



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN PROSES *BIOMACHINING* DENGAN
BAKTERI *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS* NBRC
14262 DAN ANALISIS PENGARUH POSISI BENDA KERJA
TERHADAP PERMUKAAN CAIRAN MEDIUM KULTUR**

SKRIPSI

**ADNAN AFIF ALAUDIN
0806454550**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN PROSES *BIOMACHINING* DENGAN
BAKTERI *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS* NBRC
14262 DAN ANALISIS PENGARUH POSISI BENDA KERJA
TERHADAP PERMUKAAN CAIRAN MEDIUM KULTUR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ADNAN AFIF ALAUDIN
0806454550**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,

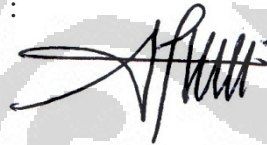
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Adnan Afif Alaudin

NPM : 0806454550

Tanda Tangan :



Tanggal : 2 Juli 2012

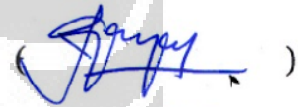
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Adnan Afif Alaudin
NPM : 0806454550
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengembangan Proses *Biomachining* Dengan Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 dan Analisis Pengaruh Posisi Benda Kerja Terhadap Permukaan Cairan Medium Kultur.

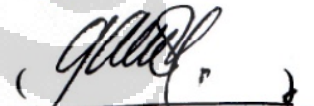
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

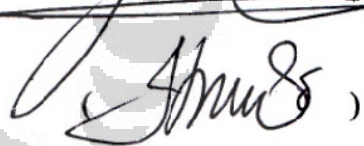
Pembimbing : Jos Istiyanto S.T., M.T., Ph.D.



Pembimbing : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto M.Eng.



Pembimbing : Drs. Iman Santoso M.Phil.



Penguji : Prof. Dr. Ir. Tresna P. Soemardi, M.Si., S.E.



Penguji : Dr. Ario Sunar Baskoro S.T., M.T., M.Eng.



Penguji : Yudan Whulanza S.T., M.Sc., Ph.D.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu dan Bapakku yang tidak pernah henti-hentinya memberikan semangat dan doa kepada penulis setiap berangkat ke kampus.
2. Bapak Jos Istiyanto Ph.D dan Bapak Dr. Ir. Gandjar Kiswanto M.Eng selaku pembimbing dan juga orang tua dikampus yang selalu memberikan banyak ilmu serta motivasi tinggi untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Iman Santoso, M.Phil selaku pembimbing dari Lab Mikrobiologi FMIPA UI yang selalu sabar membantu penulis dalam melakukan setiap percobaan-percobaan penelitian.
4. Seluruh karyawan DTM UI yang sudah membantu dengan suka rela dalam pembuatan alat skripsi.
5. Saudara-saudara ku dirumah Panji, Lina, Ghina dan Dany yang selalu bisa memberikan semangat baru setiap pulang ke rumah.
6. Dea Adreanni selaku sahabat terbaik yang tidak pernah berhenti memberikan senyum semangat disetiap jatuh bangunnya penulis.
7. Ferdian Harjono selaku rekan skripsi yang penuh semangat disetiap hari-hari menyelesaikan skripsi ini.
8. Keluar besar Lab Manufaktur dan Otomasi Lt 2 Andri, Dangker, Derris, Bayu, Gani, Just Nurrohman, Bobby, Agus Siswanta, Dedy, Jedo, Yogi, Jediel, Teguh, Ijul, Mba Dede, Mas Aska, Mas Mail, Pak Suwarsono dan lain-lain yang tidak disebutkan yang selalu mendukung dan memberikan canda tawa selama pengerjaan skripsi.
9. Teman-teman dari lab mikrobiologi Mas Pri, Niar, Reza, Bidin, Hana yang sudah berbagi pengalaman selama bekerja di lab mikrobiologi.

10. Teman-teman dan keluarga dari Tim Robot Universitas Indonesia yang selalu menyediakan tempat tinggal, belajar serta bermain kapan saja.
11. Para adik mesin angkatan 2009, 2010, 2011 dan senior-senior mesin angkatan 2005, 2006, 2007, yang selalu memberi motivasi hebat kepada penulis.
12. Seluruh keluarga besar mesin angkatan 2008 “*satu solid mantap*” yang tidak pernah berhenti memberikan kenangan dan pengalaman hidup paling berkesan dan tak terlupakan bagi penulis.

Semoga dengan selesainya penelitian dan skripsi ini dapat memberikan sumbangsih dan kontribusi yang besar bagi perkembangan dunia teknologi Teknik Mesin secara khusus dan teknologi industri secara umum.

Penulis

Juli 2012

HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Adnan Afif Alaudin

NPM : 0806454550

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

“Pengembangan Proses *Biomachining* Dengan Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 dan Analisis Pengaruh Posisi Benda Kerja Terhadap Permukaan Cairan Medium Kultur”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan 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 : 2 Juli 2012

Yang menyatakan,



Adnan Afif Alaudin

ABSTRAK

Nama : Adnan Afif Alaudin
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengembangan Proses *Biomachining* Dengan Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 dan Analisis Pengaruh Posisi Benda Kerja Terhadap Permukaan Cairan Medium Kultur.

Biomachining merupakan proses alternatif dalam fabrikasi mikro yang tergolong ramah lingkungan karena menggunakan bakteri sebagai *cutting tool*. Proses *biomachining* menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik karena tidak menghasilkan panas pada permukaan benda kerja dan berpotensi menghasilkan produk dengan skala mikro yang lebih kompleks. Dalam penelitian ini, proses *biomachining* mulai dikembangkan menjadi lebih fleksibel sesuai dengan arah *multi-axis*. Proses *biomachining* bergantung pada kadar oksigen yang terkandung dalam larutan medium kultur, karena oksigen merupakan komponen utama proses metabolisme bakteri dalam melakukan *material removal*. Pengujian dilakukan terhadap 5 buah sampel material tembaga (Cu) yang diletakkan dengan kedalaman berbeda-beda terhadap permukaan cairan medium kultur bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262. Hasil pengujian menunjukkan bahwa material sampel yang ditempatkan pada kedalaman 40 mm memiliki tingkat *material removal rate* (MRR) 50% lebih besar dibandingkan dengan yang diletakkan pada kedalaman 120 mm.

Kata kunci: *Biomachining*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262, *material removal rate* (MRR)

ABSTRACT

Name : Adnan Afif Alaudin
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Development of Biomachining Process Using *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 and Analysis of Workpiece Position in Cultured Medium.

Biomachining is an alternative process in the micro-fabrication categorized as environmental friendly because it uses bacteria as a cutting tool. Biomachining process produces a better surface quality because it does not generate heat on the surface of the workpiece that potentially developed to produce more complex microproducts. In this reasearch, biomachining process was developed to be more flexible in multi-axis direction. Biomachining process depends on the level of oxygen contained in the cultured medium, because oxygen is a main component of the metabolic processes of bacteria to conduct of material removal. The experiments were carried out on 5 pieces of material from copper (Cu) and placed in different depths to the surface of the liquid culture medium of bacteria *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262. The results showed that sample material that placed 40 mm below the top surface of media has material removal rate (MRR) 50% larger than the one placed 120 mm below.

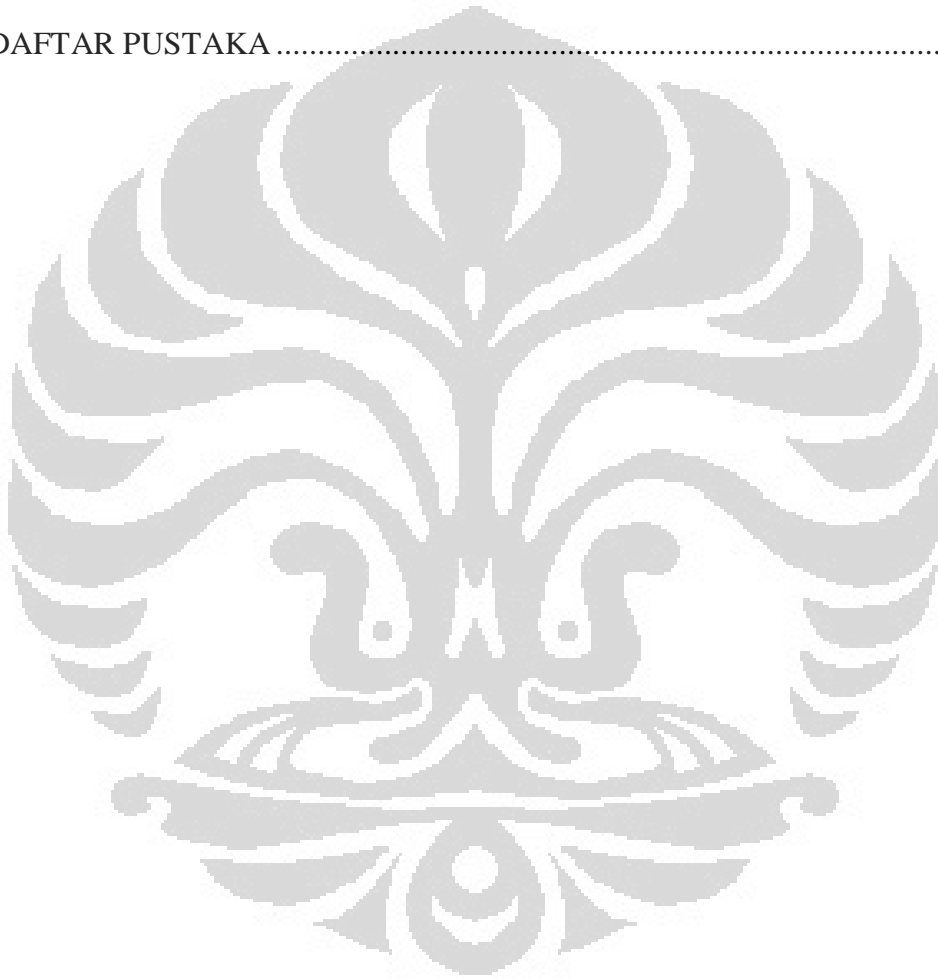
Keywords: Biomachining, *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262, material removal rate (MRR)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Perumusan Masalah	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Metode Penelitian.....	4
1.5.1 Studi literatur.....	5
1.5.2 Perancangan dan pengujian inklinator <i>multi-axis</i>	5
1.5.3 Karakterisasi awal proses <i>biomachining</i>	5
1.5.4 Fokus penelitian dan analisis.....	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 PROSES BIOMACHINING	8
2.1 Proses Biomachining	8
2.2 Bakteri <i>Achidithiobacillus ferrooxidans</i>	9
2.3 Medium 9K dan Kulturasasi Bakteri <i>Achidithiobacillus ferooxidans</i>	12
2.4 Estimasi Jumlah Bakteri Dengan Metode MPN (<i>Most Probable Number</i>).....	12
2.5 Material Benda Kerja.....	15
2.6 Laju Pelepasan Material (<i>Material Removal Rate</i>)	17
2.7 Kekasaran Permukaan (<i>Surface Roughness</i>).....	18
BAB 3 PENGEMBANGAN INKLINATOR MULTI-AXIS	20
3.1 Sistem Mekanikal	21

3.1.1	Desain Mekanik.....	21
3.1.2	Pemilihan Material	22
3.1.3	Motor Stepper.....	26
3.1.4	Linear Guideway	27
3.2	Sistem Elektrikal dan Kontrol	28
3.2.1	Driver Motor Stepper 5 Fasa.....	29
3.2.2	Mikrokontroler	31
3.2.3	LCD 16x2.....	31
3.2.4	<i>Power Supply</i>	31
3.2.5	<i>Power Distribution</i>	32
BAB 4	KARAKTERISASI AWAL PROSES <i>BIOMACHINING</i>	33
4.1	Pengujian Perbandingan Tingkat <i>Material Removal Rate</i> (MRR) Pada Steril Medium 9K Dan Medium Kultur Bakteri	33
4.2	Pengujian Perbandingan <i>Material Removal Rate</i> Dengan Perbedaan Luas Permukaan	36
4.3	Pengujian Tingkat Kekasaran Dengan Variasi Waktu Permesian	40
4.4	Pengujian Pengaruh Inklinasi Terhadap Hasil Pemesinan.....	42
BAB 5	PENGARUH POSISI BENDA KERJA TERHADAP PERMUKAAN CAIRAN MEDIUM KULTUR BAKTERI <i>ACIDITHIOBACILLUS FERROXIDANS</i> DALAM PROSES <i>BIOMACHINING</i>	45
5.1	Latar Belakang Pengujian	45
5.2	Metodologi Pengujian.....	45
5.3	Persiapan Benda Kerja dan Alat Kerja	46
5.4	Estimasi Jumlah Bakteri Dengan Metode MPN Sebelum Proses <i>Biomachining</i>	48
5.5	Proses <i>Biomachining</i>	49
5.6	Perhitungan Massa Benda Kerja	51
BAB 6	HASIL DAN ANALISIS	52
6.1	Hasil Pengujian	52
6.1.1	Percobaan 1	52
6.1.2	Percobaan 2	53
6.1.3	Percobaan 3	54
6.2	Analisis	55

6.2.1	Analisis Percobaan Biomachining.....	55
6.2.2	Analisis Data dan Grafik.....	56
6.2.2.1	Analisis Perbandingan Waktu Pemesinan Terhadap Material Removal	56
6.2.2.2	Analisis Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan ...	58
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT		67
7.1	Kesimpulan.....	67
7.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....		70

