses manufaktur yang diperlukan.

- BAB 3 PERANCANGAN ALAT

Bab ini mengemukakan tentang tahap-tahap perancangan proses permesinan, serta hasil dari proses analisa yang dilakukan dengan *software*.

- BAB 4 ASSEMBLY DAN PROSES PRODUKSI

Bab ini mengenai pemodelan rancangan alat ukur *camber angle* dan *slip angle* pada roda sepeda motor dan proses assembly dalam pembuatan alat ukur tersebut, serta analisa dari perhitungan proses permesinan dan analisa FEM pada bab sebelumnya.

- BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan yang didapat dari penelitian dan saran-saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya.

- DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisi semua sumber acuan, baik buku maupun internet, yang digunakan untuk mendukung penelitian ini.

- LAMPIRAN

Bagian ini berisi data atau referensi yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 FEM

FEM adalah singkatan dari *Finite Element Method*, dalam bahasa Indonesia disebut *Metode Elemen Hingga*. Konsep paling dasar FEM adalah, menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah. Kata "*finite* atau terhingga" digunakan untuk menekankan bahwa bagian-bagian kecil tersebut tidak tak terhingga, seperti yang lazim digunakan pada metode integral analitik.

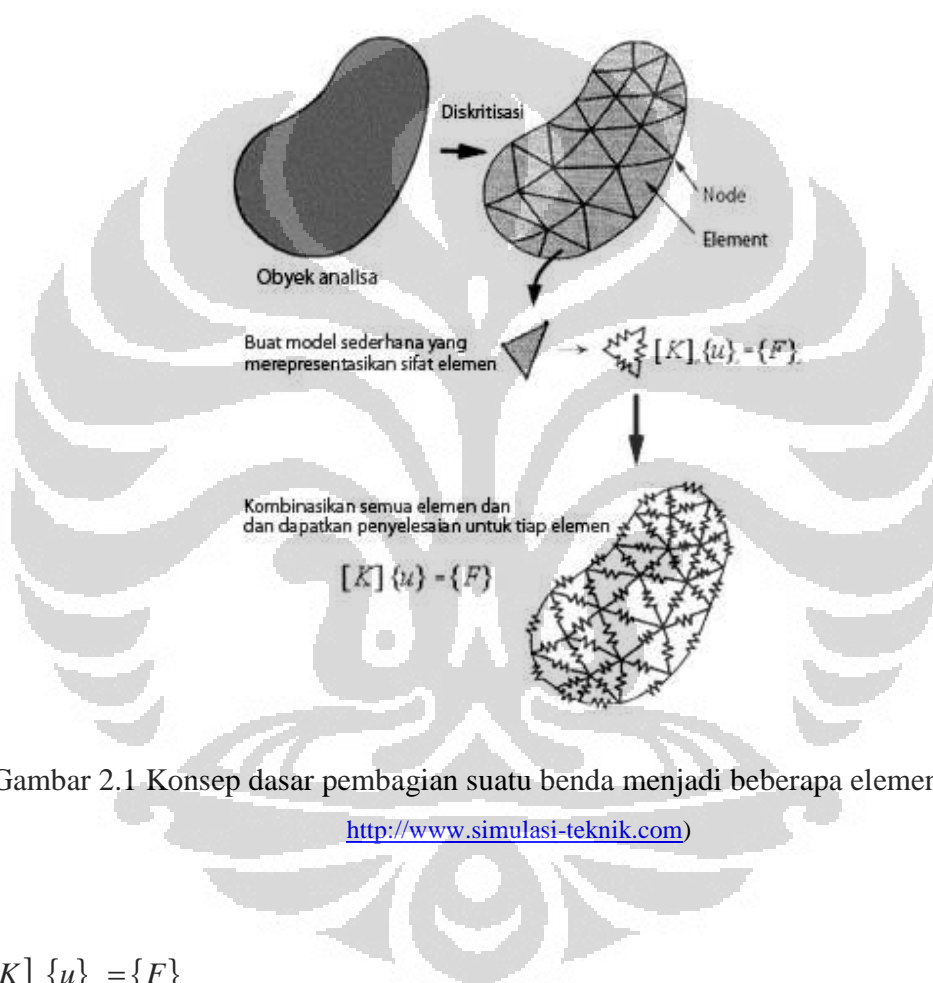
Membagi bagian analisa menjadi bagian-bagian kecil disebut "*discretizing* atau diskritisasi". Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, yang terdiri dari titik-titik sudut (disebut *nodal*, atau *node*) dan daerah elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut. Membagi sebuah object menjadi bagian-bagian kecil secara fisika sebenarnya menuntun kita kepada pembuatan persamaan diferensial. Jadi secara lebih matematis, FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan diferensial

Secara umum langkah-langkah dalam FEM bisa diringkas sebagai berikut:

- Membagi obyek analisa ke dalam elemen-elemen kecil.
- Melakukan modelisasi sederhana yang berlaku untuk setiap elemen. Misalnya dimodelkan sebagai pegas, di mana pegas ini sifatnya sederhana, yaitu tegangan berbanding lurus dengan perubahan bentuknya.
- Membuat formula sederhana untuk setiap element tersebut. Misalnya untuk pegas berlaku hukum $f = k.x$. Di mana k adalah konstanta pegas, dan x adalah pertambahan panjang pegas.
- Mengkombinasikan seluruh elemen dan membuat persamaan simultan yang mencakup semua variabel. Untuk elemen yang dimodelkan dengan pegas, mencakup f , k , dan x dari semua elemen. Kemudian akan diperoleh sebuah

persamaan yang disebut "*global stiffness matrix*" atau matriks kekakuan global.

Langkah-langkah di atas secara singkat digambarkan pada ilustrasi berikut.



Gambar 2.1 Konsep dasar pembagian suatu benda menjadi beberapa elemen (Sumber: <http://www.simulasi-teknik.com>)

$$[K]_e \{u\}_e = \{F\}_e \quad (2.1)$$

dimana:

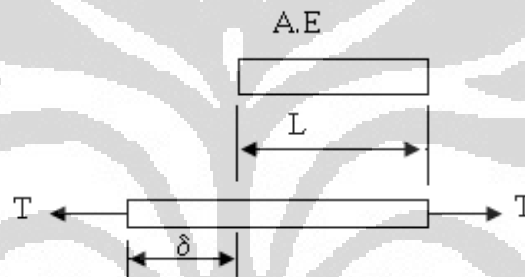
$[k]$ = matrix kekakuan batang

$\{d\}$ = vektor peralihan atau perpindahan (displacement).

$\{f\}$ = vektor beban atau gaya titik simpul elemen (node)

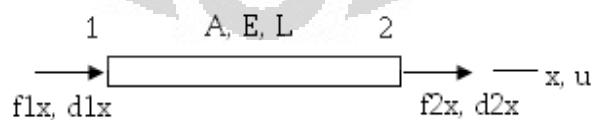
2.1.1 Bar Structures

Bar adalah struktur elemen sederhana yang hanya dapat menahan gaya axial, yang mengakibatkan deformasi axial (memanjang atau memendek). Dalam struktur bar, seluruh elemen mempunyai axis yang sama (co-axial axis), dan diberikan beban axial yang sama.



Gambar 2.2 Deformasi dari bar dalam *tensile load*

Gambar di atas menunjukkan luas area (A) dan panjang L dengan modulus elastisitas E dalam kondisi tak terdeformasi dan terdeformasi. Gambar di berikut menunjukkan finite elemen dari elemen bar.



Gambar 2.3 Finite elemen pada elemen bar

o Fungsi Displacement

Sebuah bar dalam elemen satu dimensi, dan diasumsikan displacement dari bar adalah linear (sebanding secara linear dengan stress). Fungsi displacement dapat ditulis sebagai :

$$U = a_1 + a_2x \quad (2.2)$$

Atau

$$u = [1 \ x] \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

Displacement dalam arah x adalah u. Kemudian fungsi displacement dari nodal displacement d_{1x} dan d_{2x} adalah

$$u = \left[1 - \frac{x}{L} \quad \frac{x}{L} \right] \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{2x} \end{Bmatrix} \quad (2.4)$$

Persamaan ini dapat disederhanakan menjadi

$$u = [N_1 \ N_2] \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{2x} \end{Bmatrix} \quad (2.5)$$

o Fungsi Elemen

Seperti diketahui bahwa:

$$T = A \sigma \quad (2.6)$$

dan

$$\sigma_x = E \varepsilon \quad (2.7)$$

Dimana σ_x adalah axial stress dan ε adalah axial strain dalam arah x. Strain dapat didefinisikan sebagai

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{d_{2x} - d_{1x}}{L} \quad (2.8)$$

Sehingga

$$T = AE \left(\frac{d_{2x} - d_{1x}}{L} \right) \quad (2.9)$$

Kemudian dari gambar di atas f_{1x} dan f_{2x} dapat ditulis sebagai

$$\begin{aligned} F_{1x} &= -T \\ &= AE \left(\frac{d_{1x} - d_{2x}}{L} \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} F_{2x} &= T \\ &= AE \left(\frac{d_{2x} - d_{1x}}{L} \right) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Kedua persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk matriks menjadi

$$\begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{2x} \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{2x} \end{Bmatrix} \quad (2.12)$$

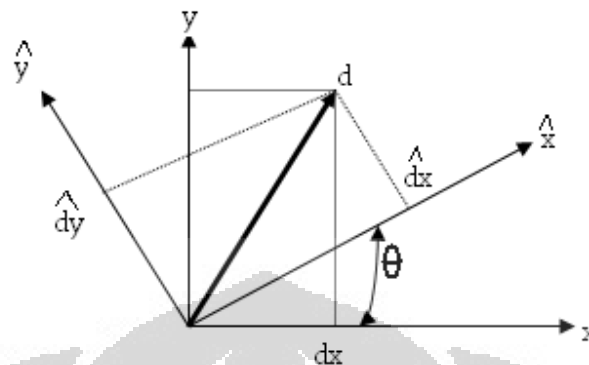
Sesuai dengan persamaan element dalam bentuk $\{f\} = [k] \{d\}$ dimana matrik kekakuan $[k]$ untuk bar adalah

$$k = \begin{bmatrix} AE/L & -AE/L \\ -AE/L & AE/L \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

yang merupakan matriks simetrik dan singular.

- **Matriks Kekakuan dan Beban**

Berikut elemen dalam sistem kordinat x-y dan kordinat lokal $\hat{x} - \hat{y}$ dapat ditunjukkan gambar berikut



Gambar 2.4 Elemen kekakuan dan beban dalam sistem koordinat x-y

Diketahui bahwa:

$$d = d_x i + d_y j = \hat{d}_x \hat{i} + \hat{d}_y \hat{j} \quad (2.14)$$

dapat dicari bahwa

$$\begin{Bmatrix} \hat{d}_x \\ \hat{d}_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c & s \\ -s & c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_x \\ d_y \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

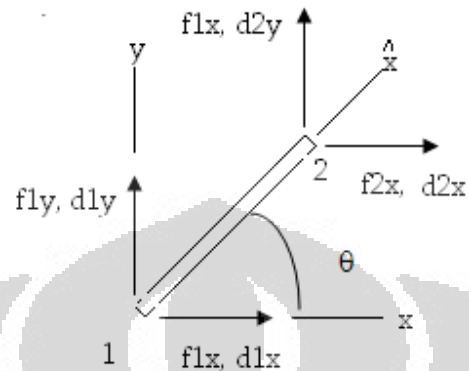
$$C = \cos \theta$$

$$S = \sin \theta$$

Dalam gambar berikut ini ditunjukkan elemen bar dalam global kordinat. Pada gambar ditunjukkan forces dan displacement dalam global kordinat x-y. Elemen memiliki 4 derajat kebebasan, dua pada setiap node. Dengan 4 set dari forces dan displacement, matrik kekakuan elemen $[k]$ dari truss elemen (bar elemen dalam kordinat global) akan mempunyai struktur 4×4 .

$$\begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ f_{2x} \\ f_{2y} \end{Bmatrix} = [k] \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ d_{2x} \\ d_{2y} \end{Bmatrix} \quad (2.16)$$

$$\text{atau } \{f\} = [k] \{d\}$$



Gambar 2.5 Elemen bar dalam koordinat global

$$\begin{Bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{1y} \\ \hat{d}_{2x} \\ \hat{d}_{2y} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & S \\ 0 & 0 & -S & C \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ d_{2x} \\ d_{2y} \end{Bmatrix} \quad (2.17)$$

Atau $\hat{d} = Td$

Dimana $T = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & S \\ 0 & 0 & -S & C \end{bmatrix}$

$$\hat{k} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan dapat dihitung dengan

$$k = T^T \hat{k} T \quad (2.18)$$

Maka matriks kekakuan dalam global kordinat adalah

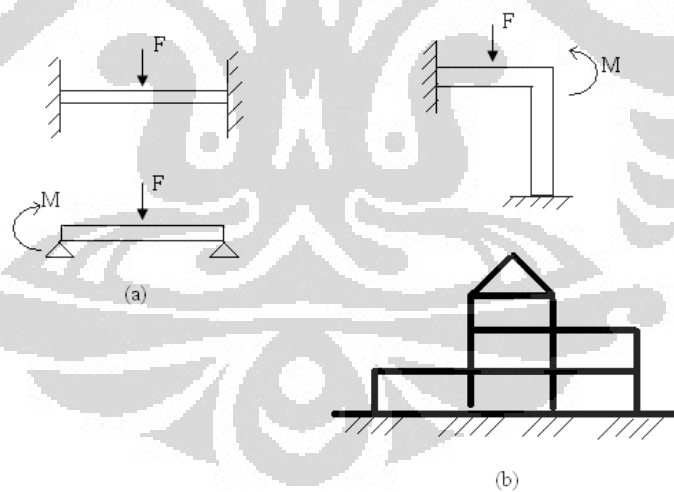
$$[k] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} C^2 & CS & -C^2 & -CS \\ CS & S^2 & -CS & -S^2 \\ -C^2 & -CS & C^2 & CS \\ -CS & -S^2 & CS & S^2 \end{bmatrix}$$

Sedangkan persamaan untuk truss elemen atau bar dalam global kordinat adalah:

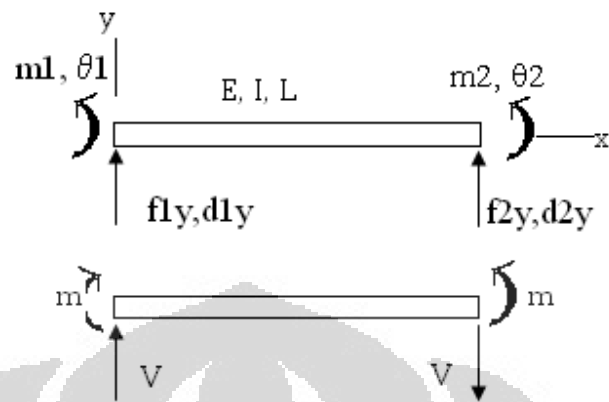
$$\begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ f_{2x} \\ f_{2y} \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} C^2 & CS & -C^2 & -CS \\ CS & S^2 & -CS & -S^2 \\ -C^2 & -CS & C^2 & CS \\ -CS & -S^2 & CS & S^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ d_{2x} \\ d_{2y} \end{Bmatrix}$$

2.1.2 Beam Structures

Beam adalah struktur yang dapat menahan momen bending dan gaya geser (shear forces). Sedangkan *frame* adalah struktur yang dapat menahan momen bending, gaya geser, dan gaya aksial. Elemen-elemen pada beam orientasinya berada pada aksis yang sama sedangkan frame elemen-elemennya dapat berada pada aksis yang berbeda. Berikut contoh gambar dari stuktur *beam* dan *frame*.



Gambar 2.6 Struktur (a) Beam dan (b) Frame



Gambar 2.7 *Free body diagram* struktur *beam* dan *frame*

Parameter yang didefinisikan dalam elemen beam adalah

- m_1 = momen bending lokal pada node 1
- ϕ_1 = rotasi lokal pada node 1
- f_{1y} = Gaya lokal pada node 1 dalam arah y
- d_{1y} = lokal displacemen di node 1 dalam arah y
- m_2 = momen bending lokal pada node 2
- ϕ_2 = rotasi lokal pada node 2
- f_{2y} = Gaya lokal pada node 2 dalam arah y
- d_{1y} = lokal displacemen di node 1 dalam arah y

Persamaan elemen

$$m(x) = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2.19)$$

$$V = EI \frac{d^3 v}{dx^3} \quad (2.20)$$

Berdasarkan gambar di atas maka

$$f_{1y} = V \quad m_1 = -m \quad (2.21)$$

$$f_{2y} = -V \quad m_2 = m \quad (2.22)$$

untuk elemen beam fungsi displacement adalah

$$v(x) = a_1 x^3 + a_2 x^2 + a_3 x + a_4 \quad (2.23)$$

boundary condition

$$v(0) = d_{1y} = a_4$$

$$\frac{dv}{dx}(0) = \phi_1 = a_3$$

$$v(L) = d_{2y} = a_1 Lx^3 + a_2 Lx^2 + a_3 Lx + a_4$$

$$\frac{dv}{dx}(L) = \phi_2 = 3a_1 L^2 + 2a_2 L + a_3$$

Kita peroleh

$$V(x) = [N] \{d\} \quad (2.24)$$

$$\text{Dimana } [N] = [N1 \quad N2 \quad N3 \quad N4]$$

Dengan menggunakan direct equilibrium method dari persamaan-persamaan di atas maka persamaan elemen untuk beam adalah

$$\begin{Bmatrix} f_{1y} \\ m_1 \\ f_{2y} \\ m_2 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & L^2 & -6L & -2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1y} \\ \phi_1 \\ d_{2y} \\ \phi_2 \end{Bmatrix} \quad (2.25)$$

$$\text{Atau } \{f\} = [k] \{d\}$$

Persamaan elemen beam dalam global kordinat

$$\begin{Bmatrix} \hat{d}_x \\ \hat{d}_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C & S \\ -S & C \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_x \\ d_y \end{Bmatrix}$$

$$C = \cos \theta$$

$$S = \sin \theta$$

$$\text{Atau } \hat{d} = Td$$

$$\text{Dimana } T = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & S \\ 0 & 0 & -S & C \end{bmatrix}$$

$$\hat{k} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & L^2 & -6L & -2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan dapat dihitung dengan

$$k = T^T \hat{k} T$$

Matriks kekakuan menjadi

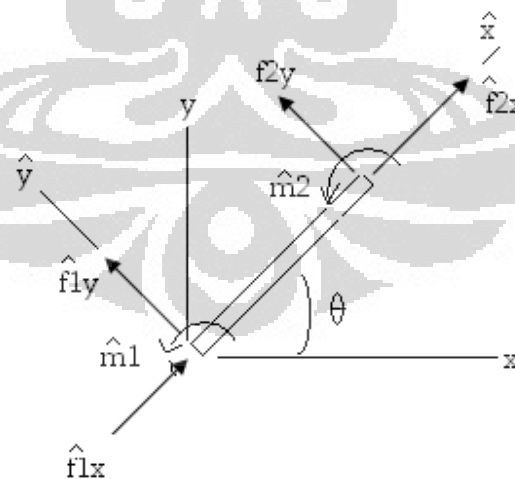
$$k = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12S^2 & -12SC & -6LS & -12S^2 & 12SC & -6LS \\ & 12C^2 & 6LC & 12SC & -12C^2 & 6LC \\ & & 4L^2 & 6LS & -6LC & 2L^2 \\ & & & 12S^2 & -12SC & 6LS \\ & & & & 12C^2 & -6LC \\ & & & & & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Maka persamaan beam dalam global kordinat adalah

$$\begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ m_1 \\ f_{2x} \\ f_{2y} \\ m_2 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12S^2 & -12SC & -6LS & -12S^2 & 12SC & -6LS \\ & 12C^2 & 6LC & 12SC & -12C^2 & 6LC \\ & & 4L^2 & 6LS & -6LC & 2L^2 \\ & & & 12S^2 & -12SC & 6LS \\ & & & & 12C^2 & -6LC \\ & & & & & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ \phi_1 \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ \phi_2 \end{Bmatrix}$$

Persamaan Elemen Frame dalam Global Koordinat

Elemen frame adalah kombinasi dari elemen bar dan elemen beam, seperti ditunjukkan gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Elemen *frame* dalam global koordinat

Persamaan elemen frame dihasilkan dengan menambahkan komponen aksial pada persamaan beam. Mengkombinasikan persamaan elemen bar dan persamaan elemen beam dalam kordinat lokal $\hat{x} - \hat{y}$, memberikan persamaan elemen frame dalam lokal kordinat:

$$\begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ \hat{m}_1 \\ f_{2x} \\ f_{2y} \\ \hat{m}_2 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 & -C_1 & 0 & 0 \\ & 12C_2 & 6C_2 & 0 & 12C_2 & 6LC_2 \\ & & 4C_2L^2 & 0 & -6LC_2 & 2C_2L^2 \\ \text{Symmetry} & & & C_1 & 0 & 0 \\ & & & & 12C_2 & -6LC_2 \\ & & & & & 4C_2L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{1y} \\ \hat{\phi}_1 \\ \hat{d}_{2x} \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{\phi}_2 \end{Bmatrix}$$

Dimana $C_1 = AE/L$

$$C_2 = EI/L^3$$

Menggunakan transformasi kordinat, persamaan elemen frame dalam global kordinat didapatkan:

$$\{f\} = [k] \{d\}$$

$$\text{Dimana } \{f\} = \begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ \hat{m}_1 \\ f_{2x} \\ f_{2y} \\ \hat{m}_2 \end{Bmatrix} \quad \{d\} = \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{1y} \\ \hat{\phi}_1 \\ \hat{d}_{2x} \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{\phi}_2 \end{Bmatrix}$$

Dan matriks kekakuan elemen [k] adalah

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} AC^2 + \frac{12I}{L^2} S^2 & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & \frac{-6I}{L} S & -\left(AC^2 + \frac{12I}{L^2} S^2\right) & -\left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & \frac{-6I}{L} S \\ & 12AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2 & \frac{6I}{L} C & -\left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & -\left(AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2\right) & \frac{6I}{L} C \\ & & 4I & \frac{6I}{L} S & -\frac{6I}{L} C & 2I \\ \text{Symmetry} & & & AC^2 + \frac{12I}{L^2} S^2 & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & \frac{6I}{L} S \\ & & & & AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2 & -\frac{6I}{L} C \\ & & & & & 4I \end{bmatrix}$$

2.1.3 Penggunaan FEM pada Software Autodesk Inventor Pro 2009

Setelah membaca dan mengerti teori mengenai *finite element analysis* maka tahap berikutnya adalah proses aplikasi dari teori tersebut untuk membantu proses perancangan. Aplikasi dilakukan dengan bantuan *software Autodesk Inventor Pro 2009*.

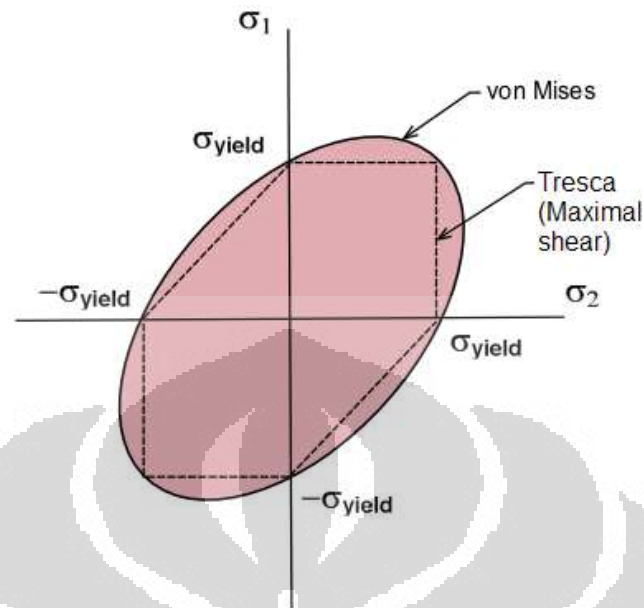
Secara umum terdapat tiga unsur penting yang harus diperhatikan, yaitu:

- a. Besar dan arah gravitasi yang terjadi pada benda, karena bila salah menentukan arah gravitasi tentu saja hasil analisa akan mengalami kesalahan
- b. Constraint, elemen ini sangat penting karena dibutuhkan untuk mengetahui bagian mana yang dijadikan sebagai tumpuan saat mengalami pembebanan.
- c. Besar dan arah gaya, salah menentukan arah dan besarnya gaya maka kita akan mendapatkan hasil analisa yang jauh berbeda.

Dasar dari tahap pengerjaan dengan menggunakan program ini secara garis besar sama dengan teori yang telah dijelaskan di atas, yaitu:

- a. Menentukan *part* mana yang ingin di analisa
- b. Menentukan letak *constraint* yaitu bagian atau titik dimana benda itu bertumpu
- c. Menentukan arah dari gravitasi, sehingga gaya yang diakibatkan oleh berat benda juga dapat teranalisa.
- d. Menentukan besar dan arah dari gaya yang bekerja pada *part*
- e. Menentukan besar dari *mesh* yang diinginkan

Kemudian apabila perhitungan simulasi yang dilakukan oleh *software* kita deskripsikan secara manual, maka dapat diketahui bahwa metode yang dipergunakan adalah metode *von mises* dimana metode ini cocok dipergunakan untuk menganalisa material yang bersifat *ductile* dimana bila kita melihat grafik di bawah ini terlihat bahwa area lebih besar yang dimiliki oleh *von mises* merupakan aplikasi yang cocok untuk material bersifat *ductile* karena jangkauan tegangan yang dapat di analisa lebih besar seiring dengan lebih besarnya tegangan yang dapat diterima oleh material *ductile* ketimbang material *brittle*.



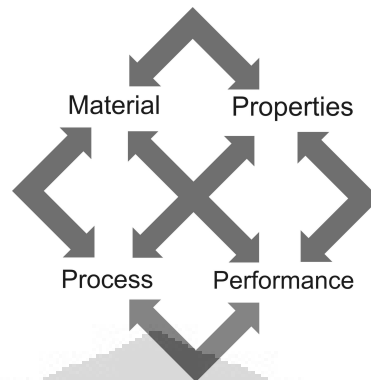
Gambar 2.9 Diagram Von Misses

2.2 Pemilihan Material

2.2.1 Seleksi Material dan Manufaktur

Sifat dari suatu material membatasi kemampuan material tersebut. Sangat jarang material hanya dipengaruhi oleh satu sifatnya. Hampir seluruh kombinasi dari beberapa sifat yang menentukan kemampuan dari material tersebut seperti rasio *strength-weight* (σ_r/p), dan *stiffness-weight* (F/p). Setiap material mempunyai sifat yang berbeda tergantung pada struktur penyusun material tersebut. Memproses material dapat merubah struktur, sehingga merubah sifatnya. Sifat yang telah berubah tentunya kemampuan material ikut berubah. Tentunya diperlukan adanya pemilihan material untuk menentukan jenis material mana yang mempunyai sifat sama seperti yang diinginkan.

Pemilihan proses manufaktur juga sangat penting. Pemilihan proses yang sesuai dengan material dapat memunculkan beberapa keuntungan salah satunya dapat memotong biaya produksi. Akan tetapi bila sebaliknya, maka akan menghasilkan produk yang gagal proses.



Gambar 2.10 Hubungan material, sifat material, proses, dan kemampuan material

(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons, Inc. 2003. Rieverstreet)

2.2.2 Proses Disain

Disain biasanya melalui tiga tahapan:

- *Conceptual design*
- *Functional design*
- *Production design*

Pada tahap *conceptual design*, pendisain harus mengkonsepkan produk yang akan diproduksi. Konsep berdasarkan fungsi yang harus dipenuhi produk. Dari fungsi tersebut akan didapat sifat-sifat material yang menunjang. Jika dikhawatirkan tidak ada material yang mempunyai sifat yang cocok, maka harus dipertimbangkan untuk mengembangkan disain lain yang lebih berprospek.

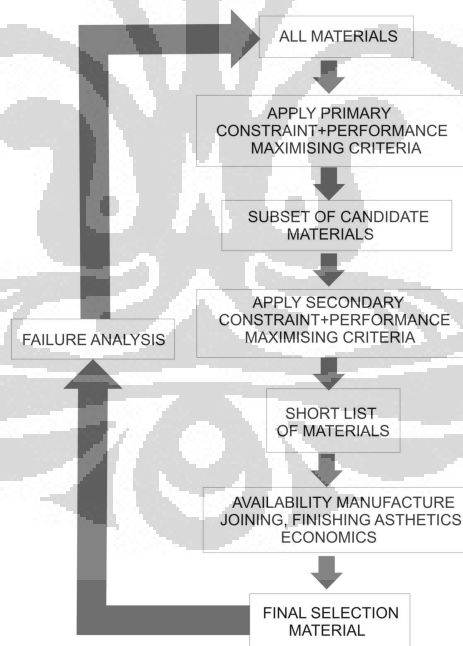
Pada tahap *functional design*, rencana kerja manufaktur, bentuk geometri, dimensi dan toleransi dari produk sudah ditentukan. Material juga harus sudah dipastikan untuk setiap komponen. Pertimbangan material biasanya berdasarkan faktor tampilan, biaya, *reliability*, *producibility*, dan *serviceability*. Tak jarang pada tahap ini dibuat prototipe untuk memastikan keadaan produk saat produksi. Dari prototipe ini akan dapat diambil keputusan untuk mengganti atau menambahkan material lain pada produk sebelum proses dilaksanakan.

Pada tahap *production design* ini, pendisain harus mempertimbangkan apakah proses dan peralatan yang akan digunakan sesuai dengan material dari produk. Tahap

ini pendisain harus mengetahui apakah proses dan peralatan tersebut dapat memberikan kualitas dan biaya dari produksi yang sesuai dengan disain.

2.2.3 Prosedur Penyeleksian Material

Prosedur yang umum dilakukan dalam menyeleksi suatu material digambarkan dalam skema dibawah. Seluruh material diklasifikasikan berdasarkan kebutuhan sifat dan kemampuan utama yang dibutuhkan untuk menjalankan fungsi dalam produk. Setelah dikelompokkan, selanjutnya material yang terpilih diseleksi kembali dengan kemampuan dan kebutuhan sifat yang kedua yang dibutuhkan untuk fungsi dari produk. Setelah didapat sekelompok kecil material, maka disaring kembali sesuai dengan kemampuannya dalam proses manufaktur. Maka didapat sebuah material yang cocok. Dapat dilakukan analisa kegagalan bila terdapat *defect* dalam pemilihan material. Yang berarti prosedur pemilihan material dilakukan kembali.



Gambar 2.11. *Flow chart selection of materials*

(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons.inc.2003.Rieverstreet)

Beberapa hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyeleksian material.

- *Static Properties*
 - **Strength properties.** Kemampuan dari material untuk menahan suatu beban.
 - **Stress and strain.** *Stress* didefinisikan sebagai beban yang ditransfer per area tekanan. Sedangkan *strain* didefinisikan sebagai perbedaan panjang dibagi dengan panjang awal.
 - **Ductility and brittleness.** Keplastisitas dari suatu material yang memberikan sifat ulet atau getas.
 - **Toughness.** Didefinisikan sebagai kerja per satuan volume sampai terjadi patah pada material.
 - **Damping capacity.** Kemampuan material untuk meredam getaran.
- *Dynamic Properties*
 - **Fatigue.** *Fatigue* atau yang disebut dalam bahasa Indonesia fatik atau kelelahan, merupakan kerusakan yang bersifat progresif dan muncul ketika sebuah material mengalami fluktuasi tegangan pada suatu angka tekanan yang memiliki batas-batas kekuatan setiap material.
 - **Creep.** *Creep* adalah suatu perubahan bentuk material yang muncul sebagai akibat dari tekanan berkepanjangan yang berada di bawah ketahanan suatu material.
 - **Temperature effects.** Sifat material dapat berubah dengan penambahan suhu dan pengurangan suhu yang signifikan, karena struktur penyusun material dapat berubah jika dikenakan *heat treatment*.
 - **Fracture.** Adalah batas kemampuan suatu material dalam menahan suatu beban sampai terjadi kepatahan.
 - **Machinability, formability, and weldability.** Kemampuan material untuk dapat dikerjakan dengan mesin, dibentuk dan digabungkan dengan material lain.
- *Physical Properties*

- **Thermal properties.** Respon fisik material terhadap perubahan suhu yang terjadi. Seperti *heat capacity*, *thermal conductivity* dan *thermal expansion*.
- **Electrical properties.** Respon sifat material terhadap hubungan elektrik. Seperti *electrical conductivity*.
- **Optical properties.** Sifat optic suatu material.
- **Magnetic response.** Respon material terhadap gaya magnet.

2.3 Proses Produksi

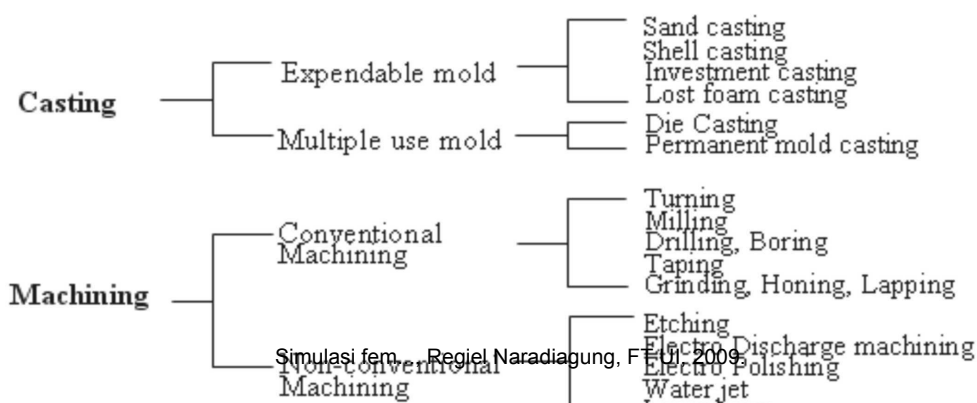
Proses manufaktur bila dipandang dari segi ekonomis dapat diartikan sebagai pembuatan barang dan pelayanan yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Proses manufaktur juga bertujuan untuk menciptakan atau meningkatkan nilai suatu benda dengan mengaplikasikan proses-proses tertentu.

Seperti yang tertulis di atas bahwa bahan mentah yang kemudia dilakukan proses manufaktur diperuntukkan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Hasil dari proses tersebut kite sebut dengan produk. Produk dapat kita peroleh melalui pabrikasi ataupun *processing*.

Pabrikasi merupakan kegiatan produksi yang dilakukan dengan membuat mulai dari komponen kecil hingga menjadi suatu produk utuh, atau dapat juga hanya membuat produk berupa komponen kecil saja.

Sedangkan untuk *processing* merupakan suatu langkah untuk menghasilkan produk dengan menggunakan gabungan dari suati sistem opreasi yang berkelanjutan serta berkesinambungan dengan tujuan tertentu. Contohnya adalah tepung, botol dan lain sebagainya.

Terdapat berbagai macam jenis proses manufaktur, namun setiap proses tersebut belum tentu dapat dilakukan terhadap material lainnya. Atau juga mungkin proses yang dipilih tidak cocok untuk menghasilkan geometri dari produk yang diinginkan. Secara umum, proses manufaktur dapat dibagi menjadi *casting*, *machining*, *forming* dan *joining*.





Gambar 2.12 Jenis-jenis proses manufaktur

(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons.inc.2003.Rieverstreet)

Casting

Casting adalah proses pembuatan dimana logam yang sudah meleleh total dituangkan ke dalam cetakan berlubang dan akan membentuk bentuk tertentu. Pada saat pengerasan, logam yang meleleh yang membentuk cetakan itu biasanya mengalami penyusutan volume sehingga teknik ini cukup sulit bagi orang-orang yang kurang berpengalaman.

- *Sand Casting*

Proses pembentukannya dengan cara menggunakan cetakan yang terbuat dari pasir.

- *Die Casting*

Logam yang meleleh dibuat menjadi cetakan dibawah tekanan dan kecepatan tinggi. Biasanya teknik ini digunakan untuk logam – logam yang memiliki temperatur leleh yang rendah.

- *Investment Casting*

Pada teknik ini cetakannya terbuat dari lilin atau plastik yang memiliki temperatur leleh rendah.

- *Continuous Casting*

Pengecoran yang dilakukan terus menerus dengan menggunakan cetakan yang sama

Forming

Pada *forming* terdapat dua langkah kerja yaitu *hot working* dan *cold working*. Pada *hot working* biasanya digunakan untuk deformasi yang besar dan biasanya mudah untuk didaur ulang karena logamnya lembut dan lentur dan membutuhkan energi lebih sedikit untuk proses pengerjaannya. Pada *hot working* logam yang dibuat akan mengalami oksidasi sehingga logam akan kehilangan material dan hasil akhirnya tidak cukup baik. Sedangkan pada *cold working* kualitas hasilnya lebih baik dibandingkan *hot working*, selain itu proses ini juga bisa menghasilkan banyak variasi dan kontrol dimensinya juga lebih baik di bagian akhir pembuatan. Tetapi pada proses ini membutuhkan energi yang cukup besar sehingga membutuhkan biaya yang cukup mahal pula. Pada proses ini prosedur pengerjaannya juga tidak nyaman.

- **Forging**

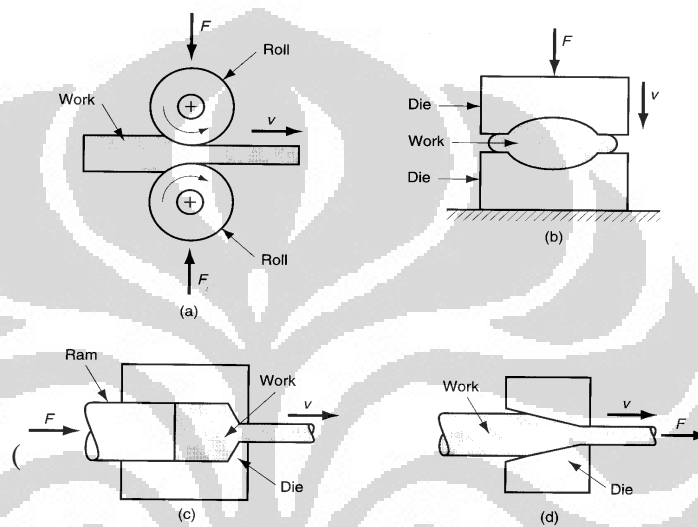
Kerja mekanik atau pembentukan sebuah logam dengan panas yang normal. Pada teknik ini prosesnya dilakukan dan diselesaikan dengan aplikasi *successive blows* (peniupan) dan pendinginan yang kontinu. *Forging* diklasifikasikan menjadi dua, yaitu forging yang terbuka dan yang tertutup.