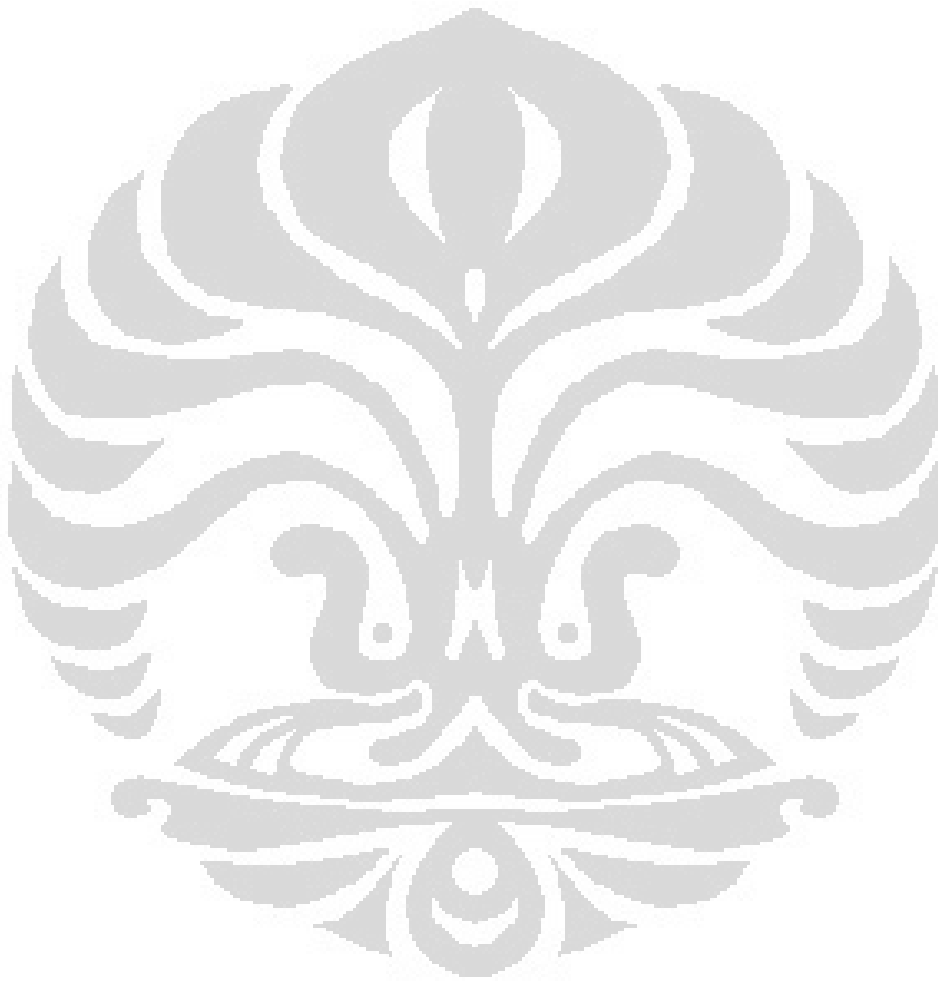


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Daerah <i>heat affected zone</i> yang dihasilkan oleh <i>laser ablation</i>	1
Gambar 1.2 Pemanfaatan bakteri dalam proses <i>bio-leaching</i> [6].....	2
Gambar 1.3 Pemanfaatan masking pada proses biomachining [2].....	2
Gambar 1.4 Tekstur Permukaan benda kerja hasil proses biomachining dengan metode <i>multi-axis</i>	3
Gambar 2.1 Reaksi berkelanjutan proses <i>biomachining</i> [1].....	8
Gambar 2.2 Mekanisme proses <i>biomachining</i> [3]	9
Gambar 2.3 Pemanfaatan bakteri pada proses <i>bioleaching</i> [9].....	10
Gambar 2.4 Bentuk bakteri <i>Achidithibacillus ferrooxidans</i> [2]	10
Gambar 2.5 Bentuk koloni bakteri <i>Achidithiobacillus ferrooxidans</i> [3]	11
Gambar 2.6 Bakteri <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> NBRC 14262	11
Gambar 2.7 Proses Pengenceran Pada Teknik MPN [10].....	15
Gambar 2.8 Perbandingan shaking rate dengan mean removed rate pada Fe dan Cu[1].....	16
Gambar 2.9 Material Tembaga.....	16
Gambar 2.10 Karakteristik material tembaga [14]	16
Gambar 2.11 MRR pada proses turning [11]	17
Gambar 2.12 Metode Perhitungan Ra (<i>Roughness Average</i>).....	18
Gambar 2.13 Perhitungan Rmax	19
Gambar 2.14 Metode perhitungan Rq.....	19
Gambar 3.1 Arah gerak inklinator multi-axis	20
Gambar 3.2 Inklinator Multi-Axis.....	20
Gambar 3.3 Desain Inklinator Multi-Axis	21
Gambar 3.4 Dimensi Inklinator <i>Multi-Axis</i>	22
Gambar 3.5 Penggunaan material pada inklinator multi-axis	23
Gambar 3.6 Contoh Sistem leadscrew	24
Gambar 3.7 Dimensi Motor Stepper 5 fasa bipolar A1K-S543(W) [14].....	26
Gambar 3.8 Struktur coil stepper motor 5 fasa bipolar tipe A1K-S543(W) [14]..	27
Gambar 3.9 Dimensi Linear Guideway tipe MGN [18]	28
Gambar 3.10 Sistem elektrikal inklinator <i>multi-axis</i>	29
Gambar 3.11 Driver Motor Stepper 5 fasa.....	30
Gambar 3.12 Pin-pin pada L298N [19]	30
Gambar 3.13 Mikrokontroler ATmega 16.....	31
Gambar 3.14 LCD 16x2.....	31
Gambar 3.15 Power Supply 12 volt dan 5 volt	32
Gambar 3.16 <i>Power Distribution</i>	32

Gambar 4.1 Metodologi Pengujian <i>Material Removal Rate</i> antara steril medium 9K dan medium kultur bakteri	34
Gambar 4.2 Grafik perbandingan <i>material removal rate</i> antara steril medium 9K dan larutan kultur bakteri	35
Gambar 4.3 Metode pengisolasian permukaan sampel benda kerja.....	36
Gambar 4.4 Metodologi Pengujian Perbandingan <i>Material Removal Rate</i> Dengan Perbedaan Luas Permukaan	37
Gambar 4.5 Sampel benda kerja setelah proses biomachining	38
Gambar 4.6 Grafik pengaruh jenis perlakuan terhadap <i>material removal rate</i> (MRR).....	38
Gambar 4.7 Hasil Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	39
Gambar 4.8 Metodologi pengujian tingkat kekasaran permukaan (<i>Roughness</i>)... 40	
Gambar 4.9 Perbandingan waktu pemesinan dengan perubahan tingkat kekasaran permukaan.....	41
Gambar 4.10 Metodologi Pengujian Pengaruh Inklinasi Terhadap Hasil Pemesinan	42
Gambar 4.11 Perlakuan isolasi pada setiap sampel dalam proses inklinasi.....	43
Gambar 4.12 Metode Inklinasi pada perboaan tipe 1	43
Gambar 4.13 Metode Inklinasi pada perboaan tipe 2	43
Gambar 4.14 Hasil Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	44
Gambar 5.1 Hasil Uji SEM benda kerja dengan metode inklinasi.....	45
Gambar 5.2 Metodologi Penelitian.....	46
Gambar 5.3 Benda kerja setelah proses pengamplasan	47
Gambar 5.4 Desain <i>Stripe Case</i>	48
Gambar 5.5 Penempatan benda kerja pada <i>Stripe case</i>	48
Gambar 5.6 Ilustrasi ketinggian benda kerja di dalam wadah	50
Gambar 5.7 Ketinggian cairan permukaan.....	50
Gambar 5.8 Letak Pencelupan benda kerja pada wadah.....	50
Gambar 5.9 Timbangan Oertling.....	51
Gambar 6.1 Grafik perbandingan <i>machining time</i> terhadap perubahan <i>MRR</i> pada Percobaan 1	56
Gambar 6.2 Grafik perbandingan <i>machining time</i> terhadap perubahan <i>MRR</i> pada percobaan 2	56
Gambar 6.3 Grafik perbandingan <i>machining time</i> terhadap perubahan <i>MRR</i> pada Percobaan 3	57
Gambar 6.4 Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan <i>MRR</i> Percobaan 1	58
Gambar 6.5 Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan <i>MRR</i> Percobaan 2	59
Gambar 6.6 Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan <i>MRR</i> Percobaan 3	59

Gambar 6.7 Ilustrasi kandungan oksigen pada setiap lapisan medium kultur bakteri.....	60
Gambar 6.8 Perbandingan <i>bandwidth</i> pada ketiga percobaan a) <i>bandwidth percobaan 1</i> b) <i>bandwidth percobaan 2</i> c) <i>bandwidth percobaan 3</i>	364
Gambar 6.9 Ilustrasi pergerakan bakteri penyebab ketidakefektifan proses pemisahan pada posisi 2,3, dan 4 atau daerah transisi.	65
Gambar 6.10 Perbandingan Perbedaan MRR pada posisi 1 dan 5 pada setiap percobaan a) <i>percobaan 1</i> b) <i>percobaan 2</i> c) <i>percobaan 3</i>	66



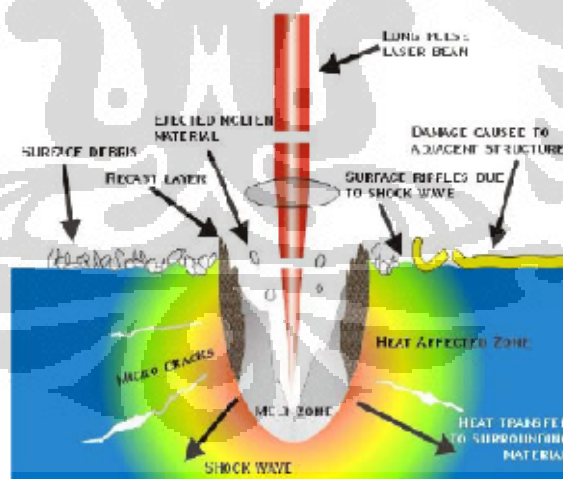
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi medium 9K untuk bakteri NBRC 14262	12
Tabel 2.2 Salah satu nilai MPN pada tabel MPN[10].....	14
Tabel 3.1 Komposisi Aluminium 6063 [12]	23
Tabel 3.2 Sifat Mekanik Aluminium 6063 [12]	24
Tabel 3.3 Mekanik Stainless Steel AISI 201 [13]	25
Tabel 3.4 Sifat mekanik Alloy Steel ASTM A320-L7 [16].....	25
Tabel 3.5 Sifat Mekanik Acrylic [17].....	26
Tabel 3.6 Spesifikasi motor 5 fasa bipolar tipe A1K-S543(W)[14].....	27
Tabel 3.7 Spesifikasi Dimensi Linear Guideway tipe MGN[18].....	28
Tabel 3.8 Absolute Maximum Ratings L298N [19].....	30
Tabel 4.1 Tingkat MRR pada steril medium 9K dan medium kultur bakteri	34
Tabel 4.2 Machining parameter perbandingan steril medium 9K dan medium kultur bakteri	35
Tabel 4.3 Machining parameter pengujian pengaruh luas permukaan	37
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Ra	41
Tabel 4.5 Machining parameter pengujian tingkat kekasaran proses biomachining	42
Tabel 5.1 Data MPN Sebelum Percobaan.....	49
Tabel 5.2 Machining parameter proses biomachining.....	51
Tabel 6.1 Pengukuran Material Removal Rate Percobaan 1	52
Tabel 6.2 Pengukuran Material Removal Rate Percobaan 2.....	53
Tabel 6.3 Pengukuran Material Removal Rate Percobaan 3.....	54
Tabel 6.4 Perhitungan Anova Percobaan 1	60
Tabel 6.5 Perhitungan Anova Percobaan 2	61
Tabel 6.6 Perhitungan Anova Percobaan 3	61
Tabel 6.7 Komponen Uji F	62
Tabel 6.8 Hasil Perhitungan Anova	62

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

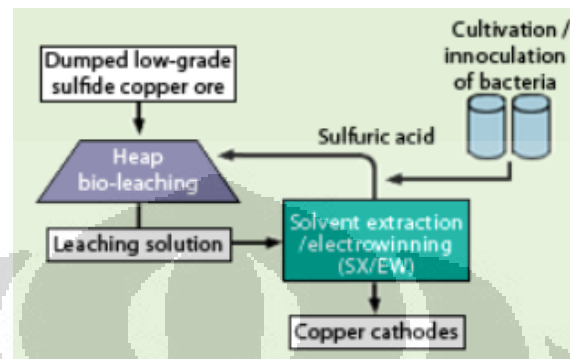
Teknik proses fabrikasi dalam skala mikro atau *microfabrication* sudah merupakan hal yang tidak asing lagi dalam dunia industri global. Hal ini dapat terlihat dari perkembangan yang sangat pesat dibidang-bidang peralatan medis, elektronika maupun telekomunikasi diseluruh dunia. Dengan pesatnya perkembangan tersebut membuat semakin besarnya pula tingkat kebutuhan serta tuntutan kualitas yang harus terpenuhi. Belum lagi isu mengenai *go green* dan *save energy* juga tidak kalah penting saat ini. Oleh karena itu, berbagai penelitian dibidang fabrikasi mikro ini giat digencarkan. Proses fabrikasi mikro yang sudah ada saat ini seperti *micro milling*, *micro turning*, *micro EDM*, *Abrasive Jet Machining*, *laser ablation* dapat dikatakan masih memiliki tingkat efisiensi yang cukup rendah baik dalam penggunaan sumber energy, *cutting tool* serta *heat affected zone* yang dihasilkan[1][2][3][4].



Gambar 1.1 Daerah *heat affected zone* yang dihasilkan oleh *laser ablation*

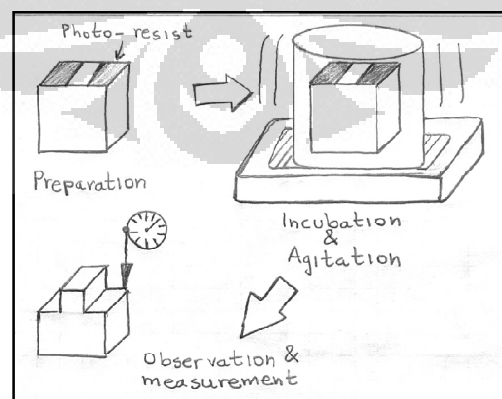
Selain itu hasil permukaan dari benda kerja yang masih memiliki kekurangan ditingkat kualitas permukaan benda kerja, sehingga dibutuhkan proses alternatif yang dapat menjadi solusi proses pemesinan konvensional tersebut. Dalam hal ini salah satu alternatif yang dapat dijadikan solusi adalah *biomachining* dimana proses pemesinan ini menggunakan *cutting tool* yang

berada di alam yaitu berupa *microorganism*. Pada proses pemesian ini digunakan mikroorganisme berupa bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans* yang merupakan bakteri yang banyak dimanfaatkan pada proses *leaching* atau pelindian emas dan logam tambang lainnya[5].



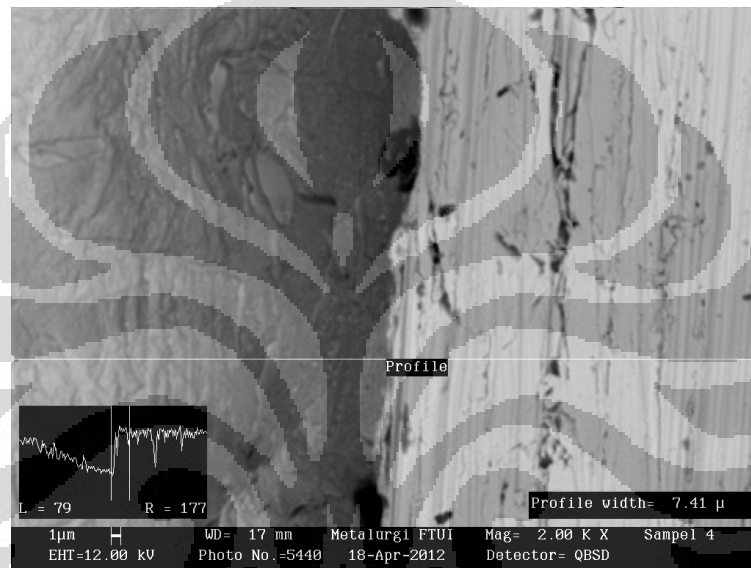
Gambar 1.2 Pemanfaatan bakteri dalam proses *bio-leaching* [6]

Penggunaan bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans* dalam proses *biomachining* sudah banyak menghasilkan benda kerja yang diinginkan. Dengan bantuan *photoresist* pada teknik *photolithography* yang digunakan sebagai masking maka dapat dihasilkan produk-produk dengan skala mikro. Sampai saat ini berbagai produk yang dihasilkan pada proses *biomachining* ini masih menggunakan metode dan arah pemakanan yang sederhana yaitu sesuai dengan arah gravitasi bumi. Hal inilah yang mendorong dilakukan pengujian tingkat kapabilitas proses *biomachining* jika dilakukan secara *multi-axis* oleh bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans*[1].



Gambar 1.3 Pemanfaatan masking pada proses biomachining [2]

Proses pemesinan dengan menggunakan proses *biomachining* memiliki parameter-parameter seperti halnya pada pemesinan konvensional seperti *feed rate*, *spindle speed*, ataupun *depth of cut*. Pada proses *biomachining* parameter-parameter yang digunakan yaitu jenis bakteri, larutan medium 9K, lama pemesinan, dan lain-lain. Berdasarkan hasil pengujian *biomachining* dengan bakteri NBRC 14262 dan juga metode *multi-axis* yang sudah diujikan terdapat suatu perbedaan bentuk permukaan akibat posisi atau jarak benda kerja terhadap carian kultur bakteri[7].



Gambar 1.4 Tekstur Permukaan benda kerja hasil proses biomachining dengan metode *multi-axis*

Hasil perbedaan pemakanan benda kerja ini diperkirakan akibat dari pengaruh kadar oksigen yang ada di dalam medium kultur. Oleh sebab itu akan diujikan bagaimana pengaruh perbedaan hasil pemesinan yang dilakukan oleh bakteri pada benda kerja yang memiliki posisi kedalaman yang berbeda-beda terhadap permukaan cairan medium kultur.

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka tujuan penelitian ini yaitu:

- 1 Merancang dan mengembangkan teknik pemesinan skala mikro dengan metode *biomachining* menggunakan *Acidithiobacillus ferrooxidans* dengan tipe strain NBRC 14262.

- 2 Mengetahui pengaruh perbedaan hasil pemesinan yang dilakukan oleh bakteri pada benda kerja yang memiliki posisi kedalaman yang berbeda-beda terhadap permukaan cairan medium kultur bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*.
- 3 Melakukan rancang bangun inklinator *multi-axis* untuk pengembangan *biomachining multi-axis*.
- 4 Pengembangan teknik *biomachining* dengan metode *multi-axis*.

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditetapkan maka perumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Diperlukannya karakterisasi awal berupa pengujian-pengujian yang sudah pernah diujikan pada penelitian-penelitian sebelumnya untuk mengetahui apakah strain NBRC 14262 mampu melakukan proses *biomachining*.
2. Diperlukannya pengujian serta analisis lebih lanjut mengenai pengaruh perbedaan kedalaman benda kerja terhadap permukaan medium kultur.
3. Pengembangan sistem inklinator *multi-axis* baik sistem mekanik maupun elektrik serta sistem kontrol untuk dapat menganalisis lebih lanjut hasil pemesinan *biomachining* dengan *multi-axis*.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian yang dilakukan akan diamati kemampuan produktivitas pemesinan oleh bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 pada setiap ketinggian tertentu terhadap permukaan cairan medium kultur. Tingkat produktivitas setiap benda kerja akan diukur dengan tingkat *Material Removal Rate (MRR)* yang dihasilkan pada variasi waktu yang berbeda-beda.

1.5. Metode Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode dalam penulisan yaitu:

1. Studi literatur
2. Perancangan dan pengujian inklinator *multi-axis*

3. Karakterisasi awal proses *biomachining*
4. Fokus penelitian
5. Pengumpulan dan analisis data

1.5.1 Studi literatur

Proses studi literatur ini merupakan tahap awal dalam penelitian ini. Studi literatur ini terbagi dalam beberapa tahap. Tahap pertama yaitu pembelajaran mengenai hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya melalui jurnal internasional yang sudah diterbitkan. Tahap kedua yaitu dengan pemahaman teknik penelitian mikrobiologi yang bertujuan untuk mengetahui proses dan persiapan apa saja yang harus dilakukan untuk penanganan mikroorganisme bakteri. Tahap ketiga yaitu pembelajaran mengenai perancangan desain mekanik maupun elektrik dan kontrol untuk pembuatan inklinator *multi-axis*.

1.5.2 Perancangan dan pengujian inklinator *multi-axis*

Pembuatan inklinator *multi-axis* dilakukan untuk menunjang proses *biomachining* dengan metode *multi-axis*. Pada perancangan inklinator *multi-axis* ini dilakukan desain yang cukup sederhana baik dari segi mekanik maupun elektrik serta pengendaliannya.

1.5.3 Karakterisasi awal proses *biomachining*

Karakterisasi awal ini bertujuan untuk menguji kapabilitas dari mikroorganisme yang akan digunakan dalam proses *biomachining*. Adapun karakterisasi awal ini dilakukan dengan pengujian perbandingan tingkat *material removal rate* antara seteril medium 9K dan medium kultur bakteri, pengujian *material removal rate* berdasarkan luas permukaan, serta pengukuran tingkat kekasaran dengan variasi waktu pemesinan yang berbeda-beda.

1.5.4 Fokus penelitian dan analisis

Pada fokus penelitian akan diujikan tingkat produktivitas bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* pada ketinggian-ketinggian tertentu terhadap permukaan cairan medium kultur. Adapun pengujian ini akan dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat. Dari data yang telah diambil sebanyak tiga kali kemudian dilanjutkan dengan analisis agar bisa ditarik kesimpulan akhir.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II: PROSES BIOMACHINING

Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan mulai proses *biomachining*, jenis bakteri yang digunakan, proses pengkulturan bakteri, estimasi jumlah bakteri, material yang digunakan dalam proses pemesinan dan lain-lain.

BAB III: PENGEMBANGAN INKLINATOR MULTI-AXIS

Bab ini menjelaskan mengenai rancangan alat yang digunakan pada proses *biomachining* dengan metode *multi-axis*. Pada bab ini dijelaskan mengenai desain mekanik maupun elektrik secara keseluruhan. Bab ini juga menjelaskan fitur-fitur apa saja yang dapat dilakukan oleh inklinator *multi-axis biomachining* ini.

BAB IV : KARAKTERISASI AWAL PROSES BIOMACHINING

Bab ini menjelaskan tentang berbagai pengujian tahap awal dari proses *biomachining*. Pengujian ini merupakan karakterisasi awal dari penggunaan bakteri pada proses *biomachining* yang akan dilakukan.

BAB V: FOKUS PENELITIAN

Bab ini Berisi tentang fokus penelitian dari masalah yang ditemukan dalam proses *biomachining*

BAB VI: HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisi analisis serta pembahasan secara detail dari data-data yang telah diperoleh. Dari data yang telah diolah kemudian dilakukan analisis, diharapkan dapat ditarik suatu kesimpulan yang menjadi hasil dari penelitian ini.

BAB VII: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih baik.



BAB 2

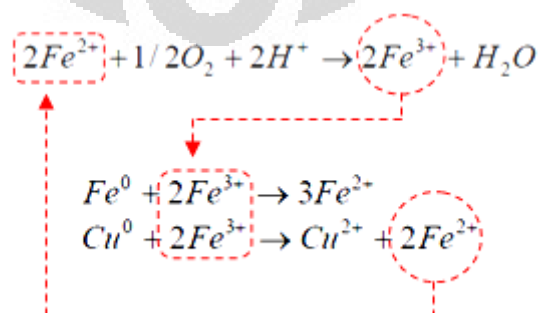
PROSES BIOMACHINING

2.1 Proses Biomachining

Biomachining berasal dari dua kata yaitu *bios* yang berasal dari bahasa Yunani yang berarti hidup dan *machining* yang merupakan istilah dalam proses produksi yang berarti pemesinan. Jadi secara harfiah *biomachining* berarti pemesinan yang dilakukan oleh makhluk hidup, dimana makhluk hidup dalam konteks ini berupa mikroorganisme. Pada proses *biomachining*, mikroorganisme yang digunakan adalah jenis bakteri yang bernama *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

Bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans* memiliki siklus hidup yaitu dengan melakukan metabolisme untuk menghasilkan energi agar terus hidup. Pada proses metabolisme inilah ada suatu proses tersendiri yang dapat dijadikan suatu manfaat dalam suatu proses pemesinan. Adapun bentuk manfaat tersebut diambil dari kemampuan bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans* dalam mengoksidasi dan mereduksi partikel logam menjadi suatu zat terlarut. Akibat adanya partikel yang terlarut, dapat dikatakan ada suatu bagian dari logam yang terkorosi atau terbuang dalam jumlah dan waktu tertentu. Kondisi ini yang kemudian dapat disimpulkan terjadi suatu proses *Material Removal* dengan bantuan suatu mikroorganisme. Secara sederhana proses ini dapat disebut proses *biomachining*.

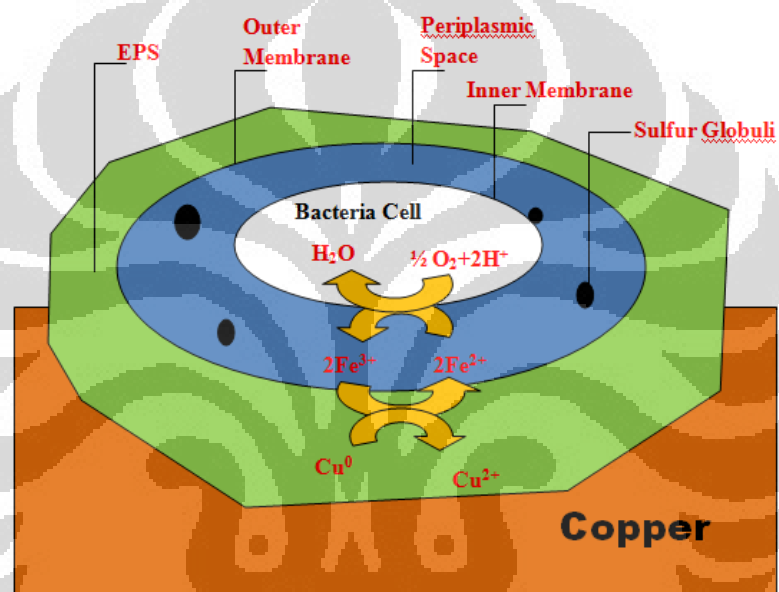
Secara umum proses *biomachining* merupakan suatu proses oksidasi berkelanjutan dari Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} [1][2][3].



Gambar 2.1 Reaksi berkelanjutan proses *biomachining* [1]

Hasil oksidasi berupa Fe^{3+} inilah yang kemudian menjadi sangat berguna dalam proses pemisahan pada material logam seperti tembaga (Cu) ataupun Besi (Fe) yang kemudian kembali menghasilkan Fe^{2+} yang kemudian akan bereaksi kembali membentuk air dan ion Fe^{3+} yang dapat digunakan kembali sebagai pengoksidasi material logam tembaga (Cu) dan besi (Fe).

Proses *biomachining* ini terjadi pada bagian-bagian tubuh dari bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans*, dimana bagian tubuh dari bakteri ini terdiri dari layer-layer. Adapun susunan layer tersebut yaitu membrane luar, membrane periplasma, membrane dalam, dan inti sel atau *nucleus*[3].



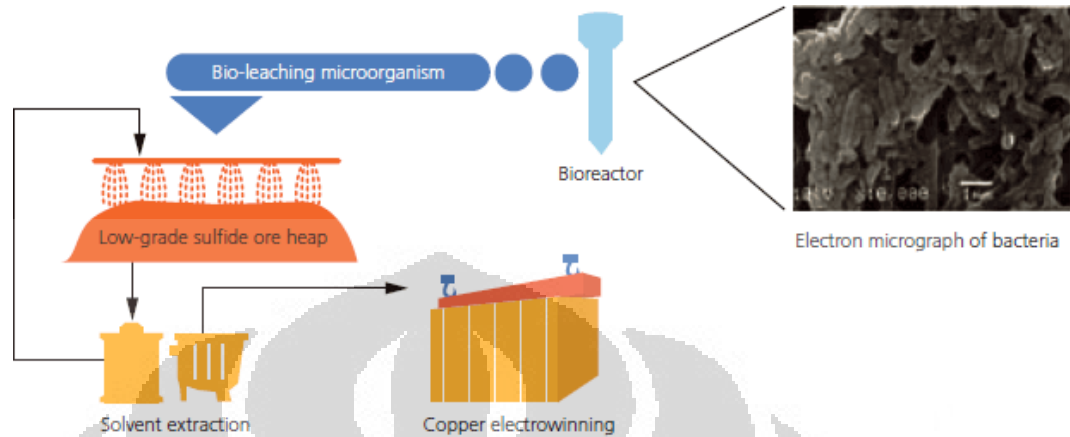
Gambar 2.2 Mekanisme proses *biomachining* [3]

2.2 Bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans*

Nama bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* berasal dari *thiobacillus ferrooxidans*. Hal ini dikarenakan bakteri ini terkenal dengan sifatnya yang *acidophilic* yaitu sifat bertahan hidup lingkungan yang cukup ekstrim atau dengan kisaran pH yang cukup tinggi yaitu 1-3. Adapun suhu optimal yang dibutuhkan oleh bakteri ini dalam lingkungan hidupnya yaitu sekitar $30-35^\circ\text{C}$ [1][2][3][5][8].

Bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans* merupakan bakteri yang tidak asing digunakan dalam proses *bioleaching* atau pelindian / pemurnian pada logam emas, tembaga seng, arsenic, nikel, cobalt, dan lain-lain. Kemampuan untuk

mengoksidasi mineral atau material pengotor menjadi suatu kelebihan tersendiri yang dapat digunakan dan dipelajari lebih lanjut[8].



Gambar 2.3 Pemanfaatan bakteri pada proses *bioleaching* [9]

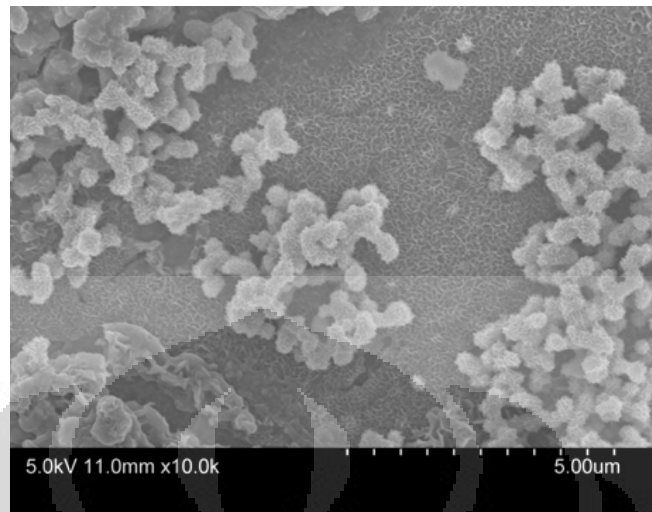
Secara fisik bakteri ini memiliki bentuk *bacill* atau menyerupai batang dengan ukuran berkisar 1x0.5 μm . Bakteri ini termasuk bakteri gram negatif dan tidak memiliki warna[1][3][5][8].



Gambar 2.4 Bentuk bakteri *Achidithibacillus ferrooxidans* [2]

Bakteri ini merupakan bakteri *chemolithoautotroph* dimana energi dihasilkan dengan melakukan reaksi kimia dengan sumber karbon diambil dari udara bebas yaitu CO_2 . Selain itu proses ini juga membutuhkan oksigen sebagai *acceptor electron* sehingga bakteri ini juga termasuk ke dalam bakteri *aerobic*. Bakteri ini

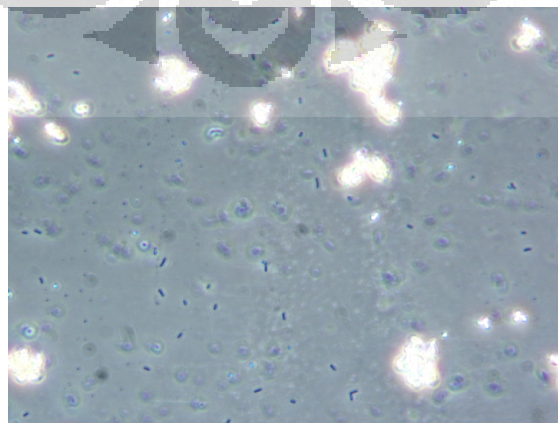
juga bersifat *motile* atau disebut juga dapat bergerak bebas dengan menggunakan flagel sebagai alat gerak yang berada dikutub-kutub badannya.



Gambar 2.5 Bentuk koloni bakteri *Achidithiobacillus ferrooxidans* [3]

Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* banyak ditemukan di sekitar daerah-daerah penambangan emas ataupun logam lainnya. Ciri-ciri daerah tambang yang terdapat bakteri ini yaitu tanah atau air pada lingkungan tersebut berwarna keemasan.

Saat ini sudah banyak asosiasi atau institusi yang melakukan kulturiasi secara massal terhadap bakteri ini dan juga diperjualbelikan secara bebas. Bakteri ini dapat diperoleh dari ATCC (*American Type Culture Collection*) ataupun dari institusi lainnya. Bakteri yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari NITE (*National Institute of Technology and Evaluation*) *Biological Resource Center* No. 14262 atau secara singkat bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* jenis NBRC 14262.



Gambar 2.6 Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262

2.3 Medium 9K dan Kultivasi Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*

Bakteri pada umumnya terbagi menjadi dua jenis berdasarkan lingkungan hidupnya yaitu bakteri *selektif* dan bakteri *non-selektif*. Bakteri selektif merupakan bakteri yang dapat hidup hanya pada lingkungan dan kondisi tertentu. Bakteri non-selective merupakan bakteri yang biasanya dapat hidup dengan kondisi apapun. *Acidithiobacillus ferrooxidans* ini tergolong ke dalam bakteri selektif. Hal ini dikarenakan lingkungan hidup yang cukup ekstrim dengan kisaran pH 1-3. Untuk itu dalam proses kultivasi atau pembiakan secara berkelanjutan, bakteri ini membutuhkan medium tertentu agar bakteri ini terus dapat melakukan daur hidup secara terus menerus.

Pada proses kultivasi bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* medium yang dibutuhkan bernama medium 9K. Medium ini merupakan medium umum yang sudah dipergunakan peneliti sebelumnya dalam proses *biomachining*. Medium 9K ini umumnya memiliki komposisi yang sama. Namun kadar yang digunakan untuk masing-masing bahan kimia kadang berbeda-beda tergantung dengan jenis bakteri dan keadaan lingkungan yang dibutuhkan.