- **Rolling**

Proses pembentukannya dilakukan dengan memberikan logam yang akan dibentuk diantara dua *roll*.

- **Drawing**

Proses pembentukannya adalah dengan cara mendorong sebuah logam melalui sebuah *die* yang diaplikasikan ke jalan keluarnya secara langsung. Produknya biasanya berbentuk logam - logam yang panjang.

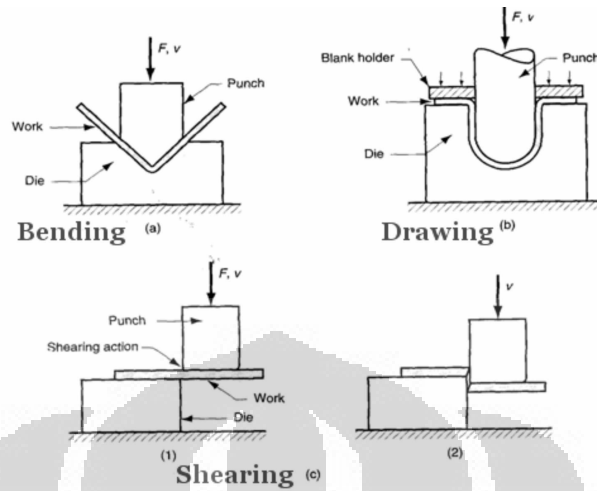


Gambar 2.13 a. *Forging* b. *Rolling* c. *Extrusion* .d *Drawing*

(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons.inc.2003.Rieverstreet)

Jenis-jenis *cold forming*:

- **Bending** – Peregangan dari lembaran metal (logam) untuk membentuk sebuah sudut bending.
- **Shearing** – Proses pengguntingan material (logam) → bukan proses pembentukan.



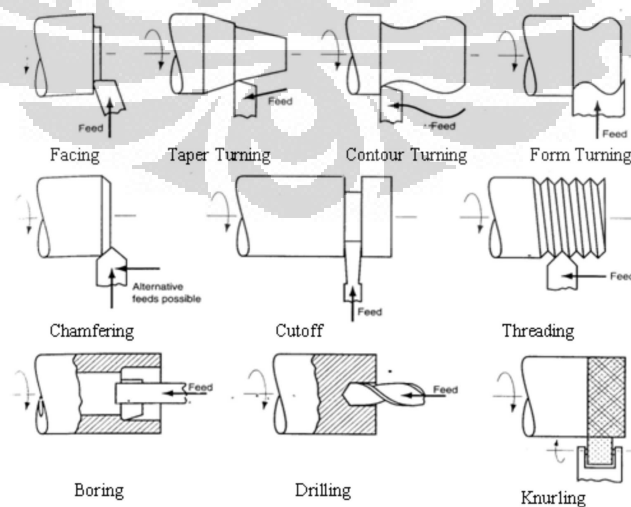
Gambar 2.14 a. *Bending* b. *Drawing* c. *Shearing*

(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons.inc.2003.Rieverstreet)

Machining

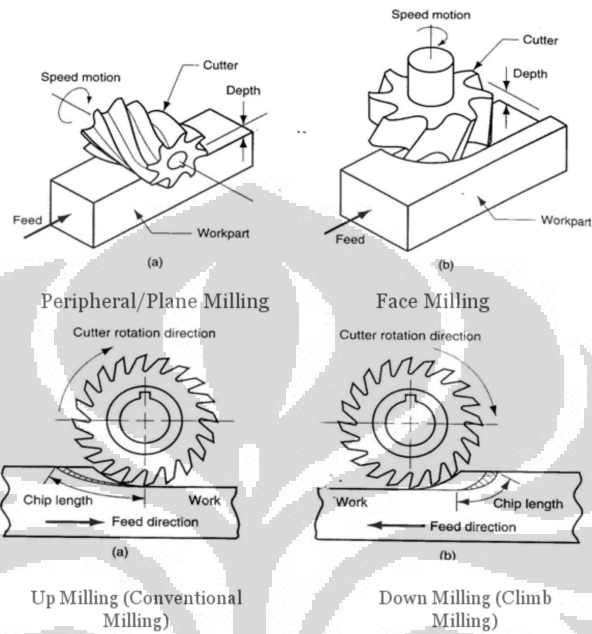
Conventional Machining

- **Drilling, Boring.** Proses pengeboran dengan tujuan membuat lubang pada benda kerja.
- **Taping.** Proses pembuatan ulir dalam benda kerja.

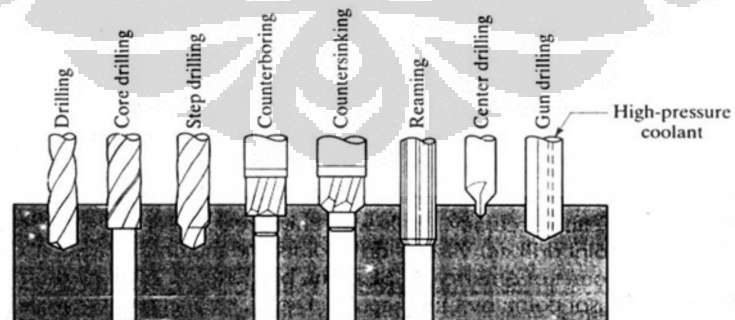


Gambar 2.15 *Turning*

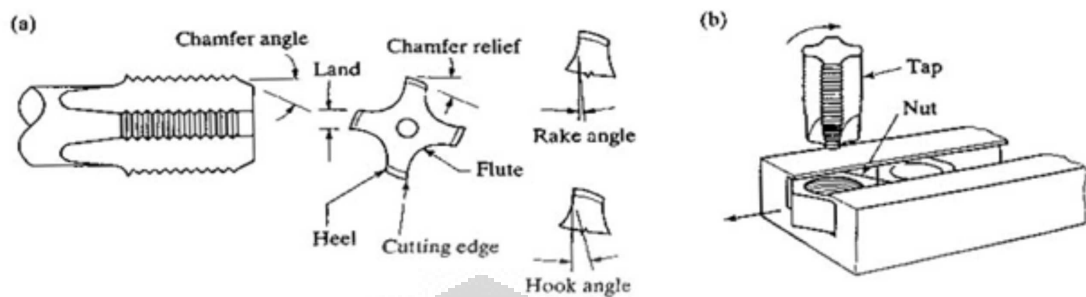
(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons.inc.2003.Rieverstreet)

Gambar 2.16 *Milling*

(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons.inc.2003.Rieverstreet)

Gambar 2.17. *Drilling*

(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons.inc.2003.Rieverstreet)



Gambar 2.18 *Taping*

(Sumber: Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Wiley and Sons.inc.2003.Rieverstreet)

2.3.1 Milling

Milling (Fris) adalah proses menghilangkan/pengambilan fatal-fatal dari bahan atau benda kerja dengan pertolongan dari alat potong yang berputar dan mempunyai sisi potong, kecuali pahat potong yang bersisi tunggal yang juga digunakan.

Mesin *Milling* adalah mesin perkakas untuk mengerjakan atau menyelesaikan suatu benda kerja dengan mempergunakan pisau *Milling* (cutter) sebagai pahat penyayat yang berputar pada sumbu mesin. Mesin *Milling* termasuk mesin perkakas yang mempunyai gerak utama yang berputar, Pisau Fris dipasang pada sumbu/arbor mesin yang didukung dengan alat pendukung arbor, jika arbor mesin berputar melalui suatu putaran motor listrik maka pisau Fris akan ikut berputar, arbor mesin dapat ikut berputar kekanan dan kekiri sedangkan banyaknya putaran dapat diatur sesuai kebutuhan.

Prinsip kerja dari mesin Fris yaitu pahat potong/pemotong Fris melakukan gerak rotasi dan benda kerja dihantarkan pada pemotong Fris tersebut.

Jenis-jenis Mesin *Milling*

- Jenis tiang dan lutut
- Fris tangan
- Fris datar
- Pusat permesinan
- Jenis khusus
- Fris meja putar

- Fris universal
- Fris vertikal
- Mesin Fris penyerut
- Jenis landasan tetap
- Fris simpleks
- Fris dupleks
- Fris tripleks
- Fris planet
- Fris profil
- Fris duplikat
- Fris panthograf

Penjelasan dari jenis-jenis mesin *Milling* (Fris)

- Fris tangan
Jenis ini paling sederhana dari mesin Fris, karena dapat dioperasikan dengan tangan. Digunakan untuk operasi Fris ringan dan sederhana.
- Fris datar
Mesin ini mirip dengan mesin Fris tangan kecuali bahwa konstruksinya lebih kuat dan dilengkapi dengan mekanisme hantaran daya.
- Fris universal
Merupakan mesin ruang perkakas yang dikonstruksikan untuk pekerjaan sangat teliti. Mesin ini mirip mesin fris datar.
- Fris vertikal
Mesin ini mempunyai perjalanan aksial yang pendek untuk memudahkan pengefrisan bertingkat.
- Fris jenis penyerut
Mesin ini sesuai dengan namanya mirip dengan penyerut, dimana dibawa pada meja panjang yang hanya mempunyai gerakan longitudinal, dan dihantarkan terhadap pemotong putar pada kecepatan yang sesuai.
- Fris dari jenis bangku tetap
Adalah mesin produksi dari konstruksi yang kasar. Bangkunya adalah benda cor yang kaku dan berat, fungsinya penyangga meja kerja. Mesin ini hanya memiliki gerakan longitudinal.
- Pusat permesinan

Adalah mesin yang dirancang untuk produksi barang kecil sampai besar. Mesin ini meskipun mahal namun dapat menggantikan mesin yang lain. Kendali numeris memberikan sedikit dampak pada permesinan sesungguhnya.

- Fris meja putar

Mesin ini operasinya kontinu dan terdapat waktu yang luas bagi operator untuk menaikkan dan menurunkan putaran mesin selama pengefrisan.

- Fris planet

Digunakan untuk memfris luas maupun dalam dan permukaan dari ulir pendek. Pada benda kerja dipegang stasioner dan semua gerakan yang diperlukan untuk memotong dilakukan oleh pemotong Fris.

- Fris profil

Fris profil tangan mempunyai pemotong putar, gerakannya dikendalikan oleh gerakan tangan dari meja. Gerakan ini dipandu dengan menggerakkan meja sehingga pena pemandu bersinggungan dengan suatu bentuk atau pola.

- Fris duplikat

Mesin ini memproduksi sebuah suku cadang dan sebuah model tanpa pengecilan atau pembesaran ukuran. Model atau pola yang digunakan dalam pekerjaan ini terbuat dari kayu keras, plester pernis, lilin atau bahan lain yang mudah dikerjakan.

- Fris ulir pantograf

Mesin ini menggunakan sambungan pantograf, digunakan untuk memproduksi dari sebuah pola pada skala yang diperbesar atau diperkecil. Operator mengendalikan mesin melalui tekanan ringan dari jari-jari kepada jarum sayat pencari jejak. Setiap gerakan dari jarum pencari jejak ditirukan tepat sama kepada benda kerja.

2.3.2 Turning

Mesin ini mempunyai gerak utama berputar dan berfungsi sebagai pengubah bentuk dan ukuran benda kerja dengan cara menyayat benda tersebut dengan suatu

penyayat. Posisi benda kerja berputar sesuai dengan sumbu mesin dan pahat diam, bergerak ke kanan, ke kiri searah dengan sumbu mesin menyayat benda kerja.

Mesin bubut mendapatkan dayanya pada kepala tetap melalui sabuk V banyak dari motor yang dipasang dibawah dari pengendali pada sisi kepala tetap salah satu dari 27 kecepatan, yang diatur dalam kemajuan geometris yang logis, dapat diperoleh. Dilengkapi dengan pencekam dan rem listrik untuk start, menghentikan atau menyentakkan benda kerja.

Ekor tetap dari pembubut dapat disetel sepanjang bangku untuk menampung panjang stok yang berbeda. Dilengkapi dengan pusat yang dikeraskan, yang dapat digerakkan masuk dan keluar oleh penyetel roda dan dengan ulir pengencang di dasarnya yang digunakan untuk menyetel penyebarisan pusatnya dan pembubutan tirus. Sekrup pengarah terletak agak dibawah dan sejajar terhadap jalur bangku, memanjang dari kepala tetap sedemikian rupa sehingga dapat diputar balik dan dihubungkan atau dilepas dari kereta luncur selama operasi pemotongan. Ulir pengarah hanya untuk pemotongan ulir saja dan harus dipisahkan kalau tidak dipakai untuk mempertahankan ketepatannya. Tepat dibawah ulir pengarah terdapat batang hantaran.

Rakitan kereta luncur mencakup peletakan majemuk, sadel, pahat dan apron. Karena mendukung dan memandu pahat potong maka harus kaku dan dikonstruksi dengan ketepatan tinggi. Tersedia dua hantaran tangan untuk memandu pada gerakan arah menyilang. Engkol tangan yang atas mengendalikan peletakan majemuk, dan karena peletakannya dilengkapi dengan busur derajat penyetel putaran, maka dapat ditempatkan dalam berbagai kedudukan sudut untuk membuat tirus pendek. Roda tangan kedua digunakan untuk menggerakkan kereta luncur disepanjang landasan, biasanya untuk menarik kembali kedudukannya semula setelah ulir pengarah membawa sepanjang pemotongan. Bagian dari kereta luncur yang menjulur di depan dari pembubut disebut apron. Pada permukaan apron dipasangkan berbagai roda dan tuas kendali.

Jenis-jenis Mesin Bubut

Penggolongan yang sesuai dari mesin ini adalah karena sulit karena terdapat keaneka ragaman dalam ukuran, desain, metode penggerakan dan kegunaan. Pada umumnya diberi nama sesuai dengan karakteristik desainya yang mononjol.

Penggolongan mesin bubut:

- Pembubut kecepatan:
 - Pengerjaan kayu
 - Pemusingan logam
 - Pemolesan
- Pembubut mesin:
 - Pengerjaan kayu
 - Pemusingan logam
 - Pemolesan
- Pembubut bangku
- Pembubut ruang perkakas
- Pembubut kegunaan khusus
- Pembubut Turet:
 - Horozontal: 1). Jenis Ram
2). Jenis Sadel
 - Vertikal: 1). Satasiun Tunggal
2). Stasiun Jamak
 - Otomatis.
- Pembubut Otomatis
- Mesin Ulir Otomatis
 - Spindel Tunggal
 - Spindel Jamak
- Fris Pengebor Vertikal.

Penggolongan ini dapat dibagi lagi menurut bentuk khususnya dan penggunaan dari mesin. Beberapa dari mesin yang disebutkan dapat disesuaikan untuk kendali numeris menggunakan pita berlubang.

- **Pembubut Kecepatan (*Speed lathe*)**

Pembubut kecepatan merupakan pembubut paling sederhana dari segala pembubut, terdiri dari bangku, kepala tetap, ekor tetap, dan peluncur yang dapat disetel untuk mendukung pahat. Pembubut kecepatan terutama digunakan untuk pembubutan kayu, pemberian pusat pada silinder logam sebelum dikerjakan lebih lanjut pada pembubutan mesin, dan dalam pemusingan logam.

○ **Pembubut Mesin (*Engine lathe*)**

Pembubut mesin mendapatkan daya dari mesin. Yang membedakan dari pembubut kecepatan adanya cirri tambahan untuk mengendalikan kecepatan spindel dan untuk menyangga dan mengendalikan hantaran dari pahat pemotong tetap.

○ **Pembubut Bangku (*Bench Lathe*)**

Nama pembubut bangku diberikan kepada pembubut kecil yang dipasangkan pada bangku kerja. Dalam desainnya mempunyai cirri yang sama dengan pembubut kecepatan atau pembubut mesin dan hanya berbeda dalam ukuran dan pemasangannya. Disesuaikan untuk benda kerja kecil dan mempunyai kapasitas putaran maksimum sebesar 250 mm pada plat muka.

○ **Pembubut Ruang Perkakas (*Toolroom lathe*)**

Pembubut ruang perkakas dilengkapi dengan segala perlengkapan yang diperlukan untuk pekerjaan pembubutan yang teliti. Merupakan kepala beroda gigi yang digerakkan secara tersendiri dengan kecepatan spindel. Semua pembubut ruang perkakas dicoba secara berhati-hati untuk ketelitiannya. Sesuai namanya mesin bubut ini disesuaikan untuk membuat perkakas kecil, alat ukur, cetakan dan bagian presisi lainnya.

○ **Mesin Bubut Turet**

Mesin bubut turet memiliki ciri khas khusus yang terutama menyesuaikan kepada produksi. Karakteristik utama dari mesin ini adalah bahwa pahat untuk operasi yang berurutan dapat disetel dalam kesiagaan untuk penggunaan dalam urutan yang sesuai. Meskipun dibutuhkan keterampilan sangat tinggi

untuk mengunci dan mengatur pahat dengan tepat, namun sekali sudah benar maka hanya sedikit keterampilan untuk mengoperasikannya dan banyak suku cadang dapat diproduksi sebelum penyetulan diperlukan lagi.

○ **Mesin Bubut Otomatis**

Mesin bubut yang perkakasnya secara otomatis dihantarkan kepada benda kerja dan mundur setelah daurnya diselesaikan dikenal sebagai mesin bubut otomatis. Mesin ini dilengkapi dengan magasin hantaran sehingga sejumlah suku cadang dapat dimesin secara berurutan dengan hanya sedikit pengawasan operator.

○ **Mesin Ulir Otomatis**

Ciri utama dari penemuan mesin ini adalah memberikan gerak pengendalian untuk mesin bubut sedemikian sehingga pahat dapat dihantarkan kepada benda kerja dengan kecepatan yang diinginkan, dimundurkan, dan diarahkan kepada kedudukan berikutnya. Ini semua dipenuhi oleh sebuah nok silindris atau drum yang terletak dibawah turet.

○ **Fris Pengebor Vertikal**

Fris pengebor vertikal mendapatkan namanya karena benda kerja berputar pada meja horizontal yang modelnya mirip dengan fris pembuat tembikar lama. Pahat pemotongnya adalah stasioner, kecuali untuk gerakan hantaran dan terpasang pada rel menyilang yang ketinggiannya dapat disetel. Fris pengebor vertikal mampu untuk memegang suku cadang besar dan berat karena benda kerja dapat diletakkan dimeja dengan kran dan tidak banyak memerlukan pembautan kebawah untuk memegang di tempat. Pekerjaan yang teliti dapat dilakukan pada mesin ini karena kekakuan yang sangat tinggi, dan kesederhanaan desainnya.

Bagian-bagian Utama Mesin Bubut

Bagian-bagian utama dari mesin bubut adalah alas mesin, kepala tetap, kepala lepas, eretan dan mekanik percepatan.

○ **Alas Mesin**

Yang dimaksud alas mesin adalah kerangka utama mesin bubut, yang diatas kerangka tersebut eretan serta kepala lepas bertumpu serta bergerak, adapun alur alas mesin (bed) berbentuk V ; datar atau rata.

○ **Kepala Tetap**

Di dalam kepala tetap, spindle utama terpasang pada bantalan, fungsinya untuk memindahkan putaran ke benda kerja, spindle harus terpasang kuat dan terbuat dari baja yang kuat, pada umumnya bagian dalam spindle dibuat berlubang.

○ **Kepala Lepas**

Kepala lepas dipakai sebagai penyangga benda kerja yang panjang, mengebor dan meluaskan lubang (reamer), kepala lepas dilengkapi dengan kerucut morse, gunanya untuk memasang alat-alat yang akan dipasang pada kepala lepas seperti: bor, reamer, senter jalan dan lain-lain. Kepala lepas dapat diangkat dari alas mesin (bed) dan dapat dipasang terkunci dengan baut pengikat, roda pada kepala lepas dapat dipakai untuk menggerakkan konis, dengan konis itu selubung (sleeve) dapat terkunci, ada kepala lepas yang selubungnya digerakkan dengan hidrolis atau kompresor udara, untuk ini tekanan pada benda kerja dapat sama rata.

○ **Eretan**

Eretan terdiri dari: sadel/pelana, eretan melintang, eretan kombinasi, pemegang pahat, kotak apron. Eretan adalah penopang utama dan pembawa pahat bubut, yang dapat disetel, eretan ini terdiri dari: sadel, eretan melintang, eretan atas dengan penjepit pahat dan apron (kotak mekanik pengatur).

○ **Mekanik percepatan**

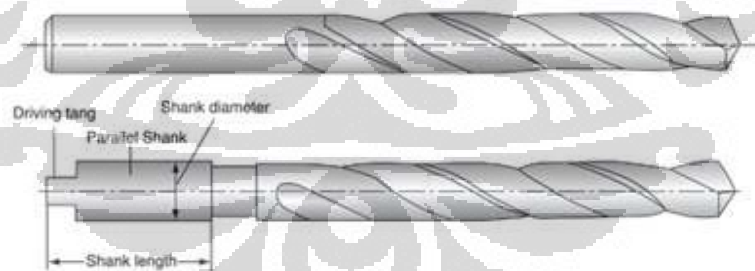
Poros pembuat ulir (leadscrew) hanya dipakai untuk membuat ulir, dari kepala tetap, leadscrew ini digerakkan melalui peti roda gigi (gear box) apabila mur setengah (half nut) yang mencekam poros itu dihubungkan oleh tuas penghubung maka poros berulir menggerakkan eretan dengan arah memanjang.

- Mekanis pengunci digunakan bila bila mur setengah (half nut) dihubungkan dengan poros percepatan (feed shaft) memanjang atau melintang secara tidak tepat, berakibat rusaknya mekanisme, rusaknya mekanisme dapat dicegah dengan memasang alat pengaman.

2.3.3 Drilling and Related Hole-Making Processes

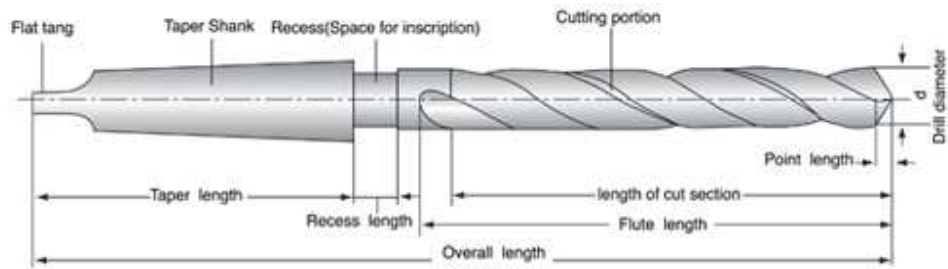
Di dalam kegiatan manufaktur sangatlah mungkin ketika proses pembuatan suatu alat pengerjaan membuat lubang akan lebih banyak dibanding dari pengerjaan lainnya. Proses pembuatan lubang ini biasanya menggunakan alat bor, dimana di dalam suatu sistem proses manufaktur, pengeboran memiliki kuantitas kira-kira 25% nya. Berdasarkan hal itulah *drilling* termasuk salah satu proses yang cukup penting. Meskipun konsep dari *drilling* terlihat sederhana, namun pada kenyataannya proses tersebut cukuplah rumit.

Sebagian besar pengeboran dilakukan dengan menggunakan alat potong yang memiliki dua ujung potong. Berikut adalah gambar dari bor beserta bagiannya.



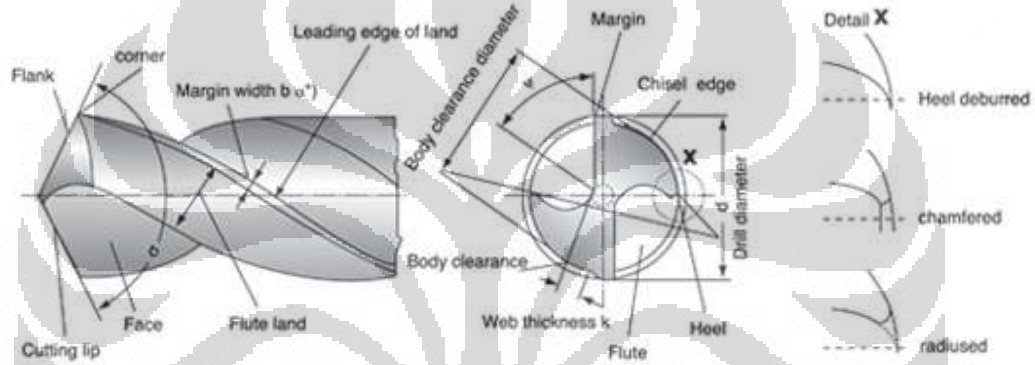
Gambar 2.19 *Twist drill with parallel shank*

(sumber: <http://www.tongyutools.com/title1/technology/technology.htm>)



Gambar 2.20 *Twist drill with taper skank*

(sumber: <http://www.tongyutools.com/title1/technology/technology.htm>)



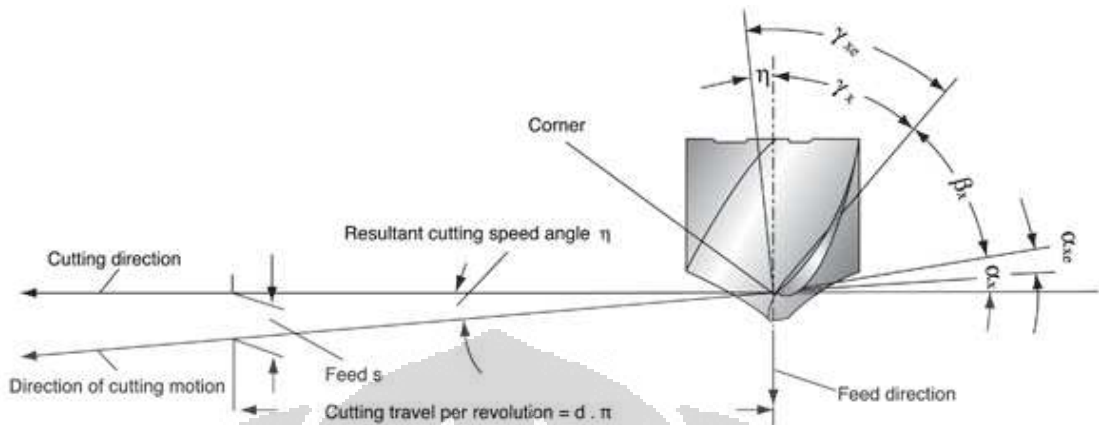
Gambar 2.21 *Cutting portion*

(sumber: <http://www.tongyutools.com/title1/technology/technology.htm>)

Dimana:

σ = Point angle (sigma)

ψ = Chisel edge angle (psi)



Gambar 2.22 Angle at cutting edges

(sumber: <http://www.tongyutools.com/title1/technology/technology.htm>)

Dimana:

$\alpha_x =$ Side clearance angle (alpha)

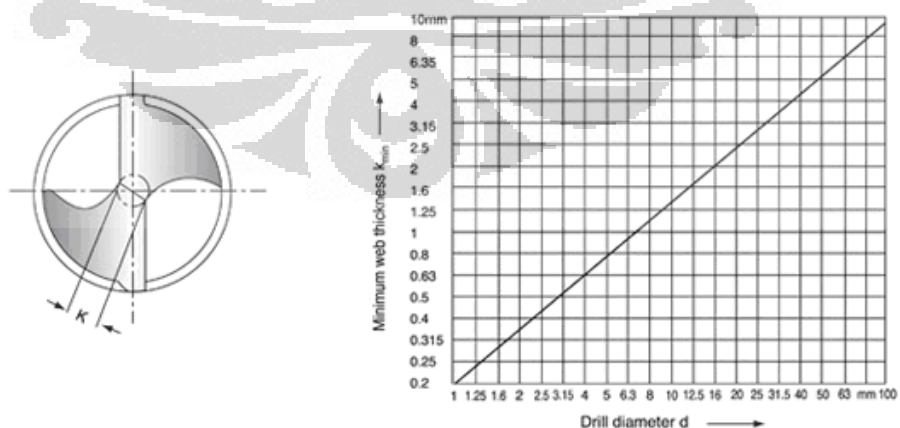
$\alpha_{xe} =$ Effective side clearance angle

$\beta_x =$ Side wedge angle (beta)

$\gamma_x =$ Front rake angle (gamma)

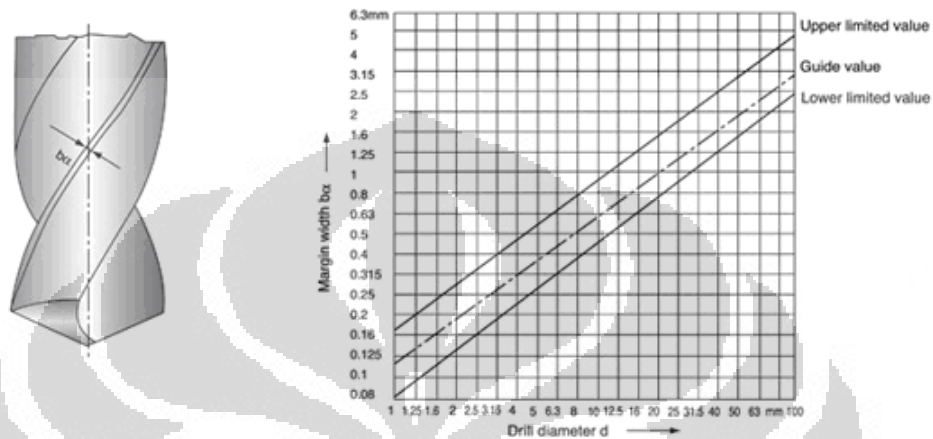
$\gamma_{xe} =$ Working front rake angle

$\eta =$ Resultant cutting speed angle (eta)



Gambar 2.23 Web thickness

(sumber: <http://www.tongyutools.com/title1/technology/technology.htm>)



Gambar 2.24 Margin

(sumber: <http://www.tongyutools.com/title1/technology/technology.htm>)

Gambar 2.24 merupakan jenis mata bor yang paling sering digunakan. Titik potong terletak di ujung alat. Pemotongan terjadi di dalam benda yang ingin dilubangi, juga satu-satunya jalan keluar bagi *chips* adalah melalui lubang itu sendiri, yaitu lubang tempat dimana ada mata bor tersebut. Dikarenakan arah pergerakan *chips* tersebut, maka proses lubrikasi juga menjadi lebih sulit dikarenakan terhambat oleh *chips* yang keluar.

Secara garis besar terdapat empat kerja yang terjadi, yaitu:

- Lubang kecil dibentuk oleh *web*
- *Chips* mulai terbentuk ketika *lips* yang berputar mengenai benda kerja
- *chips* dikeluarkan dari benda kerja dengan memanfaatkan ulir yang terdapat pada *flute*
- Dengan memanfaatkan dinding samping dari lubang, *margin* membantu untuk mengarahkan mata bor.

Fundamental of Drilling Process

Jenis mata bor konvensional yang paling banyak digunakan yaitu *two-flute drill* dengan diameter D , dimana memiliki dua mata potong pada putaran sebesar N dengan arah aksial. Maka besarnya putaran dari mata bor tersebut dapat diketahui dengan:

$$N = \frac{12V}{\pi D} \quad (2.26)$$

Dimana:

V = kecepatan potong (mm/min)

D = diameter (mm)

Berikut adalah tabel mengenai rekomendasi kecepatan potong dari mata bor:

Tabel 2.1 *HSS twist drill recommended speeds and point angles*

Steels	Point Angle	SFM
Steel < 180 HB	118	80-110
Steel 180-280 HB	118	45-70
Steel 280-380 HB	135-140	30-45
Steel >380 HB	135-140	15-25
Stainless Steels		
Stainless steel 200-300 series	135-140	20-40
Stainless steel 400 series and PH	118	30-60
Cast Iron		
	Point Angle	SFM

Gray cast iron < 180 HB	90	100-150
Gray cast iron 180-200 HB	118	70-100
Gray cast iron - > 200 HB	118	50-70
Ductile/Nodular cast iron	118	70-80
Cast Iron - chilled	135-140	25-35
High-temp alloys		
Inconel 600 series	135-140	15-30
Inconel X	135-140	10-15
Hastelloy	135-140	15-30
Titanium and titanium alloys	135-140	20-30
A-286	135-140	15-25
Monel	118	40-50
Non-ferrous		
Aluminum and aluminum alloys	118	200-300
Brass	111	150-250
Bronze	118	100-200
Copper	118	100-200

(Sumber: <http://www.carbidedepot.com/formulas-drills-speeds.htm>)

Tabel 2.2 HSS twist drill recommended feed rates by diameter

Diameter	Feed - IPR
1/4" to 5/16 "	.006" to.010"
3/8" to 7/16"	.008" to.012"
1/2" to 9/16"	.010" to.014"
5/8" to 11/16"	.012" to.016"

3/4" to 1 3/16"	.013" to .018"
7/8" to 1 1/8"	.015" to .025"
1 1/4" to 1 1/2"	.020" to .040"
Over 1 1/2"	.025" and up

(Sumber: <http://www.carbidedepot.com/formulas-drills-speeds.htm>)

Setelah mendapatkan besarnya nilai V yang kita inginkan melalui tabel di atas, maka kita dapat menghitung nilai N melalui persamaan di atas.

Sedangkan untuk lamanya waktu pengeboran,

$$T_m = \frac{(L + A)}{f_r N} = \frac{L + A}{f_m} \quad (2.27)$$

Untuk *Metal removal rate*, yaitu

$$\begin{aligned} MRR &= \frac{\text{volume}}{T_m} \\ &= \frac{\pi D^2 l / 4}{L / f_r N} \quad (\text{ommiting allowances}) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Yang dapat disederhanakan menjadi:

$$MRR = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) f_r N \quad (\text{in}^3 \text{ min}) \quad (2.29)$$

Tabel 2.3 *Drilling speed and coolant*

MATERIALS TO BE DRILLED	SPEED		COOLANT
	FEET PER MINUTE	METRES PER MINUTE	
Aluminum & Aluminum Alloys	200 to 300	61 to 92	Soluble Oil. Paraffin.
Bakelite - Vulcanite	100 to 150	30 to 46	Dry. If possible, keep the drill cool with air jet.
Brass	150 to 200	46 to 76	Dry. Soluble Oil.
Brass - Leaded	200 to 300	61 to 92	Dry. Soluble Oil.
Bronze - Ordinary	100 to 200	30 to 61	Soluble Oil.
Bronze - High Tensile	70 to 100	22 to 30	Soluble Oil.
Cast Iron - Soft	100 to 150	30 to 46	Dry. If possible, keep the drill cool with air jet.
Cast Iron - Medium	80 to 90	24 to 27	Soluble Oil.
Cast Iron - Hard	50 to 70	15 to 22	Dry. If possible, keep the drill cool with air jet.
Cast Iron - Chilled	25 to 35	8 to 11	Soluble Oil.
Copper	100 to 200	30 to 61	Soluble Oil.
Duralumin	100 to 200	30 to 61	Dry. Soluble Oil.
Magnesium & Magnesium Alloys	250 to 400	76 to 122	Dry. If possible, keep the drill cool with air jet.
Malleable Iron	70 to 80	22 to 24	Soluble Oil.
Mazak	200 to 300	61 to 91	Soluble Oil.
Monel Metal	40 to 50	12 to 15	Soluble Oil. Sulphurized Oil.
Slate, Stone, Marble	15 to 20	5 to 6	Dry. If possible, keep the drill cool with air jet.
Steel - Free Cutting Mild	100 to 150	30 to 46	Soluble Oil. Sulphurized Oil.
Steel - Up to 40 Tons Tensile	80 to 110	24 to 33	Soluble Oil. Sulphurized Oil.
Steel - 40 to 60 Tons Tensile	45 to 70	14 to 22	Soluble Oil. Sulphurized Oil.
Steel - 60 to 80 Tons Tensile	30 to 45	9 to 14	Soluble Oil. Sulphurized Oil.
Steel - Over 80 Tons Tensile	15 to 25	5 to 8	Soluble Oil. Sulphurized Oil.
Steel - Manganese 12%/14%	10 to 15	3 to 5	Dry.
Stainless Steels - Martensitic & Ferritic	30 to 50	9 to 15	Sulphurized Oil.
Stainless Steels - Austenitic & Heat Resisting	20 to 45	6 to 14	Sulphurized Oil.
Stainless Steels - Free Cutting (Ferritic)	50 to 60	15 to 18	Sulphurized Oil.
Stainless Steels - Free Cutting (Austenitic)	40 to 50	12 to 15	Sulphurized Oil.
Wood	300 to 400	92 to 122	Sulphurized Oil.

(Sumber: <http://diydata.com/tool>)

Jenis-Jenis mata bor

Mata bor memiliki berbagai macam jenis dan kegunaan. Berikut akan diuraikan jenis dari mata bor yang ada:

- Twist

Merupakan mata bor yang paling sering digunakan oleh orang-orang baik dengan menggunakan tenaga manusia ataupun listrik. Dengan bentuk ujungnya serta bentuk ulir seperti yang tampak pada **gambar** maka sisa hasil pengeboran dapat dibuang keluar serta dengan memanfaatkan margin, maka akan membantu agar arah mata bor tetap lurus.



Gambar 2.25 *Twist bits*

(Sumber: <http://diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php>)

Kebanyakan mata bor ini dibuat dengan menggunakan material:

- *High speed steel*, yang cocok digunakan untuk melubangi hampir semua tipe material, karena ketahanannya terhadap temperatur tinggi
- *Carbon steel*, untuk mata bor yang menggunakan material ini hanya dapat dipakai pada benda kerja berbahan dasar kayu tidak pada metal, dikarenakan sifatnya yang lebih getas.

Jenis *twist* biasanya tersedia dalam ukuran 0.8-12mm plus. Karena mereka dirancang untuk membuat lubang yang relatif kecil, karena mereka sering mengalami hambatan akibat dari sisa-sisa pengeboran yang terjebak di antara benda kerja dengan mata bor. Oleh karena itu di dalam pemakaiannya mata bor harus sering-sering diangkat.