Berikut adalah tabel 9K yang dibutuhkan oleh bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dengan jenis NBRC 14262.

Tabel 2.1 Komposisi medium 9K untuk bakteri NBRC 14262

(NH ₂)SO ₄	2 gram
K ₂ HPO ₄	0.5 gram
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.5 gram
KCl	0.1 gram
Ca(NO ₃) ₂	0.01 gram
FeSO ₄ .7H ₂ O	40 gram
Air Distilasi	1 Liter

2.4 Estimasi Jumlah Bakteri Dengan Metode MPN (*Most Probable Number*)

Dalam proses *biomachining* salah satu parameter yang cukup penting adalah jumlah bakteri yang dibutuhkan dalam proses pemesinan. Dalam dunia mikrobiologi ada beberapa teknik atau metode yang digunakan untuk menghitung jumlah bakteri. Adapun teknik tersebut yaitu TPC dan MPN.

Pada proses *biomachining* dilakukan proses penghitungan bakteri menggunakan teknik MPN (*Most Probable Number*). Estimasi menggunakan

metode ini dilakukan karena MPN cocok untuk sampel dengan konsentrasi mikroorganisme yang memiliki partikel-partikel yang larut didalamnya. Partikel-partikel tersebut dimungkinkan mampu mempengaruhi keakuratan perhitungan bakteri jika menggunakan metode penanaman pada cawan petri. Hal ini karena sel bakteri yang terpisah dapat mengelompok pada partikel makanan dan mungkin tidak terpisah pada proses homogenisasi dalam pengenceran bertingkat sehingga saat diplating satu kumpulan tersebut menjadi satu koloni dan membuat data plate count menjadi bias. Metode MPN dapat mengeliminasi kekurangan ini[10].

MPN adalah suatu metode enumerasi mikroorganisme yang menggunakan data dari hasil pertumbuhan mikroorganisme pada medium cair spesifik dalam seri tabung yang ditanam dari sampel padat atau cair yang ditanam berdasarkan jumlah sampel atau diencerkan menurut tingkat seri tabungnya sehingga dihasilkan kisaran jumlah mikroorganisme yang diuji dalam nilai MPN/satuan volume atau massa sampel.

Prinsip utama metode ini adalah mengencerkan sampel sampai tingkat tertentu sehingga didapatkan konsentrasi mikroorganisme yang pas/sesuai dan jika ditanam dalam tabung menghasilkan frekuensi pertumbuhan tabung positif “kadang-kadang tetapi tidak selalu”. Semakin besar jumlah sampel yang dimasukkan (semakin rendah pengenceran yang dilakukan) maka semakin “sering” tabung positif yang muncul. Semakin kecil jumlah sampel yang dimasukkan (semakin tinggi pengenceran yang dilakukan) maka semakin “jarang” tabung positif yang muncul. Jumlah sampel/pengenceran yang baik adalah yang menghasilkan tabung positif “kadang-kadang tetapi tidak selalu”. Semua tabung positif yang dihasilkan sangat tergantung dengan probabilitas sel yang diambil oleh pipet saat memasukkannya ke dalam media. Oleh karena itu homogenisasi sangat mempengaruhi metode ini. Frekuensi positif (ya) atau negatif (tidak) ini menggambarkan konsentrasi mikroorganisme pada sampel sebelum diencerkan[10].

Asumsi yang diterapkan dalam metode MPN adalah:

1. bakteri terdistribusi sempurna dalam sampel
2. Sel bakteri terpisah-pisah secara individual, tidak dalam bentuk rantai atau kumpulan (bakteri coliform termasuk E. coli terpisah sempurna tiap selnya dan tidak membentuk rantai).
3. Media yang dipilih telah sesuai untuk pertumbuhan bakteri target dalam suhu dan waktu inkubasi tertentu sehingga minimal satu sel hidup mampu menghasilkan tabung positif selama masa inkubasi tersebut.
4. Jumlah yang didapatkan menggambarkan bakteri yang hidup (viable) saja. Sel yang terluka dan tidak mampu menghasilkan tabung positif tidak akan terdeteksi.

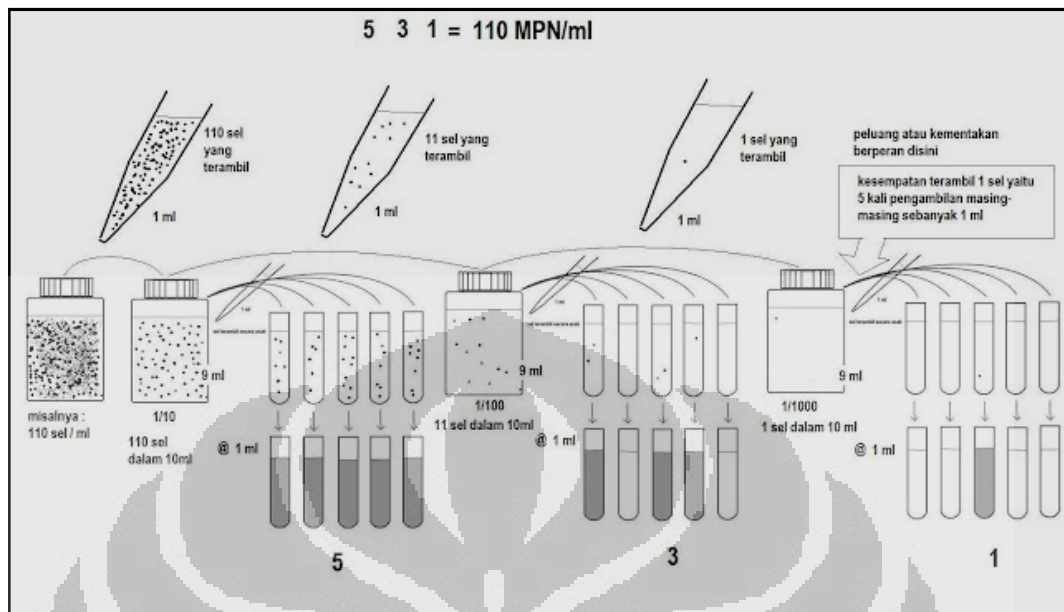
Berdasarkan prinsip diatas maka “seharusnya/sebaiknya” jumlah tabung positif pada pengenceran $1/10 > 1/100 > 1/1000$ (misalnya 5-3-1) karena setiap pengenceran mengurangi jumlah mikroorganisme target dan akibatnya semakin kecil kesempatannya untuk membuat tabung menjadi positif. Namun seringkali hasil yang didapat tidak sesuai dengan logika peluang, seperti 5-3-4 yang menghasilkan nilai 210 (lihat tabel dibawah). Bisa saja banyak sel tidak sengaja terambil dan memperbanyak pengenceran selanjutnya atau homogenisasi tidak berlangsung sempurna.

Tabel 2.2 Salah satu nilai MPN pada tabel MPN [10]

Tabung Positif			MPN/ml	Con. Lim	
0.1	0.01	0.001		Batas Bawah	Batas Atas
5	3	0	79	22	220
5	3	1	110	34	250
5	3	2	140	52	400
5	3	3	180	70	400
5	3	4	210	70	400

Untuk memahami peranan peluang dalam mendistribusikan sel sehingga menghasilkan tabung positif maka jumlah tabung positif (digaris bawah) pada tabel dicoba untuk dirunut dan diilustrasikan kembali dalam proses penanamannya pada gambar berikut (dianggap bahwa nilai MPN/ml sama dengan

sel/ml). Namun perlu diingat, jumlah sel yang terambil tidak selalu seperti itu, semuanya adalah peluang dan angka yang didapat adalah angka paling mungkin.



Gambar 2.7 Proses Pengenceran Pada Teknik MPN [10]

Syarat umum yang dipakai dalam pemilihan tabung positif adalah

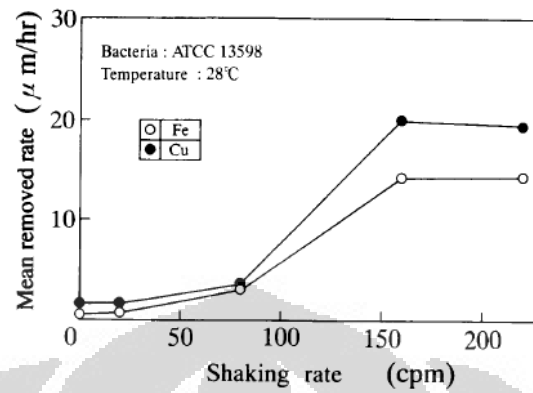
1. Pilih pengenceran terendah yang tidak semua tabung menghasilkan tabung positif
2. Pilih pengenceran tertinggi yang paling tidak memiliki satu tabung positif
3. Pilih semua pengenceran diantaranya.
4. Kalikan setiap seri tabung yang dipilih dengan pengenceran yang diambil.

2.5 Material Benda Kerja

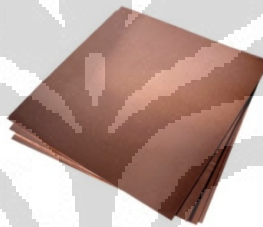
Pada proses *biomachining* ada beberapa material yang dapat digunakan sebagai benda kerja. Pada penelitian sebelumnya sudah digunakan material dengan jenis Ni, Fe, dan Cu. Ketiga material ini memiliki tingkat *Material Removal Rate* yang berbeda-beda[1][2].

Pada percobaan *biomachining* ini digunakan material Cu atau tembaga sebagai material benda kerja. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan tingkat *material removal* yang cukup tinggi serta ketersediaan tembaga murni yang cukup

banyak di pasaran dibandingkan dengan Fe atau Ni yang sudah mengalami banyak pencampuran[14].



Gambar 2.8 Perbandingan shaking rate dengan mean removed rate pada Fe dan Cu[1]



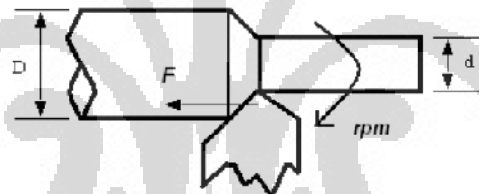
Gambar 2.9 Material Tembaga

Atomic number	29
Atomic mass	63.546 g.mol ⁻¹
Electronegativity according to Pauling	1.9
Density	8.9 g.cm ⁻³ at 20°C
Melting point	1083 °C
Boiling point	2595 °C
Vanderwaals radius	0.128 nm
Ionic radius	0.096 nm (+1) ; 0.069 nm (+3)
Isotopes	6
Electronic shell	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹
Energy of first ionisation	743.5 kJ.mol ⁻¹
Energy of second ionisation	1946 kJ.mol ⁻¹
Standard potential	+ 0,522 V (Cu ⁺ / Cu) ; + 0.345 V (Cu ²⁺ / Cu)
Discovered by	The ancients

Gambar 2.10 Karakteristik material tembaga [14]

2.6 Laju Pelepasan Material (*Material Removal Rate*)

Pada suatu proses fabrikasi atau pemesinan seperti *milling*, *turning*, *grinding*, maupun lainnya merupakan proses pemesinan dimana mendapatkan bentuk yang diinginkan dengan cara menghilangkan bagian dari material benda kerja atau *workpiece*. Adapun tahap proses penghilangan bagian dari material benda kerja ini memiliki banyak pertimbangan atau *machining parameter* seperti jenis material benda kerja, ukuran cutting tool, kecepatan makan atau *feed rate*, kecepatan putaran spindle atau *spindle speed* dan lain-lain. Dengan menggunakan berbagai pertimbangan tersebut maka akan didapat suatu tingkat kemampuan untuk menghilangkan bagian dari material benda kerja. Tingkat kemampuan ini biasa dikenal dalam dunia pemesinan atau fabrikasi dengan sebutan *Material Removal Rate* (MRR). *Material Removal Rate* dapat didefinisikan dengan besarnya volume material yang dihilangkan per satuan waktu atau dalam skala makro memiliki satuan mm³/menit atau dalam skala mikro memiliki satuan um³/menit. [11]



Gambar 2.11 MRR pada proses turning [11]

Berdasarkan gambar diatas dapat dirumuskan persamaan untuk menghasilkan *Material Removal Rate* (MRR) yaitu sebagai berikut:

$$MRR = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) \times F \times rpm \quad (1)$$

D=Diameter benda kerja sebelum machining

d=Diameter benda kerja setelah machining

Material Removal Rate (MRR) sangat bergantung kepada machining parameter. Machining parameter ini tidak berbeda jauh dengan pada pemesinan skala mikro. Hanya saja perbedaan yang mungkin terlihat yaitu dari sifat dan karakteristik material pada skala mikro.

Pada proses *biomachining* perhitungan *Material Removal Rate* (MRR) dapat dilakukan secara sederhana yaitu dengan menghitung besar volume yang hilang setiap waktu pemesinan yang dilakukan.

$$MRR = \frac{\left[\frac{\Delta m}{\rho} \times 1000 \right]}{t} \quad (2)$$

MRR = Material RemovalRate (um^3/hour)

m = massa (gram)

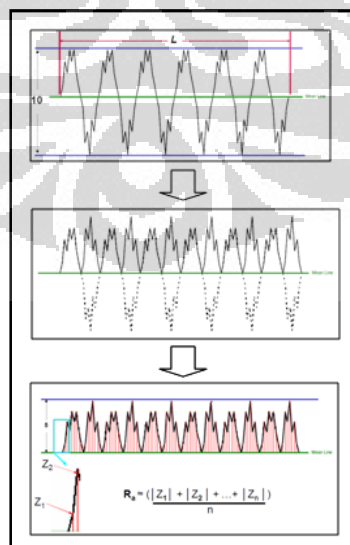
ρ = massa jenis material (gram/cm^3)

t = time (hour)

2.7 Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)

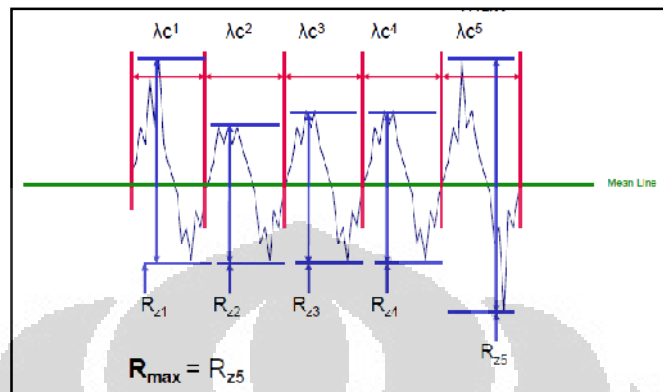
Dalam proses pemesinan tingkat kekasaran permukaan merupakan parameter yang dijadikan acuan tingkat kualitas dari hasil permesian yang dilakukan. Pada teknik pemesinan konvensional tingkat kekasaran ini bergantung dari laju pemakanan dan kecepatan putar.

Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan. Parameter tersebut yaitu *Ra*, *Rq* dan *Rz*. *Ra* (*Roughness Average*) adalah nilai rata-rata yang dihitung secara aritmatik dari nilai absolut yang diambil pada ordinat tertentu. Nilai *Ra* merupakan nilai standar yang biasa digunakan untuk menunjukkan tingkat kekasaran suatu permukaan.



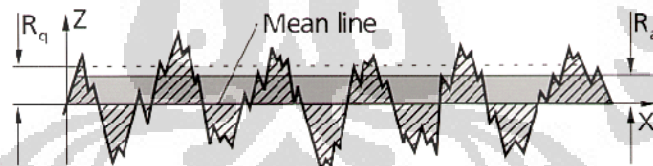
Gambar 2.12 Metode Perhitungan Ra (*Roughness Average*)

Selain perhitungan Ra , pada pengukuran kekasaran juga dapat dihasilkan pengukuran ketinggian maksimal dari permukaan yaitu Rz . Rz sering disebut juga R_{max} .



Gambar 2.13 Perhitungan R_{max}

Selain Ra dan Rz , parameter yang juga dijadikan sebagai parameter dalam pengukuran kekasaran permukaan yaitu Rq atau RMS (*Root Mean Square*). Rq atau RMS adalah pengukuran tingkat kekasaran dengan menghitung akar kuadrat rata-rata dari ordinat permukaan tertentu.