- *Masonry*

Seperti namanya, bor ini dirancang untuk pemakaian pada benda kerja batu bata, batu-batuan, atau beton. Ujungnya biasa terbuat dari *tungsten carbide* yang dihubungkan dengan batang berbahan baja. Jenis ini biasa digunakan untuk pengeboran bahan yang keras, oleh karena itu kecepatan putaran juga harus dikurangi untuk mencegah peningkatan suhu yang drastis pada mata bor. Panjang yang biasanya tersedia adalah sekitar 300-400mm sedangkan untuk diameter sebesar 4 – 16mm.



Gambar 2.26 *Masonry bits*

(Sumber: <http://diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php>)

- *Spur Point*

Jenis ini memiliki titik tengah dan dua buah *spurs* yang menonjol keluar untuk membantu agar arah bor tetap lurus. Namun sayangnya mata bor ini

hanya dapat digunakan pada material kayu dan beberapa jenis plastik saja, karena kekuatan dari *spurs* yang kurang.

Ukuran yang tersedia biasanya sekitar 3 – 10mm



Gambar 2.27 *Spur point bits*

(Sumber: <http://diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php>)

- *Tile*

Mata bor yang digunakan untuk melubangi keramik dan kaca. Ujungnya terbuat dari bahan *ground tungsten carbide*. Dapat digunakan dengan memanfaatkan tenaga manusia, namun akan lebih efisien apabila dengan menggunakan tenaga listrik yang memiliki variasi kecepatan putar. Ketika melubangi kaca, dibutuhkan pelumasan khusus (*turpentine* atau *white spirit*) untuk menjaga mata bor tetap dingin.



Gambar 2.28 *Tile bits*

(Sumber: <http://diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php>)

- *Flat Wood*

Biasa digunakan untuk pekerjaan melubangi yang keras. Bagian ujungnya terdapat bagian runcing yang diikuti dengan permukaan pipih dengan ujung tepinya yang tajam. Mata bor ini dipergunakan untuk menghasilkan lubang yang cukup besar dan menghasilkan ujung lubang yang rata (dengan titik tengah). Mata bor ini harus dipergunakan sebelum membuat lubang yang tepat untuk baut.

Dan tidak cocok dipergunakan untuk memperbesar lubang yang telah ada. Untuk ukuran yang tersedia adalah sekitar 8 – 32mm.



Gambar 2.29 *Flat wood bits*

(Sumber: <http://diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php>)

○ *Hole Saw*

Dipergunakan untuk membuat lubang yang besar dengan diameter yang tetap pada benda berbahan dasar kayu atau plastik. Biasanya dapat melubangi sampai dengan kedalaman 18mm, atau juga lebih dalam lagi. Penggunaannya akan lebih efektif di dalam kecepatan putar yang rendah.



Gambar 2.30 *Hole saw bits*

(Sumber: <http://diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php>)

○ *Forstner*

Memiliki kegunaan yang sama dengan *spur pint*, namun permukaan ujung dari lubang tidak terdapat titik pusat, hal ini dikarenakan tidak adanya ujung mata bor yang mencuat keluar sebagai titik pusat, dengan tidak adanya pusat ini pun di dalam penggunaannya, mata bor ini akan lebih sulit dikendalikan.



Gambar 2.31 *Forstner bits*

(Sumber: <http://diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php>)

- o *Wood Auger*

Jenis ini sangat cocok dipergunakan untuk menghasilkan lubang yang besar dan dalam pada bahan kayu. Biasanya jenis ini cukup dengan mempergunakan tenaga manusia saja. Ujung dari bor ini akan melubangi permukaan benda kerja, kemudian ulir akan membantu mengeluarkan sisa-sisa dari pengeboran.



Gambar 2.32 *Wood auger bits*

(Sumber: <http://diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php>)

BAB 3

SIMULASI FEM DAN PROSES MANUFAKTUR

3.1 FEM

Data-data yang digunakan di dalam analisa menggunakan program ini berdasarkan atas perhitungan yang memanfaatkan metode teoritis seperti yang tercantum di dalam skripsi saudara Ricky. Namun perhitungan secara teoritis belum cukup untuk memastikan apakah komponen yang dirancang dengan ukuran sedemikian rupa cukup untuk menahan beban yang diberikan oleh roda. Pengujian dilakukan dengan memasukan parameter yang diperlukan, yaitu besar dan arah gaya yang bekerja, dimensi dari komponen, *constraint*. Sehingga dapat dihasilkan suatu *output* berupa analisa gaya, deformasi dan serta *safety factor* dari komponen tersebut.

Kali ini pengujian kamu lakukan terhadap setiap komponen besar yang ada pada alat kami, yaitu

- a. Base material
- b. Slide
- c. Lengan kiri
- d. Lengan kanan
- e. Lengan atas
- f. Plat utama
- g. Batang utama

3.1.1 Base Material

Dimensi : 4 x 5 mm (P x L)

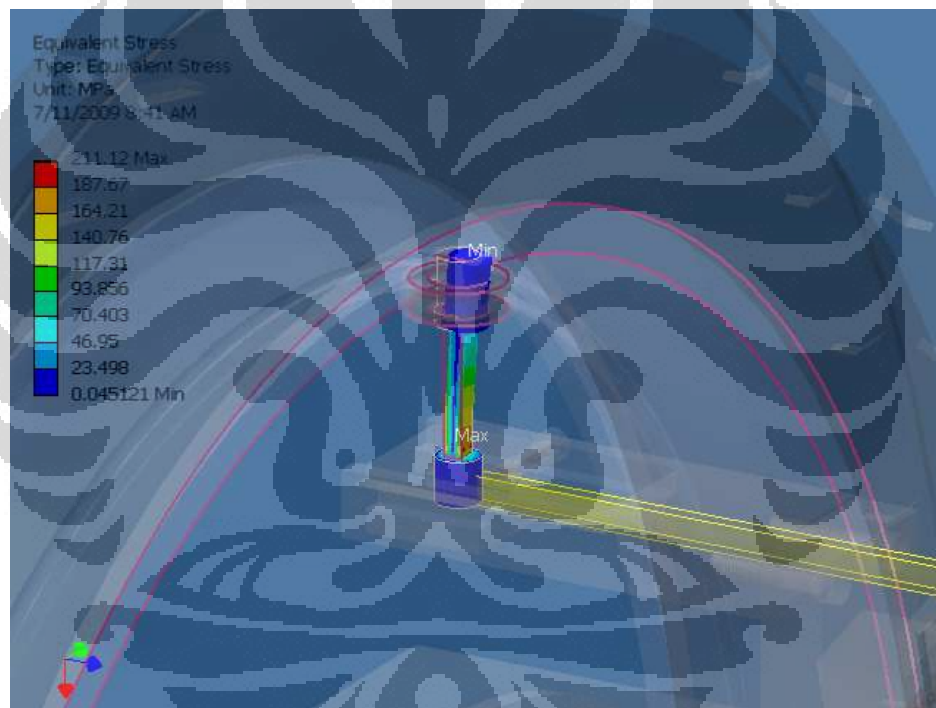
Gaya : 27.42 N

Properties :

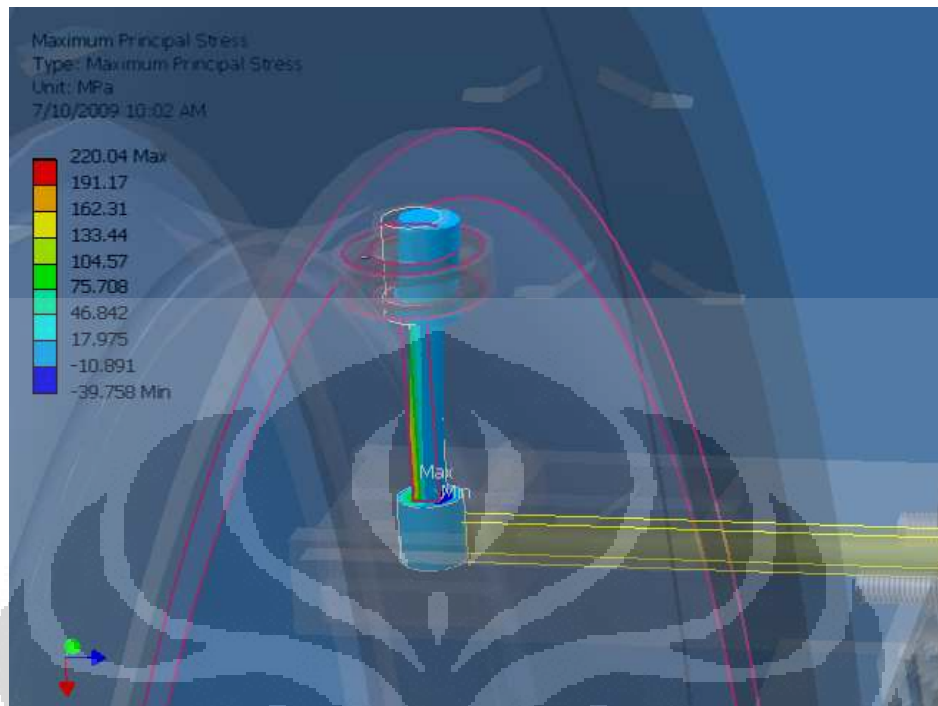
Tabel 3.1 *Material properties of aluminum 6061*

Young's Modulus	6.89e+004 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Mass Density	2.71e-006 kg/mm ³
Tensile Yield Strength	275.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	310.0 MPa

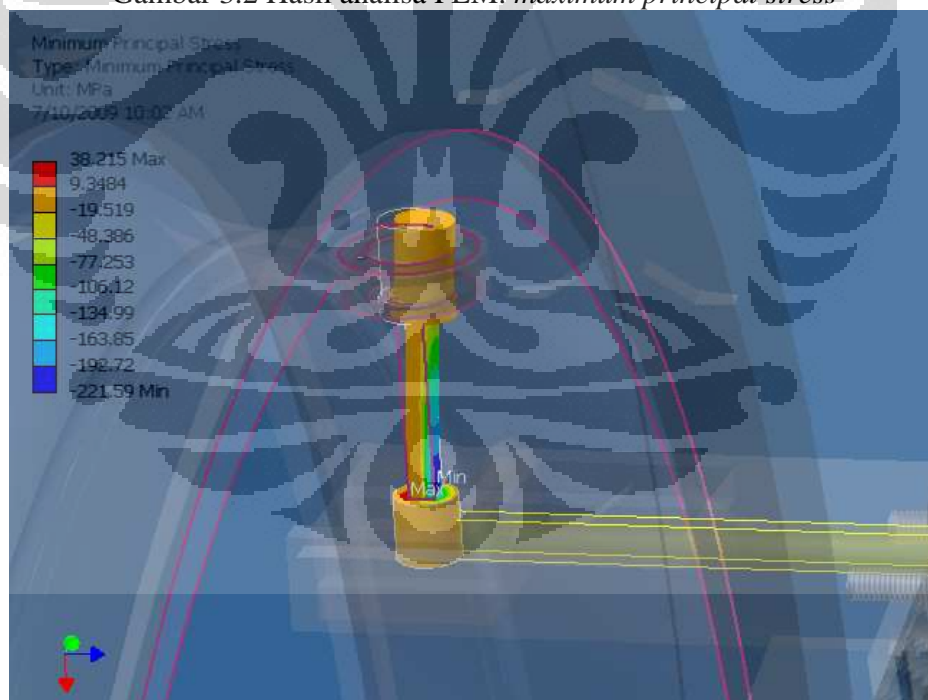
Hasil :

Gambar 3.1 Hasil analisa FEM: *Equivalent Stress*

Gambar di atas merupakan hasil analisa mengenai *equivalent stress*. Melalui gambar dapat diketahui bahwa nilai paling besar yang didapat adalah 246.1 Mpa yang terjadi pada pangkal *base material*.



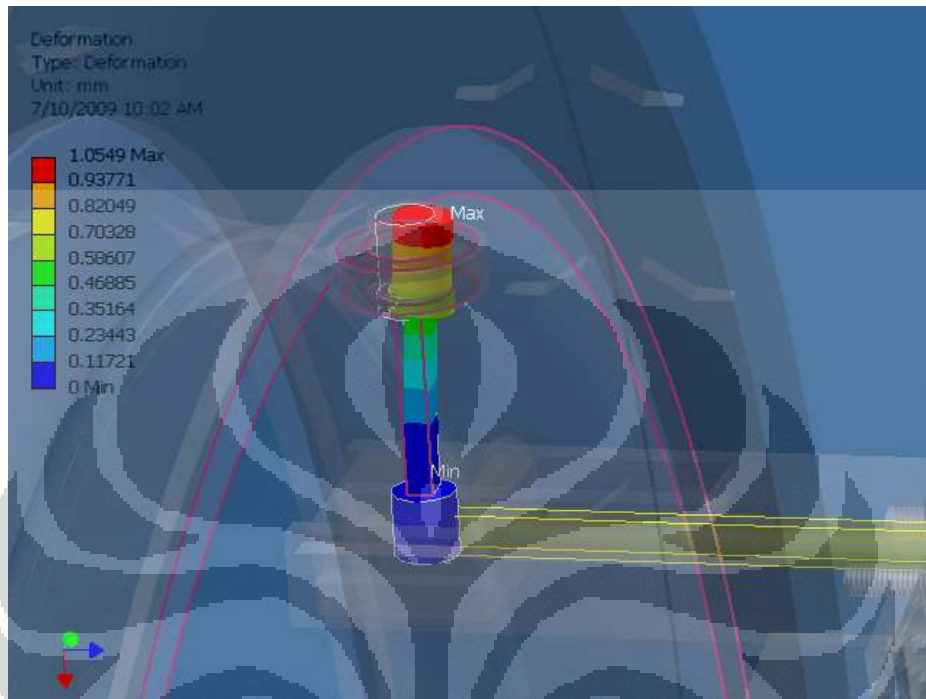
Gambar 3.2 Hasil analisa FEM: *maximum principal stress*



Gambar 3.3 Hasil analisa FEM: *minimum principal stress*

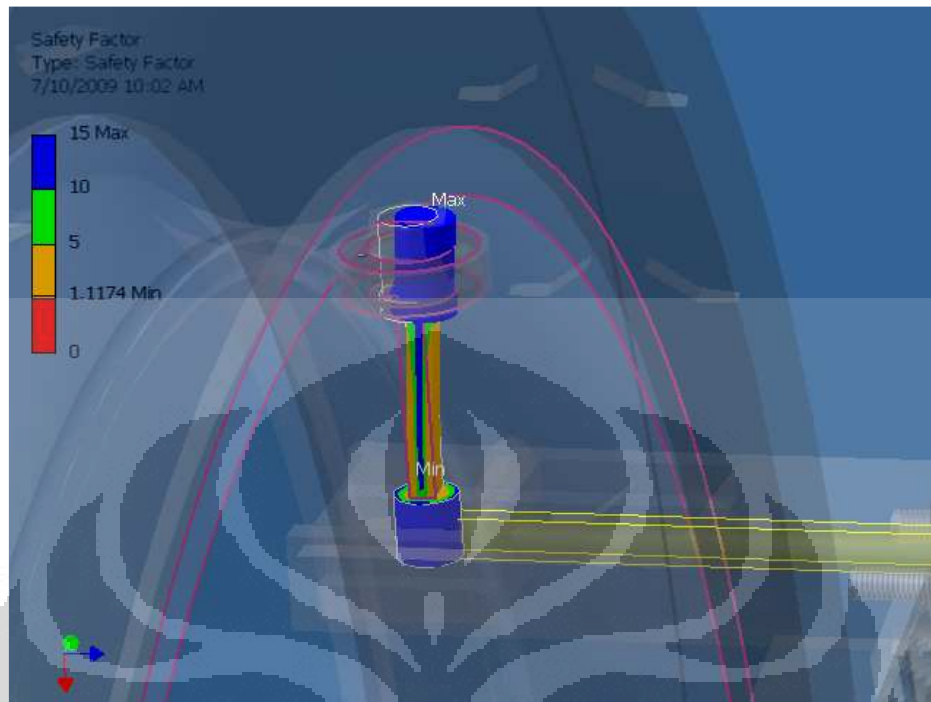
Pada gambar 3.2 dan 3.3 hasil analisa yang diberikan adalah *maximum* dan *minimum principal stress* yang merupakan nilai dimana *yield* akan muncul ketika nilai *maximum principle stress* melebihi *yield strength* dari material. Dari hasil

analisa didapatkan nilai *maximum principle stress* sebesar 220.04 Mpa, dan *minimum principle stress* sebesar 38.215 Mpa.



Gambar 3.4 Hasil Analisa FEM: *deformation*

Seperti yang telah kita ketahui deformasi merupakan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda akibat pemberian gaya atau pembebanan. Maka deformasi pada *base material* kami dapatkan sebesar 1.0549 mm.



Gambar 3.5 Hasil analisa FEM: *safety factor*

Besarnya *safety factor* menentukan tingkat keberhasilan hasil rancangan, semakin besar nilai *safety factor* maka kemungkinan hasil rancangan itu berhasil akan semakin besar. Serta terlihat pada gambar bahwa batas bawah *safety factor* adalah 1, sedangkan pada alat nilai minimum yang diperoleh hanyalah 1.1174. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material aluminium sudah tepat.

3.1.2 Slide

Dimensi : 40 x 100 x 15 mm (P x L x T)

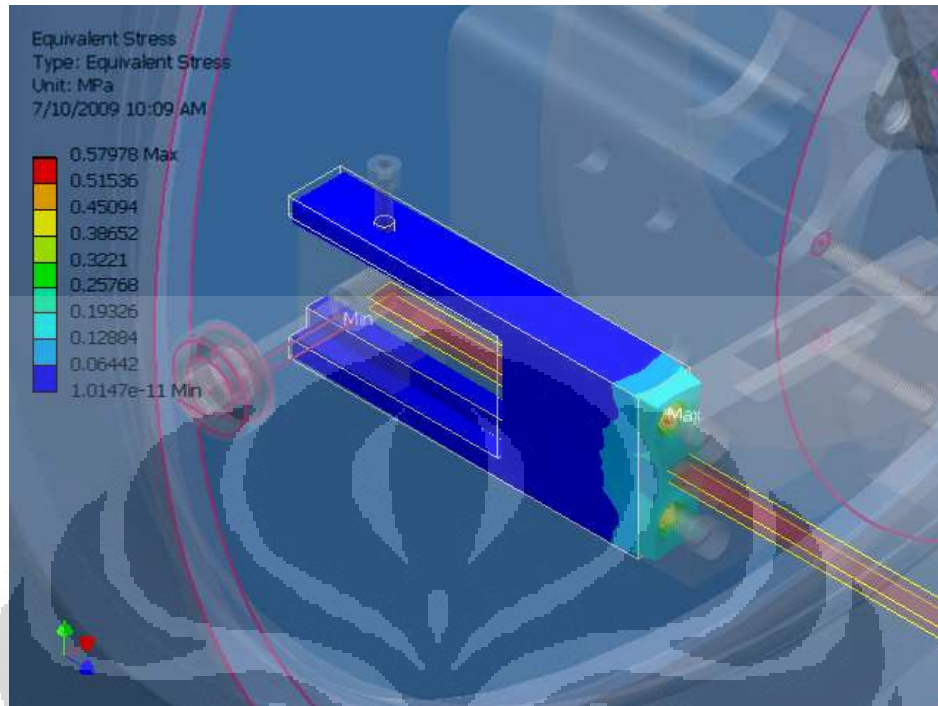
Gaya : 27.42 N

Properties :

Tabel 3.2 *Material properties of aluminum 6061*

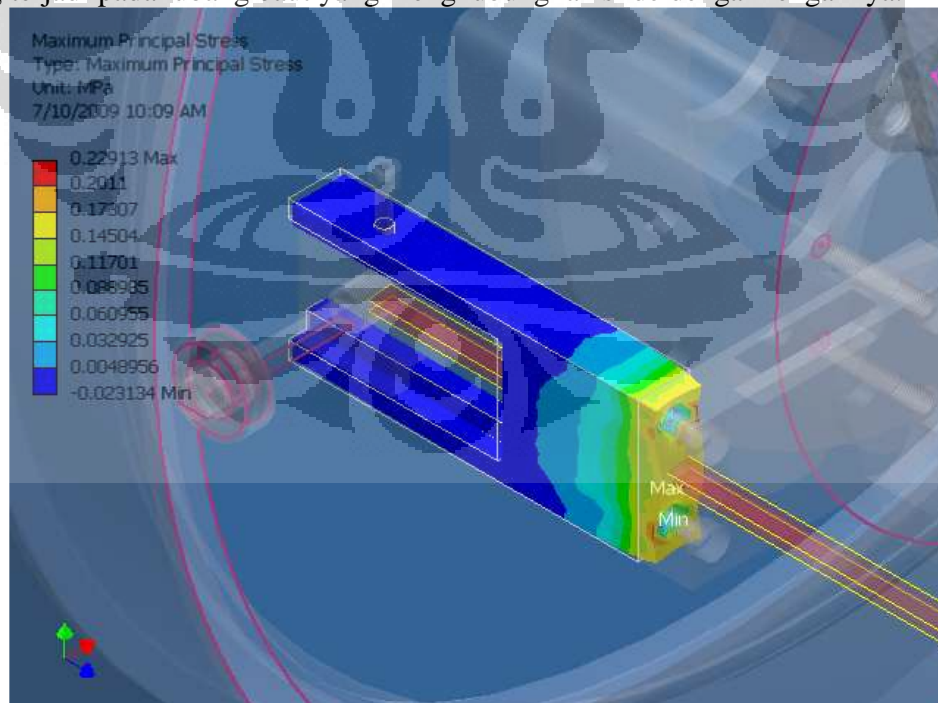
Young's Modulus	6.89e+004 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Mass Density	2.71e-006 kg/mm ³
Tensile Yield Strength	275.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	310.0 MPa

Hasil :

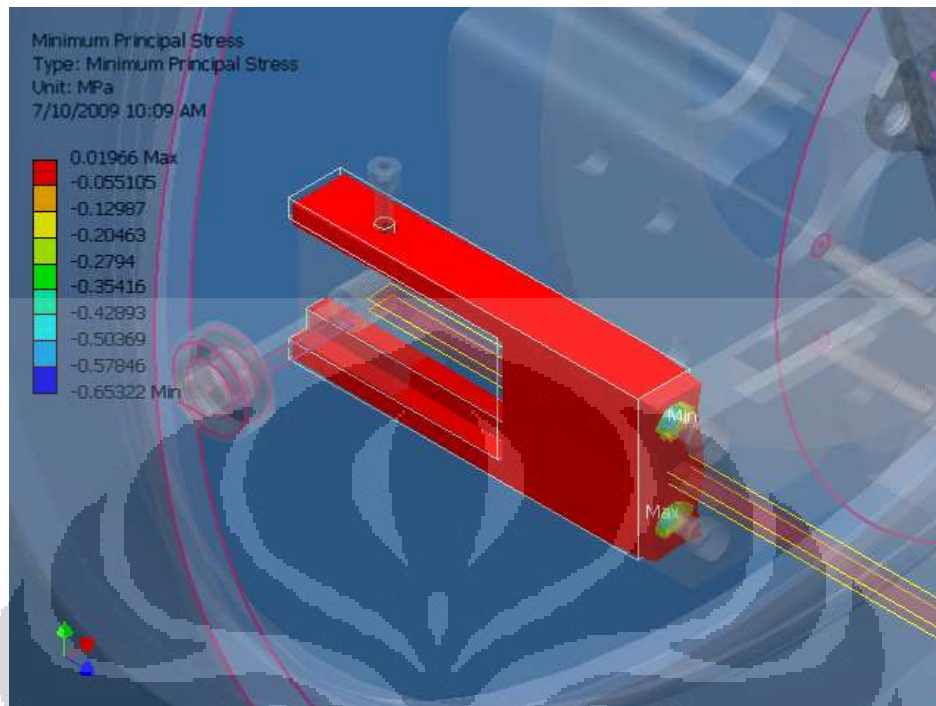


Gambar 3.6 Hasil analisa FEM: *equivalent stress*

Gambar di atas merupakan hasil analisa mengenai *equivalent stress*. Melalui gambar dapat diketahui bahwa nilai paling besar yang didapat adalah 0.57978 Mpa yang terjadi pada lubang baut yang menghubungkan slide dengan lengannya.

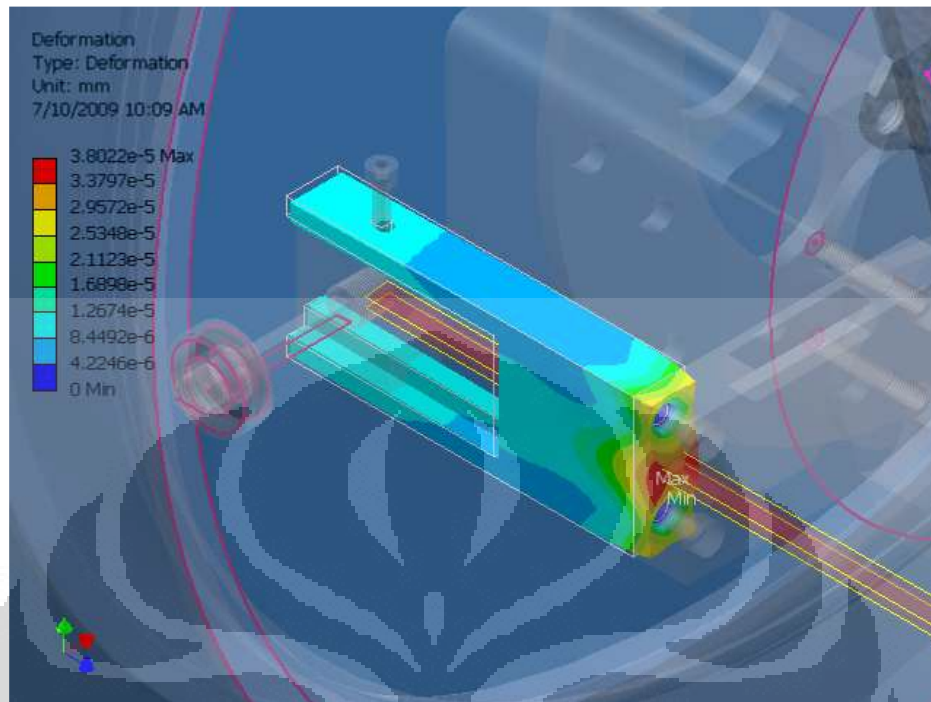


Gambar 3.7 Hasil analisa FEM: *maximum principal stress*



Gambar 3.8 Hasil analisa FEM: *minimum principal stress*

Pada gambar 3.7 dan 3.8 hasil analisa yang diberikan adalah *maximum* dan *minimum principal stress* yang merupakan nilai dimana *yield* akan muncul ketika nilai *maximum principle stress* melebihi *yield strength* dari material. Dari hasil analisa didapatkan nilai *maximum principle stress* sebesar 0.22913 Mpa, dan *minimum principle stress* sebesar 0.01966 Mpa.



Gambar 3.9 Hasil Analisa FEM: *deformation*

Seperti yang telah kita ketahui deformasi merupakan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda akibat pemberian gaya atau pembebanan. Maka deformasi pada *slide* kami dapatkan sebesar $3.8022 \cdot 10^{-5}$ mm.



Gambar 3.10 Hasil analisa FEM: *safety factor*

Besarnya *safety factor* menentukan tingkat keberhasilan hasil rancangan, semakin besar nilai *safety factor* maka kemungkinan hasil rancangan itu berhasil akan semakin besar. Serta terlihat pada gambar bahwa batas bawah *safety factor* adalah 1, sedangkan pada komponen menunjukan semua bagian memiliki nilai dalam rentang 10-15. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material aluminium sudah tepat.

3.1.3 Lengan Kiri

Dimensi : 40 x 80 x 15 mm (P x L x T)

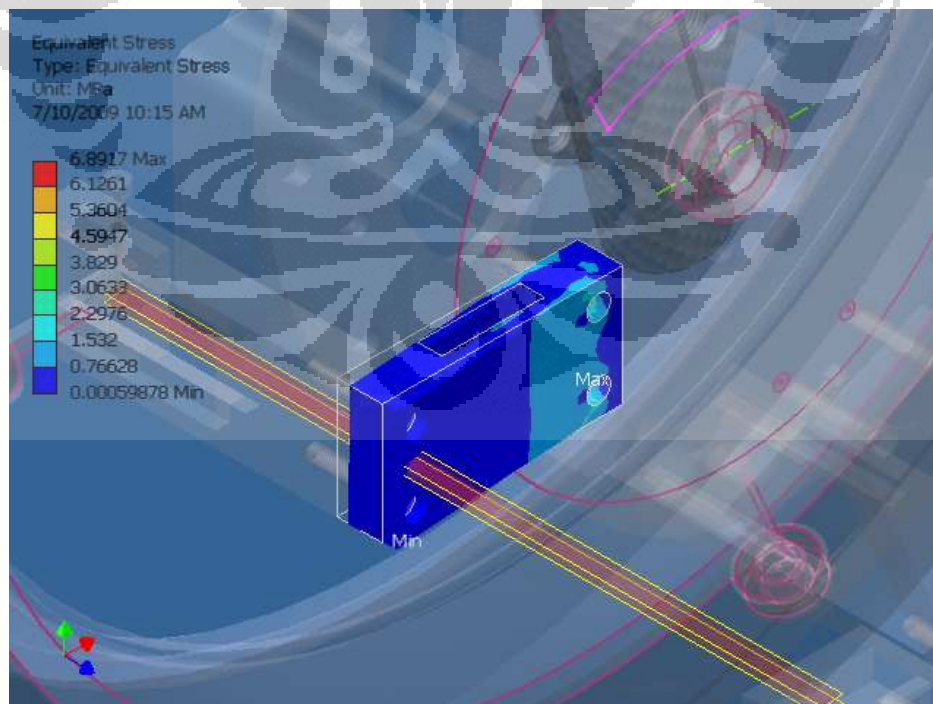
Gaya : 27.42 N

Properties :

Tabel 3.3 *Material properties of aluminum 6061*

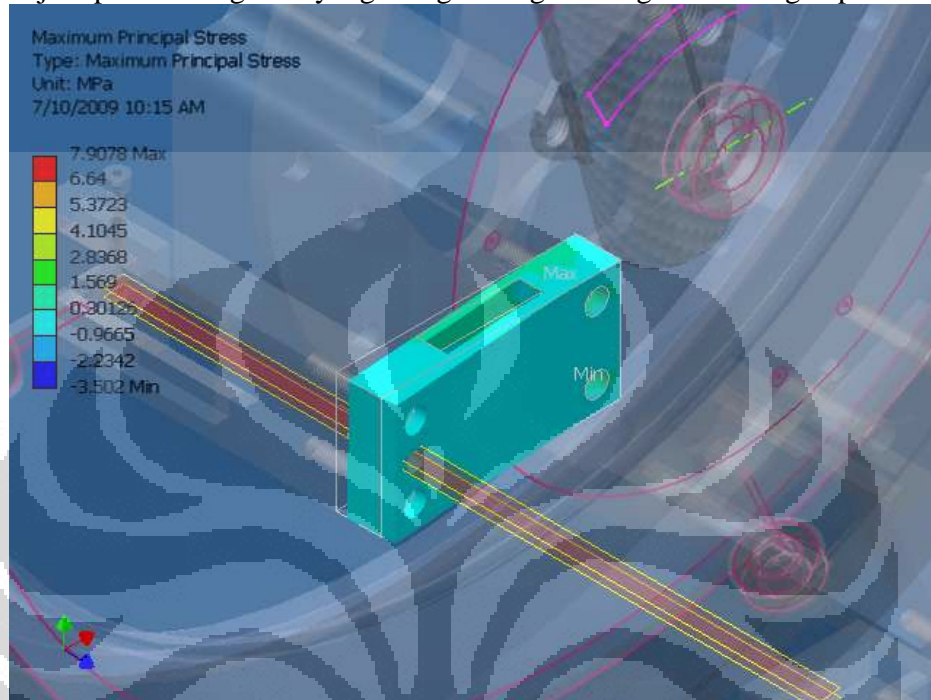
Young's Modulus	6.89e+004 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Mass Density	2.71e-006 kg/mm ³
Tensile Yield Strength	275.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	310.0 MPa

Hasil :

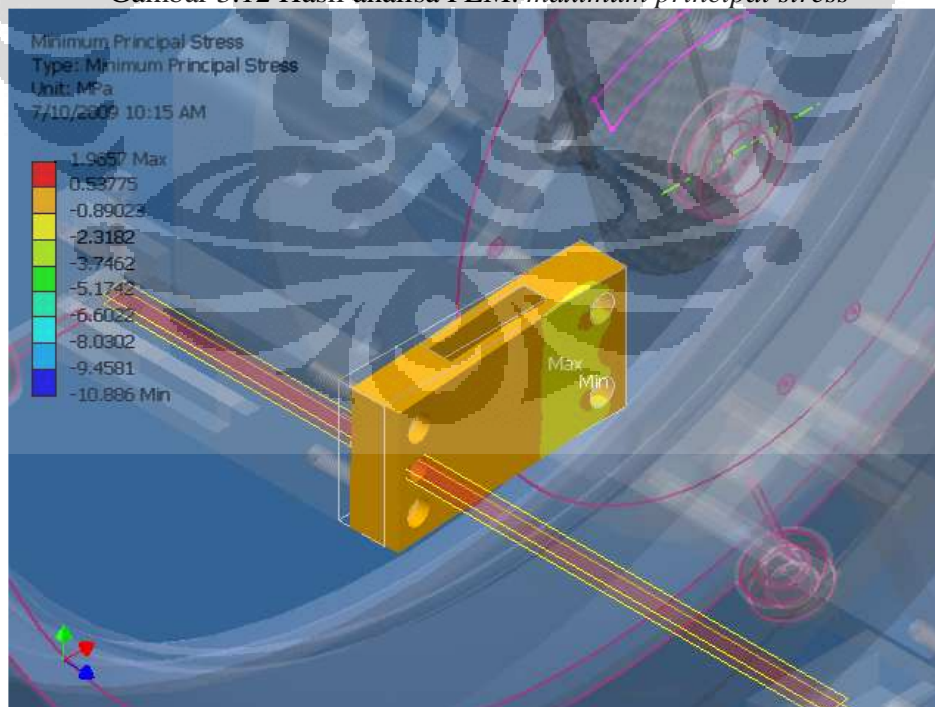


Gambar 3.11 Hasil analisa FEM: *equivalent stress*

Gambar di atas merupakan hasil analisa mengenai *equivalent stress*. Melalui gambar dapat diketahui bahwa nilai paling besar yang didapat adalah 6.8917 Mpa yang terjadi pada lubang baut yang menghubungkan lengan kiri dengan plat utama.

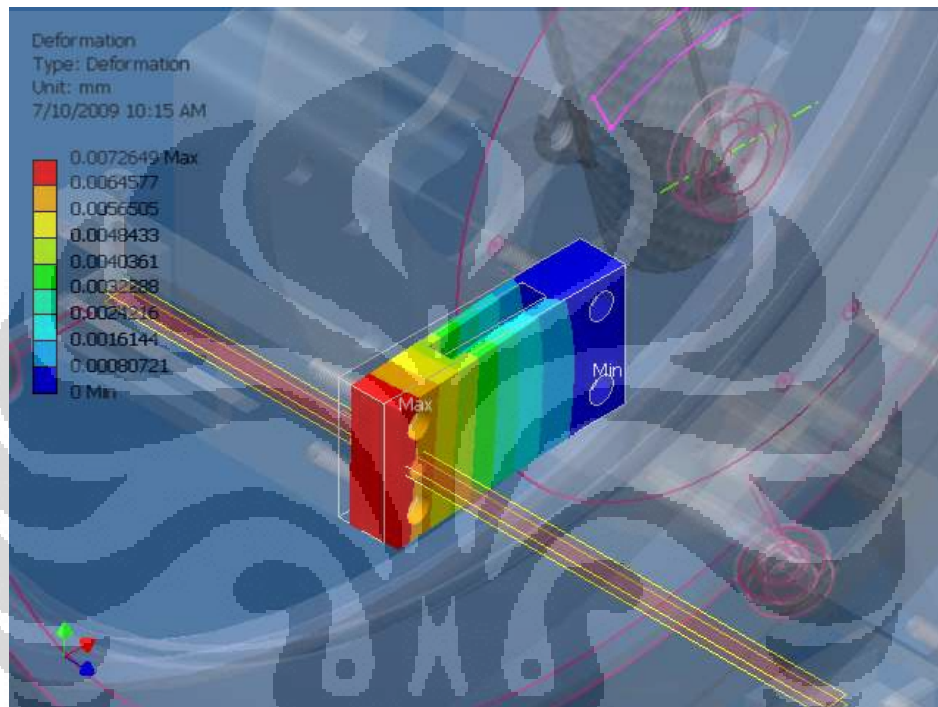


Gambar 3.12 Hasil analisa FEM: *maximum principal stress*



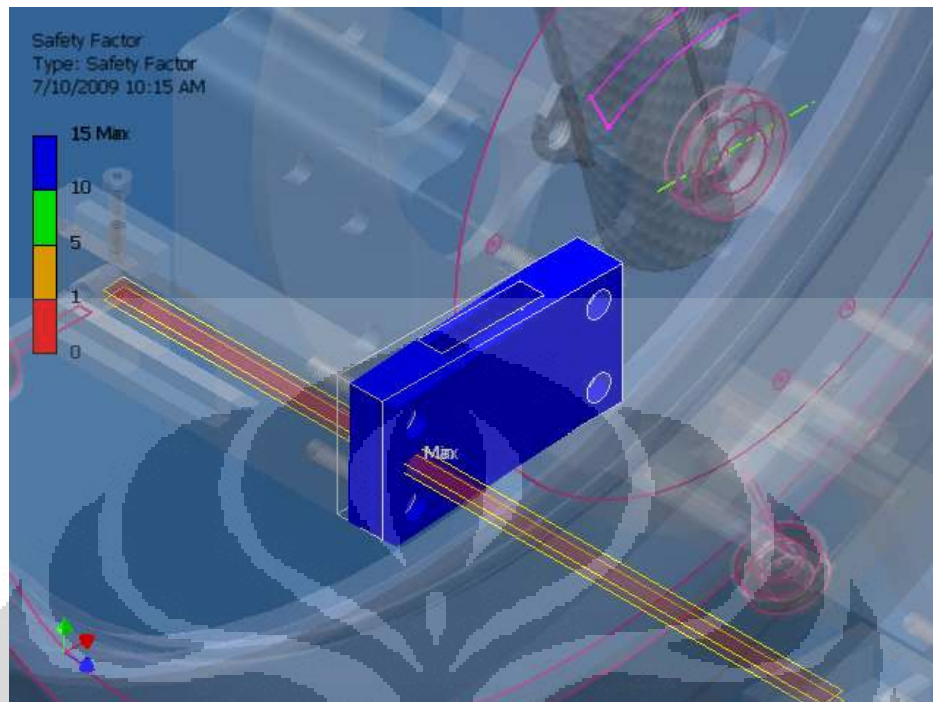
Gambar 3.13 Hasil analisa FEM: *minimum principal stress*

Pada gambar 3.12 dan 3.13 hasil analisa yang diberikan adalah *maximum* dan *minimum principal stress* yang merupakan nilai dimana *yield* akan muncul ketika nilai *maximum principle stress* melebihi *yield strength* dari material. Dari hasil analisa didapatkan nilai *maximum principle stress* sebesar 7.9078 Mpa, dan *minimum principle stress* sebesar 1.9657 Mpa.



Gambar 3.14 Hasil Analisa FEM: *deformation*

Seperti yang telah kita ketahui deformasi merupakan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda akibat pemberian gaya atau pembebanan. Maka deformasi pada lengan kiri kami dapatkan sebesar 0.0072649 mm.



Gambar 3.15 Hasil analisa FEM: *safety factor*

Besarnya *safety factor* menentukan tingkat keberhasilan hasil rancangan, semakin besar nilai *safety factor* maka kemungkinan hasil rancangan itu berhasil akan semakin besar. Serta terlihat pada gambar bahwa batas bawah *safety factor* adalah 1, sedangkan pada komponen menunjukan semua bagian memiliki nilai dalam rentang 10-15. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material aluminium sudah tepat.

3.1.4 Lengan Atas

Dimensi : 40 x 125 x 15 mm (P x L x T)

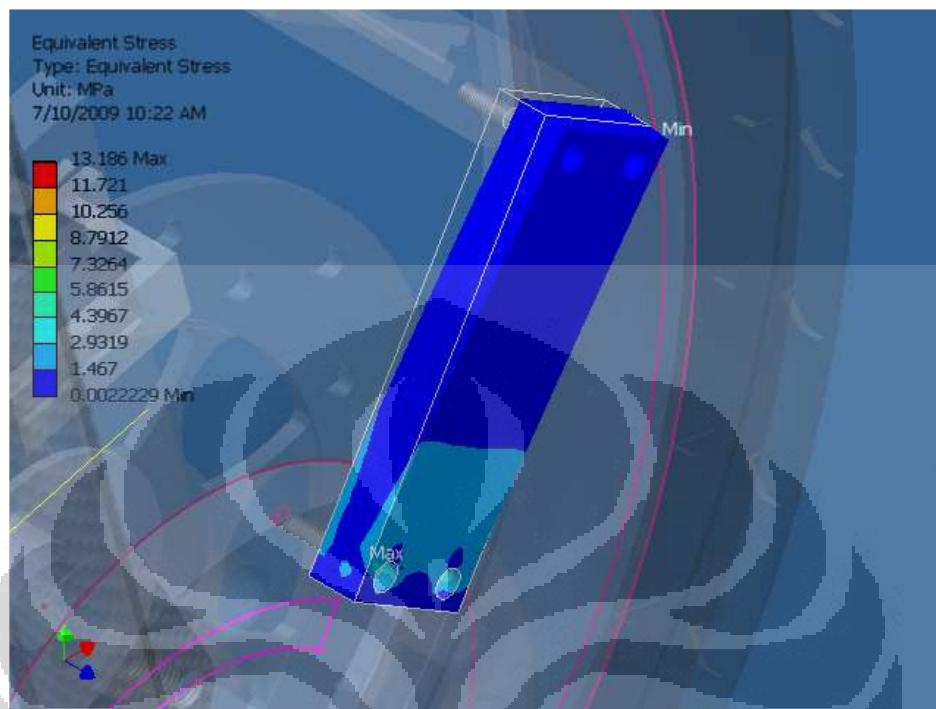
Gaya : 27.42 N

Properties :

Tabel 3.4 *Material properties of aluminum 6061*

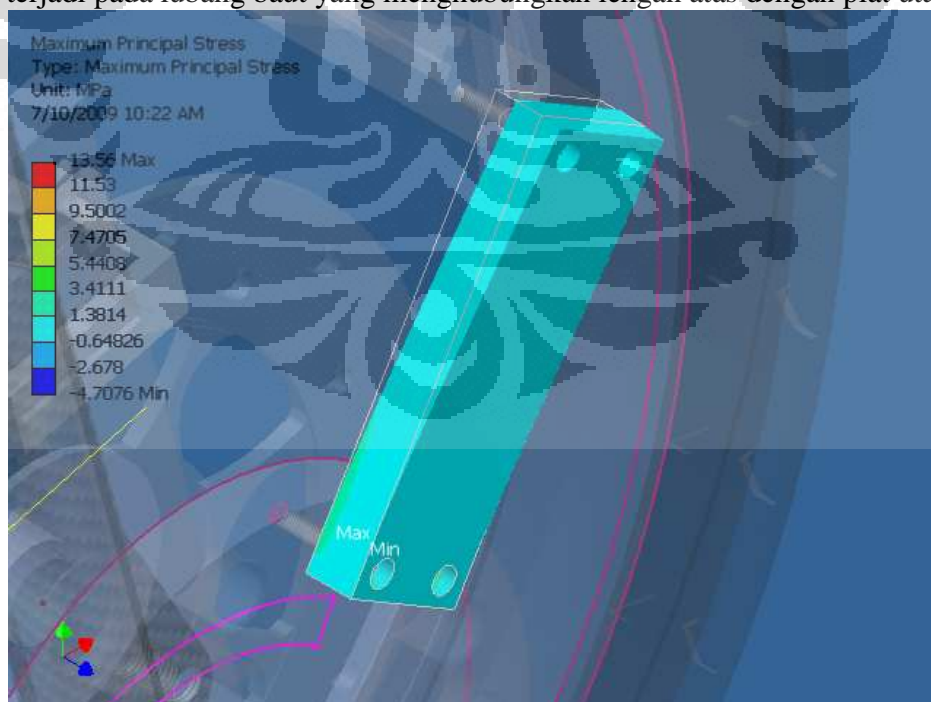
Young's Modulus	6.89e+004 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Mass Density	2.71e-006 kg/mm ³
Tensile Yield Strength	275.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	310.0 MPa

Hasil :

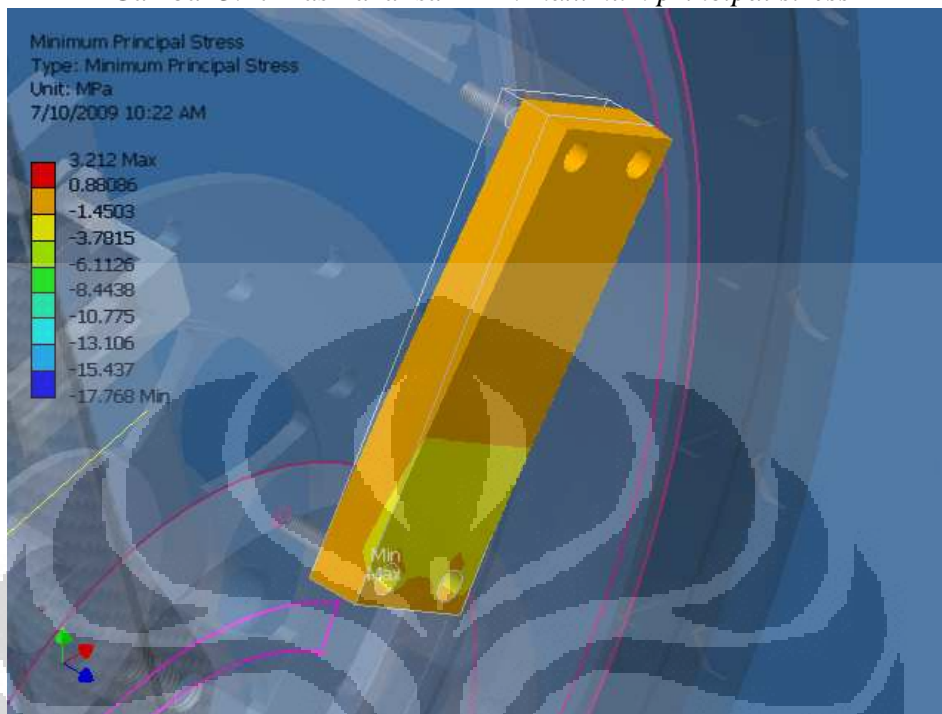


Gambar 3.16 Hasil analisa FEM: *equivalent stress*

Gambar di atas merupakan hasil analisa mengenai *equivalent stress*. Melalui gambar dapat diketahui bahwa nilai paling besar yang didapat adalah 13.186 Mpa yang terjadi pada lubang baut yang menghubungkan lengan atas dengan plat utama.

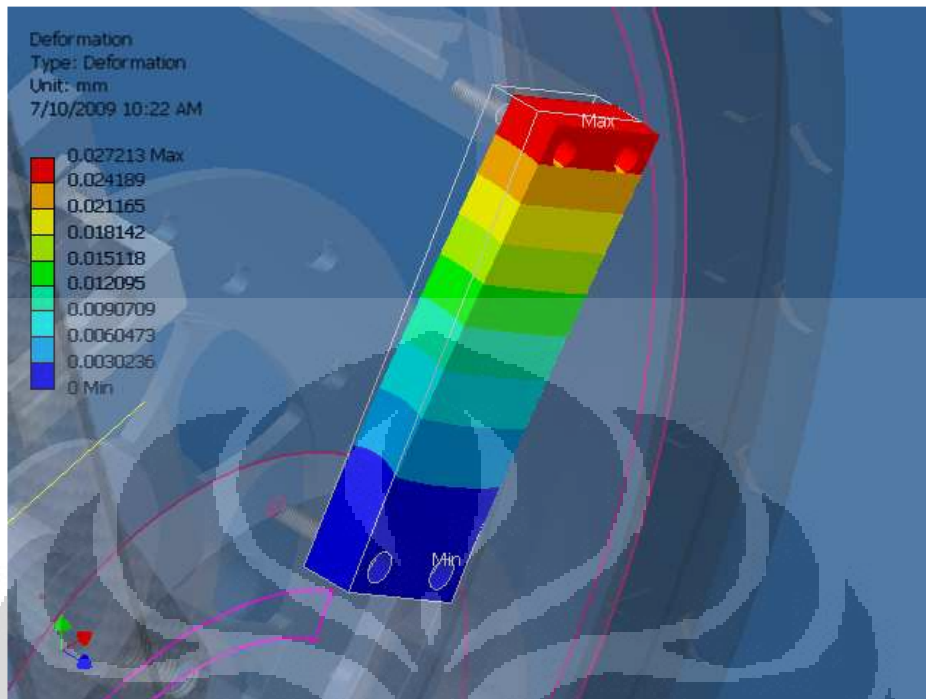


Gambar 3.17 Hasil analisa FEM: *maximum principal stress*



Gambar 3.18 Hasil analisa FEM: *minimum principal stress*

Pada gambar 3.17 dan 3.18 hasil analisa yang diberikan adalah *maximum* dan *minimum principal stress* yang merupakan nilai dimana *yield* akan muncul ketika nilai *maximum principle stress* melebihi *yield strength* dari material. Dari hasil analisa didapatkan nilai *maximum principle stress* sebesar 13.56 Mpa, dan *minimum principle stress* sebesar 3.212 Mpa.



Gambar 3.19 Hasil Analisa FEM: *deformation*

Seperi yang telah kita ketahui deformasi merupakan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda akibat pemberian gaya atau pembebanan. Maka deformasi pada lengan atas kami dapatkan sebesar 0.027721 mm.



Gambar 3.20 Hasil analisa FEM: *safety factor*

Besarnya *safety factor* menentukan tingkat keberhasilan hasil rancangan, semakin besar nilai *safety factor* maka kemungkinan hasil rancangan itu berhasil akan semakin besar. Serta terlihat pada gambar bahwa batas bawah *safety factor* adalah 1, sedangkan pada komponen menunjukkan semua bagian memiliki nilai dalam rentang 10-15. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material aluminium sudah tepat.

3.1.5 Lengan Bawah

Dimensi : 40 x 108 x 15 mm (P x L x T)

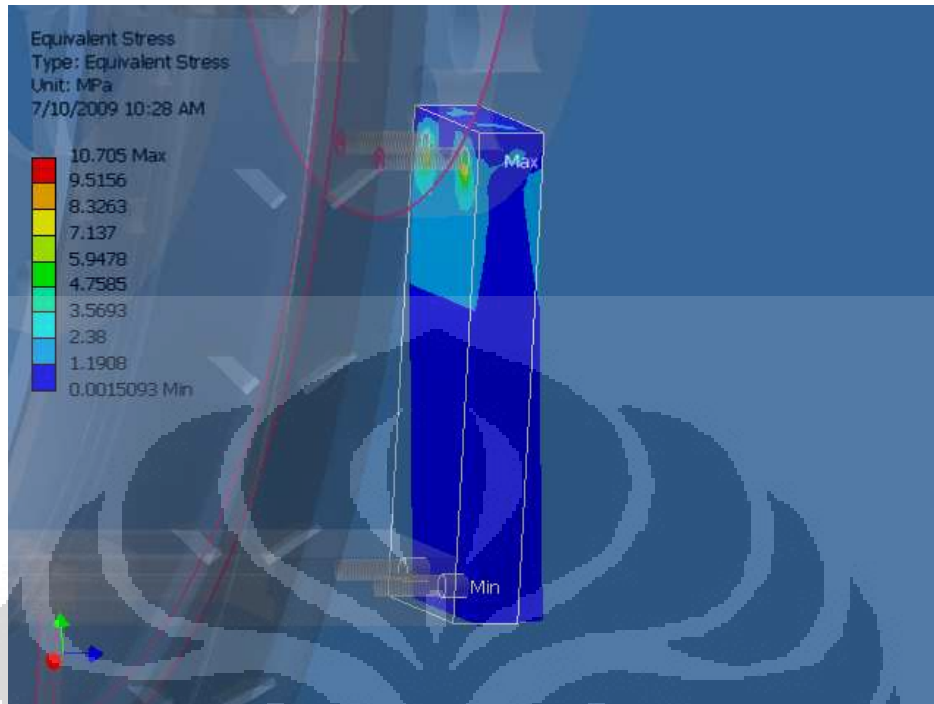
Gaya : 27.42 N

Properties :

Tabel 3.5 *Material properties of aluminum 6061*

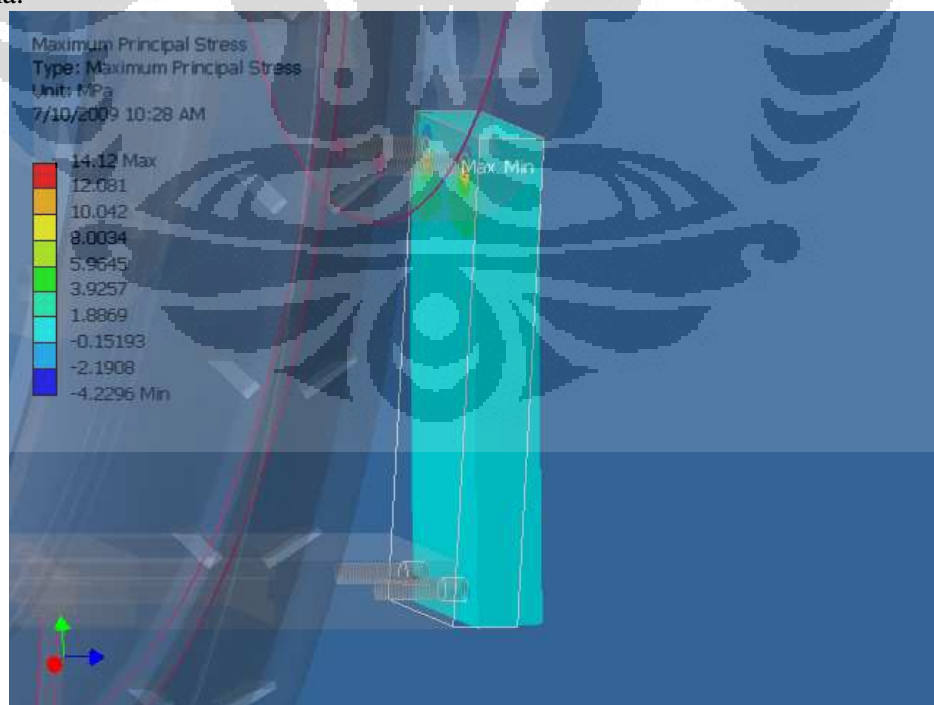
Young's Modulus	6.89e+004 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Mass Density	2.71e-006 kg/mm ³
Tensile Yield Strength	275.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	310.0 MPa

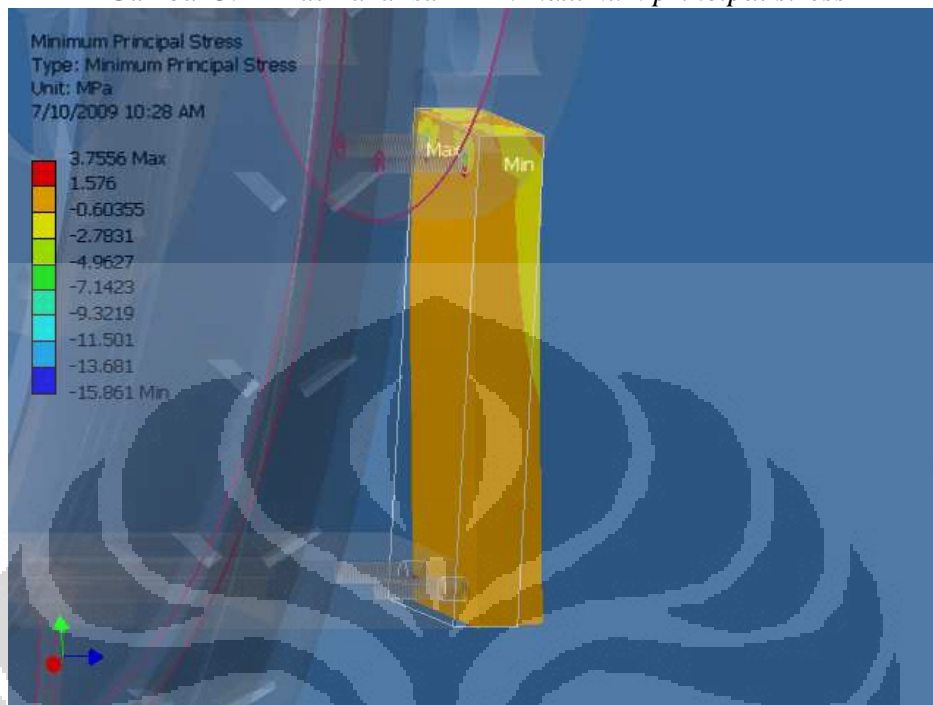
Hasil :



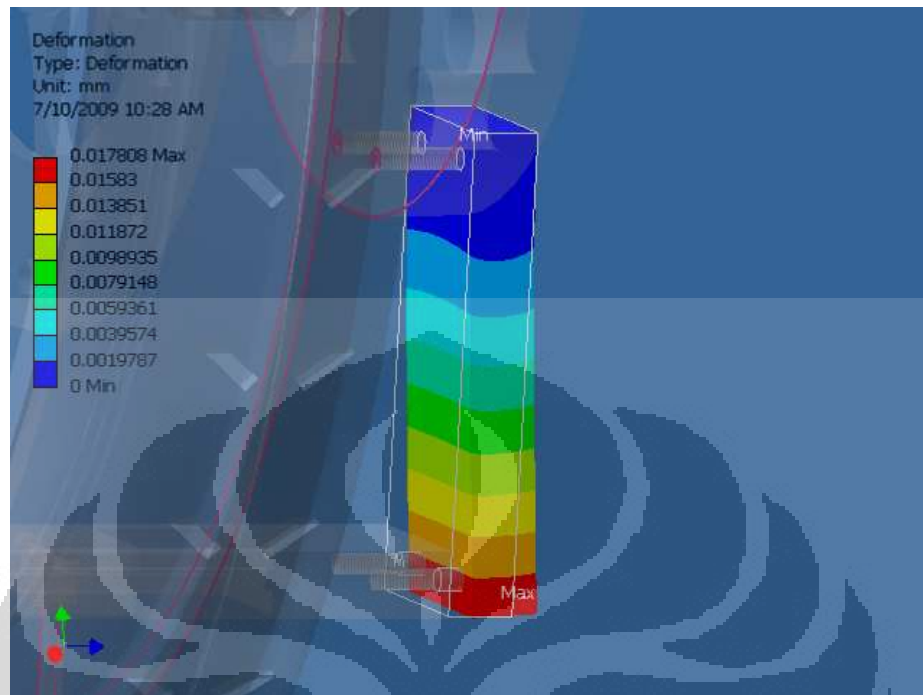
Gambar 3.21 Hasil analisa FEM: *equivalent stress*

Gambar di atas merupakan hasil analisa mengenai *equivalent stress*. Melalui gambar dapat diketahui bahwa nilai paling besar yang didapat adalah 10.705 Mpa yang terjadi pada lubang baut yang menghubungkan lengan bawah dengan plat utama.



Gambar 3.22 Hasil analisa FEM: *maximum principal stress*Gambar 3.23 Hasil analisa FEM: *minimum principal stress*

Pada gambar 3.22 dan 3.23 hasil analisa yang diberikan adalah *maximum* dan *minimum principal stress* yang merupakan nilai dimana *yield* akan muncul ketika nilai *maximum principle stress* melebihi *yield strength* dari material. Dari hasil analisa didapatkan nilai *maximum principle stress* sebesar 14.12 Mpa, dan *minimum principle stress* sebesar 3.7556 Mpa.



Gambar 3.24 Hasil Analisa FEM: *deformation*

Seperti yang telah kita ketahui deformasi merupakan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda akibat pemberian gaya atau pembebanan. Maka deformasi pada lengan atas kami dapatkan sebesar 0.0178 mm.



Gambar 3.25 Hasil analisa FEM: *safety factor*

Besarnya *safety factor* menentukan tingkat keberhasilan hasil rancangan, semakin besar nilai *safety factor* maka kemungkinan hasil rancangan itu berhasil akan semakin besar. Serta terlihat pada gambar bahwa batas bawah *safety factor* adalah 1, sedangkan pada komponen menunjukan semua bagian memiliki nilai dalam rentang 10-15. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material aluminium sudah tepat.

3.1.6 Plat Utama

Dimensi : D = 180mm; T = 20mm

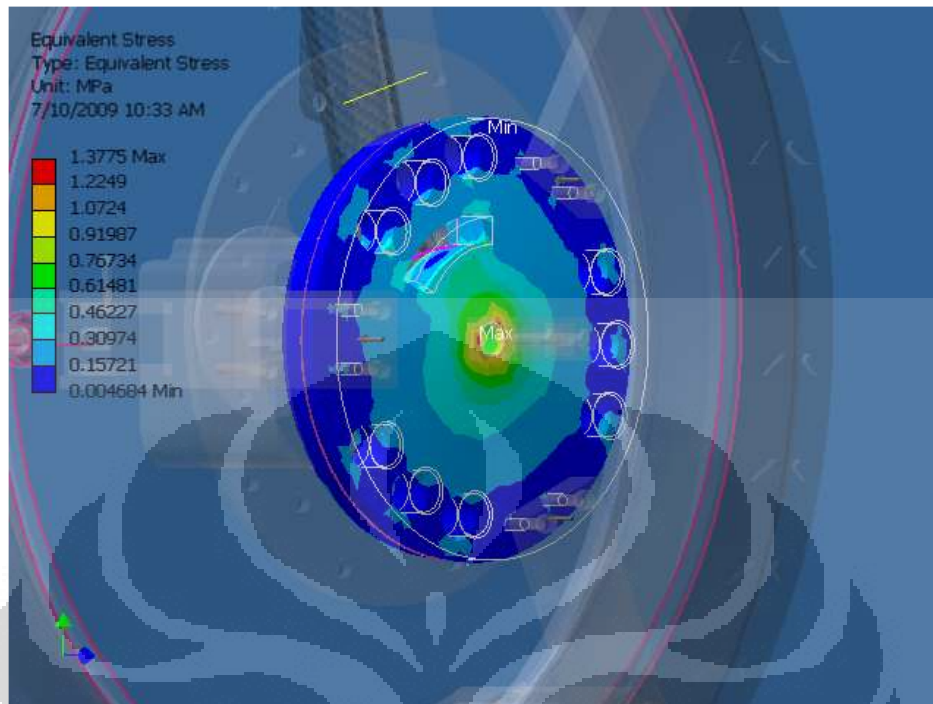
Gaya : 27.42 N

Properties :

Tabel 3.6 *Material properties of aluminum 6061*

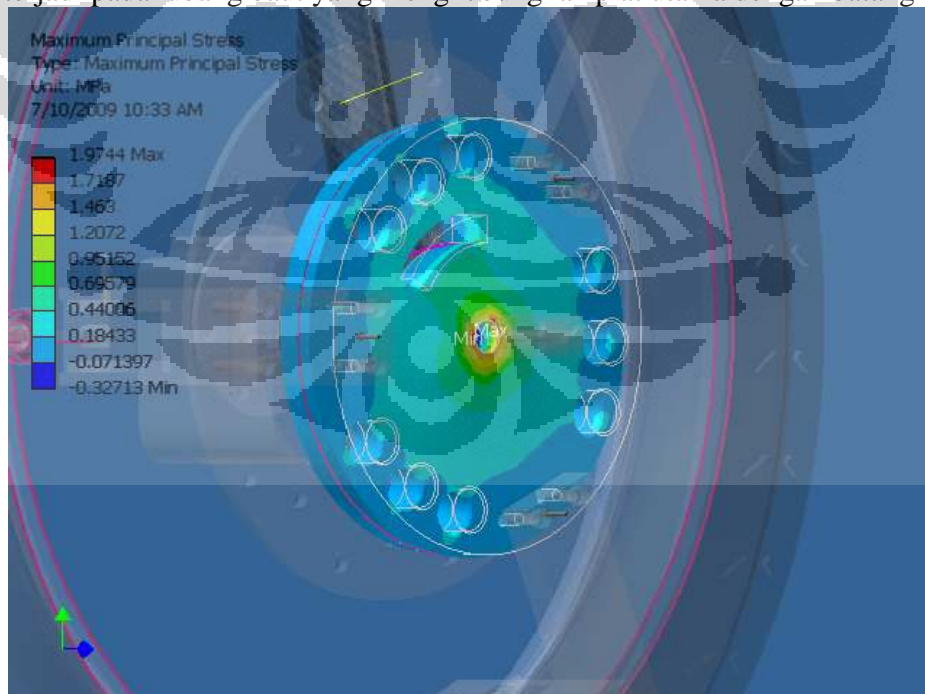
Young's Modulus	6.89e+004 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Mass Density	2.71e-006 kg/mm ³
Tensile Yield Strength	275.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	310.0 MPa

Hasil :

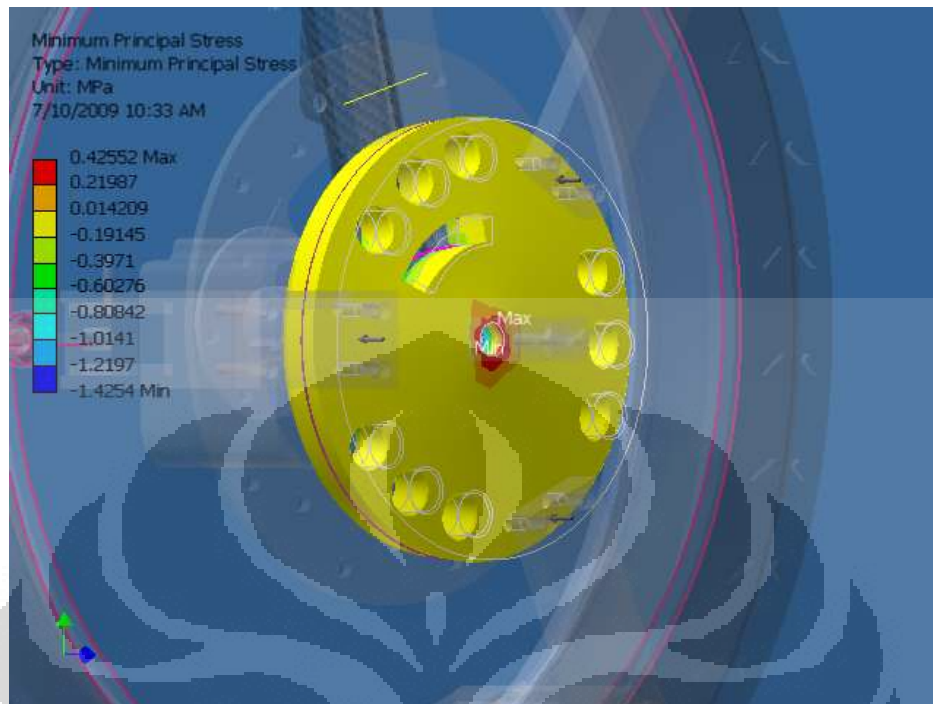


Gambar 3.26 Hasil analisa FEM: *equivalent stress*

Gambar di atas merupakan hasil analisa mengenai *equivalent stress*. Melalui gambar dapat diketahui bahwa nilai paling besar yang didapat adalah 1.3775 Mpa yang terjadi pada lubang baut yang menghubungkan plat utama dengan batang utama.

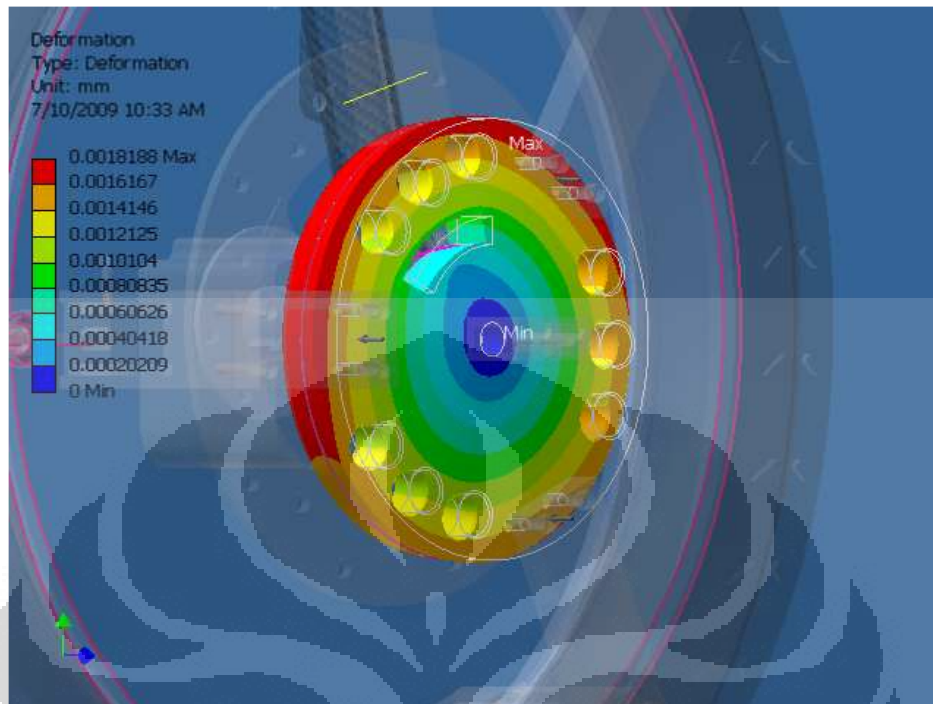


Gambar 3.27 Hasil analisa FEM: *maximum principal stress*



Gambar 3.28 Hasil analisa FEM: *minimum principal stress*

Pada gambar 3.27 dan 3.28 hasil analisa yang diberikan adalah *maximum* dan *minimum principal stress* yang merupakan nilai dimana *yield* akan muncul ketika nilai *maximum principle stress* melebihi *yield strength* dari material. Dari hasil analisa didapatkan nilai *maximum principle stress* sebesar 1.9744 Mpa, dan *minimum principle stress* sebesar 0.42552 Mpa.



Gambar 3.29 Hasil Analisa FEM: *deformation*

Seperti yang telah kita ketahui deformasi merupakan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda akibat pemberian gaya atau pembebanan. Maka deformasi pada plat utama kami dapatkan sebesar 0.00181 mm.



Gambar 3.30 Hasil analisa FEM: *safety factor*

Besarnya *safety factor* menentukan tingkat keberhasilan hasil rancangan, semakin besar nilai *safety factor* maka kemungkinan hasil rancangan itu berhasil akan semakin besar. Serta terlihat pada gambar bahwa batas bawah *safety factor* adalah 1, sedangkan pada komponen menunjukan semua bagian memiliki nilai dalam rentang 10-15. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material aluminium sudah tepat.

3.1.7 Batang Utama

Dimensi : 40 x 250 x 15 (P x L x T)

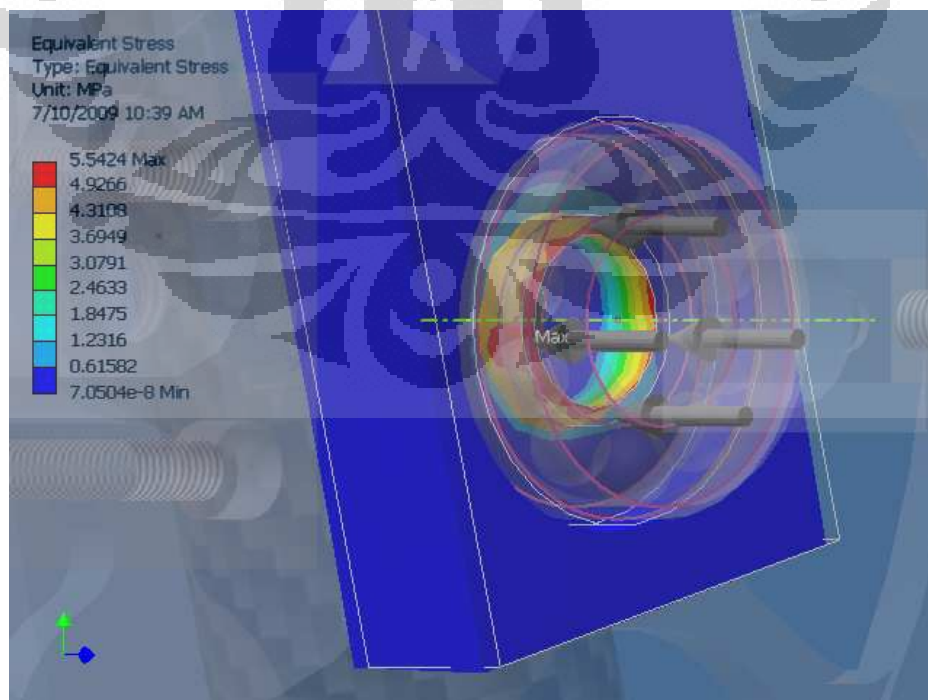
Gaya : 27.42 N

Properties :

Tabel 3.7 Material properties of aluminum 6061

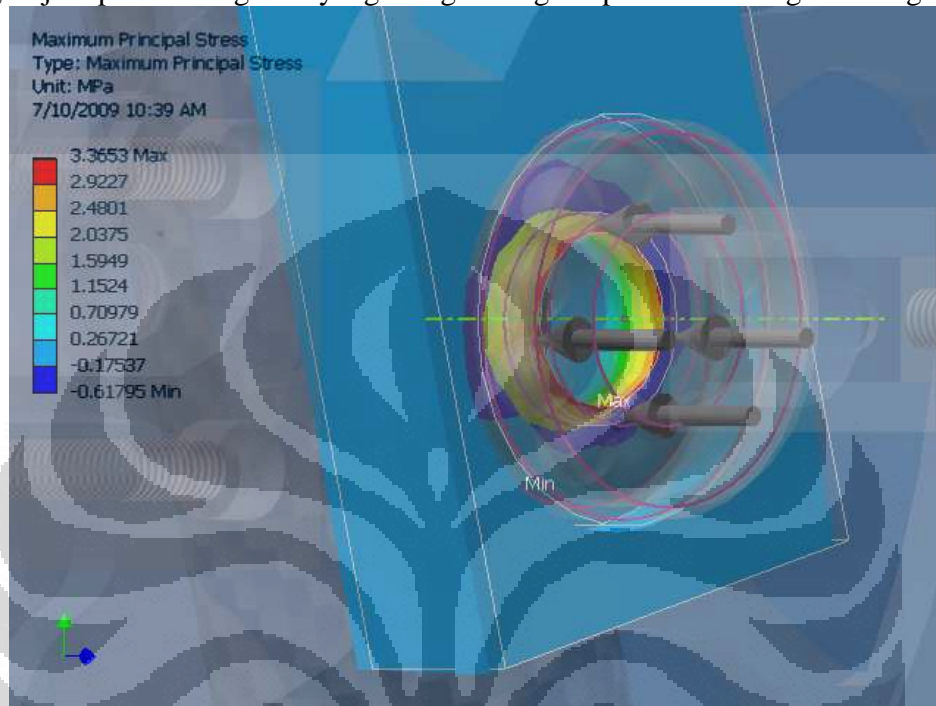
Young's Modulus	6.89e+004 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Mass Density	2.71e-006 kg/mm ³
Tensile Yield Strength	275.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	310.0 MPa

Hasil :



Gambar 3.31 Hasil analisa FEM: *equivalent stress*

Gambar di atas merupakan hasil analisa mengenai *equivalent stress*. Melalui gambar dapat diketahui bahwa nilai paling besar yang didapat adalah 5.5424 Mpa yang terjadi pada lubang baut yang menghubungkan plat utama dengan batang utama.