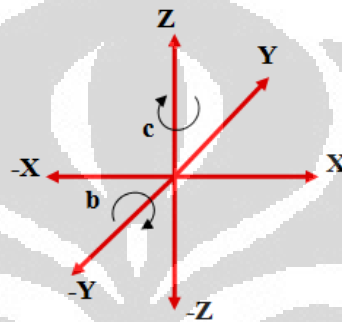
Gambar 2.14 Metode perhitungan Rq

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx} \quad (3)$$

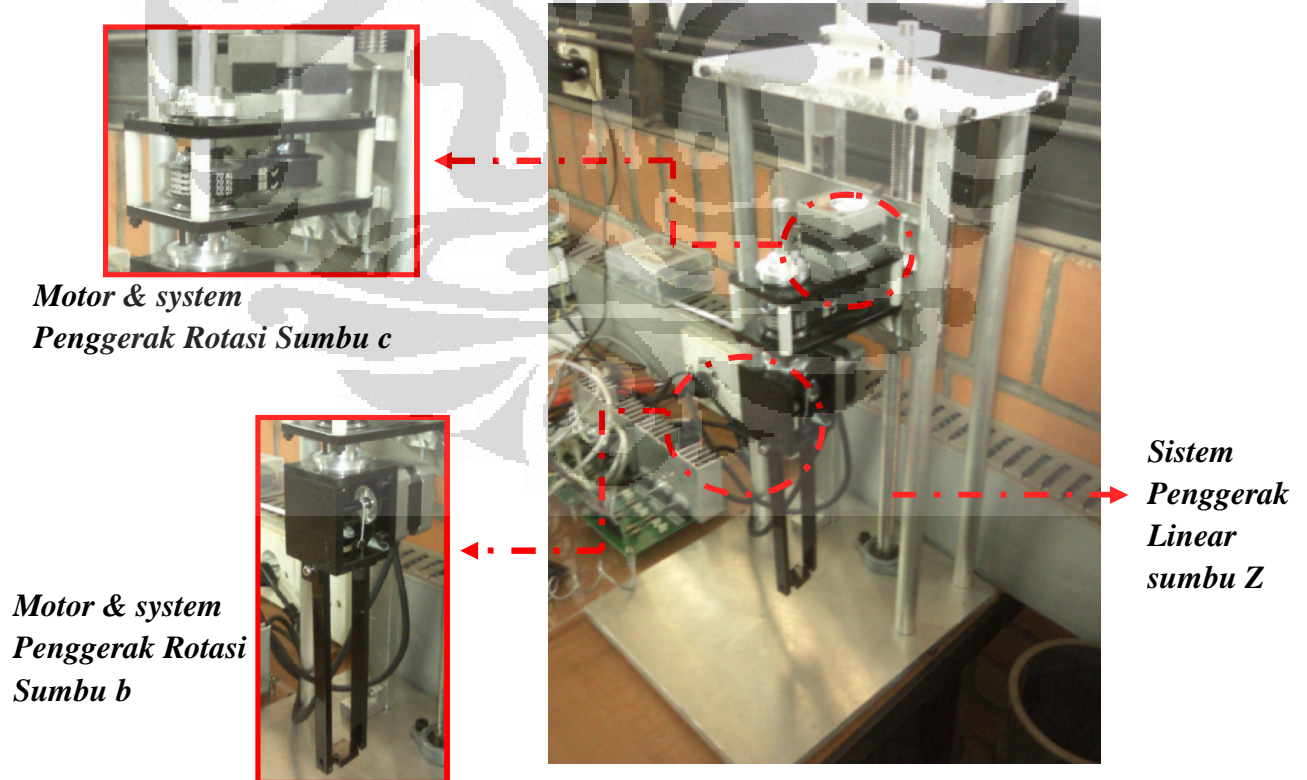
BAB 3

PENGEMBANGAN INKLINATOR MULTI-AXIS

Inklinator *Multi-axis biomachining* ini memiliki 3 sumbu sebagai arah gerak. Ketiga sumbu tersebut yaitu sumbu gerak **Z**, sumbu putar **b** yang merupakan sumbu putar pada sumbu **Y**, dan sumbu **c** yang merupakan sumbu putar pada sumbu **Z**.



Gambar 3.1 Arah gerak inklinator multi-axis

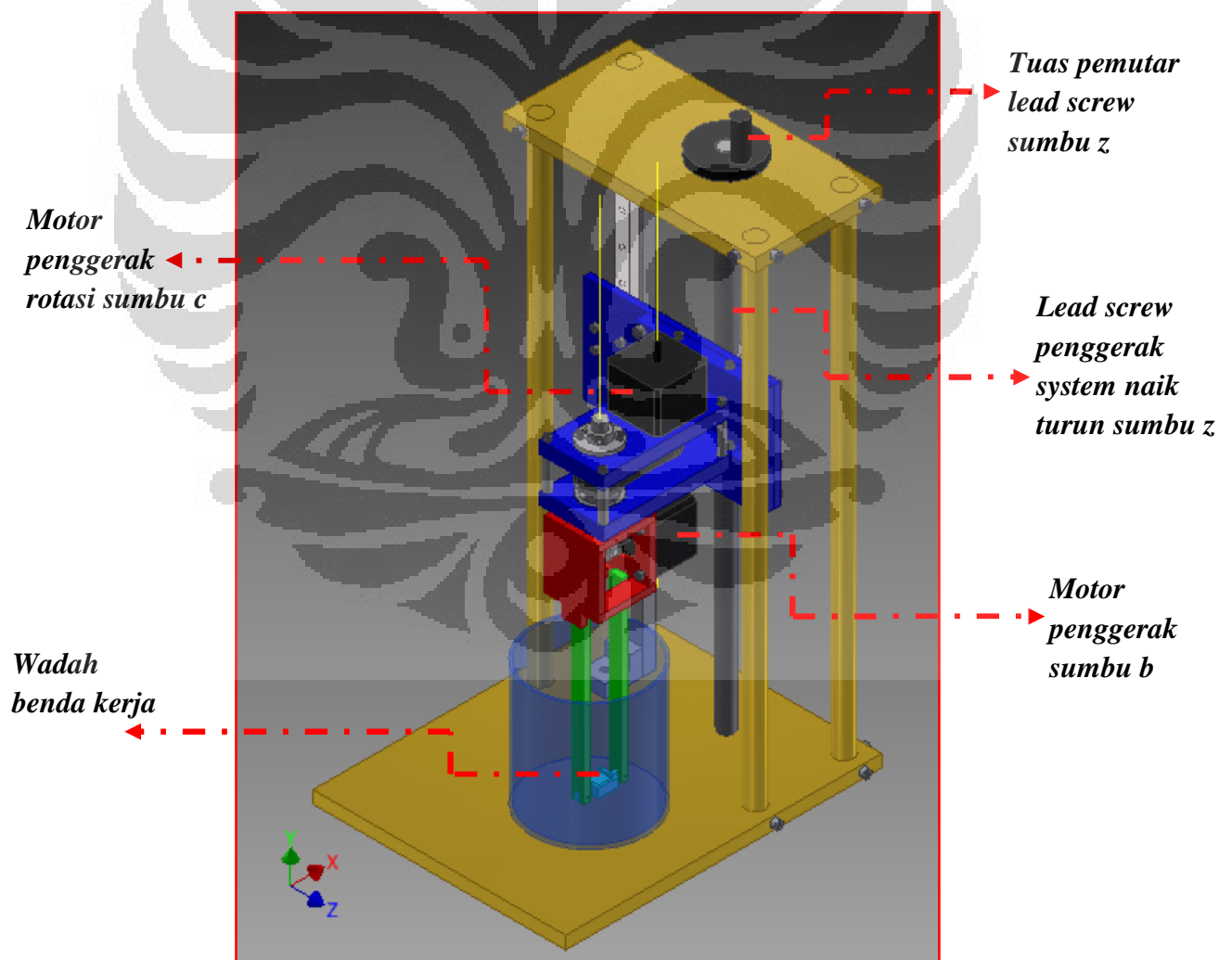


Gambar 3.2 Inklinator Multi-Axis

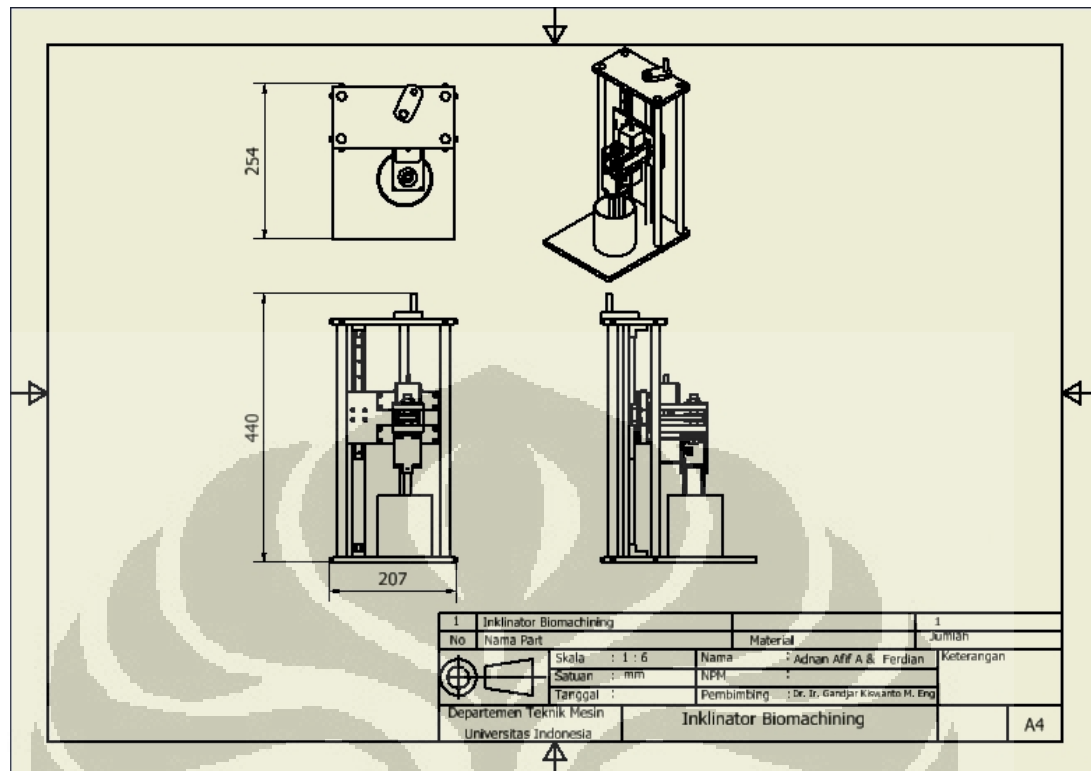
3.1 Sistem Mekanikal

3.1.1 Desain Mekanikal

Inklinator *Multi-axis* memiliki tiga sumbu gerak dimana setiap sumbu gerak memiliki system penggerak yang berbeda-beda. Pada arah sumbu gerak **Z** digunakan system *leadscrew* yang digerakkan secara manual dengan bantuan sebuah tuas yang terintegrasi dengan batang *leadscrew* tersebut sehingga didapat system gerak dua arah ke atas dan ke bawah. Pada sumbu putar **b** dan **c** digunakan system gerak otomatis dengan menggunakan motor stepper 5 fasa. Pada sumbu putar **b** digunakan sistem tali sebagai pengungkit yang terhubung dengan wadah workpiece, sedangkan pada sumbu putar **c** digunakan system *timing belt* dan *pulley* dengan rasio 1:1.



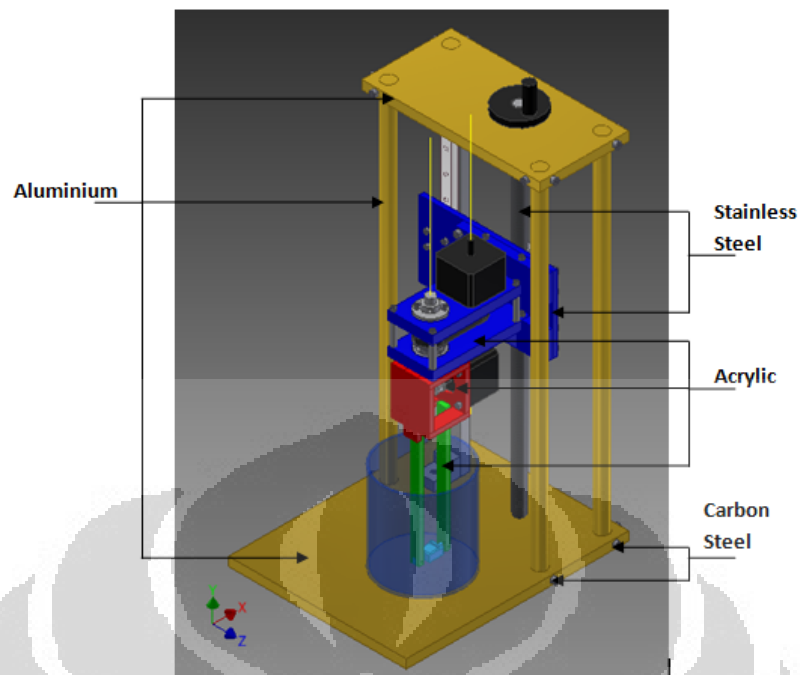
Gambar 3.3 Desain Inklinator Multi-Axis



Gambar 3.4 Dimensi Inklinator *Multi-Axis*

3.1.2 Pemilihan Material

Ada beberapa tipe material yang digunakan pada pembuatan inklinator *multi-axis* ini. Pemilihan material tersebut dilakukan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu diantaranya kekuatan material, kemampuan mampu fabrikasi, ketersediaan, serta jangkauan harga. Adapun jenis material yang terdapat pada konstruksi inklinator *multi-axis* ini yaitu *aluminium*, *stainless steel*, *carbon steel*, dan *acrylic*.



Gambar 3.5 Penggunaan material pada inklinator multi-axis

3.1.2.1 Aluminium

Material aluminium merupakan material yang paling banyak digunakan pada inklinator *multi-axis* ini. Material ini digunakan sebagai bahan dasar pada sistem rangka. Penggunaan material ini dikarenakan mudah dalam hal fabrikasi dan pembentukannya.

Tabel 3.1 Komposisi Aluminium 6063 [12]

Component	Wt. %	Component	Wt. %	Component	Wt. %
Al	Max 97.5	Mg	0.45 - 0.9	Si	0.2 - 0.6
Cr	Max 0.1	Mn	Max 0.1	Ti	Max 0.1
Cu	Max 0.1	Other, each	Max 0.05	Zn	Max 0.1
Fe	Max 0.35	Other, total	Max 0.15		

Tabel 3.2 Sifat Mekanik Aluminum 6063 [12]

Mechanical Properties		
Hardness, Brinell	73	73
Hardness, Knoop	96	96
Hardness, Vickers	83	83
Ultimate Tensile Strength	<u>241 MPa</u>	35000 psi
Tensile Yield Strength	<u>214 MPa</u>	31000 psi
Elongation at Break	<u>12 %</u>	12 %
Modulus of Elasticity	<u>68.9 GPa</u>	10000 ksi
Ultimate Bearing Strength	<u>434 MPa</u>	62900 psi
Bearing Yield Strength	<u>276 MPa</u>	40000 psi
Poisson's Ratio	0.33	0.33
Fatigue Strength	<u>68.9 MPa</u>	10000 psi
Machinability	<u>50 %</u>	50 %
Shear Modulus	<u>25.8 GPa</u>	3740 ksi
Shear Strength	<u>152 MPa</u>	22000 psi

3.1.2.2 Stainless Steel

Material *stainless steel* digunakan pada system gerak sumbu Z yaitu system gerak naik turun. Pemilihan material ini dilakukan karena pada system gerak naik turun ini menggunakan system *leadscrew* dengan bantuan tuas pemutar yang terbuat dari bahan aluminium. System *leadscrew* ini menggunakan dua buah mur yang disambungkan dengan metode welding pada sebuah plat stainless steel yang merupakan fondasi utama system gerak sumbu putar b dan c.



Gambar 3.6 Contoh Sistem leadscrew

Tabel 3.3 Mekanik Stainless Steel AISI 201 [13]

AISI 201				
Chemical composition: C=0.15%max, Mn=6%max, Cr=17%, Ni=4.5%, N=0.25%max				
Property	Value in metric unit		Value in US unit	
Density	7.8 *10 ³	kg/m ³	487	lb/ft ³
Modulus of elasticity	197	GPa	28500	ksi
Thermal expansion (20 °C)	15.7*10 ⁻⁶	°C ⁻¹	8.72*10 ⁻⁶	in/(in* °F)
Specific heat capacity	500	J/(kg*K)	0.119	BTU/(lb*°F)
Thermal conductivity	16.2	W/(m*K)	112	BTU*in/(hr*ft ² *°F)
Electric resistivity	6.9*10 ⁻⁷	Ohm*m	6.9*10 ⁻⁵	Ohm*cm
Tensile strength (annealed)	790	MPa	115000	psi
Yield strength (annealed)	380	MPa	55000	psi
Elongation (annealed)	55	%	55	%
Hardness (annealed)	90	RB	90	RB
Tensile strength (1/2 hard)	1030	MPa	150000	psi
Yield strength (1/2 hard)	760	MPa	11000	psi
Elongation (1/2 hard)	10	%	10	%
Hardness (1/2 hard)	32	RC	32	RC

3.1.2.3 Alloy Steel

Pada inklinator multi-axis ini alloy steel digunakan pada komponen joining berupa baut dan mur. Material alloy steel ini banyak jenisnya. Pada inklinator multi-axis ini digunakan material alloy steel tipe ASTM A320-L7. Tipe material ini merupakan alloy steel low temperature dan banyak digunakan pada komponen mesin yang tidak membutuhkan suhu tinggi pada proses kerjanya.

Tabel 3.4 Sifat mekanik Alloy Steel ASTM A320-L7 [16]

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Impact Energy Absorption Requirements	
0.38-0.48	0.75-1.00	0.035 Max	0.04 Max	0.15-0.35	0.80-1.10	0.15-0.25	Minimum Impact Value	Minimum Impact Value
Dia	Tensile Strength min, ksi (MPa)	Yield Strength, min, 0.2% offset, Ksi (MPa)	Elongation in 2" min %	Reduction of Area min %	Hardness max		Required for Average of Eachset of three specimens ft lbf [J]	Permitted for Specimen only of a set ft lbf [J]
2 1/2" and under	125 (860)	105 (725)	16	50	277-321HB for reference		20[27]	15[20]

ASTM A 320 L7M

Dia.	Heat Treatment	Tensile Strength min, ksi (MPa)	Yield Strength, min, 0.2% offset, Ksi (MPa)	Elongation in 2" min %	Reduction of Area min %	Hardness max
2 1/2" and under	Quenched and tempered at 1,150 ° F (620 ° C) min	100(690)	80(550)	18	50	235HB or 99HRB

3.1.2.4 Acrylic

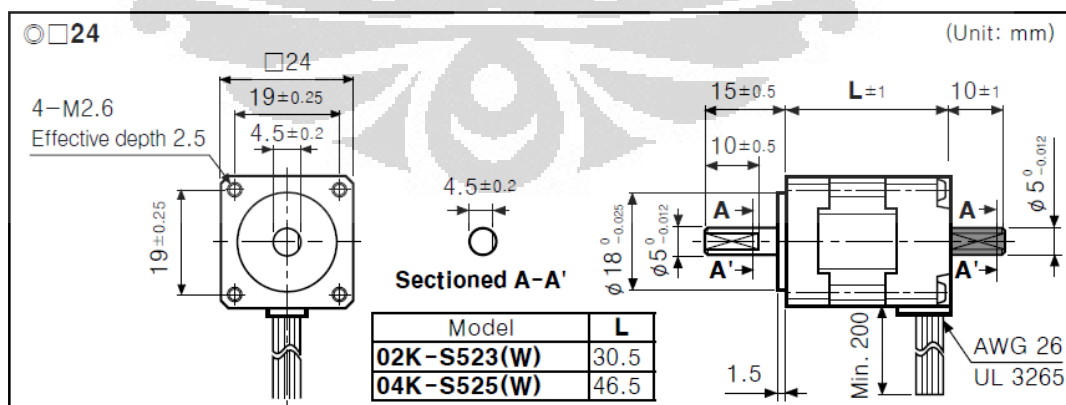
Material acrylic merupakan material yang digunakan pada system gerak sumbu putar b dan c. Penggunaan material ini dikarenakan pembebanan yang cukup tinggi yang ada pada konstruksi penempatan sumbu putar b dan c. Konstruksi pada system gerak sumbu putar b dan c menggunakan system cantilever dimana beban yang cukup berat terdapat pada dua motor stepper 5 fasa yang terpasang pada system gerak ini.

Tabel 3.5 Sifat Mekanik Acrylic [17]

Property ^(a) Mechanical	ASTM Method	Typical Value (0.236 Thickness) ^(b)
Specific Gravity	D 792	1.19
Tensile Strength	D 638	10,000 psi (69 M Pa)
Elongation		4.2%
Modulus Of Elasticity		400,000 psi (2800 M Pa)
Flexural Strength (Rupture)	D 790	16,500 psi (114 M Pa)
Modulus Of Elasticity		475,000 psi (3300 M Pa)
Compressive Strength (Yield)	D 695	18,000 psi (124 M Pa)
Modulus Of Elasticity		430,000 psi (2960 M Pa)
Shear Strength	D 732	9000 psi (62 M Pa)
Impact Strength		0.4 ft. lbs/in of notch
Izod Milled Notch	D 256	(21.6 J/m of notch)
Rockwell Hardness	D 785	M-94
Barcol Hardness	D 2583	49
Residual Shrinkage ^(c) (Internal Strain)	D 702	2%

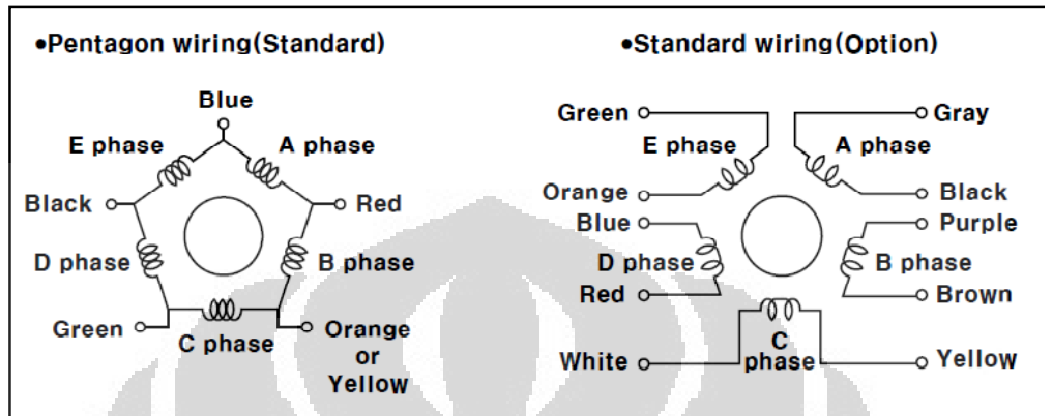
3.1.3 Motor Stepper

Pada inklinator dua axis ini digunakan motor stepper 5 fasa bipolar dengan tipe A1K-S543(W) pada setiap axisnya. Adapun latar belakang penggunaan motor stepper jenis ini yaitu ketahanan motor yang sudah terjamin, serta kemudahan dalam penggunaan motor stepper 5 fasa dengan driver L298N.



Gambar 3.7 Dimensi Motor Stepper 5 fasa bipolar A1K-S543(W) [14]

Motor stepper ini memiliki dua macam tipe koil yaitu berbentuk pentagon dengan lima buah kabel inputan dan juga berbentuk *wiring* standar dengan sepuluh kabel inputan.



Gambar 3.8 Struktur coil stepper motor 5 fasa bipolar tipe A1K-S543(W) [14]

Pada Stepper motor tipe A1K-S543(W) pada inklinator dua axis ini memiliki bentuk coil berupa pentagon, sehingga terdiri dari lima kabel inputan. Berikut adalah data spesifikasi dari stepper motor tipe A1K-S543(W) :

Tabel 3.6 Spesifikasi motor 5 fasa bipolar tipe A1K-S543(W) [14]

Model	A1K-S543(W)-□
Max. Holding torque ^{*1}	1.3 kgf·cm (0.13 N·m)
Moment of rotor inertia	35 g·cm ² (35×10 ⁻⁷ kg·m ²)
Rated current	0.75 A/Phase
Basic step angle	0.72 ° / 0.36 ° (Full/Half)
Unit weight	Approx 0.25kg

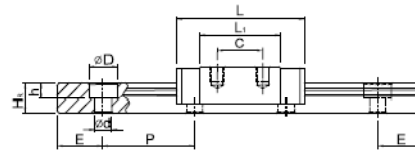
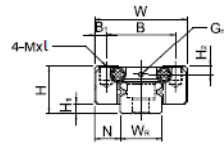
3.1.4 Linear Guideway

Linear Guideway digunakan sebagai system sliding pada arah gerak naik turun sumbu z. Pemilihan penggunaan komponen ini karena tingkat kepresisian serta kualitas material yang cukup tinggi. Linear guideway yang digunakan pada inklinator multi-axis ini yaitu type MGN 12 C.

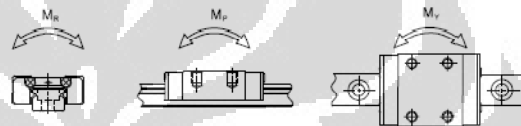
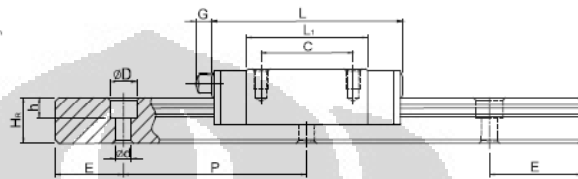
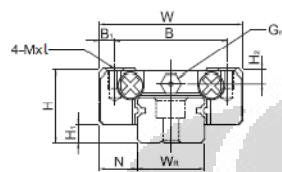
2-3-12 Dimensions for MGN/MGW Series

(1) MGN-C / MGN-H

MGN7, MGN9, MGN12



MGN15



Gambar 3.9 Dimensi Linear Guideway tipe MGN [18]

Tabel 3.7 Spesifikasi Dimensi Linear Guideway tipe MGN [18]

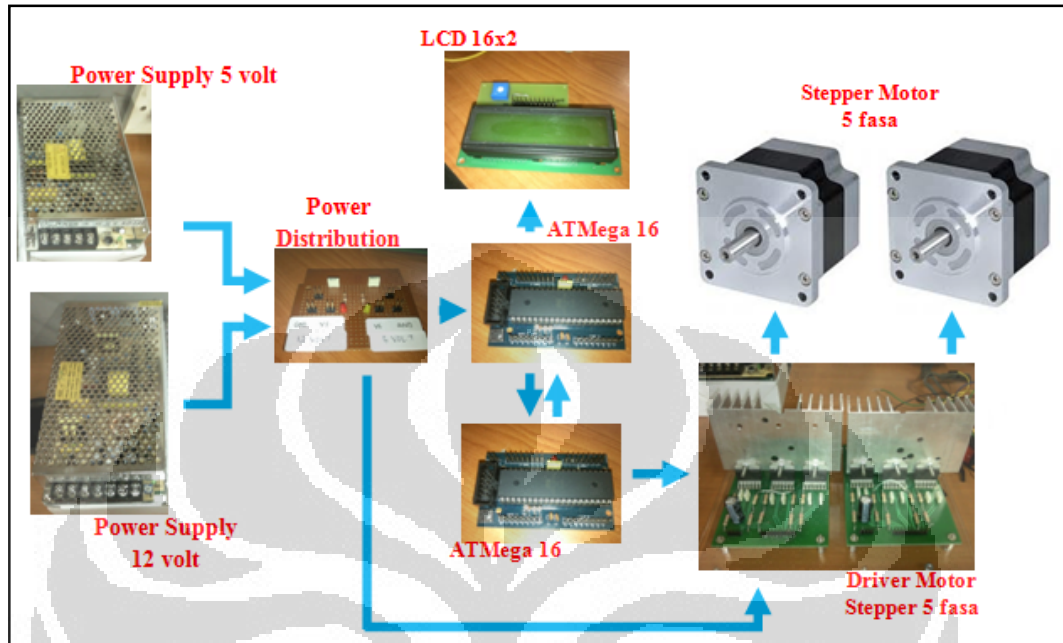
Model No.	Dimensions of Assembly (mm)			Dimensions of Block (mm)										Dimensions of Rail (mm)						Mounting Bolt for Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C _d (kgf)	Basic Static Load Rating C _s (kgf)	Static Rated Moment			Weight				
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L	L ₁	G	G ₁	Mxl	H ₂	W ₂	H ₃	D	h	d	P				E	M _x	M _y	M _z	Block kg	Rail kg/m		
MGN 7C	8	1.5	5	17	12	2.5	8	13.5	22.5			01.2	M2.2x1.5	1.5	7	4.8	4.2	2.3	2.4	15	5	M2.6	100	127	0.18	0.29	0.29	0.010	0.22	
MGN 7H	13						13	21.8	30.8													M2.6	140	200	0.78	0.49	0.49	0.015		
MGN 9C	10						10	18.9	28.9			01.2	M3x3	1.8	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5	M3x6	190	260	1.2	0.75	0.75	0.016	0.38	
MGN 9H	16						16	29.9	39.9														260	410	2	1.9	1.9	0.026		
MGN 12C	13						15	21.7	34.7			01.4	M3x3.5	2.5	12	8	6	4.5	3.5	25	10	M3x8	290	400	2.6	1.4	1.4	0.034	0.65	
MGN 12H	20						20	32.4	45.4														380	600	3.9	3.7	3.7	0.054		
MGN 15C	16						20	26.7	42.1			4.5	M5	M3x4	3	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	470	570	4.6	2.2	2.2	0.059	1.06
MGN 15H	25						25	43.4	58.8														650	930	7.5	5.9	5.9	0.092		

Note : 1 kgf = 9.81 N

3.2 Sistem Elektrikal dan Kontrol

Sistem elektrikal dan pengendalian inklinator *multi-axis* ini dibuat secara sederhana dengan menggunakan ATmega 16 sebagai pusat kontrol dan IC L298N sebagai driver motor stepper 5 fasa. *Power Supply* yang digunakan pada sistem

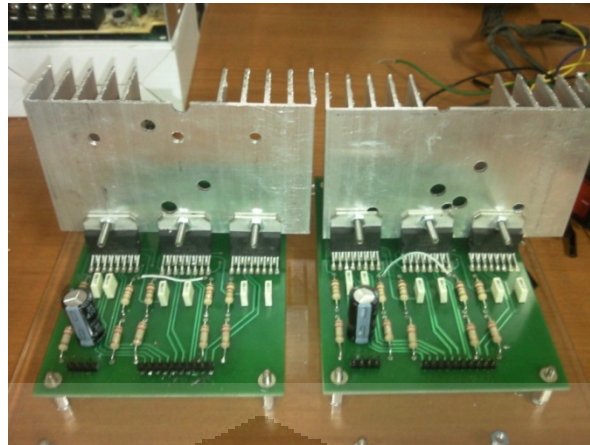
elektik yaitu *Power Supply* 12 Volt sebagai sumber tegangan motor dan *Power Supply* dengan tegangan 5 volt sebagai sumber tegangan mikrokontroller.