Gambar 3.32 Hasil analisa FEM: *maximum principal stress*



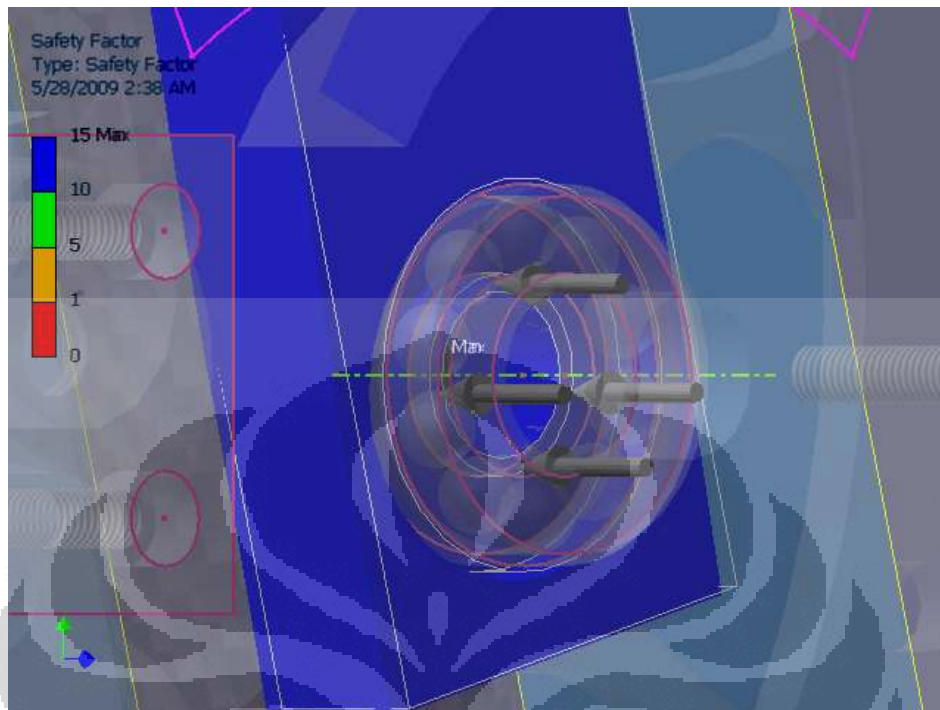
Gambar 3.33 Hasil analisa FEM: *minimum principal stress*

Pada gambar 3.32 dan 3.33 hasil analisa yang diberikan adalah *maximum* dan *minimum principal stress* yang merupakan nilai dimana *yield* akan muncul ketika nilai *maximum principle stress* melebihi *yield strength* dari material. Dari hasil analisa didapatkan nilai *maximum principle stress* sebesar 3.3653 Mpa, dan *minimum principle stress* sebesar 0.021196 Mpa.



Gambar 3.34 Hasil Analisa FEM: *deformation*

Seperti yang telah kita ketahui deformasi merupakan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda akibat pemberian gaya atau pembebanan. Maka deformasi pada batang utama kami dapatkan sebesar $1.5 \cdot 10^{-4}$ mm.



Gambar 3.35 Hasil analisa FEM: *safety factor*

Besarnya *safety factor* menentukan tingkat keberhasilan hasil rancangan, semakin besar nilai *safety factor* maka kemungkinan hasil rancangan itu berhasil akan semakin besar. Serta terlihat pada gambar bahwa batas bawah *safety factor* adalah 1, sedangkan pada komponen menunjukan semua bagian memiliki nilai dalam rentang 10-15. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material aluminium sudah tepat.

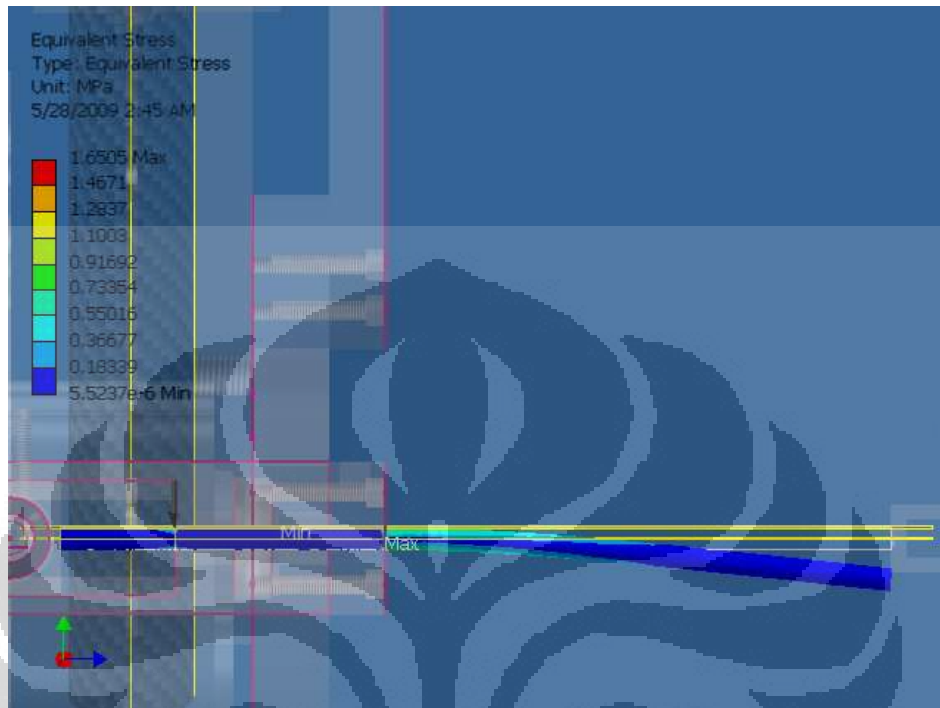
3.1.8 Batang Sporing

Dimensi : D = 6 mm, T = 250 mm
Gaya : 0.4 N
Properties :

Tabel 3.8 *Material properties of steel*

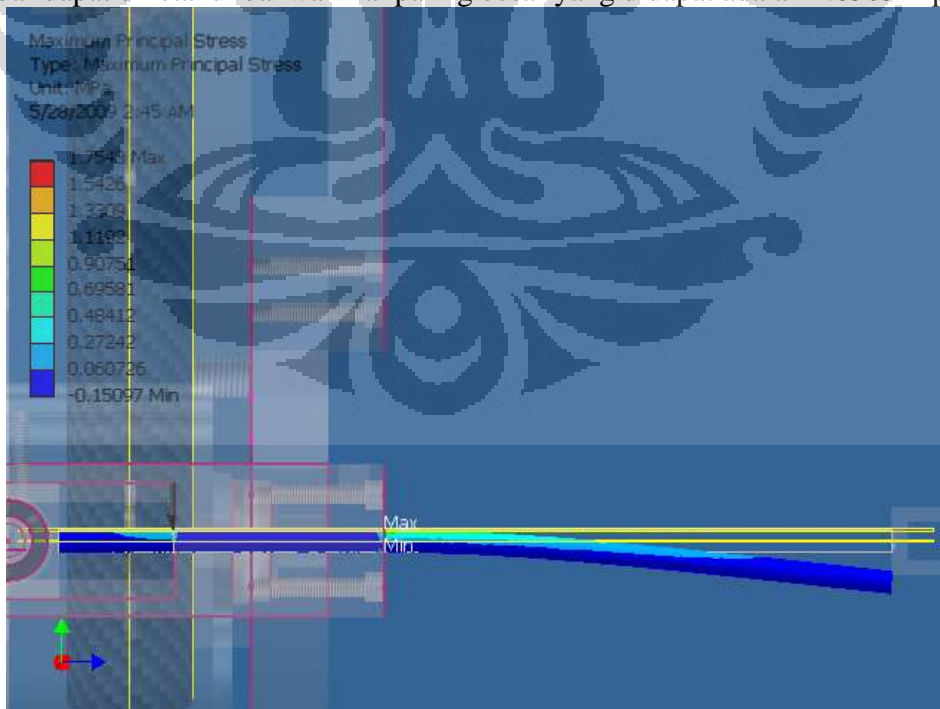
Young's Modulus	1.93e+005 MPa
Poisson's Ratio	0.3
Mass Density	8.08e-006 kg/mm ³
Tensile Yield Strength	250.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	0.0 MPa

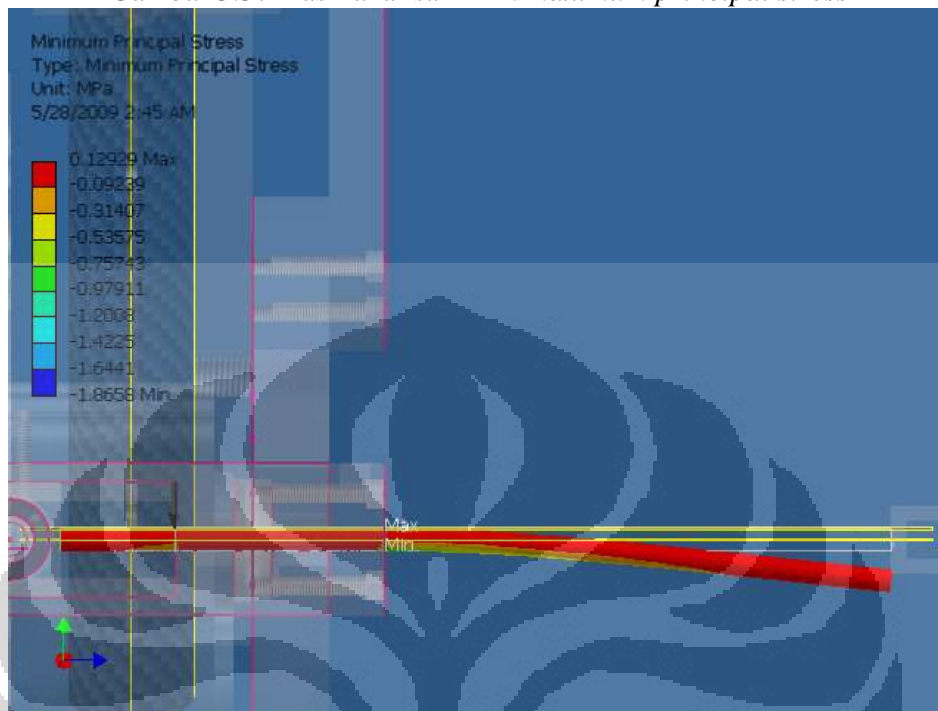
Hasil :



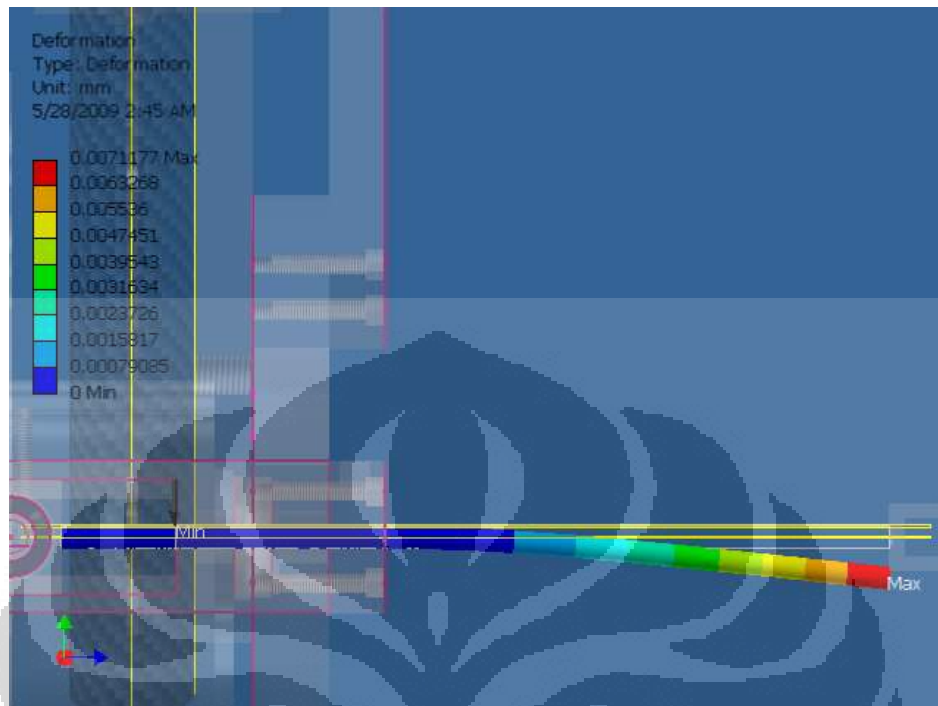
Gambar 3.36 Hasil analisa FEM: *equivalent stress*

Gambar di atas merupakan hasil analisa mengenai *equivalent stress*. Melalui gambar dapat diketahui bahwa nilai paling besar yang didapat adalah 1.6505 Mpa.



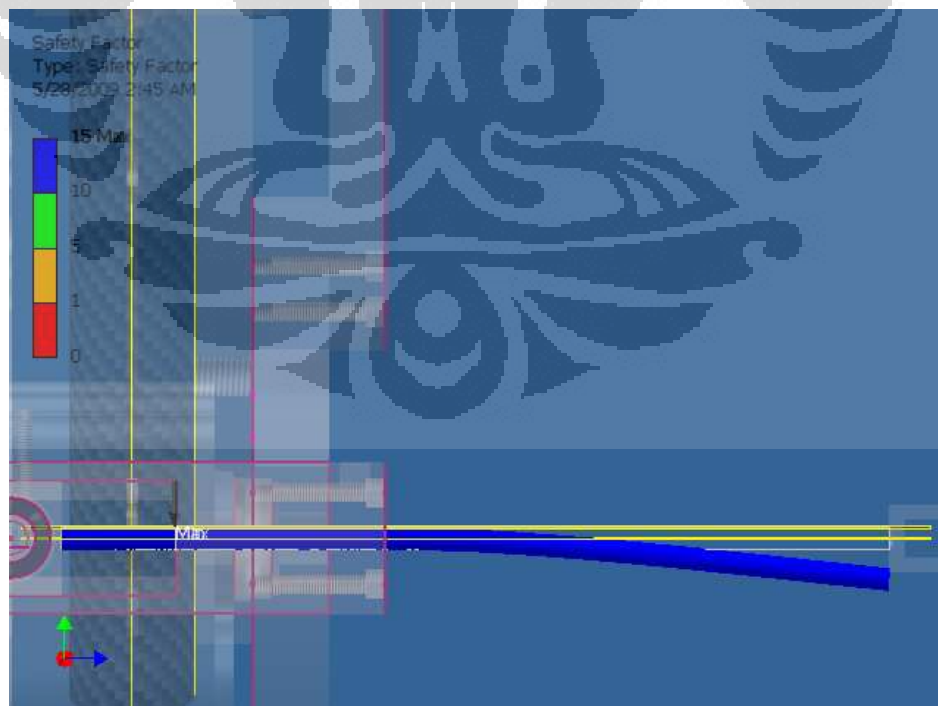
Gambar 3.37 Hasil analisa FEM: *maximum principal stress*Gambar 3.38 Hasil analisa FEM: *minimum principal stress*

Pada gambar 3.37 dan 3.38 hasil analisa yang diberikan adalah *maximum* dan *minimum principal stress* yang merupakan nilai dimana *yield* akan muncul ketika nilai *maximum principle stress* melebihi *yield strength* dari material. Dari hasil analisa didapatkan nilai *maximum principle stress* sebesar 1.7543 Mpa, dan *minimum principle stress* sebesar 0.12929 Mpa.



Gambar 3.39 Hasil Analisa FEM: *deformation*

Seperti yang telah kita ketahui deformasi merupakan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda akibat pemberian gaya atau pembebanan. Maka deformasi pada batang utama kami dapatkan sebesar 0.00711 mm.



Gambar 3.40 Hasil analisa FEM: *safety factor*

Besarnya *safety factor* menentukan tingkat keberhasilan hasil rancangan, semakin besar nilai *safety factor* maka kemungkinan hasil rancangan itu berhasil akan semakin besar. Serta terlihat pada gambar bahwa batas bawah *safety factor* adalah 1, sedangkan pada komponen menunjukan semua bagian memiliki nilai dalam rentang 10-15. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material aluminium sudah tepat.

3.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur yang dilakukan untuk menghasilkan alat ukur yang kami rancang terdiri atas empat proses, yaitu:

- a. *Cutting*
- b. *Milling*
- c. *Drilling*
- d. *Turning*

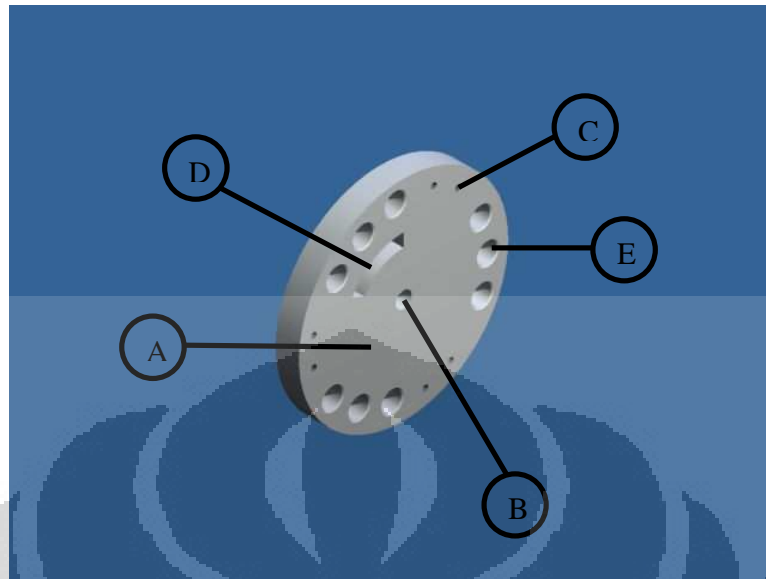
Tidak semua komponen menjalani proses manufaktur yang sama dikarenakan bentuknya yang berbeda-beda. Berikut akan dijelaskan proses manufaktur yang diperlukan untuk setiap komponen.

Proses pembentukan material menggunakan material *cutting tool* yang menggunakan material HSS (*High Speed Steel*) dengan tipe *End Mill 4 flute*. Data proses *milling* diperoleh dari tabel yang dapat dilihat pada lampiran 17. Dari tabel tersebut diambil data berupa N_s (putaran *spindle*), diameter *cutting tool* (D).

Sedangkan untuk proses *Drilling* dipergunakan tabel 2.1 dan 2.2 untuk mendapatkan data mengenai diameter *cutting tool*, v , juga fr . Serta untuk proses *turning* data yang di ambil adalah berupa nilai v .

3.2.1 Plat Utama

Proses manufaktur pertama yang dilakukan terhadap plat adalah *milling*. Proses *milling* dilakukan terhadap bagian A, B, dan D. Berikut adalah perhitungan dari proses *milling* yang telah dilakukan:



Gambar 3.41 Bagian dari komponen plat yang mengalami proses manufaktur berbeda

A. *Roughing dan Finishing*

Roughing

diketahui : $N_s = 1000 \text{ Rpm}$ $D = 2.125 \text{ inch}$
 $DOC = 0.04 \text{ inch}$ $f_m = 10 \text{ inch / min}$

$$W = D \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{2.125}{2} = 1.0625$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{(3.14 \times 7.2) + 1.0625 + 1.0625}{10} \\ &= \frac{24.733}{10} = 2.473 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= fm.W.DOC \\
 &= 10 \times 2.125 \times 0.04 \\
 &= 0.85 \text{ inch}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Cost = Tm x Labor cost

$$\begin{aligned}
 &= 2.473 \times \text{Rp. } 833.33,- \\
 &= \text{Rp. } 2,060.82,-
 \end{aligned}$$

$$\text{Langkah} = 0.1/0.04 = 2.5 = 2 \text{ langkah } \textit{roughing}$$

Karena pengerjaan dilakukan untuk setiap sisi, maka total waktu pengerjaan dan biaya adalah

$$\text{Total waktu} = 2.473 \times 2 \times 3 \text{ langkah} = 14.838$$

$$\text{Total Biaya} = \text{Rp. } 2,060.82,- \times 2 \times 3 \text{ langkah} = \text{Rp. } 12,364.92,-$$

Finishing

Sisa 0.5mm

$$\text{Langkah} = 0.02/0.005 = 4 \text{ langkah}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= fm.W.DOC \\
 &= 10 \times 2.125 \times 0.005 \\
 &= 0.106 \text{ inch}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Untuk proses *finishing* perhitungan waktu serta *cost* yang dibutuhkan sama dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari proses *roughing*. Hal ini dikarenakan diameter *tool* serta dimensi *part* yang sama, sedangkan variable yang berpengaruh terhadap waktu dan *cost* adalah diameter *tool* serta dimensi *part*. Perbedaan hanya terdapat pada *Material Removal Rate*, karena pada proses *finishing* mempergunakan DOC yang berbeda maka perbedaan nilai terjadi.

Oleh karena itu didapatkan:

$$\text{Total waktu} = 2.473 \times 2 \times 4 = 19.784$$

$$\text{Total Biaya} = \text{Rp. } 2,060.82,- \times 2 \times 4 = \text{Rp. } 16,486.56,-$$

B. Lubang Tengah

Diameter 32 mm

diketahui : $N_s = 4100 \text{ Rpm}$
 $DOC = 0.02 \text{ inch}$ $n = 4$

$$f_m = f_t N_s n$$

$$= 0.04 \times 4100 \times 4$$

$$= 656 \text{ inch / min}$$

$$W = D \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.16}{2} = 0.08$$

$$T_m = \frac{L + L_A + L_o}{f_m}$$

$$= \frac{(3.14 \times 1.28) + 0.08 + 0.08}{656}$$

$$= \frac{4.179}{656} = 0.063 \text{ min}$$

$$MRR = f_m \cdot W \cdot DOC$$

$$= 656 \times 0.16 \times 0.02$$

$$= 2.0992 \text{ inch}^3 / \text{min}$$

$$Cost = T_m \times Labor \text{ cost}$$

$$= 0.063 \times Rp. 833.33, -$$

$$= Rp. 52.479, -$$

Diameter 30 mm

diketahui : $N_s = 4100 \text{ Rpm}$ $D = 0.42 \text{ inch}$
 $DOC = 0.04 \text{ inch}$ $n = 4$

$$f_m = f_t N_s n$$

$$= 0.04 \times 4100 \times 4$$

$$= 656 \text{ inch / min}$$

$$W = D \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.16}{2} = 0.08$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

$$T_m = \frac{L + L_A + L_o}{f_m}$$

$$= \frac{(3.14 \times 1.2) + 0.21 + 0.21}{656}$$

$$= \frac{4.188}{656} = 0.0063 \text{ min}$$

$$MRR = f_m \cdot W \cdot DOC$$

$$= 656 \times 0.16 \times 0.02$$

$$= 2.0992 \text{ inch}^3 / \text{min}$$

$$Cost = T_m \times Labor \text{ cost}$$

$$= 0.0063 \times Rp. 833.33,-$$

$$= Rp. 52.479,-$$

C. Pengunci

diketahui: $N_s = 4100 \text{ Rpm}$ $D = 0.16 \text{ inch}$ $ft = 0.08$
 $DOC = 0.04 \text{ in}$ $n = 4$

feed rate

$$f_m = f_r N_s n$$

$$= 0.08 \times 4100 \times 4$$

$$= 1,312 \text{ inch/min}$$

$$W = 0.4 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.4}{2} = 0.2$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{L + L_A + L_O}{f_m} \\
 &= \frac{(3.14 \times 0.5) + 0.2 + 0.2}{1,312} \\
 &= \frac{1.97}{1,312} = 0.015 \text{ min}
 \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_m \cdot W \cdot DOC \\
 &= 1,312 \times 0.4 \times 0.08 \\
 &= 41.984 \text{ inch}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= T_m \times \text{Labor cost} \\
 &= 0.015 \times \text{Rp. } 833.33, - \\
 &= \text{Rp. } 12.5, -
 \end{aligned}$$

Proses pengerjaan berikutnya adalah *drilling* untuk menghasilkan lubang berbentuk lingkaran. *Drilling* digunakan untuk pada bagian C dan E (gambar 4.10)

D. Lubang baut lengan

$$\begin{aligned}
 \text{diketahui: } \quad V &= 200 \text{ sfm} & \text{feed} &= 0.006 \text{ in / rev} \\
 D &= 4 \text{ mm} = 0.16 \text{ in} & \text{cost / min} &= \text{Rp. } 833.33, -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{12V}{\pi D} \\
 &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.16} \\
 &= \frac{24,000}{0.5024} \\
 &= 4,777 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fr &= \text{feed} \times N \\
 &= 0.006 \times 4,777 \\
 &= 28.662
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max \text{ chipload} &= \frac{\text{feed}}{2} = \frac{0,006}{2} \\ &= 0.003 \text{ inch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MRR &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times fr \\ &= \frac{\pi}{4} \times (0.16)^2 \times 28.662 \\ &= 0.785 \times 0.0256 \times 28.662 \\ &= 0.576 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{D}{2} & Tm &= \frac{L + A}{fr} \\ &= \frac{0.16}{2} & &= \frac{0.8 + 0.08}{28.662} = \frac{0.88}{28.662} \\ &= 0.8 & &= 0.03 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost} &= Tm \times \text{labor cost} \\ &= 0.03 \times \text{Rp. } 833.33 / \text{min} \\ &= \text{Rp. } 24.99 \end{aligned}$$

Dikarenakan terdapat enam lubang yang harus dibuat, maka total waktu pengerjaan dan biaya menjadi:

$$\text{Total waktu} = 6 \times 0.03 \text{ min} = 0.18 \text{ min} = 10.8 \text{ detik}$$

$$\text{Total biaya} = 6 \times \text{Rp. } 24.99,- = \text{Rp. } 149.94,-$$

E. Lubang Utama

$$\begin{aligned} N &= \frac{12V}{\pi D} \\ &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.4} \\ &= \frac{24,000}{1.256} \\ &= 1,910.82 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fr &= feed \times N \\
 &= 0.01 \times 1,910.82 \\
 &= 19.108 \text{ in/min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \max \text{ chipload} &= \frac{feed}{2} = \frac{0,01}{2} \\
 &= 0.005 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MRR &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times fr \\
 &= \frac{\pi}{4} \times (0.4)^2 \times 19.108 \\
 &= 0.785 \times 0.16 \times 19.108 \\
 &= 2.4 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{D}{2} \\
 &= \frac{0.4}{2} \\
 &= 0.8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tm &= \frac{L+A}{fr} \\
 &= \frac{0.8+0.2}{19.108} = \frac{1}{19.108} \\
 &= 0.052 \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cost &= Tm \times \text{labor cost} \\
 &= 0.052 \times Rp. 833.33 / \text{min} \\
 &= Rp. 43.33,-
 \end{aligned}$$

F. Lubang Pengurang Beban

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{12V}{\pi D} \\
 &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.72} \\
 &= \frac{24,000}{2.26} \\
 &= 1,061.571 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fr &= feed \times N \\
 &= 0.01 \times 1,061.571 \\
 &= 10.615 \text{ in/min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \max \text{ chipload} &= \frac{feed}{2} = \frac{0,01}{2} \\
 &= 0.005 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MRR &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times fr \\
 &= \frac{\pi}{4} \times (0.72)^2 \times 10.615 \\
 &= 0.785 \times 0.5184 \times 10.615 \\
 &= 4.319 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{D}{2} \\
 &= \frac{0.72}{2} \\
 &= 0.36
 \end{aligned}$$

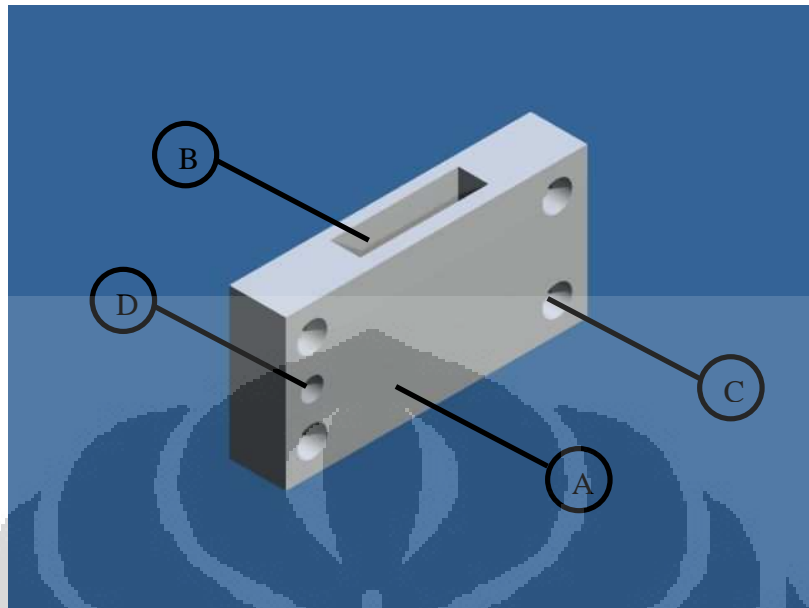
$$\begin{aligned}
 Tm &= \frac{L + A}{fr} \\
 &= \frac{0.8 + 0.36}{10.615} = \frac{1.16}{10.615} \\
 &= 0.109 \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= Tm \times \text{labor cost} \\
 &= 0.109 \times \text{Rp. } 833.33 / \text{min} \\
 &= \text{Rp. } 90.89, -
 \end{aligned}$$

Dikarenakan jumlah lubang yang dibuat adalah sebanyak 9 buah, maka total waktu dan biaya yang diperlukan sebesar 0.981 menit dan Rp. 818.01,-

3.2.2 Lengan Kiri

Proses manufaktur pertama yang dilakukan terhadap plat adalah *milling*. Proses *milling* dilakukan terhadap bagian A, dan B. Berikut adalah perhitungan dari proses *milling* yang telah dilakukan:



Gambar 3.42 Bagian dari *part* lengan kiri yang mengalami proses manufaktur berbeda

A. *Roughing dan Finishing*

Roughing

diketahui : $N_s = 1000 \text{ Rpm}$ $D = 2.125 \text{ in}$
 $DOC = 0.04 \text{ in}$ $f_m = 10 \text{ in / min}$

$$W = 1.6 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{2.125}{2} = 1.0625$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{3.2 + 1.0625 + 1.0625}{10} \\ &= \frac{5.325}{10} = 0.5325 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_n \cdot W \cdot DOC \\
 &= 10 \times 1.6 \times 0.04 \\
 &= 0.64 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Cost = Tm x Labor cost

$$\begin{aligned}
 &= 0.5325 \times \text{Rp. } 833.33,- \\
 &= \text{Rp. } 443.74,-
 \end{aligned}$$

Langkah = $0.1/0.04 = 2.5 = 2$ langkah *roughing*

Karena pengerjaan dilakukan untuk setiap sisi, maka total waktu pengerjaan dan biaya adalah

$$\text{Total waktu} = 2 \times 2 \times 0.5325 = 2.13 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 2 \times 2 \times \text{Rp. } 443.74,- = \text{Rp. } 1,774.96,-$$

Finishing

Sisa 0.5mm

Langkah = $0.02/0.005 = 4$ langkah

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_n \cdot W \cdot DOC \\
 &= 10 \times 1.6 \times 0.005 \\
 &= 0.08 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Untuk proses *finishing* perhitungan waktu serta *cost* yang dibutuhkan sama dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari proses *roughing*. Hal ini dikarenakan diameter *tool* serta dimensi *part* yang sama, sedangkan variable yang berpengaruh terhadap waktu dan *cost* adalah diameter *tool* serta dimensi *part*. Perbedaan hanya terdapat pada *Material Removal Rate*, karena pada proses *finishing* mempergunakan DOC yang berbeda maka perbedaan nilai terjadi.

Oleh karena itu didapatkan:

$$\text{Total waktu} = 4 \times 2 \times 0.5325 = 4.26 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 4 \times 2 \times \text{Rp. } 443.74,- = \text{Rp. } 3,549.92,-$$

B. Lubang Water Pass

diketahui: $N_s = 4100 \text{ Rpm}$

$$D = 0.16 \text{ in}$$

$$f_t = 0.05 \text{ in}$$

feed rate

$$f_m = f_t N_s n$$

$$= 0.08 \times 4100 \times 4$$

$$= 1,312 \text{ inch/min}$$

$$W = 0.32 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.16}{2} = 0.08$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$T_m = \frac{L + L_A + L_o}{f_m}$$

$$= \frac{1.36 + 0.08 + 0.08}{1,312}$$

$$= \frac{1.52}{1,312} = 0.011 \text{ min}$$

Material Removal Rate

$$MRR = f_m \cdot W \cdot DOC$$

$$= 1,312 \times 0.32 \times 0.08$$

$$= 33.58 \text{ inch}^3 / \text{min}$$

$$\text{Cost} = T_m \times \text{Labor cost}$$

$$= 0.011 \times \text{Rp. } 833.33, -$$

$$= \text{Rp. } 9.16, -$$

Proses pengerjaan berikutnya adalah *drilling* untuk menghasilkan lubang berbentuk lingkaran. *Drilling* digunakan untuk pada bagian C dan D (gambar4.11)

C. Lubang Baut

Untuk perhitungan bagian ini nilainya akan sama dengan perhitungan lubang baut lengan pada *part* plat.

D. Lubang Batang Spooling

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } \quad d &= 6 \text{ mm} = 0.24 \text{ in} & V &= 200 \text{ sfm} \\ D &= 5.2 \text{ mm} = 0.208 \text{ in} & \text{cost / min} &= \text{Rp. 833.33,-} \\ \text{feed} &= 0.006 \text{ in / rev} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{12V}{\pi D} \\ &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.208} \\ &= \frac{24,000}{0.6531} \\ &= 3,674.67 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fr &= \text{feed} \times N \\ &= 0.06 \times 3,674.67 \\ &= 22,04 \text{ in / min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{max chip load} &= \frac{\text{feed}}{2} = \frac{0,006}{2} \\ &= 0.003 \text{ inch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MRR &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times fr \\ &= \frac{\pi}{4} \times (0.208)^2 \times 22.04 \\ &= 0.785 \times 0.0432 \times 19.108 \\ &= 0.748 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

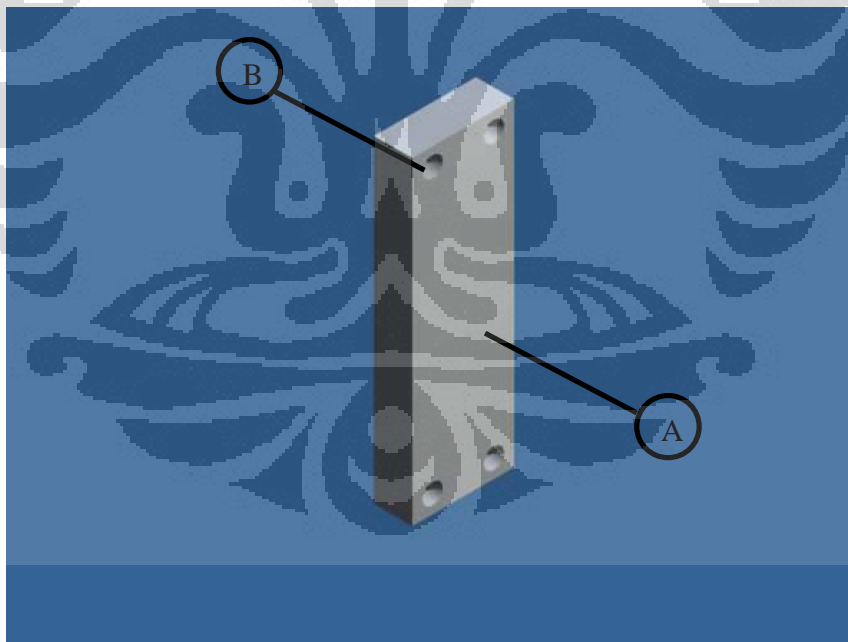
$$\begin{aligned} A &= \frac{D}{2} \\ &= \frac{0.208}{2} \\ &= 0.104 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{L + A}{fr} \\
 &= \frac{0.6 + 0.104}{22.04} = \frac{0.704}{22.04} \\
 &= 0.031 \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= T_m \times \text{labor cost} \\
 &= 0.031 \times \text{Rp. } 833.33 / \text{min} \\
 &= \text{Rp. } 25.83
 \end{aligned}$$

3.2.3 Lengan Atas

Proses manufaktur pertama yang dilakukan terhadap plat adalah *milling*. Proses milling dilakukan terhadap bagian A saja. Berikut adalah perhitungan dari proses *milling* yang telah dilakukan:



Gambar 3.43 Bagian dari *part* lengan atas yang mengalami proses manufaktur berbeda

A. Roughing dan Finishing

Roughing

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } N_s &= 1000 \text{ Rpm} & D &= 2.125 \text{ in} \\ DOC &= 0.04 \text{ in} & f_m &= 10 \text{ in / min} \end{aligned}$$

$$W = 1.6 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{2.125}{2} = 1.0625$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{5 + 1.0625 + 1.0625}{10} \\ &= \frac{7.125}{10} = 0.7125 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned} MRR &= f_m \cdot W \cdot DOC \\ &= 10 \times 1.6 \times 0.04 \\ &= 0.64 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost} &= T_m \times \text{Labor cost} \\ &= 0.7125 \times \text{Rp. } 833.33, - \\ &= \text{Rp. } 593.74, - \end{aligned}$$

Karena pengerjaan dilakukan untuk setiap sisi, maka total waktu pengerjaan dan biaya adalah

$$\text{Total waktu} = 2 \times 2 \times 0.7125 = 2.85 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 2 \times 2 \times \text{Rp. } 593.74, - = \text{Rp. } 2,374.96, -$$

Finishing

Sisa 0.5mm

Langkah = $0.02/0.005 = 4$ langkah

Material Removal Rate

$$\begin{aligned} MRR &= fm \cdot W \cdot DOC \\ &= 10 \times 1.6 \times 0.005 \\ &= 0.008 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

Untuk proses *finishing* perhitungan waktu serta *cost* yang dibutuhkan sama dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari proses *roughing*. Hal ini dikarenakan diameter *tool* serta dimensi *part* yang sama, sedangkan variable yang berpengaruh terhadap waktu dan *cost* adalah diameter *tool* serta dimensi *part*. Perbedaan hanya terdapat pada *Material Removal Rate*, karena pada proses *finishing* mempergunakan DOC yang berbeda maka perbedaan nilai terjadi.

Oleh karena itu didapatkan:

$$\text{Total waktu} = 4 \times 2 \times 0.7125 = 5.7 \text{ menit}$$

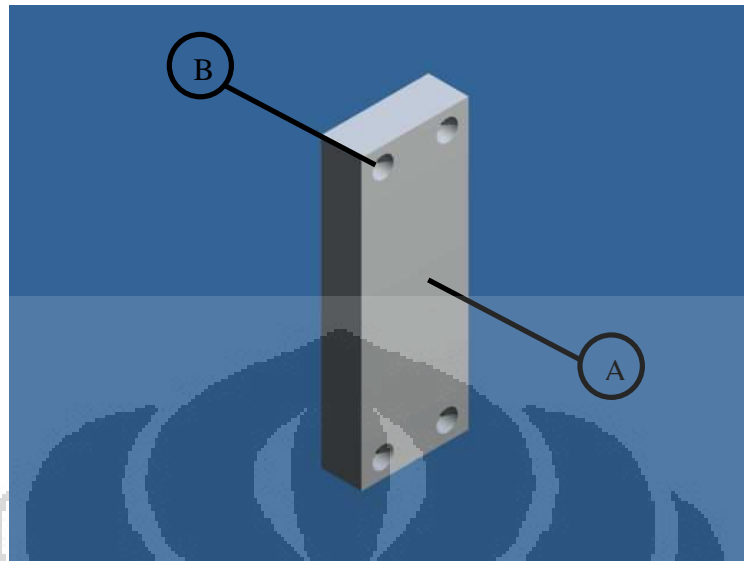
$$\text{Total Biaya} = 4 \times 2 \times \text{Rp. } 593.74.- = \text{Rp. } 4,749.92.-$$

B. Lubang Baut

Untuk perhitungan bagian ini nilainya akan sama dengan perhitungan lubang baut lengan pada *part* plat.

3.2.4 Lengan Bawah

Proses manufaktur pertama yang dilakukan terhadap plat adalah *milling*. Proses *milling* dilakukan terhadap bagian A, B, dan D. Berikut adalah perhitungan dari proses *milling* yang telah dilakukan:



Gambar 3.44 Bagian dari *part* lengan bawah yang mengalami proses manufaktur berbeda

A. *Roughing dan Finishing*

Roughing

diketahui: $N_s = 1000 \text{ Rpm}$ $D = 2.125 \text{ in}$
 $DOC = 0.04 \text{ in}$ $f_m = 10 \text{ in / min}$

$$W = 1.6 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{2.125}{2} = 1.0625$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{4.32 + 1.0625 + 1.0625}{10} \\ &= \frac{6.445}{10} = 0.6445 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_n \cdot W \cdot DOC \\
 &= 10 \times 1.6 \times 0.04 \\
 &= 0.64 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Cost = Tm x Labor cost

$$\begin{aligned}
 &= 0.6445 \times \text{Rp. } 833.33, - \\
 &= \text{Rp. } 537.08, -
 \end{aligned}$$

Langkah = $0.1/0.04 = 2.5 = 2$ langkah *roughing*

Karena pengerjaan dilakukan untuk setiap sisi, maka total waktu pengerjaan dan biaya adalah

$$\text{Total waktu} = 2 \times 2 \times 0.6445 = 2.578 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 2 \times \text{Rp. } 537.08 = \text{Rp. } 2,148.32, -$$

Finishing

Sisa 0.5mm

Langkah = $0.02/0.005 = 4$ langkah

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_n \cdot W \cdot DOC \\
 &= 10 \times 1.6 \times 0.005 \\
 &= 0.008 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Untuk proses *finishing* perhitungan waktu serta *cost* yang dibutuhkan sama dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari proses *roughing*. Hal ini dikarenakan diameter *tool* serta dimensi *part* yang sama, sedangkan variable yang berpengaruh terhadap waktu dan *cost* adalah diameter *tool* serta dimensi *part*. Perbedaan hanya terdapat pada *Material Removal Rate*, karena pada proses *finishing* mempergunakan DOC yang berbeda maka perbedaan nilai terjadi.

Oleh karena itu didapatkan:

$$\text{Total waktu} = 4 \times 2 \times 0.6445 = 5.156 \text{ menit}$$

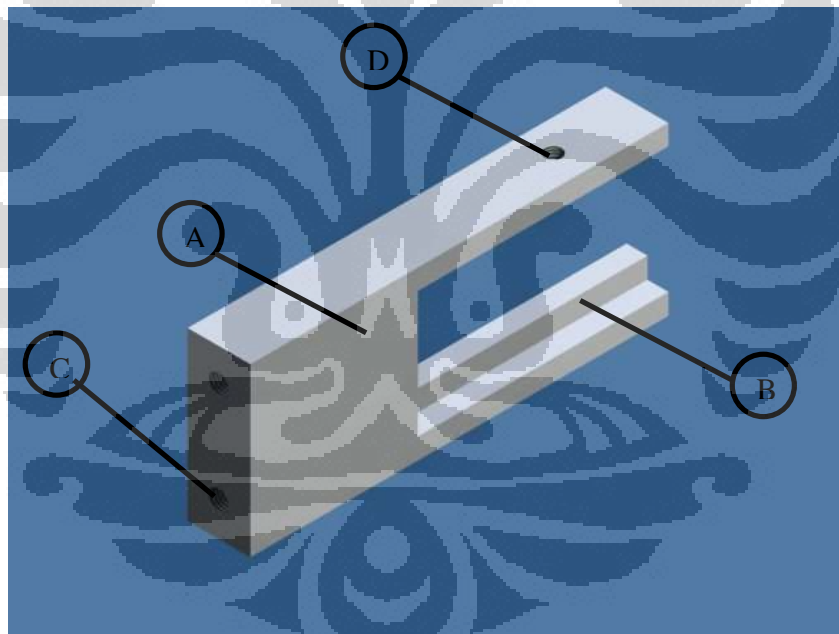
Total Biaya = $4 \times 2 \times \text{Rp. } 537.08 = \text{Rp. } 4,296.64,-$

B. Lubang Baut

Untuk perhitungan bagian ini nilainya akan sama dengan perhitungan lubang baut lengan pada *part* plat.

3.2.5 Slide

Proses manufaktur pertama yang dilakukan terhadap plat adalah *milling*. Proses milling dilakukan terhadap bagian A dan B. Berikut adalah perhitungan dari proses *milling* yang telah dilakukan:



Gambar 3.45 Bagian dari *part* lengan kiri yang mengalami proses manufaktur berbeda

A. *Roughing dan Finishing*

Roughing

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } N_s &= 1000 \text{ Rpm} & D &= 2.125 \text{ in} \\ DOC &= 0.04 \text{ in} & f_m &= 10 \text{ in / min} \end{aligned}$$

$$W = 1.6 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{2.125}{2} = 1.0625$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{4 + 1.0625 + 1.0625}{10} \\ &= \frac{6.125}{10} = 0.6125 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned} MRR &= f_m \cdot W \cdot DOC \\ &= 10 \times 1.6 \times 0.04 \\ &= 0.64 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost} &= T_m \times \text{Labor cost} \\ &= 0.6125 \times \text{Rp. } 833.33, - \\ &= \text{Rp. } 510.41, - \end{aligned}$$

$$\text{Langkah} = 0.1/0.04 = 2.5 = 2 \text{ langkah } \textit{roughing}$$

Karena pengerjaan dilakukan untuk setiap sisi, maka total waktu pengerjaan dan biaya adalah

$$\text{Total waktu} = 2 \times 2 \times 0.6125 = 2.45 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 2 \times 2 \times \text{Rp. } 510.41, - = \text{Rp. } 2,041.64, -$$

Finishing

Sisa 0.5mm

$$\text{Langkah} = 0.02/0.005 = 4 \text{ langkah}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_m \cdot W \cdot DOC \\
 &= 10 \times 1.6 \times 0.005 \\
 &= 0.008 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Untuk proses *finishing* perhitungan waktu serta *cost* yang dibutuhkan sama dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari proses *roughing*. Hal ini dikarenakan diameter *tool* serta dimensi *part* yang sama, sedangkan variable yang berpengaruh terhadap waktu dan *cost* adalah diameter *tool* serta dimensi *part*. Perbedaan hanya terdapat pada *Material Removal Rate*, karena pada proses *finishing* mempergunakan DOC yang berbeda maka perbedaan nilai terjadi.

Oleh karena itu didapatkan:

$$\text{Total waktu} = 4 \times 2 \times 0.6125 = 4.9 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 4 \times 2 \times \text{Rp. } 510.41.- = \text{Rp. } 4,083.28.-$$

B. Rail

$$\begin{aligned}
 \text{diketahui : } N_s &= 4100 \text{ Rpm} & W &= 0.2 \text{ in} \\
 D &= 0.16 \text{ in} & f_t &= 0.04 \text{ ipr}
 \end{aligned}$$

feed rate

$$\begin{aligned}
 f_m &= f_t N_s n \\
 &= 0.04 \times 4100 \times 4 \\
 &= 656 \text{ inch / min}
 \end{aligned}$$

$$W = 0.2 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.16}{2} = 0.08$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{L + L_A + L_O}{f_m} \\
 &= \frac{2.4 + 0.08 + 0.08}{656} \\
 &= \frac{2.56}{656} = 0.039 \text{ min}
 \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_m \cdot W \cdot DOC \\
 &= 656 \times 0.2 \times 0.04 \\
 &= 5.248 \text{ inch}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= T_m \times \text{Labor cost} \\
 &= 0.039 \times \text{Rp. } 833.33,- \\
 &= \text{Rp. } 32.49,-
 \end{aligned}$$

$$\text{Langkah} = 0.2 / 0.04 = 5 \text{ langkah}$$

Maka,

$$\text{Total Waktu} = 5 \times 0.091 \text{ min} = 0.455 \text{ min}$$

$$\text{Total Biaya} = 5 \times \text{Rp } 75.83,- = \text{Rp } 379.15,-$$

Kemudian proses di atas diulangi untuk sisi berikutnya.

Proses pengerjaan berikutnya adalah *drilling* untuk menghasilkan lubang berbentuk lingkaran. *Drilling* digunakan untuk pada bagian C dan D (gambar4.14)

C. Lubang Baut Lengan

Untuk perhitungan bagian ini nilainya akan sama dengan perhitungan lubang baut lengan pada *part* plat.

D. Baut Pengencang

$$\begin{aligned}
 \text{diketahui : } \quad d &= 4 \text{ mm} = 0.16 \text{ in} & V &= 200 \text{ sfm} \\
 D &= 3.5 \text{ mm} = 0.14 \text{ in} & \text{cost / min} &= \text{Rp. } 833.33,- \\
 \text{feed} &= 0.006 \text{ in / rev}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{12V}{\pi D} \\
 &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.14} \\
 &= \frac{24,000}{0.4396} \\
 &= 5,459.5 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fr &= \text{feed} \times N \\
 &= 0.06 \times 5,459.5 \\
 &= 32.757 \text{ in/min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{max chipload} &= \frac{\text{feed}}{2} = \frac{0,006}{2} \\
 &= 0.003 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

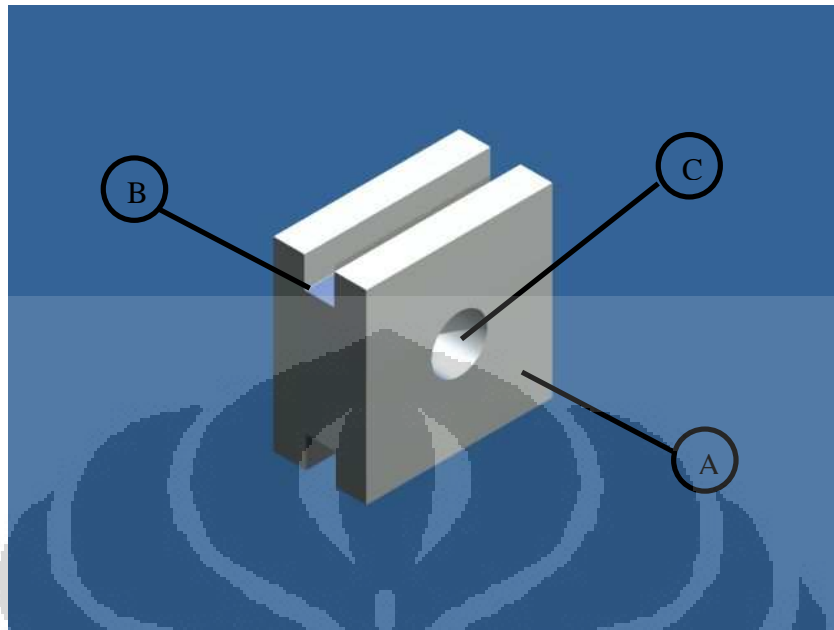
$$\begin{aligned}
 MRR &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times fr \\
 &= \frac{\pi}{4} \times (0.14)^2 \times 32.754 \\
 &= 0.785 \times 0.0196 \times 32.754 \\
 &= 0.503 \text{ in}^3/\text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A = \frac{D}{2} \quad Tm &= \frac{L + A}{fr} \\
 &= \frac{0.14}{2} \quad = \frac{0.4 + 0.07}{32.754} = \frac{0.47}{32.754} \\
 &= 0.07 \quad = 0.014 \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= Tm \times \text{labor cost} \\
 &= 0.014 \times \text{Rp. } 833.33/\text{min} \\
 &= \text{Rp. } 11.67,-
 \end{aligned}$$

3.2.6 Slider

Proses manufaktur pertama yang dilakukan terhadap plat adalah *milling*. Proses *milling* dilakukan terhadap bagian A dan B. Berikut adalah perhitungan dari proses *milling* yang telah dilakukan:



Gambar 3.46 Bagian dari *part* slider yang mengalami proses manufaktur berbeda

A. *Roughing dan Finishing*

Roughing

diketahui: $N_s = 1000 \text{ Rpm}$ $D = 2,125 \text{ in}$
 $DOC = 0.04 \text{ in}$ $f_m = 10 \text{ in / min}$

$$W = 1.2 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{1.6}{2} = 0.8$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{1.08 + 0.8 + 0.8}{10} \\ &= \frac{2.68}{10} = 0.268 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= fm.W.DOC \\
 &= 10 \times 1.2 \times 0.04 \\
 &= 0.48 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$Cost = Tm \times Labor \text{ cost}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.268 \times Rp. 833.33, - \\
 &= Rp. 223.33, -
 \end{aligned}$$

$$\text{Langkah} = 0.1/0.04 = 2.5 = 2 \text{ langkah } \textit{roughing}$$

Karena pengerjaan dilakukan untuk setiap sisi, maka total waktu pengerjaan dan biaya adalah

$$\text{Total waktu} = 2 \times 2 \times 0.268 = 1.072 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 2 \times 2 \times Rp. 223.33 = Rp. 893.34, -$$

Finishing

Sisa 0.5mm

$$\text{Langkah} = 0.02/0.005 = 4 \text{ langkah}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= fm.W.DOC \\
 &= 10 \times 1.2 \times 0.005 \\
 &= 0.06 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Untuk proses *finishing* perhitungan waktu serta *cost* yang dibutuhkan sama dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari proses *roughing*. Hal ini dikarenakan diameter *tool* serta dimensi *part* yang sama, sedangkan variable yang berpengaruh terhadap waktu dan *cost* adalah diameter *tool* serta dimensi *part*. Perbedaan hanya terdapat pada *Material Removal Rate*, karena pada proses *finishing* mempergunakan DOC yang berbeda maka perbedaan nilai terjadi.

Oleh karena itu didapatkan:

$$\text{Total waktu} = 4 \times 2 \times 0.268 = 2.144 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 4 \times 2 \times Rp. 223.33 = Rp. 1,786.68, -$$

B. Rail

$$\begin{aligned} \text{diketahui : } N_s &= 4100 \text{ Rpm} & W &= 0.2 \text{ in} \\ D &= 0.16 \text{ in} & ft &= 0.04 \text{ ipr} \end{aligned}$$

feed rate

$$\begin{aligned} f_m &= f_t N_s n \\ &= 0.04 \times 4100 \times 4 \\ &= 656 \text{ inch / min} \end{aligned}$$

$$W = 0.2 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.16}{2} = 0.08$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{1.08 + 0.08 + 0.08}{656} \\ &= \frac{1.24}{656} = 0.018 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned} MRR &= f_m \cdot W \cdot DOC \\ &= 656 \times 0.2 \times 0.04 \\ &= 5.248 \text{ inch}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

Cost = Tm x Labor cost

$$\begin{aligned} &= 0.018 \times \text{Rp. } 833.33, - \\ &= \text{Rp. } 15, - \end{aligned}$$

Langkah = $0.2/0.04 = 5$ langkah

Maka,

Total Waktu = $5 \times 0.044 \text{ min} = 0.22 \text{ min}$

Total Biaya = $5 \times \text{Rp } 36.67.- = \text{Rp } 183.35.-$

Kemudian proses di atas diulangi untuk sisi berikutnya.

Proses pengerjaan berikutnya adalah *drilling* untuk menghasilkan lubang berbentuk lingkaran. *Drilling* digunakan untuk pada bagian C (gambar 3.46)

C. Lubang Base

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } \quad d &= 10 \text{ mm} = 0.4 \text{ in} & V &= 200 \text{ sfm} \\ D &= 8.5 \text{ mm} = 0.34 \text{ in} & \text{cost / min} &= \text{Rp. 833.33,-} \\ \text{feed} &= 0.006 \text{ in / rev} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{12V}{\pi D} \\ &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.34} \\ &= \frac{24,000}{1.067} \\ &= 2,248.032 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fr &= \text{feed} \times N \\ &= 0.06 \times 2,248.032 \\ &= 13.489 \text{ in / min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{max chip load} &= \frac{\text{feed}}{2} = \frac{0,006}{2} \\ &= 0.003 \text{ inch} \end{aligned}$$

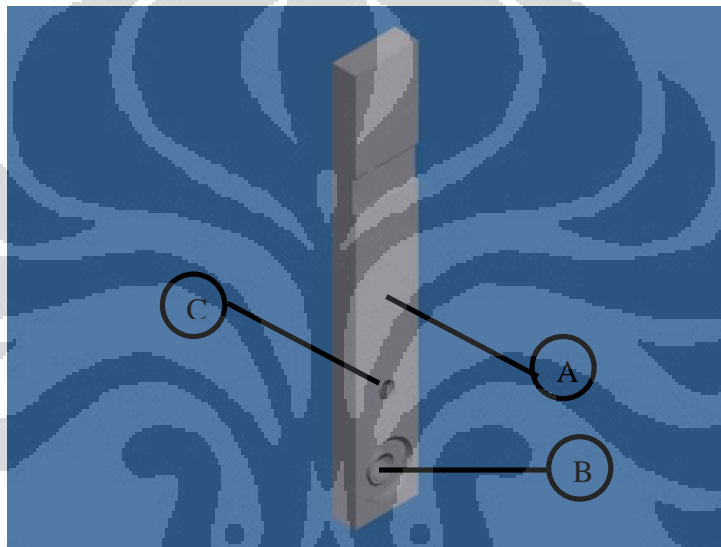
$$\begin{aligned} MRR &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times fr \\ &= \frac{\pi}{4} \times (0.34)^2 \times 13.489 \\ &= 0.785 \times 0.1156 \times 13.489 \\ &= 1.224 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{D}{2} & T_m &= \frac{L+A}{fr} \\ &= \frac{0.34}{2} & &= \frac{0.6+0.17}{32.754} = \frac{0.77}{32.754} \\ &= 0.17 & &= 0.057 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= T_m \times \text{labor cost} \\
 &= 0.057 \times \text{Rp. } 833.33 / \text{min} \\
 &= \text{Rp. } 47.57, -
 \end{aligned}$$

3.2.7 Batang Utama

Proses manufaktur pertama yang dilakukan terhadap plat adalah *milling*. Proses milling dilakukan terhadap bagian A dan B. Berikut adalah perhitungan dari proses *milling* yang telah dilakukan:



Gambar 3.47 Bagian dari *part* batang utama yang mengalami proses manufaktur berbeda

A. *Roughing dan Finishing*

Roughing

$$\begin{array}{ll}
 \text{diketahui: } N_s = 1000 \text{ Rpm} & D = 2.125 \text{ in} \\
 \text{DOC} = 0.04 \text{ in} & \text{fm} = 10 \text{ in / min}
 \end{array}$$

$$W = 1.6 \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{2.125}{2} = 1.0625$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{L + L_A + L_O}{f_m} \\
 &= \frac{10 + 1.0625 + 1.0625}{10} \\
 &= \frac{12.125}{10} = 1.2125 \text{ min}
 \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_m \cdot W \cdot DOC \\
 &= 10 \times 1.6 \times 0.04 \\
 &= 0.64 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= T_m \times \text{Labor cost} \\
 &= 1.2125 \times \text{Rp. } 833.33, - \\
 &= \text{Rp. } 1,010.41, -
 \end{aligned}$$

$$\text{Langkah} = 0.1 / 0.04 = 2.5 = 2 \text{ langkah } \textit{roughing}$$

Karena pengerjaan dilakukan untuk setiap sisi, maka total waktu pengerjaan dan biaya adalah

$$\text{Total waktu} = 2 \times 2 \times 1.2125 = 4.85 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 2 \times 2 \times \text{Rp. } 1,010.41 = \text{Rp. } 4,041.64, -$$

Finishing

Sisa 0.5mm

$$\text{Langkah} = 0.02 / 0.005 = 4 \text{ langkah}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned}
 MRR &= f_m \cdot W \cdot DOC \\
 &= 10 \times 1.6 \times 0.005 \\
 &= 0.008 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

Untuk proses *finishing* perhitungan waktu serta *cost* yang dibutuhkan sama dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari proses *roughing*. Hal ini dikarenakan diameter *tool* serta dimensi *part* yang sama, sedangkan variable yang berpengaruh terhadap

waktu dan dan *cost* adalah diameter *tool* serta dimensi *part*. Perbedaan hanya terdapat pada *Material Removal Rate*, karena pada proses *finishing* mempergunakan DOC yang berbeda maka perbedaan nilai terjadi.

Oleh karena itu didapatkan:

$$\text{Total waktu} = 4 \times 2 \times 1.2125 = 9.7 \text{ menit}$$

$$\text{Total Biaya} = 4 \times 2 \times \text{Rp. } 1,010.41 = \text{Rp. } 8,083.28,-$$

B. Tempat Baut

$$\begin{array}{ll} \text{diketahui:} & N_s = 1000 \text{ Rpm} & \text{DOC} = 0.05 \text{ in} \\ & D = 0.8 \text{ in} & f_m = 10 \text{ in / min} \end{array}$$

$$W = D \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.8}{2} = 0.4$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{1.28 + 0.4 + 0.4}{10} \\ &= \frac{2.08}{10} = 0.208 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned} MRR &= f_m \cdot W \cdot \text{DOC} \\ &= 10 \times 0.8 \times 0.05 \\ &= 0.4 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

Cost = Tm x Labor cost

$$\begin{aligned} &= 0.208 \times \text{Rp. } 833.33,- \\ &= \text{Rp. } 733.33,- \end{aligned}$$

C. Lubang Bearing

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } N_s &= 1000 \text{ Rpm} & \text{DOC} &= 0.04 \text{ in} \\ D &= 0.32 \text{ in} & f_m &= 10 \text{ in / min} \end{aligned}$$

$$W = D \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.32}{2} = 0.16$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{(\pi \times 1.32) + 0.16 + 0.16}{10} \\ &= \frac{4.464}{10} = 0.446 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned} \text{MRR} &= f_m \cdot W \cdot \text{DOC} \\ &= 10 \times 0.32 \times 0.04 \\ &= 0.128 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost} &= T_m \times \text{Labor cost} \\ &= 0.446 \times \text{Rp. } 833.33, - \\ &= \text{Rp. } 371.67, - \end{aligned}$$

Proses pengerjaan berikutnya adalah *drilling* untuk menghasilkan lubang berbentuk lingkaran. *Drilling* digunakan untuk pada bagian B dan C (gambar4.16)

D. Lubang Tengah

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } V &= 200 \text{ sfm} & \text{feed} &= 0.006 \text{ in / rev} \\ D &= 4 \text{ mm} = 0.16 \text{ in} & \text{cost / min} &= \text{Rp. } 833.33, - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{12V}{\pi D} \\
 &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.16} \\
 &= \frac{24,000}{0.5024} \\
 &= 4,777 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fr &= \text{feed} \times N \\
 &= 0.006 \times 4,777 \\
 &= 28.662
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{max chipload} &= \frac{\text{feed}}{2} = \frac{0,006}{2} \\
 &= 0.003 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

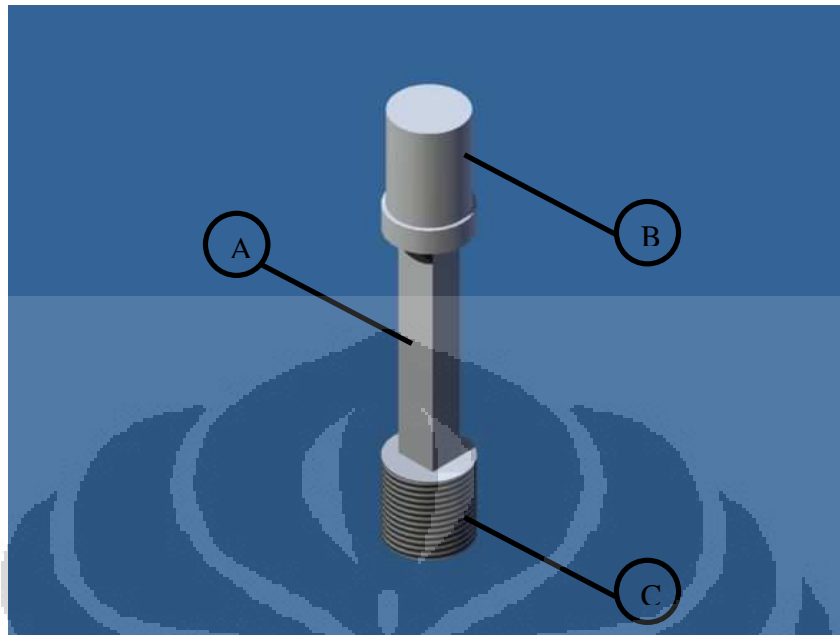
$$\begin{aligned}
 MRR &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times fr \\
 &= \frac{\pi}{4} \times (0.16)^2 \times 28.662 \\
 &= 0.785 \times 0.0256 \times 28.662 \\
 &= 0.576 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{D}{2} & Tm &= \frac{L+A}{fr} \\
 &= \frac{0.4}{2} & &= \frac{0.6+0.2}{19.108} = \frac{0.8}{19.108} \\
 &= 0.2 & &= 0.041 \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= Tm \times \text{labor cost} \\
 &= 0.041 \times \text{Rp. } 833.33 / \text{min} \\
 &= \text{Rp. } 34.89, -
 \end{aligned}$$

3.2.8 Base material

Proses manufaktur pertama yang dilakukan terhadap plat adalah *milling*. Proses *milling* dilakukan terhadap bagian A saja. Berikut adalah perhitungan dari proses *milling* yang telah dilakukan:



Gambar 3.48 Bagian dari *part base material* yang mengalami proses manufaktur berbeda

diketahui : $N_s = 1000 \text{ Rpm}$ $DOC = 0.04 \text{ in}$
 $D = 0.16 \text{ in}$ $f_m = 10 \text{ in / min}$

$$W = D \rightarrow W \geq \frac{D}{2}$$

$$\frac{D}{2} = \frac{0.16}{2} = 0.08$$

$$L_o = L_A = \frac{D}{2}$$

Machining Time

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{L + L_A + L_o}{f_m} \\ &= \frac{1.6 + 0.08 + 0.08}{10} \\ &= \frac{1.76}{10} = 0.176 \text{ min} \end{aligned}$$

Material Removal Rate

$$\begin{aligned} MRR &= fm \cdot W \cdot DOC \\ &= 10 \times 0.16 \times 0.04 \\ &= 0.064 \text{ in}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost} &= Tm \times \text{Labor cost} \\ &= 0.176 \times \text{Rp. } 833.33, - \\ &= \text{Rp. } 146.67, - \end{aligned}$$

Langkah (penampang 5mm) = $(15 \text{ mm} - 4\text{mm})/2 = 5.5 = 6$ langkah

Langkah (penampang 4mm) = $(15 \text{ mm} - 5\text{mm})/2 = 5$ langkah

Maka,

$$\text{Total waktu} = (2 \times 6 \times 0.176) + (2 \times 5 \times 0.176) = 3.872 \text{ min}$$

$$\text{Total biaya} = (2 \times 6 \times \text{Rp. } 146.67, -) + (2 \times 5 \times \text{Rp. } 146.67, -) = \text{Rp. } 3,226.74$$

Proses pengerjaan berikutnya adalah *drilling* untuk menghasilkan lubang berbentuk lingkaran. *Drilling* digunakan untuk pada bagian C (gambar4.17)

A. Lubang baut pengencang

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } \quad d &= 6 \text{ mm} = 0.24 \text{ in} & V &= 200 \text{ sfm} \\ D &= 5.2 \text{ mm} = 0.208 \text{ in} & \text{cost / min} &= \text{Rp. } 833.33, - \\ \text{feed} &= 0.006 \text{ in / rev} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{12V}{\pi D} \\ &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.208} \\ &= \frac{24,000}{0.653} \\ &= 3,675.34 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fr &= \text{feed} \times N \\ &= 0.06 \times 3,675.34 \\ &= 22.05 \text{ in / min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{max chipload} &= \frac{\text{feed}}{2} = \frac{0,006}{2} \\ &= 0.003 \text{ inch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MRR &= \frac{\pi}{4} x D^2 x fr \\
 &= \frac{\pi}{4} x (0.208)^2 x 13.489 \\
 &= 0.785 x 0.0432 x 13.489 \\
 &= 0.458 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{D}{2} & m &= \frac{L+A}{fr} \\
 &= \frac{0.208}{2} & &= \frac{0.32+0.104}{22.05} = \frac{0.424}{22.05} \\
 &= 0.104 & &= 0.02 \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cost &= Tm x labor cost \\
 &= 0.02 x Rp. 833.33 / \text{min} \\
 &= Rp. 16.67, -
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukanlah proses bubut yang berfungsi untuk menghasilkan bentuk melingkar pada bagian atas dan bawah *base material*. Proses bubut juga dipergunakan untuk mengasilkan ulir.

B. Atas

$$\begin{aligned}
 \text{diketahui : } & L = 0.56 \text{ in} & D_2 &= 0.4 \text{ in} \\
 & V = 200 & D_1 &= 0.6 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{12V}{\pi D} \\
 &= \frac{12 x 200}{3.14 x 0.4} \\
 &= \frac{2,400}{1.256} \\
 &= 1,910.82 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DOC &= \frac{(D_1 - D_2)}{2} \\
 &= \frac{0.6 - 0.4}{2} = 0.1 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tm &= \frac{L + A}{f_r N_s} \\
 &= \frac{0.56 + 0.08}{0.06 \times 1,910.82} \\
 &= \frac{0.64}{114.64} = 0.005 \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MRR &= \frac{(\pi D_1^2 - \pi D_2^2) L}{4L / f_r N} \\
 &= \frac{(3.14(0.6)^2 - 3.14(0.4)^2) 0.56}{4 \times 0.56 / 0.06 \times 1,910.82} \\
 &= \frac{(1.13 - 0.502) 0.56}{2.24 / 114.64} \\
 &= \frac{0.035}{0.019} = 1.842 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= Tm \times \text{Labor cost} \\
 &= 0.005 \times \text{Rp. } 833.33, - \\
 &= \text{Rp. } 4.167, -
 \end{aligned}$$

Ulir

diketahui: $D = 0.16 \text{ in}$ $L = 0.4 \text{ in}$ $D_2 = 0.36 \text{ in}$
 $v = 200$ $D_1 = 0.4 \text{ in}$

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{12V}{\pi D} \\
 &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.4} \\
 &= \frac{2,400}{1.256} \\
 &= 1,910.82 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$DOC = \frac{(D_1 - D_2)}{2}$$

$$= \frac{0.4 - 0.36}{2} = 0.02$$

$$Tm = \frac{L + A}{f_r N_s}$$

$$= \frac{0.2 + 0.08}{0.06 \times 1,910.82}$$

$$= \frac{0.28}{114.64} = 2.4 \times 10^{-3} \text{ min}$$

$$MRR = \frac{(\pi D_1^2 - \pi D_2^2) L}{4L / f_r N}$$

$$= \frac{(3.14(0.4)^2 - 3.14(0.36)^2) 0.2}{4 \times 0.2 / 0.06 \times 1,910.82}$$

$$= \frac{(0.502 - 0.407) 0.2}{0.8 / 114.64}$$

$$= \frac{0.019}{0.006} = 31.67 \text{ in}^3 / \text{min}$$

$$Cost = Tm \times Labor \text{ cost}$$

$$= 2.4 \times 10^{-3} \times Rp. 833.33, -$$

$$= Rp. 1.99, -$$

C. Bawah

diketahui : $L = 0.4 \text{ in}$ $D_2 = 0.4 \text{ in}$
 $v = 200$ $D_1 = 0.6 \text{ in}$

$$N = \frac{12V}{\pi D}$$

$$= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.6}$$

$$= \frac{2,400}{1.884}$$

$$= 1,273.88 \text{ rpm} = 1,300 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned}
 DOC &= \frac{(D_1 - D_2)}{2} \\
 &= \frac{0.6 - 0.4}{2} = 0.1 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tm &= \frac{L + A}{f_r N_s} \\
 &= \frac{0.4 + 0.08}{0.06 \times 1300} \\
 &= \frac{0.48}{78} = 6.15 \times 10^{-3} \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MRR &= \frac{(\pi D_1^2 - \pi D_2^2) L}{4L / f_r N} \\
 &= \frac{(3.14(0.6)^2 - 3.14(0.4)^2) 0.4}{4 \times 0.4 / 0.06 \times 1300} \\
 &= \frac{(1.13 - 0.502) 0.4}{1.6 / 78} \\
 &= \frac{0.251}{0.02} = 12.55 \text{ in}^3 / \text{min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cost} &= Tm \times \text{Labor cost} \\
 &= 6.15 \times 10^{-3} \times \text{Rp. } 833.33, - \\
 &= \text{Rp. } 5.12, -
 \end{aligned}$$

Ulir

diketahui : $D = 0.16 \text{ in}$ $L = 0.4 \text{ in}$ $D_2 = 0.36 \text{ in}$
 $v = 200$ $D_1 = 0.4 \text{ in}$

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{12V}{\pi D} \\
 &= \frac{12 \times 200}{3.14 \times 0.4} \\
 &= \frac{2,400}{1.256} \\
 &= 1,910.82 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$DOC = \frac{(D_1 - D_2)}{2}$$

$$= \frac{0.4 - 0.36}{2} = 0.02$$

$$Tm = \frac{L + A}{f_r N_s}$$

$$= \frac{0.4 + 0.08}{0.06 \times 1300}$$

$$= \frac{0.48}{78} = 6.15 \times 10^{-3} \text{ min}$$

$$MRR = \frac{(\pi D_1^2 - \pi D_2^2) L}{4L / f_r N}$$

$$= \frac{(3.14(0.4)^2 - 3.14(0.36)^2) 0.4}{4 \times 0.4 / 0.06 \times 1300}$$

$$= \frac{(0.502 - 0.407) 0.4}{1.6 / 78}$$

$$= \frac{0.038}{0.02} = 1.9 \text{ in}^3 / \text{min}$$

$$Cost = Tm \times Labor \text{ cost}$$

$$= 6.15 \times 10^{-3} \times Rp. 833.33,-$$

$$= Rp. 5.12,-$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat diketahui bahwa total waktu dan biaya tiap proses manufaktur ialah

1. *Milling*

Waktu = 72.309 menit

Biaya = Rp. 97,911.75.-

2. *Drilling*

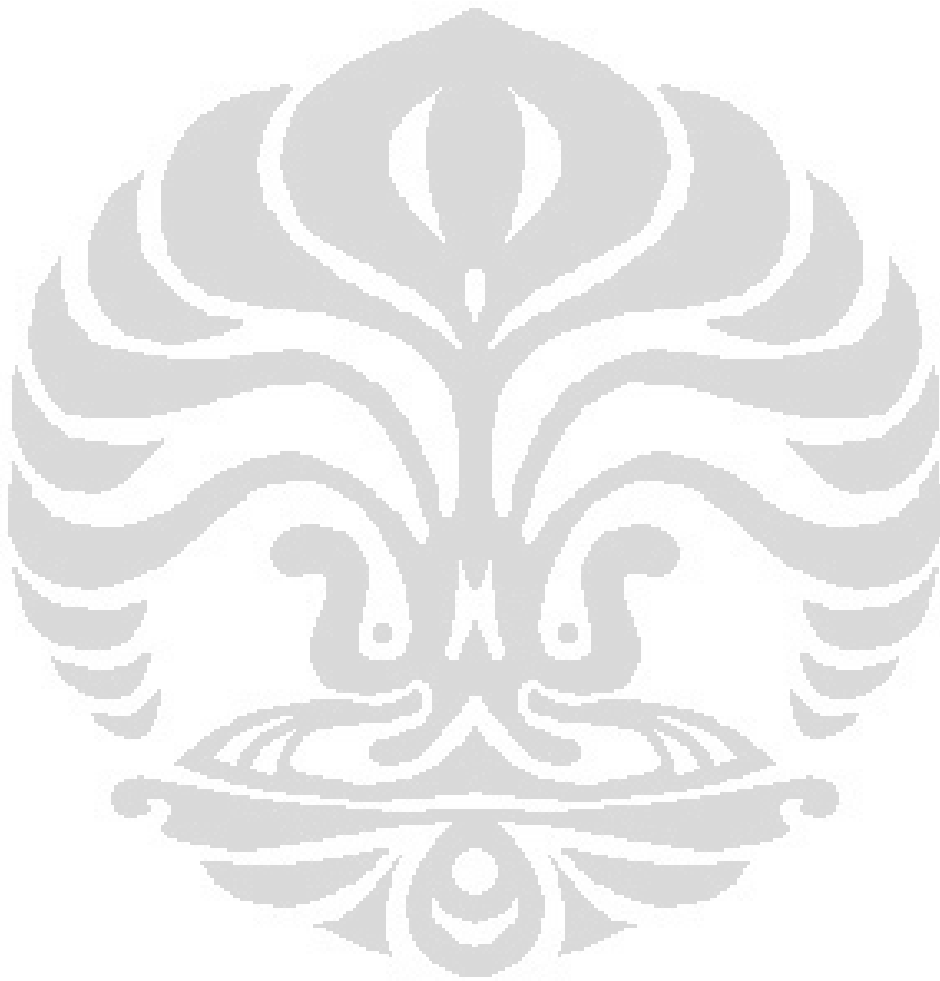
Waktu = 2.096 menit

Biaya = Rp. 1,747.67.-

3. *Turning*

Waktu = 0.019 menit = 1.14 detik

Biaya = Rp. 16.39.-



BAB 4

ANALISA DAN PERAKITAN

4.1 Perbandingan Perhitungan Manual dengan Simulasi FEM

Perbandingan perhitungan manual dengan menggunakan simulasi FEM pada komponen *Base Material* dapat kita lihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.1 Perbandingan Perhitungan Manual dengan FEM

	Manual	FEM
EQUIVALENT STRESS	187 Mpa	211.12 Mpa
DEFORMATION	1 mm	1.0549 mm

Berdasarkan tabel di atas dapat kita lihat bahwa nilai *equivalent stress* yang didapatkan melalui perhitungan manual dengan FEM terdapat selisih sebesar 24.12 Mpa. Perbedaan nilai ini diakibatkan oleh berbagai faktor antara lain perbedaan panjang dari batang di dalam perhitungan, di sini saya mengambil panjang yang lebih dibanding perhitungan manual untuk memastikan bahwa jika dalam kondisi dengan gaya lebih besar *part* dapat bekerja apalagi dalam kondisi yang lebih kecil.