Gambar 3.10 Sistem elektrikal inklinator *multi-axis*

3.2.1 Driver Motor Stepper 5 Fasa

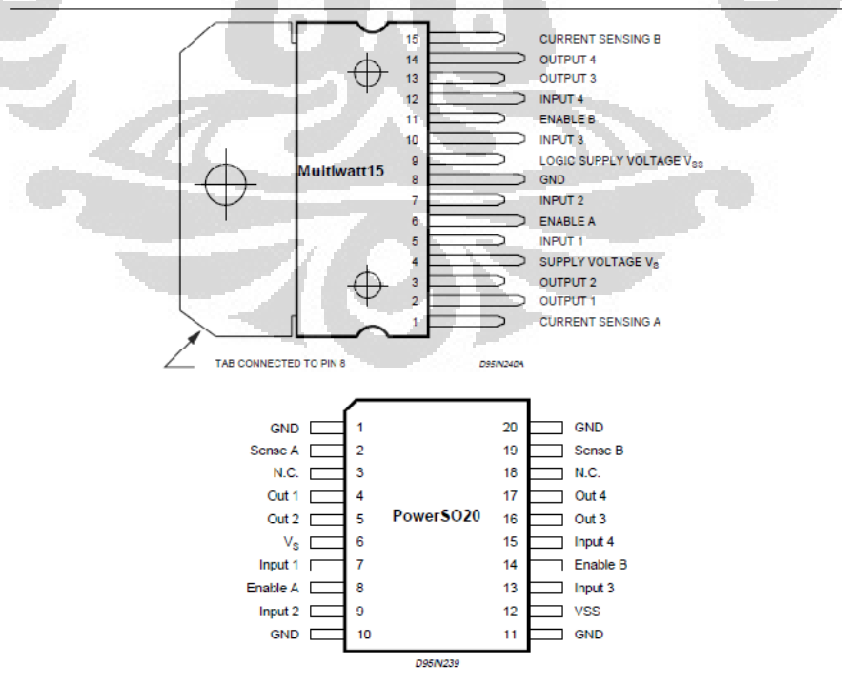
Motor stepper bipolar 5 fasa pada inklinator *multi-axis* ini dikendalikan oleh driver motor berupa IC L298N yang dirangkai sehingga bisa menghasilkan output yang dapat digunakan untuk menggerakkan fasa pada motor stepper tersebut. Untuk 1 buah motor stepper digunakan 3 buah IC L298N. Hal ini dikarenakan keterbatasan yang dimiliki oleh IC L298N yang sebenarnya merupakan IC untuk pengendalian motor DC. Untuk rangkaian skematik maupun PCB dapat dilihat di Lampiran 6.



Gambar 3.11 Driver Motor Stepper 5 fasa

Tabel 3.8 Absolute Maximum Ratings L298N [19]

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_o	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$



Gambar 3.12 Pin-pin pada L298N [19]

3.2.2 Mikrokontroler

Pusat system kontrol dari alat inklinator *multi-axis* ini yaitu pada 2 buah ATmega16 yang digunakan. Alasan penggunaan mikrokontroler jenis ini dikarenakan fitur-fitur yang dimiliki sudah sangat lengkap untuk digunakan dalam pengendalian axis yang ada pada inklinator *multi-axis*.



Gambar 3.13 Mikrokontroler ATmega 16

3.2.3 LCD 16x2

Selain dua buah motor stepper 5 fasa bipolar, digunakan juga LCD 16x2 sebagai output yang digunakan. Komponen ini digunakan untuk mempermudah proses penggunaan inklinator *multi-axis* ini.



Gambar 3.14 LCD 16x2

3.2.4 Power Supply

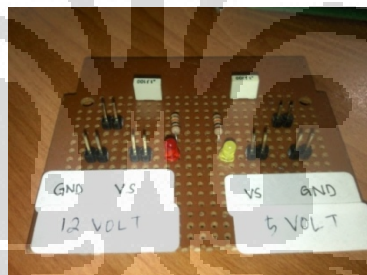
Power supply yang digunakan pada inklinator *multi-axis* ini terdiri dari *power supply* 5 volt dan dan 12 volt. *Power supply* dengan tegangan 5 volt digunakan sebagai sumber tegangan 2 buah mikrokontroler. Untuk *power supply* 12 volt digunakan sebagai sumber tegangan motor stepper 5 fasa bipolar.



Gambar 3.15 Power Supply 12 volt dan 5 volt

3.2.5 Power Distribution

Power distribution ini digunakan untuk membagi tegangan yang dihasilkan dari *power supply*. Hal ini dikarenakan setiap tegangan yang dihasilkan *power supply* dibagi menjadi 2 pada dua komponen yang berbeda. *Power supply* 5 volt digunakan untuk 2 buah mikrokontroller dan *power supply* 12 volt digunakan untuk 2 buah motor stepper 5 fasa bipolar.



Gambar 3.16 Power Distribution

BAB 4

KARAKTERISASI AWAL PROSES *BIOMACHINING*

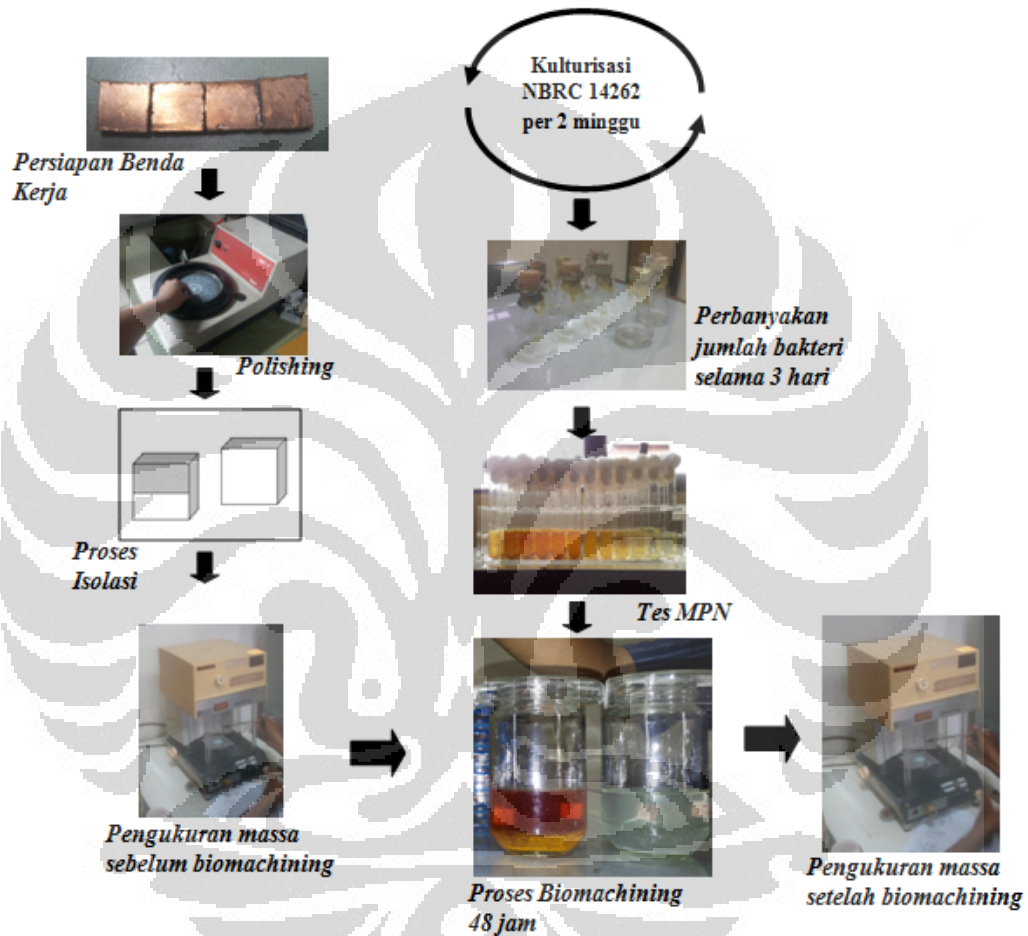
Dalam tahap penelitian untuk mengetahui tingkat produktivitas dari proses *biomachining* dengan perbedaan posisi benda kerja terhadap permukaan cairan kultur bakteri dilakukan pengujian atau karakterisasi awal sesuai dengan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah bakteri NBRC 14262 in memiliki tingkat pemakanan atau *machining* yang sama dengan jenis bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* lainnya. Adapun pengujian atau karakterisasi awal yang dilakukan yaitu :

1. Pengujian perbandingan tingkat *Material Removal Rate* (MRR) pada steril medium 9K dan medium kultur bakteri.
2. Pengujian tingkat *Material Removal Rate* (MRR) dengan perbedaan luas permukaan.
3. Pengujian tingkat kekasaran permukaan dengan variasi waktu pemesinan.
4. Pengujian pengaruh inklinasi terhadap arah pemakanan.

4.1 Pengujian Perbandingan Tingkat *Material Removal Rate* (MRR) Pada Steril Medium 9K Dan Medium Kultur Bakteri

Pada percobaan ini digunakan sampel benda kerja berupa tembaga dengan ukuran 10x10x3 mm yang sudah dihaluskan permukaannya dengan menggunakan kertas amplas yang memiliki perbedaan tingkat kekasaran secara bertahap. Kertas amplas yang digunakan yaitu grit 800, 1000, dan 1500. Hal ini untuk menghilangkan sisa oksidasi material tembaga dengan udara bebas dan kotoran yang menempel dipermukaan. Percobaan dilakukan dengan menggunakan 4 sampel benda kerja dimana setiap 2 sampel dicelupkan terpisah dengan 2 botol berbeda. Satu botol berisi steril medium 9K dan satu botol lagi berisi medium 9K + bakteri *A. Ferrooxidans* yang sudah dilakukan perbanyakan selama 3 hari atau 72 jam. Setiap sampel dicelupkan dengan cara digantung dengan ketinggian 3 cm dari permukaan meja kerja. Pada setiap bagian belakang dan ketebalan sampel dilakukan penutupan atau isolasi secara menyeluruh dengan menggunakan

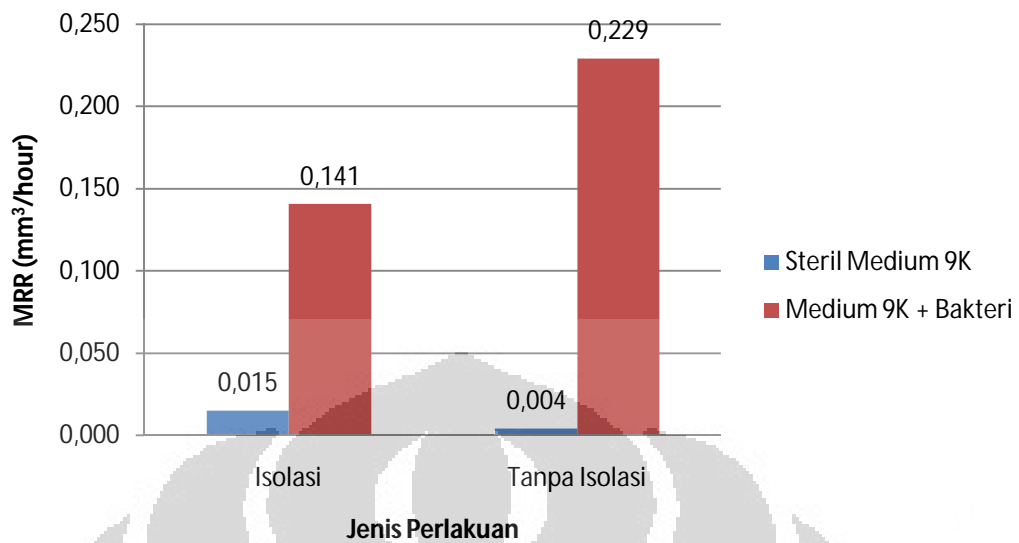
material khusus. Setiap sampel pada setiap botol diberi perlakuan berbeda yaitu satu sampel diisolasi pada bagian atas dan satu sampel lagi tanpa isolasi sama sekali. Proses pencelupan dilakukan selama 48 jam. Setelah proses pencelupan selama 48 jam dilakukan proses pembersihan dengan penyemprotan alkohol untuk menghilangkan larutan medium yang masih menempel di permukaan sampel benda kerja.



Gambar 4.1 Metodologi Pengujian *Material Removal Rate* antara steril medium 9K dan medium kultur bakteri

Tabel 4.1 Tingkat MRR pada steril medium 9K dan medium kultur bakteri

Jenis Perlakuan	MRR (mm ³ /hour)	
	Steril Medium 9K	Medium 9K + Bakteri
Isolasi	0.01498	0.14068
Tanpa Isolasi	0.00445	0.22893



Gambar 4.2 Grafik perbandingan *material removal rate* antara steril medium 9K dan larutan kultur bakteri

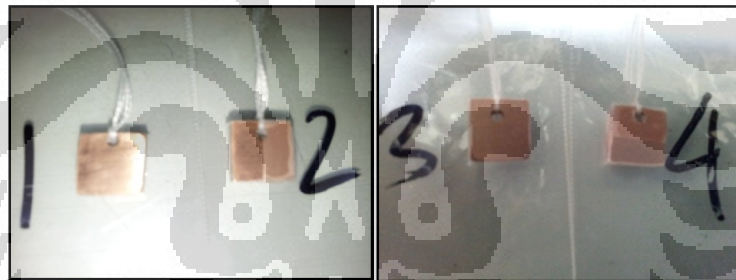
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka proses biomachining ini memiliki parameter pemesinan sebagai berikut.

Tabel 4.2 Machining parameter perbandingan steril medium 9K dan medium kultur bakteri

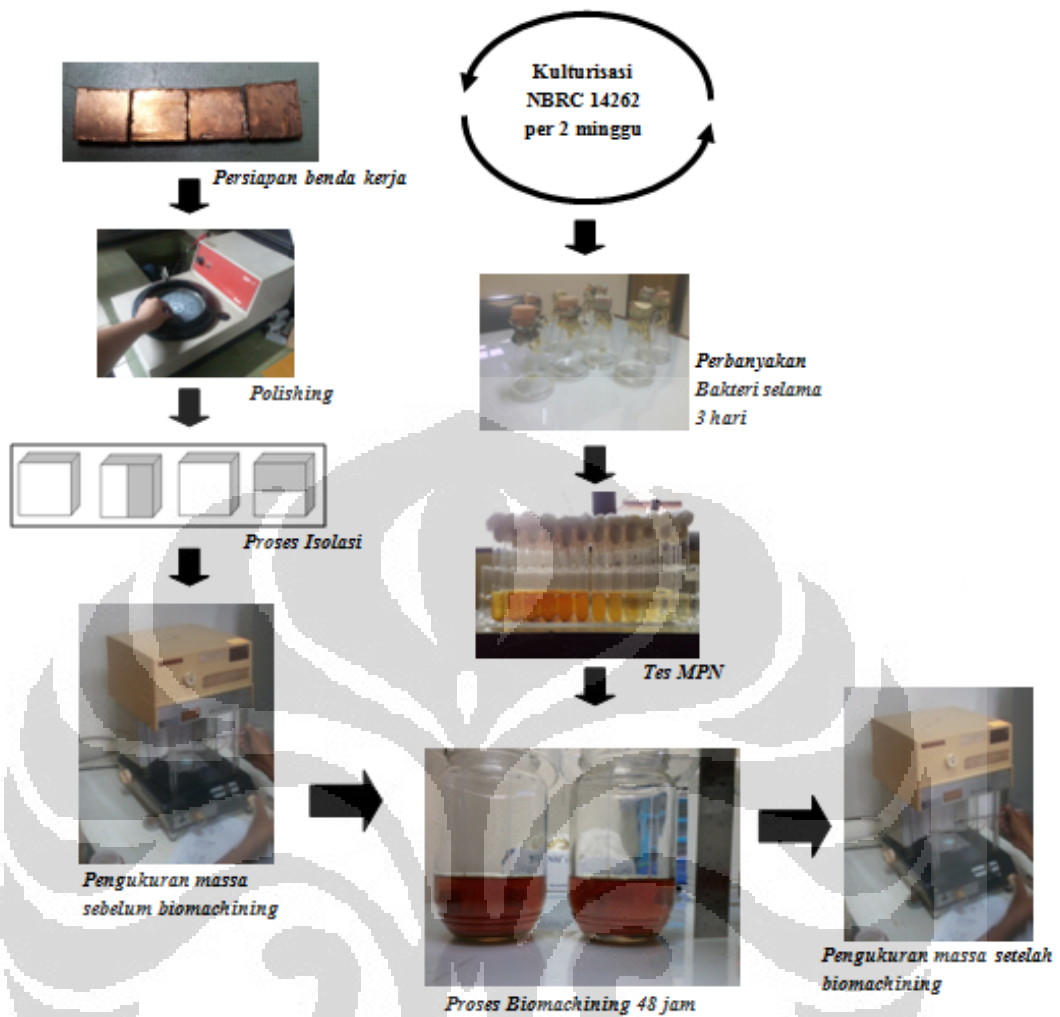
Machining Parameter	
Jenis Bakteri	<i>Acidithiobcillus ferrooxidans</i> NBRC 14262
Medium kultur	9K Medium
suhu	25°-28° C
pH	3
Volume larutan	100 ml
Waktu pemesinan	48 jam
Jumlah Bakteri	81 x 10 ¹⁰ microorganisme/ml
Jumlah Benda Kerja	2
Luas area pemesinan	100 mm ²

4.2 Pengujian Perbandingan Material Removal Rate Dengan Perbedaan Luas Permukaan

Percobaan dilakukan dengan menggunakan 4 sampel berukuran 10x10x3 mm dimana setiap 2 sampel dicelupkan terpisah dengan 2 botol berbeda. Setiap sampel dicelupkan dengan cara digantung dengan ketinggian 3 cm dari permukaan meja kerja. Pada setiap bagian belakang dan ketebalan sampel dilakukan penutupan secara menyeluruh dengan menggunakan material khusus. Pada botol pertama setiap sampel pada setiap botol diberi perlakuan berbeda yaitu satu sampel diisolasi secara horisontal pada bagian atas dan satu sampel lagi tanpa isolasi sama sekali. Pada botol kedua setiap sampel pada setiap botol diberi perlakuan berbeda yaitu satu sampel diisolasi secara vertikal pada bagian kanan permukaan sampel benda kerja dan satu sampel lagi tanpa isolasi sama sekali. Proses pencelupan dilakukan selama 48 Jam. Untuk mendapatkan hasil yang akurat. Percobaan ini dilakukan sebanyak tiga kali.