Sedangkan untuk nilai deformasi terdapat perbedaan dikarenakan nilai pada hitungan manual hanyalah asumsi saja, sedangkan pada simulasi sudah merupakan aplikasi yang mendekati kondisi nyata. Namun dari perhitungan nilai deformasi dapat terlihat bahwa perhitungan mempergunakan *software inventor* sudah dapat digunakan untuk menganalisa komponen lain. Hal ini semakin diperkuat setelah nilai *equivalent stress* dibandingkan dengan *yield strength* yang telah dibagi dengan *safety factor* yaitu sebesar 220 Mpa. Terbukti bahwa material masih dalam posisi aman.

Berdasarkan data di atas dapat kita ketahui bahwa penggunaan material aluminium sebagai bahan penyusun sensor sudah cukup. Hal ini dikarenakan deformasi yang dihasilkan oleh gaya dari *velg* motor tidaklah menyebabkan terjadinya *fatigue*. Namun apabila sensor digunakan untuk mendapatkan defleksi

lebih dari 1.5 mm, maka disarankan untuk menggunakan bahan yang memiliki sifat elastic yang lebih besar.

Terlihat juga bahwa perhitungan manual yang sudah tercantum pada penelitian pendahuluan mengenai perancangan alat ukur kestabilan putaran roda depan sepeda motor Honda Supra X 125 sudah sesuai dengan hasil analisa yang dilakukan dengan *software*, yang semakin memperkuat bahwa kemungkinan rancangan terpaut dengan bentuk serta dimensinya memiliki *liability* yang cukup baik.

4.2 Analisa Proses Produksi

Hasil dari perhitungan didapatkan data yang terlalu kecil dikarenakan seperti yang sudah tertulis sebelumnya bahwa banyak parameter yang tidak kami masukkan ke dalam perhitungan, seperti misalnya waktu persiapan mesin, persiapan bahan, biaya listrik yang digunakan dan sebagainya. Maka tidaklah heran apabila hasil yang didapatkan begitu kecil.

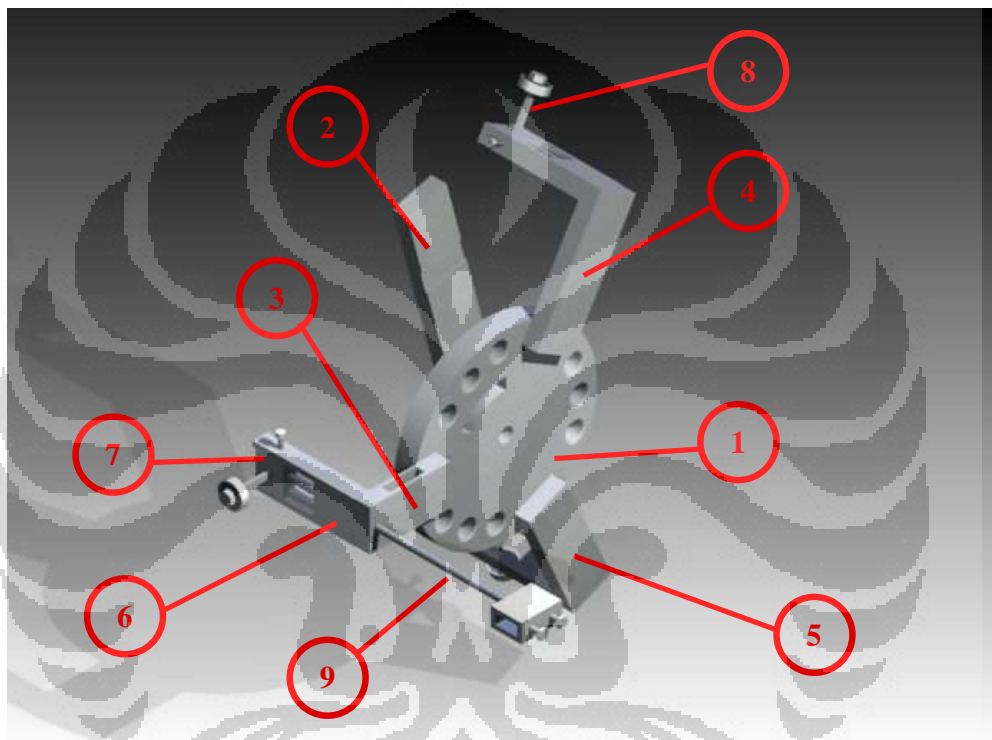
Kekurangan dari penggunaan material aluminum adalah harga material yang relatif mahal. Harga material Aluminum 6061 saat ini di pasaran saja sudah mencapai Rp. 80,000.- per kg, sedangkan untuk menyelesaikan alat kami dibutuhkan material dengan berat total 10 kg. Maka hampir 30% dari total biaya yang ada dipergunakan untuk membeli material. Namun keuntungan dari penggunaan aluminum adalah berat total dari barang hasil rancangan yang relatif ringan, juga proses produksi yang cukup cepat dikarenakan material aluminum yang lebih bersifat lunak jika dibandingkan stainless steel atau besi.

Namun dapat saya sarankan bahwa apabila ingin merancang suatu alat yang tidak terlalu memperhatikan berat total dari alat tersebut sebaiknya gunakan stainless steel karena harga material dan biaya proses produksinya yang relatif murah.

4.3 Perakitan

Setelah tahap perhitungan baik itu perhitungan secara manual maupun menggunakan *software* telah selesai dan sudah dipastikan bahwa pemilihan bentuk

rancangan serta pemilihan jenis material aman dan mungkin untuk diproduksi, maka kemudian rancangan memasuki tahap produksi. Berdasarkan perhitungan serta pengukuran yang telah dilakukan, maka dapat kita lihat pada gambar 4.1 bentuk dari alat pengukuran *spooring* dan *roundness* untuk roda depan motor Honda Supra-X 125.



Gambar 4.1 Hasil akhir rancangan

Dari gambar di atas dapat terlihat bahwa rancangan kami terdiri dari sembilan bagian utama, yaitu:

- | | |
|-----------------|--------------------|
| 1. Plat utama | 6. Slide |
| 2. Batang utama | 7. Slider |
| 3. Lengan Kiri | 8. Base Material |
| 4. Lengan atas | 9. Batang Spooring |
| 5. Lengan bawah | |

Berikut akan dijelaskan mengenai setiap bagian yang menyusun alat ukur hasil rancangan kami tersebut.

4.3.1 Plat Utama

Plat utama merupakan komponen yang berhubungan dengan semua komponen yang terdapat di dalam alat ukur rancangan kami. Dikarenakan fungsinya sebagai titik tumpu dari semua lengan, *slide*, *slider*, serta *base material*, maka plat utama ini haruslah kuat namun juga ringan agar tidak memberikan beban berlebih kepada cekam dan batang utama nantinya. Hal ini juga yang kami jadikan alasan pemilihan material aluminum 6061 sebagai material penyusun plat utama.

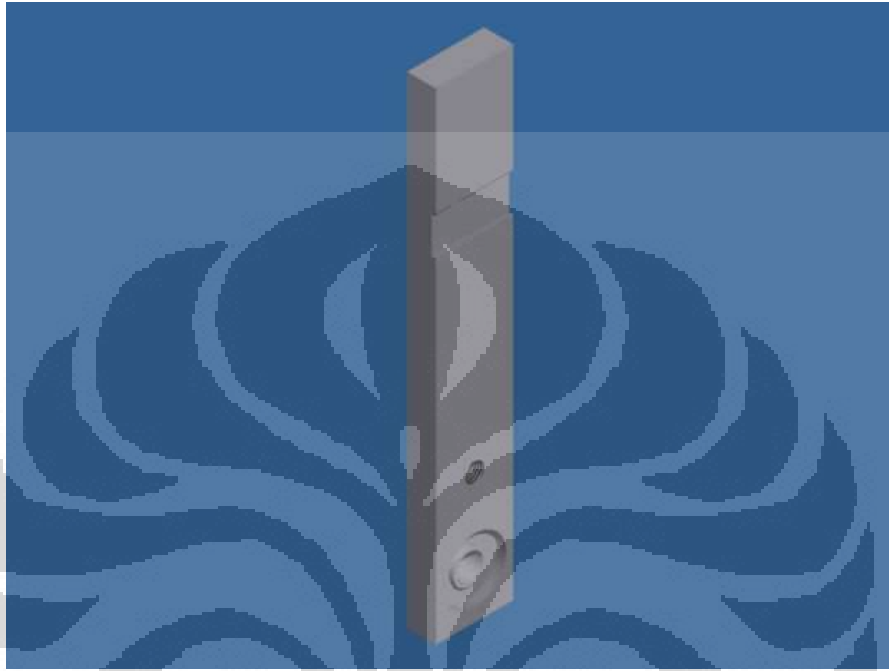


Gambar 4.2 Plat utama

Pemilihan bentuk lingkaran adalah dengan alasan estetika, karena letaknya pada bagian roda agar tampilan menjadi lebih indah saat alat dipasang maka bentuk bulat adalah yang paling cocok.

4.3.2 Batang Utama

Batang utama adalah komponen yang melakukan kontak langsung dengan *shock breaker* mobil. Pada batang utama ini lah nantinya cekam akan dipasang sehingga alat hasil rancangan dapat menempel dengan kuat terhadap *shock breaker*.

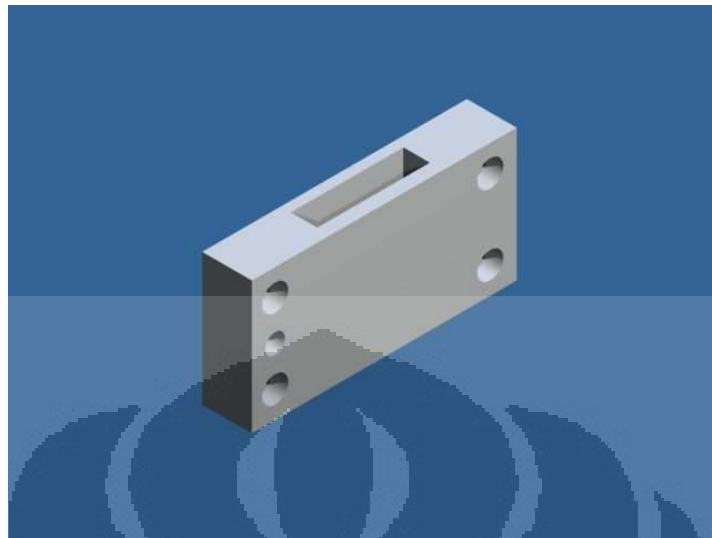


Gambar 4.3 Batang utama

Antara plat utama dengan batang utama akan dihubungkan dengan *bearing* sehingga posisi batang utama dapat diatur sesuai dengan sudut kemiringan tiap motor yang berbeda, kemudian setelah posisi yang tepat didapatkan, batang utama dikencangkan dengan memanfaatkan baut yang nantinya akan melewati lubang.

4.3.3 Lengan

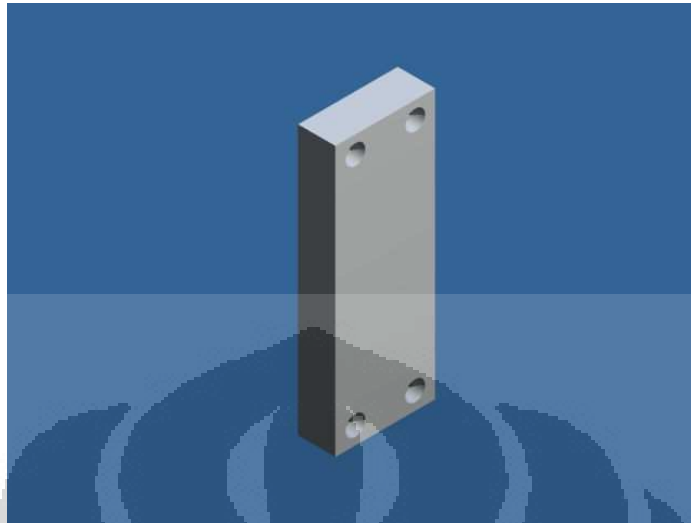
Komponen ini ditandai dengan nomor 3, 4, dan 5 pada rangkaian komponen utama. Lengan merupakan tempat dimana nantinya *slide*, *slider* beserta *base material* akan disatukan. Antara satu lengan dengan lengan yang lainnya membentuk sudut 120° . Berikut adalah gambar dari tiga lengan yang ada



Gambar 4.4a Lengan kiri



Gambar 4.4b Lengan atas

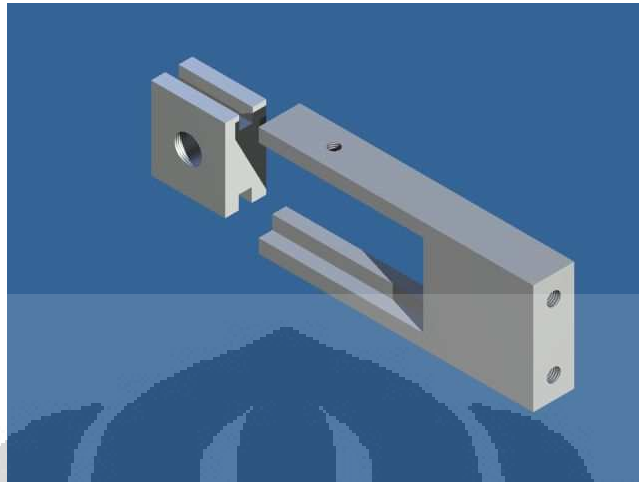


Gambar 4.4c Lengan bawah

Yang membedakan antara lengan satu dengan lengan lainnya adalah dimensi panjangnya. Perbedaan ini dihasilkan akibat dari letak *shock* motor yang tidak simetris pada motor. Hal ini tentu saja berpengaruh pada alat kami, karena *shock* merupakan tempat dimana alat kami akan menempel. Perbedaan juga terdapat pada lengan kiri, pada bagian atasnya diberi lubang berbentuk persegi yang berfungsi untuk meletakkan *water pass*. Mengapa digunakan *water pass*? Hal ini bertujuan agar nanti pada saat pengukuran dapat dipastikan bahwa posisi lengan kiri sudah rata, sehingga pada saat pengukuran *spooring* kemiringan dari lengan tidak berpengaruh terhadap hasil pengukuran.

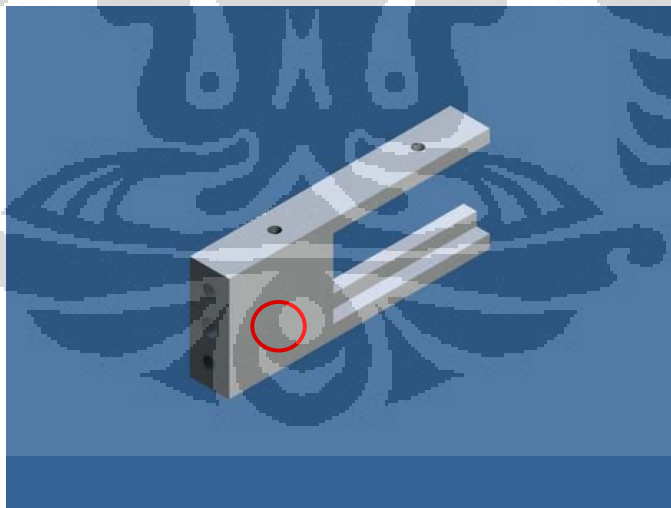
4.3.4 Adjuster Slip

Yang dimaksud dengan komponen *adjuster slip* adalah komponen pada alat ukur yang ditunjukkan dengan angka 6 dan 7 pada gambar 4.1. Komponen ini hanya terdiri dari bagian yang membentuk mekanisme *sliding*, yaitu *slider* dan *slide*.



Gambar 4.5a *Slide dan slider*

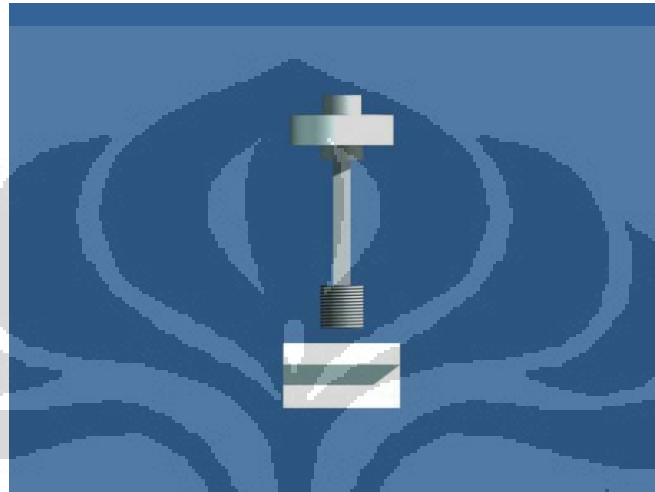
Semua ukuran dan bentuk *adjuster slip* pada setiap lengan adalah sama. Perbedaan hanya pada *slide* lengan kiri, yaitu terdapatnya lubang di antara dua lubang baut. Lubang ini berfungsi sebagai tempat masuknya batang untuk pengukuran *spooring*, seperti yang terlihat pada gambar 4.5b.



Gambar 4.5b *Slide* lengan kiri

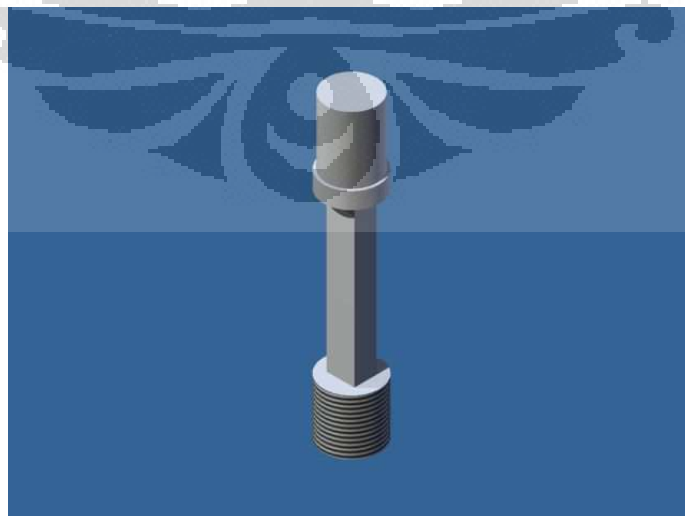
4.3.5 Base Material

Base material merupakan komponen utama yang digunakan untuk pengukuran kebulatan. *Base material* diletakkan pada slider dengan mekanisme ulir seperti yang terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Base material* dengan *slider*

Namun komponen *base material* sebenarnya tidak termasuk dengan *bearing*, *base material* pada gambar di atas adalah batang tempat dimana *bearing* terletak, atau untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada gambar di bawah ini



Gambar 4.7. *Base material*

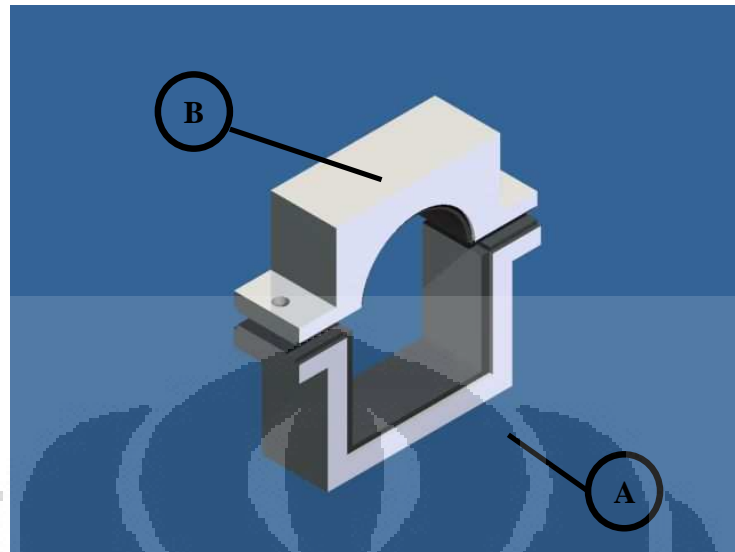
Ketebalan penampang kotak dari base material sangat mempengaruhi hasil pengukuran, mengapa karena semakin tebal dari penampang kotaknya, maka sensitivitas dari *base material* pun akan lebih berkurang. Hal ini juga yang membuat kami memilih material aluminum untuk membuat *base material*, karena sifatnya yang lebih elastis dan ringan.



Gambar 4.8. Posisi *bearing* saat menyentuh *velg* roda

4.3.6 Cekam

Komponen ini berfungsi untuk mengunci alat ukur pada *shock* roda depan. Cekam terdiri atas dua bagian, yaitu bagian depan (A) yang kontak langsung dengan batang utama dan belakang yang berhubungan langsung dengan *shock* (B)



Gambar 4.9. Cekam

4.4 Pemasangan alat ukur pada roda depan sepeda motor

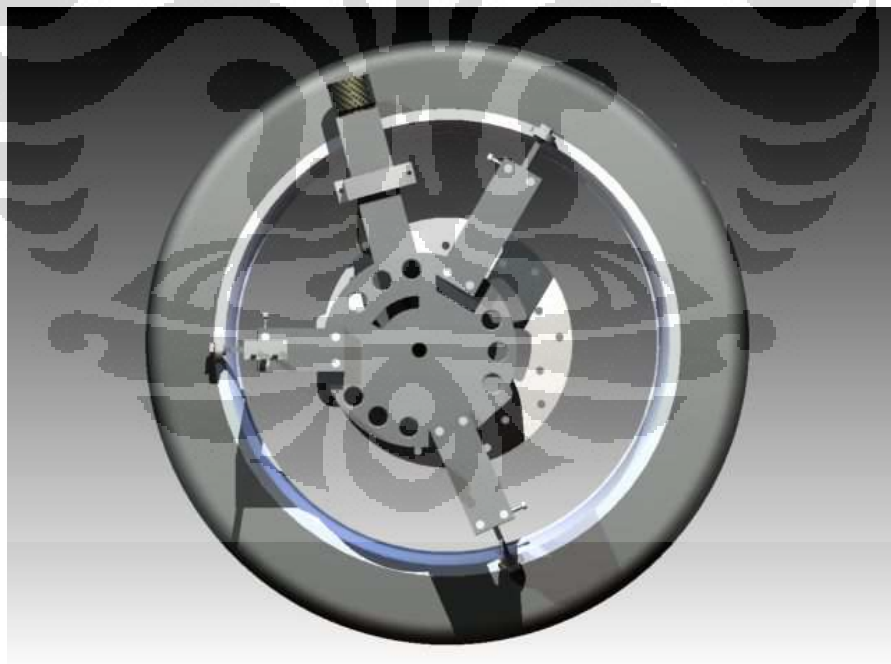
Di dalam pemasangan alat ukur terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a. Alat ukur dipasang pada *shock* roda depan
- b. Saat pemasangan harus dipastikan terlebih dahulu bahwa lengan kiri sudah dalam keadaan rata dengan bantuan *water pass* yang sudah tersedia pada lengan kiri
- c. Atur kedudukan dari *slider* agar *bearing* tepat menyentuh *velg*
- d. Setelah semua parameter di atas terpenuhi, baru kemudian batang utama dikunci terhadap *shock* dengan bantuan cekam

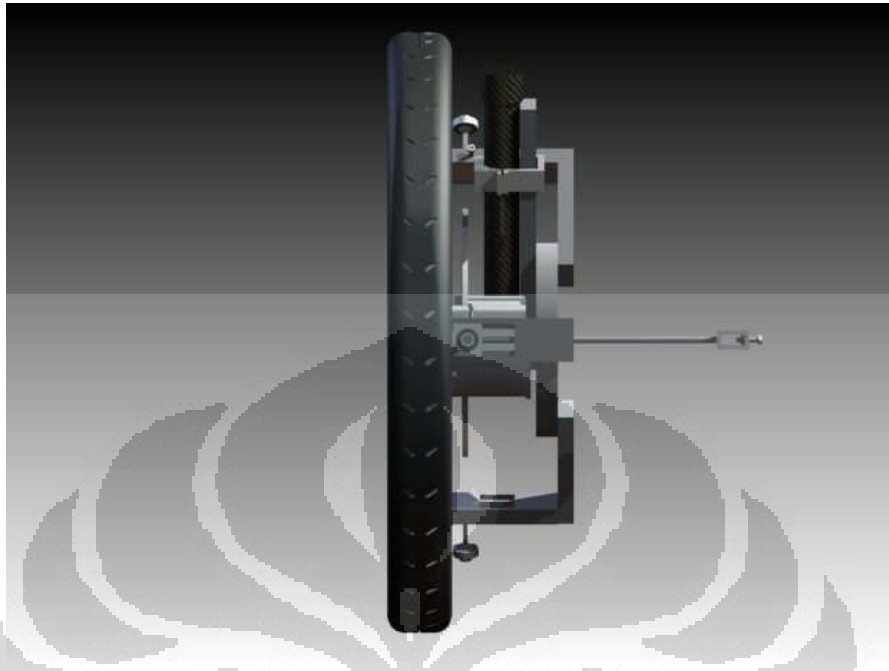
Berikut dapat kita lihat bagaimana posisi alat saat proses pemasangan selesai:



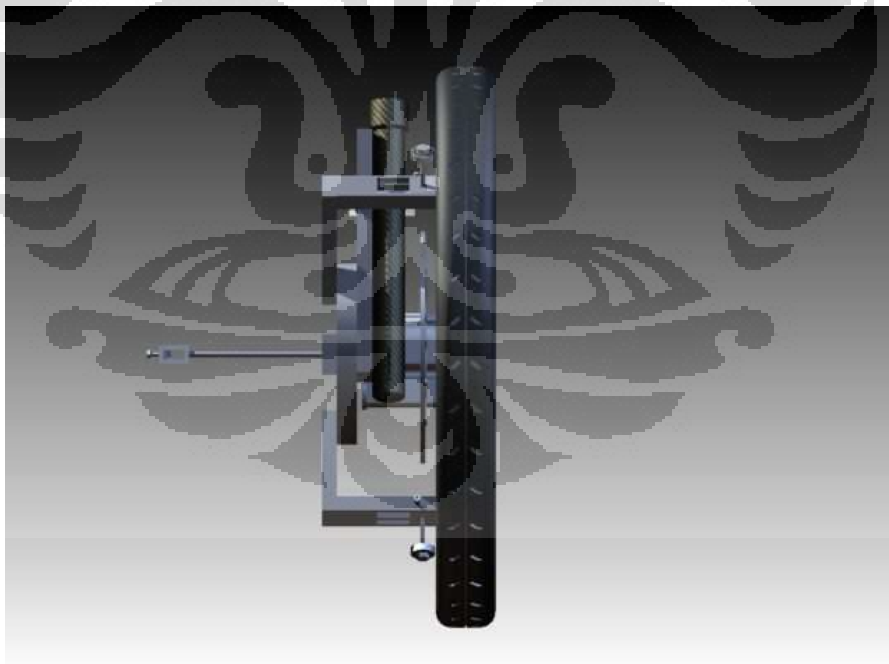
Gambar 4.9a. Posisi pemasangan alat pengukur terhadap roda depan (isometri)



Gambar 4.9b. Posisi pemasangan alat pengukur terhadap roda depan (depan)

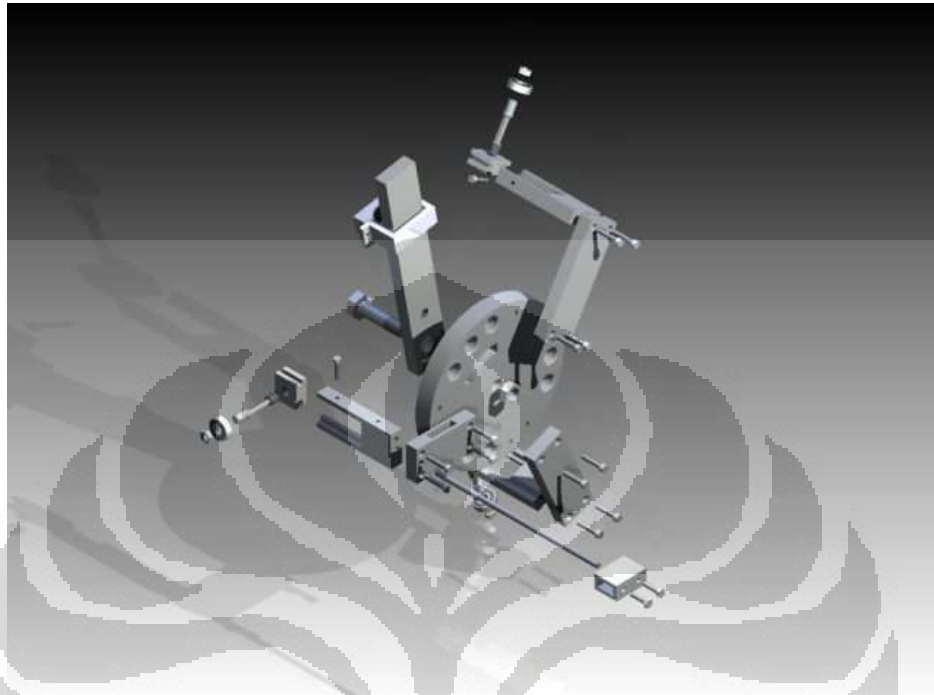


Gambar 4.9c. Posisi pemasangan alat pengukur terhadap roda depan (belakang)



Gambar 4.9d. Posisi pemasangan alat pengukur terhadap roda depan (depan)

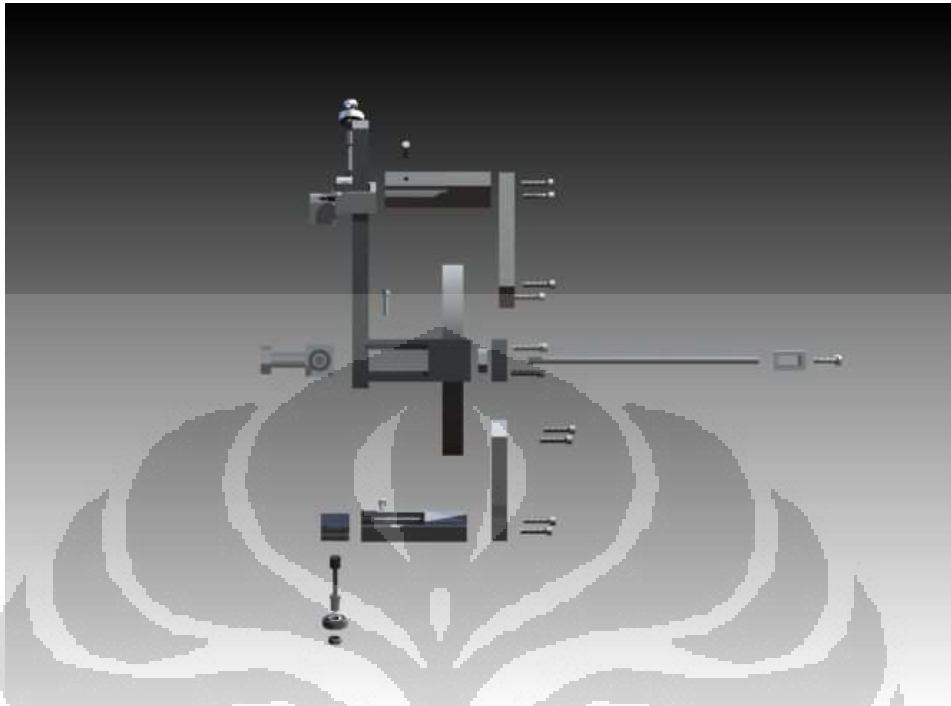
Berikut adalah susunan gambar dalam proses *assembly*.



Gambar 4.10 Tampak isometri proses *assembly*



Gambar 4.11 Tampak atas proses *assembly*



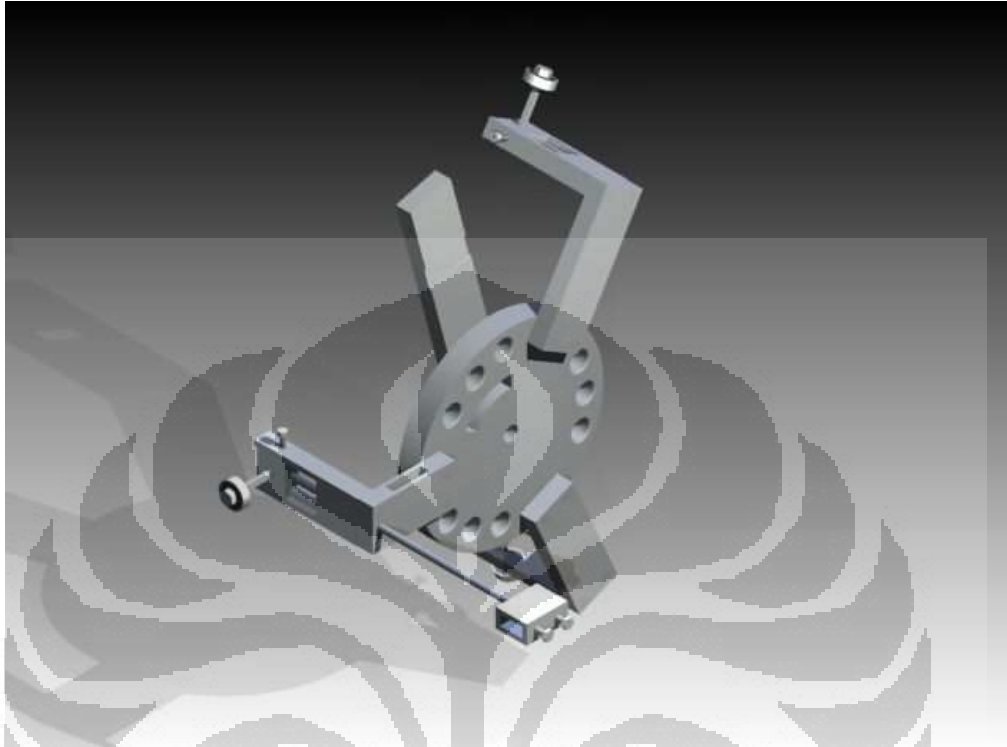
Gambar 4.12 Tampak kiri proses *assembly*

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT

1. Hasil simulasi FEM yang didapatkan adalah berupa besar *equivalent stresses* dan deformasi sebesar 211.12 dan 1.0549 mm.
2. Dibutuhkan parameter arah dan besar gaya, arah gaya gravitasi, serta *constraint* yang sesuai dengan kondisi *real*, agar setiap komponen dapat di analisa menggunakan metode FEM dengan bantuan program *Autodesk Inventor Pro 2009*.
3. Perbandingan hasil analisa FEM dengan hasil dari perhitungan secara manual, menunjukkan bahwa FEM dapat dipergunakan untuk menganalisa komponen lainnya.
4. Adanya proses *finishing* merupakan suatu langkah untuk memnuhi *demands* dari konsumen berdasarkan segi *safety* maupun penampilan dari segi estetika
5. Proses manufaktur yang digunakan adalah
 - Milling
 - Drilling
 - Turning
6. Total waktu dan biaya dalam proses manufaktur adalah
 - Milling*
Waktu = 72.309 menit
Biaya = Rp. 97,911.75.-
 - Drilling*
Waktu = 2.096 menit
Biaya = Rp. 1,747.67.-
 - Turning*
Waktu = 0.019 menit = 1.14 detik
Biaya = Rp. 16.39.-

7. Hasil akhir rancangan:



Gambar 5.1. Hasil akhir rancangan

Terdiri dari sembilan bagian utama, yaitu:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------|
| 6. Plat utama | f. Slide |
| 7. Batang utama | g. Slider |
| 8. Lengan Kiri | h. Base Material |
| 9. Lengan atas | i. Batang Sporing |
| 10. Lengan bawah | |
| 8. Posisi pemasangan terhadap roda: | |



Gambar 5.2. Posisi pemasangan alat ukur terhadap roda depan

SARAN

Untuk penelitian lebih lanjut saran yang dapat saya berikan adalah dalam melakukan perhitungan diharapkan memperhitungkan juga mengenai *rigidity* komponen sehingga hasil perhitungan dapat lebih akurat dan membantu menghasilkan rancangan yang lebih baik.

Dalam melakukan simulasi FEM juga agar simulasi dilakukan tidak per komponen namun keseluruhan dari alat ukur sehingga efek-efek yang muncul dapat lebih terlihat.

DAFTAR ACUAN

Hamrock, Bernard J. Steven R. Schmid, Bo O Jacobson. *Fundamentals of Machine Elements*

Cossalter, V. and Doria, A.: 'Model Simulation: the Latest Dynamic Simulation Developments for Motorcycle Tires', pp. 38–41.

Cossalter, V. and Lot, R., 'A motorcycle multi-body model for real time simulations based on the natural coordinates approach', *Vehicle System Dynamics*, 423–447.

Degarmo, Paul E. *Material and Process in Manufacturing*. John Willey and Sons.inc.2003.Rieverstreet

Wong, J.Y. *Theory of Ground Vehicles*, 3rd Edition

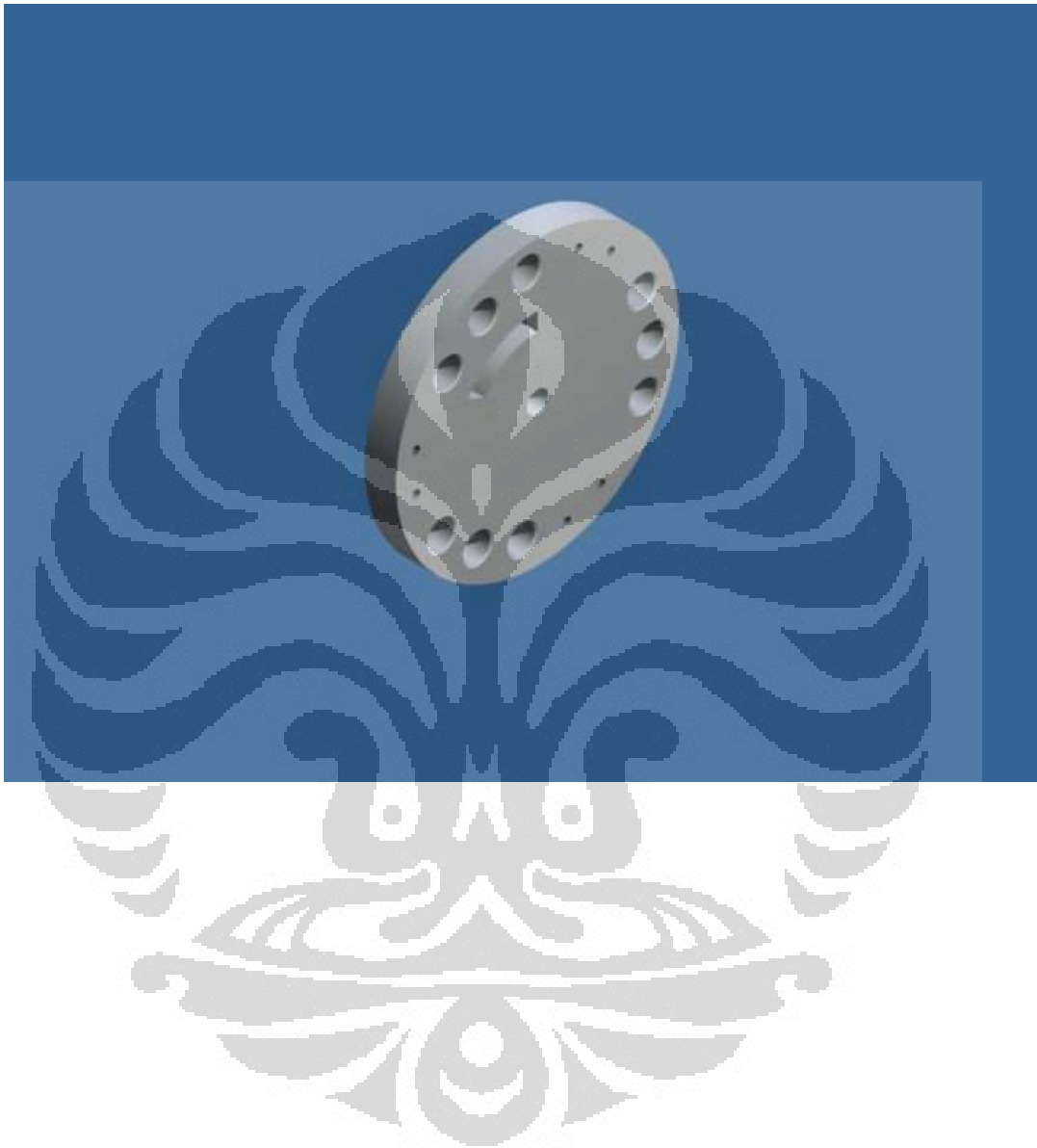
Lampiran 1: Gambar *Assembly* Alat Ukur



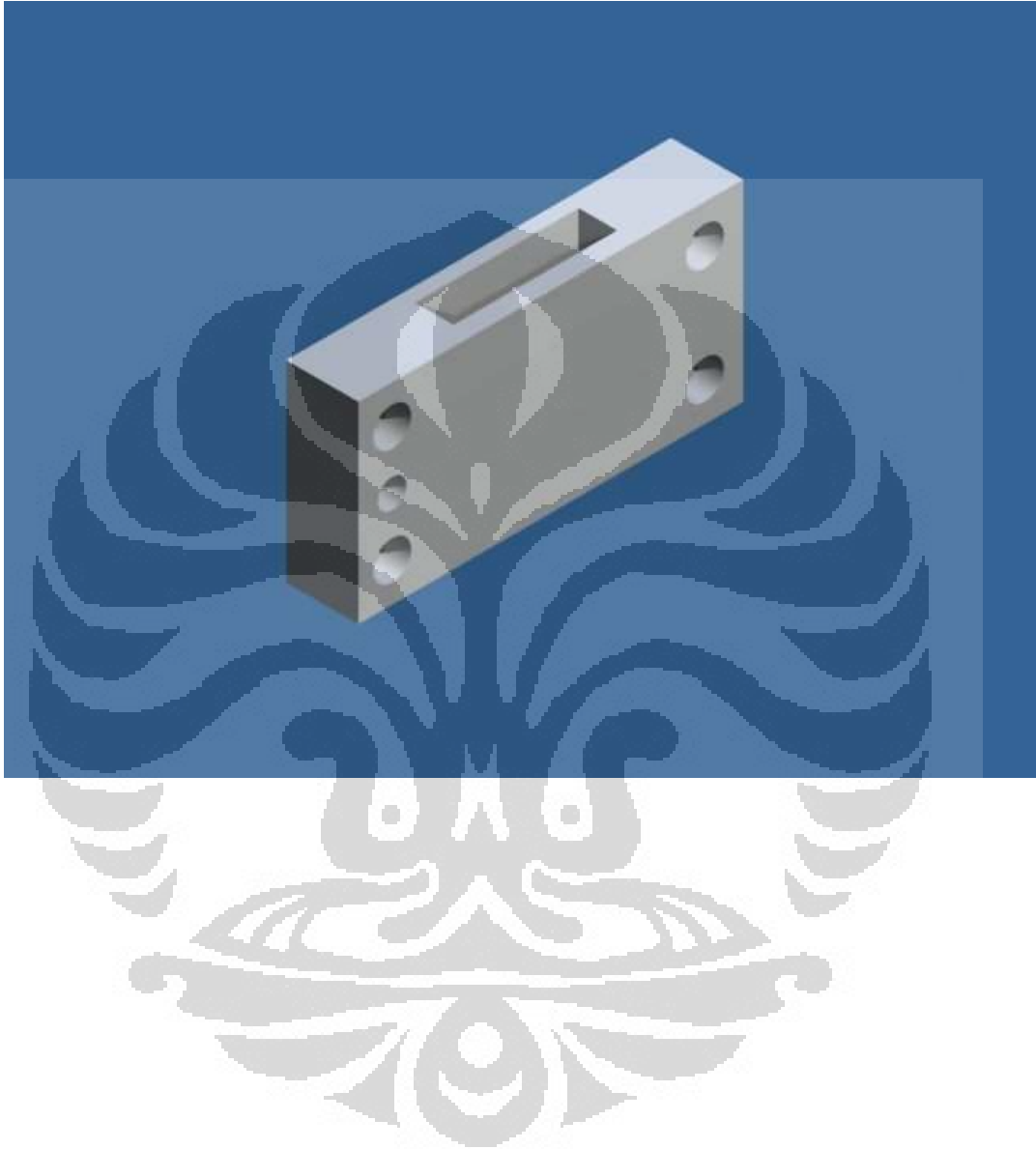
Lampiran 2: Gambar Pemasangan Alat Ukur Terhadap Roda Depan



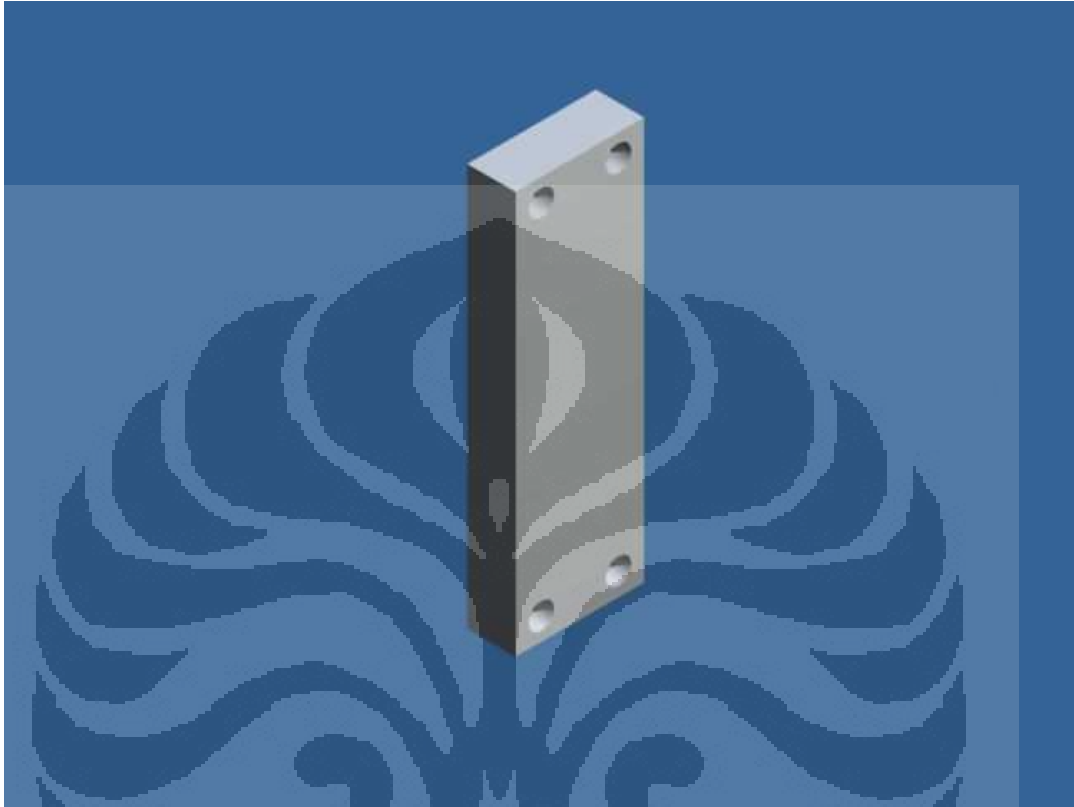
Lampiran 3: Gambar Part Plat



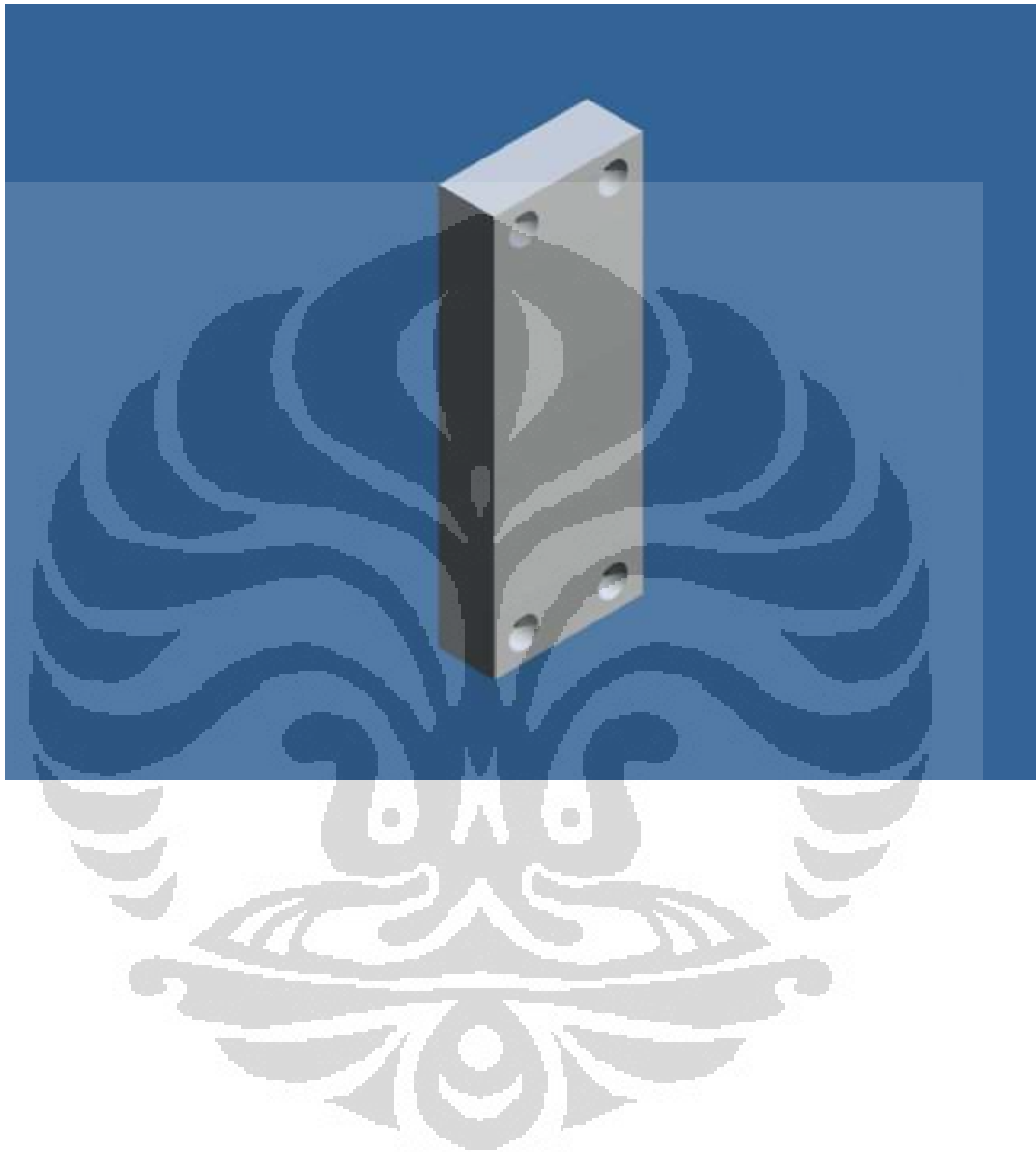
Lampiran 4: Gambar Part Lengan Kiri



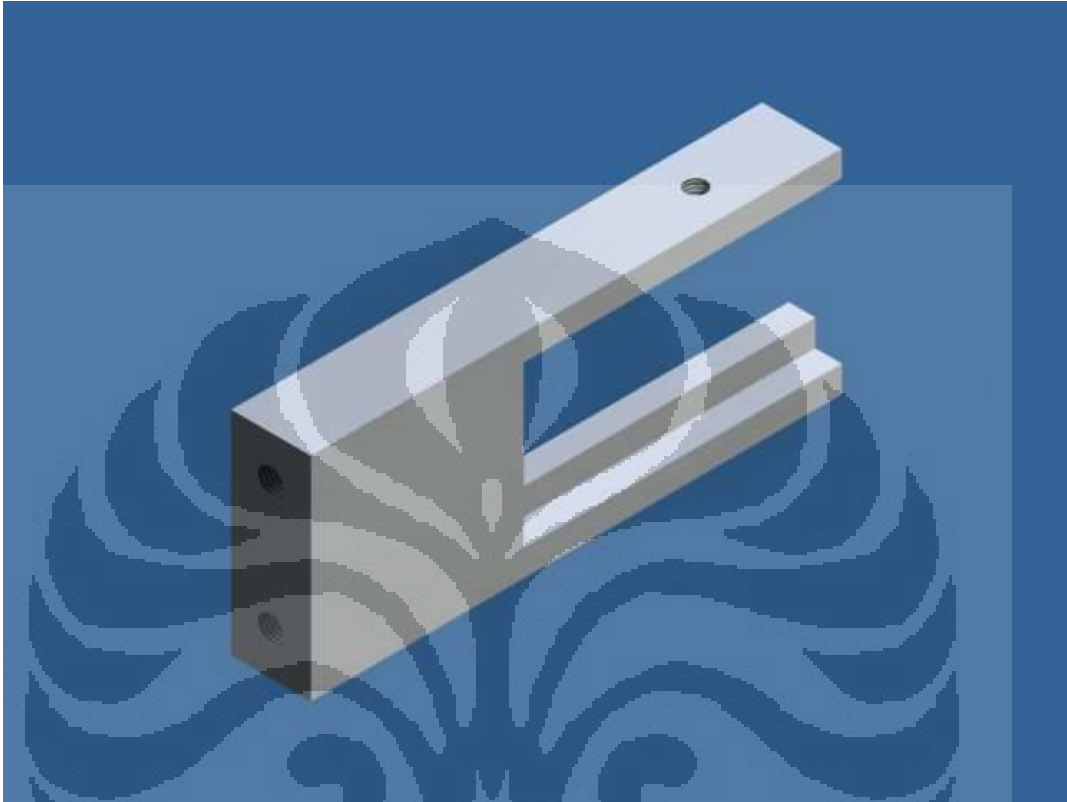
Lampiran 5: Gambar Part Lengan Atas



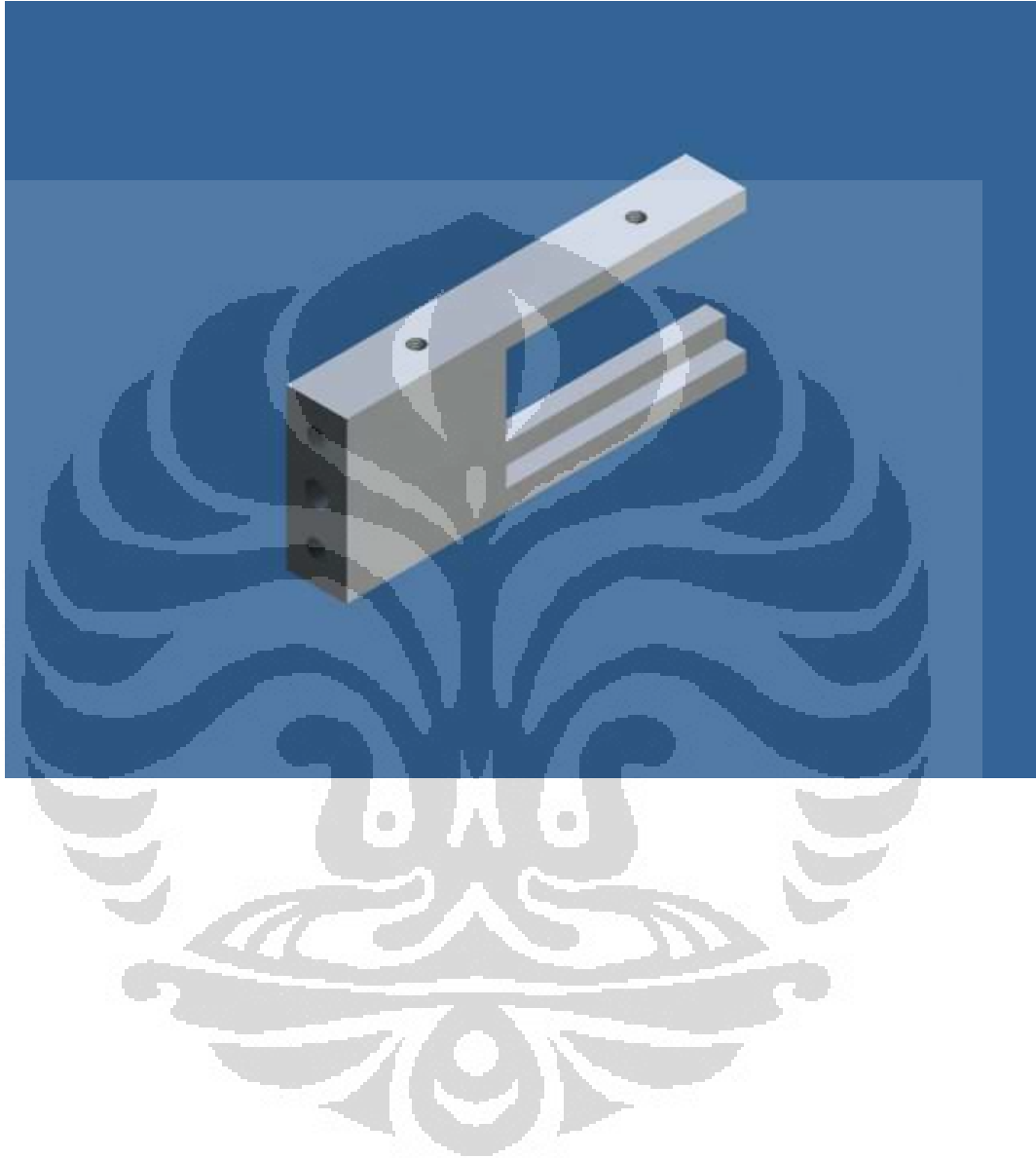
Lampiran 6: Gambar Part Lengan Bawah



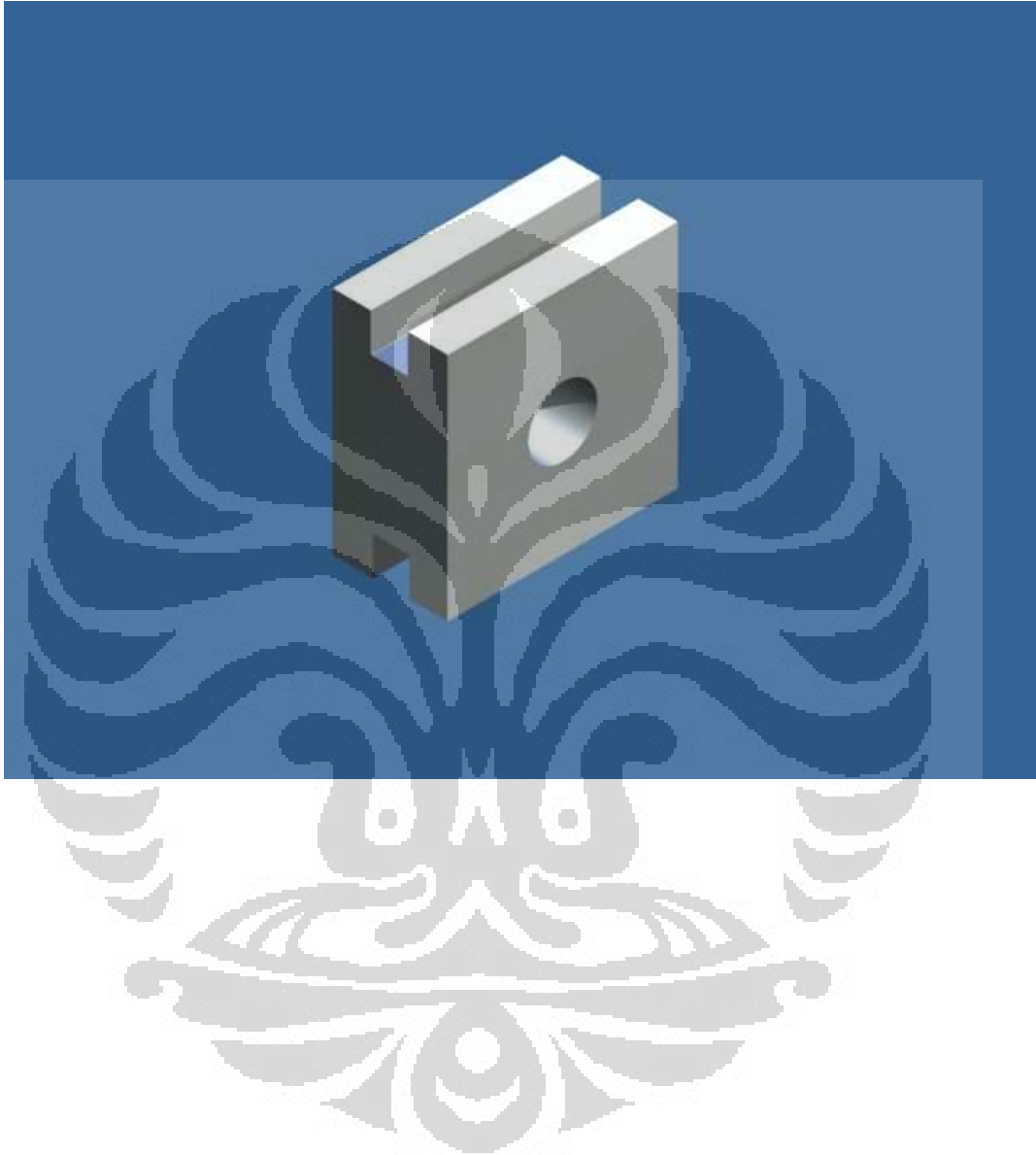
Lampiran 7: Gambar Part Slide



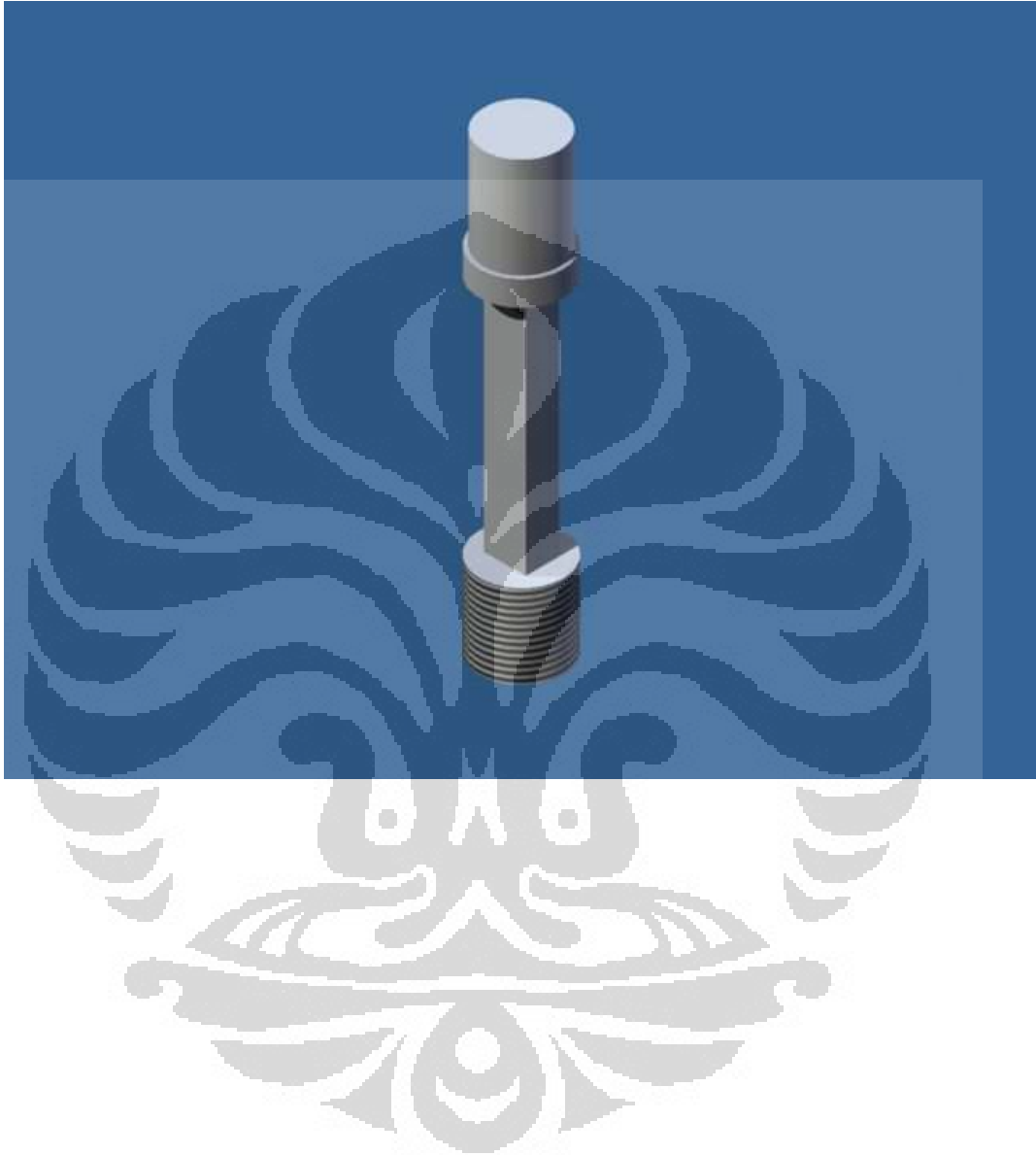
Lampiran 8: Gambar Part Slide Lengan Kiri



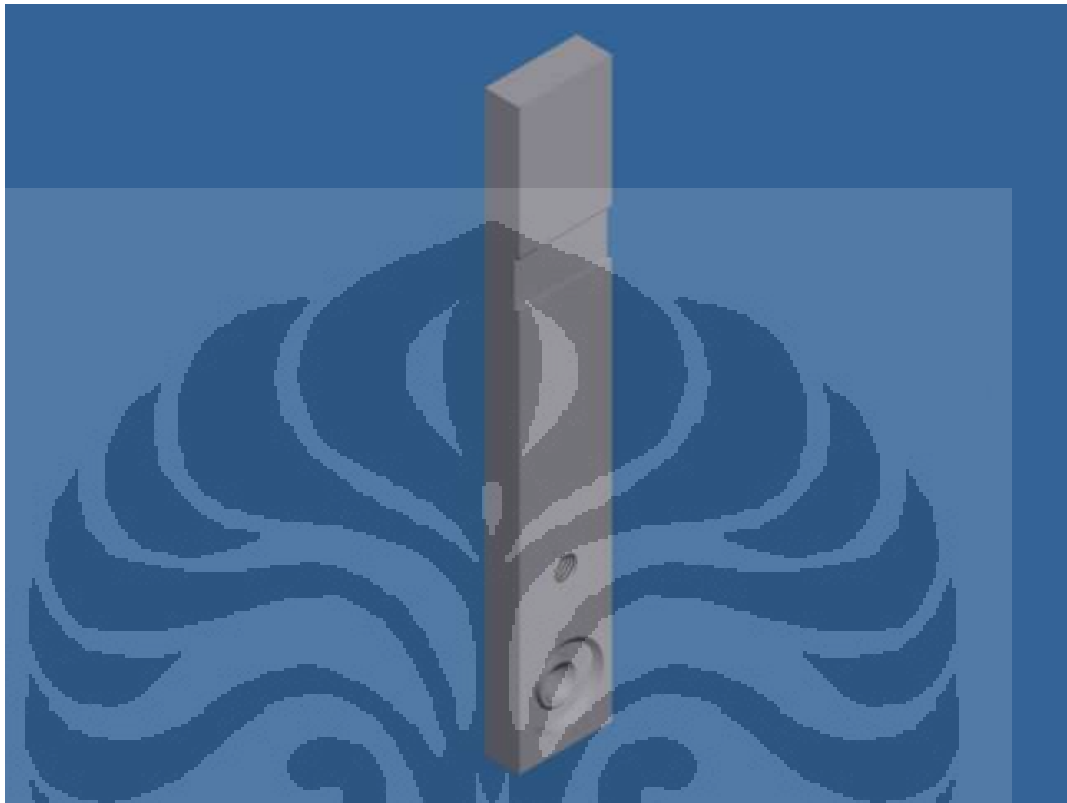
Lampiran 9: Gambar Part Slider



Lampiran 10: Gambar Part Base Material



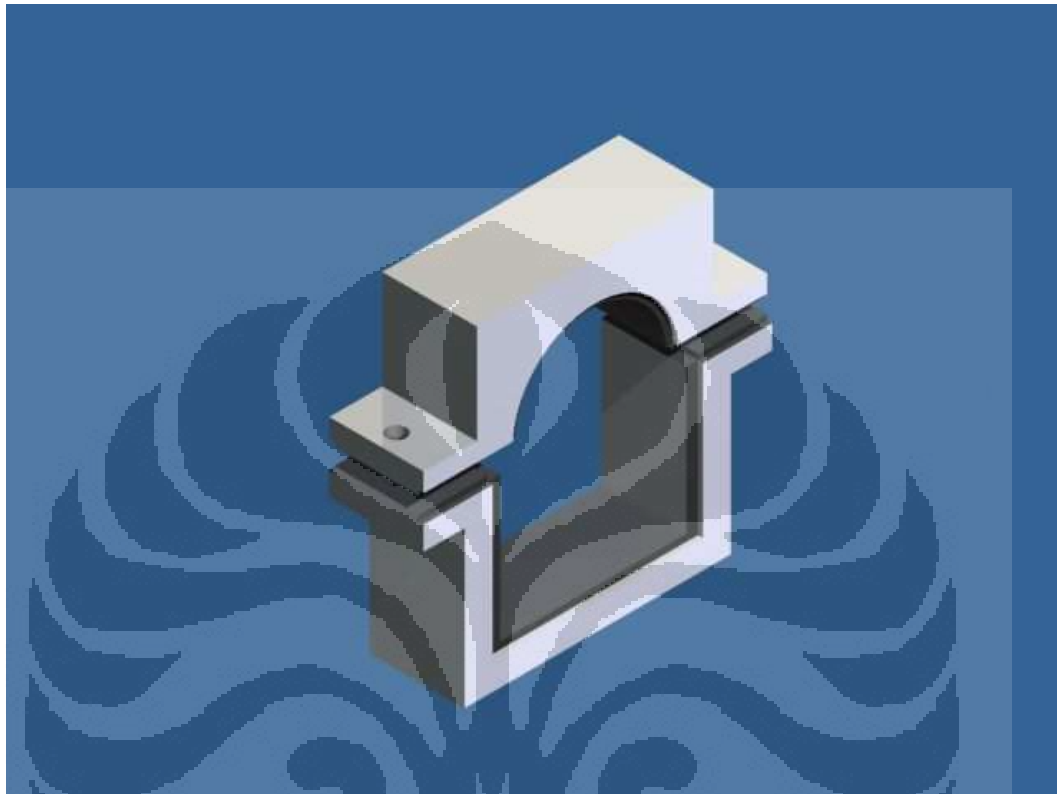
Lampiran 11: Gambar Part Batang Utama

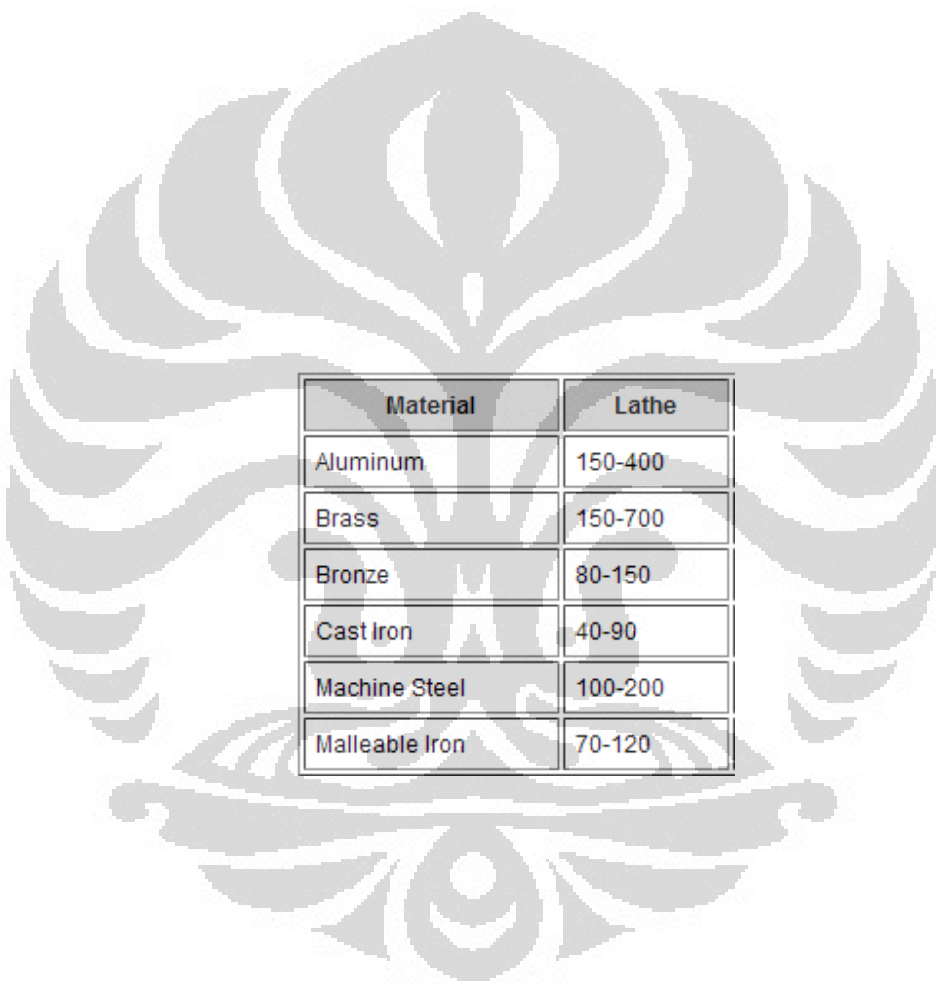


Lampiran 12: Gambar Part Sporing



Lampiran 13: Gambar Part Cekam





Material	Lathe
Aluminum	150-400
Brass	150-700
Bronze	80-150
Cast Iron	40-90
Machine Steel	100-200
Malleable Iron	70-120