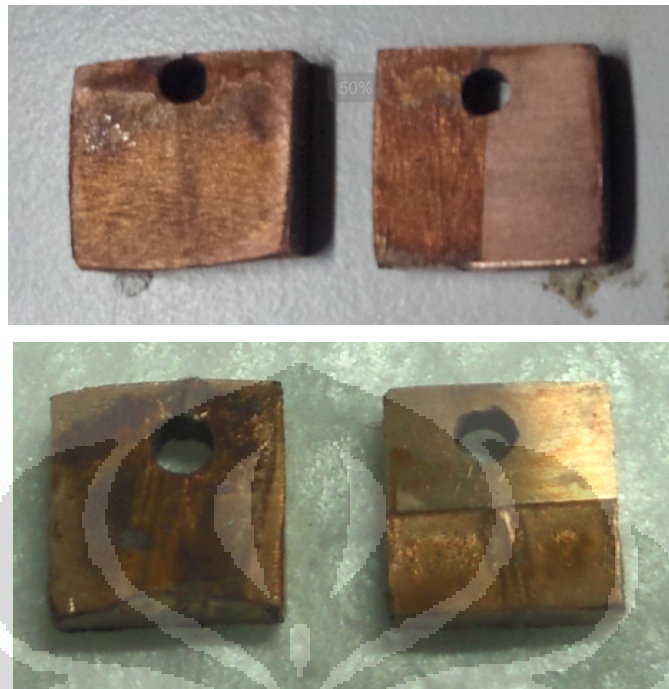
Gambar 4.3 Metode pengisolasian permukaan sampel benda kerja
(no 2 : diisolasi setengah permukaan secara vertical no 4 : diisolasi setengah permukaan secara horisontal)



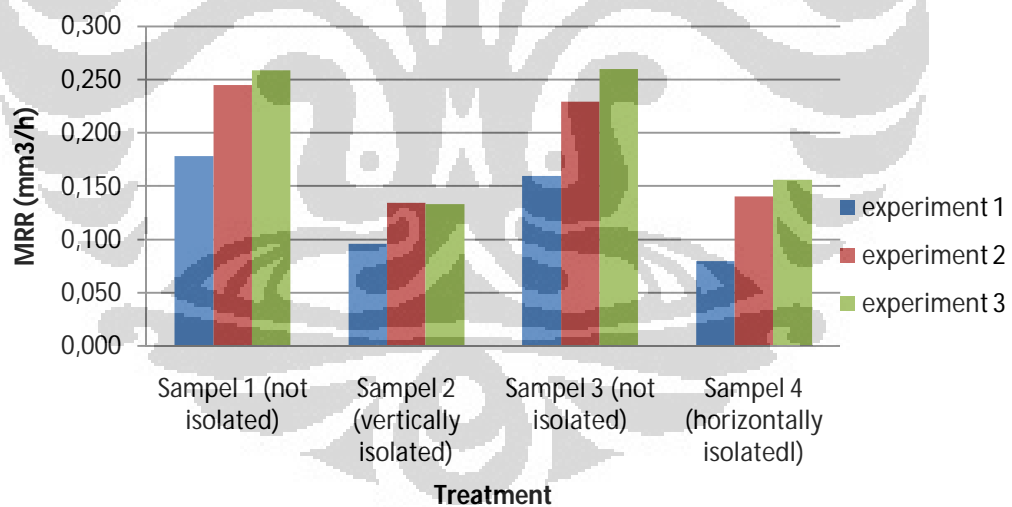
Gambar 4.4 Metodologi Pengujian Perbandingan Material Removal Rate Dengan Perbedaan Luas Permukaan

Tabel 4.3 Machining parameter pengujian pengaruh luas permukaan

Machining Parameter	
Jenis Bakteri	<i>Acidithiobcillus ferrooxidans</i> NBRC 14262
Medium kultur	9K Medium
Suhu	25°-28° C
pH	3
Volume larutan	100 ml
Waktu pemesinan	48 jam
Jumlah Bakteri	32 x 10 ⁹ microorganisme/ml 920 x 10 ¹⁰ microorganisme/ml 81 x 10 ¹⁰ microorganisme/ml
Jumlah Benda Kerja	2
Luas area pemesinan	50 mm ² , 100 mm ²

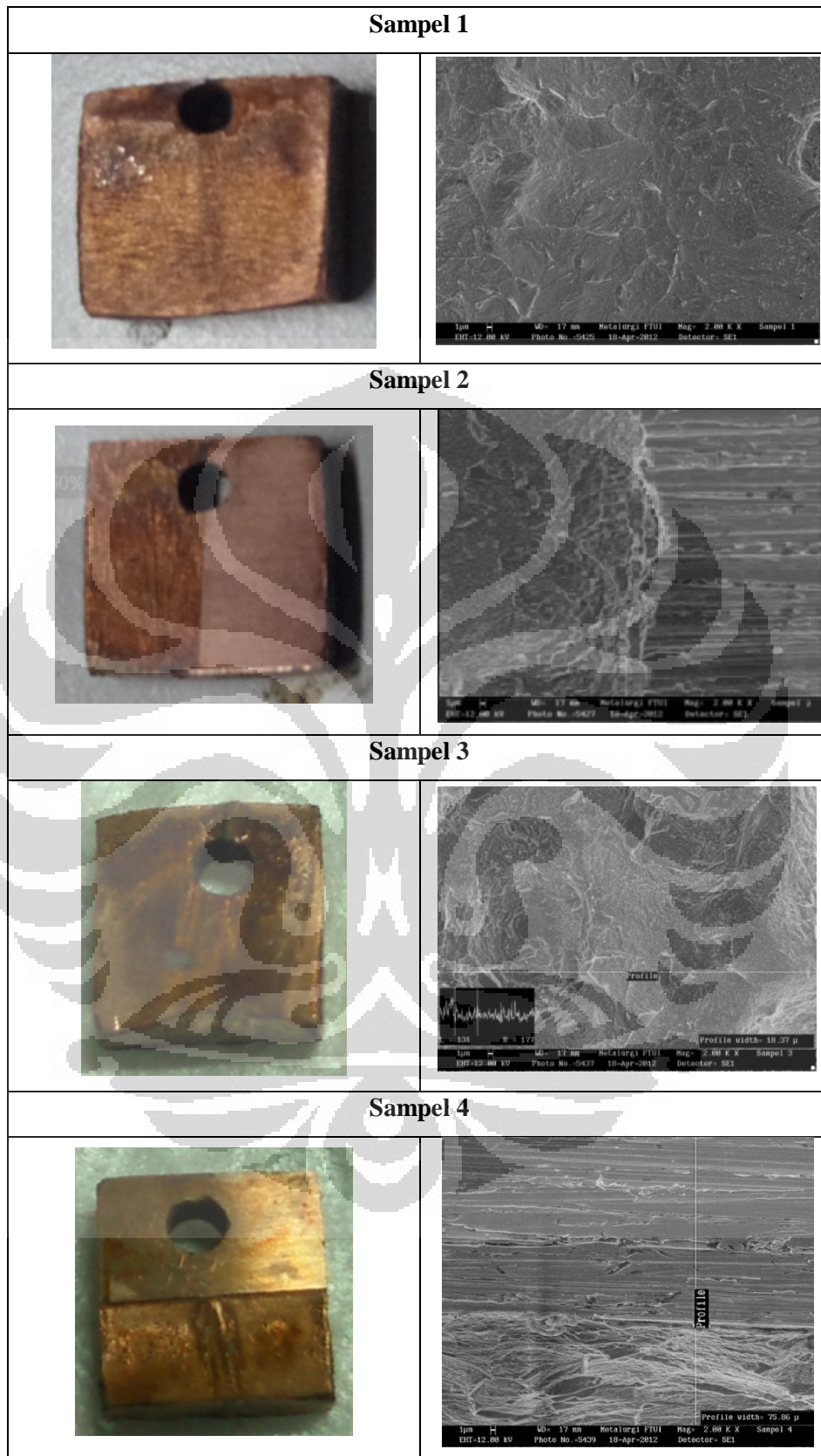


Gambar 4.5 Sampel benda kerja setelah proses biomachining



Gambar 4.6 Grafik pengaruh jenis perlakuan terhadap *material removal rate* (MRR)

Berdasarkan grafik, terlihat secara jelas dimana tingkat Material Removal Rate pada proses biomachining dipengaruhi oleh luas area pemesinan. Pengaruh tersebut terhubung secara linear dimana tingkat MRR 50% lebih kecil pada sampel benda kerja yang diisolasi setengah bagian permukaannya.

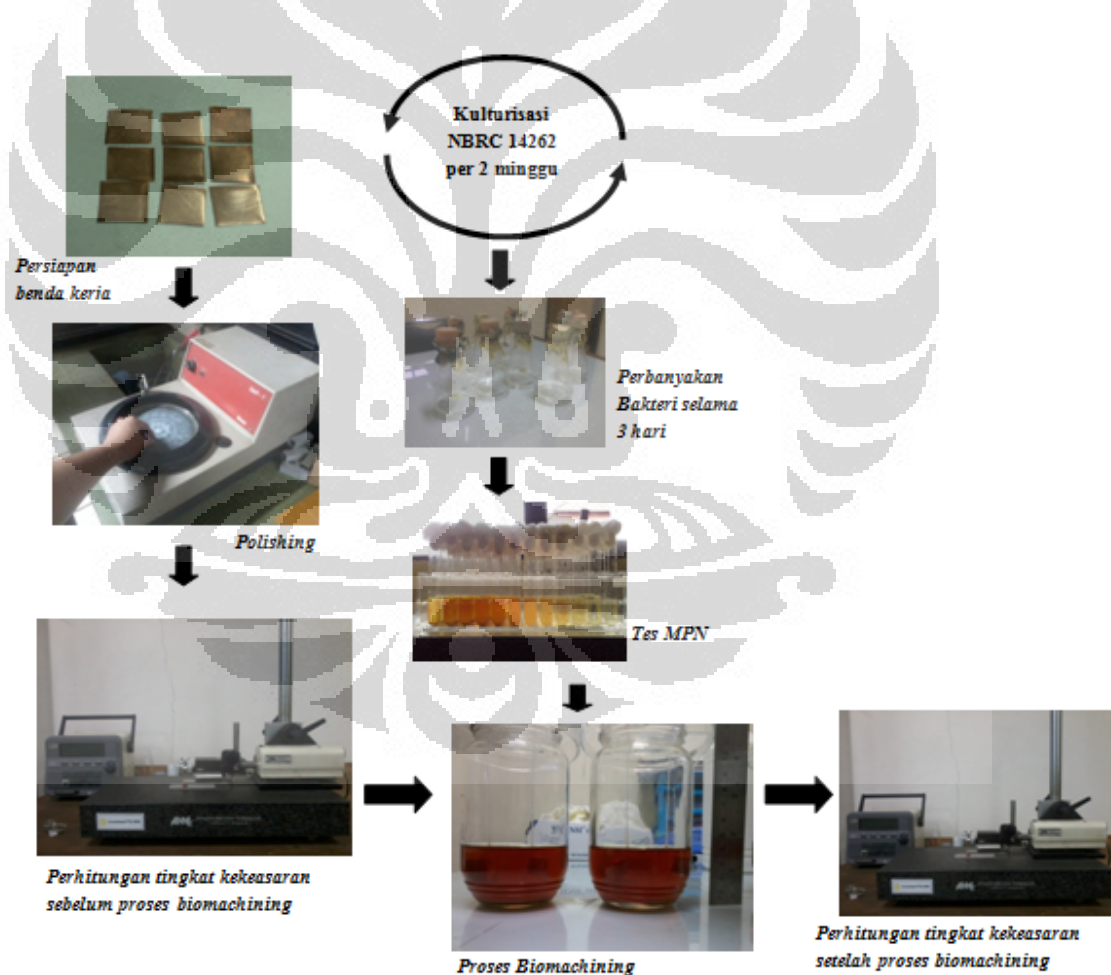


Gambar 4.7 Hasil Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

4.3 Pengujian Tingkat Kekasaran Dengan Variasi Waktu Permesian

Dalam setiap proses pemesinan sudah pasti didapatkan kualitas permukaan benda kerja yang berbeda-beda. Hal ini diakibatkan karena machining parameter yang digunakan pada proses pemesinan yang berbeda-beda. Pada teknik pemesinan konvensional kualitas permukaan dipengaruhi oleh *feed rate* dan *spindle speed*. Pada proses *biomachining* akan diujikan parameter apa yang mempengaruhi tingkat kualitas permukaan yang dihasilkan.

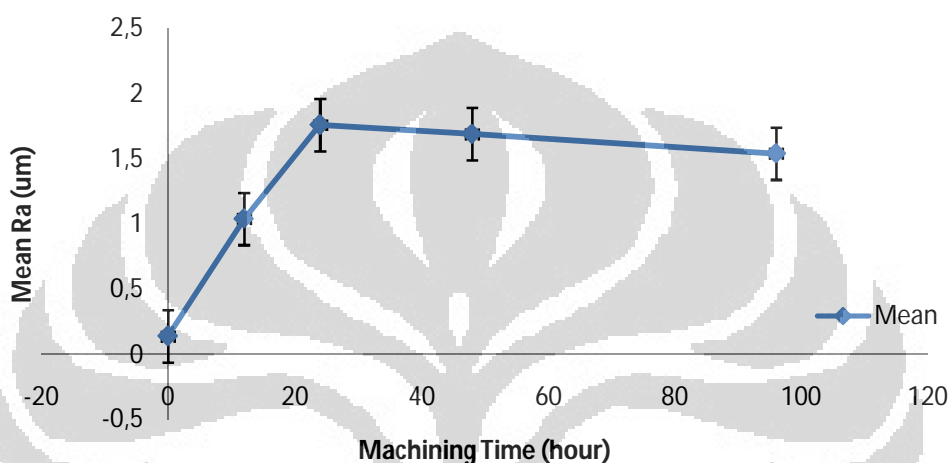
Pada pengujian ini dilakukan dengan pengambilan data nilai *Ra* pada empat buah benda kerja yang diukur setelah dilakukan proses *biomachining* dengan variasi waktu yang berbeda-beda. Variasi waktu yang digunakan yaitu setiap 12 jam.



Gambar 4.8 Metodologi pengujian tingkat kekasaran permukaan (*Roughness*)

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Ra

Workpiece	Waktu pemesinan (jam)	Ra (Roughness Average)		
		Percobaan 1	Percobaan 2	Mean
1	0	0.14	0.14	0.14
2	12	1.1	0.98	1.04
3	24	2.1	1.42	1.76
4	48	1.76	1.62	1.69
5	96	1.64	1.44	1.54



Gambar 4.9 Perbandingan waktu pemesinan dengan perubahan tingkat kekasaran permukaan

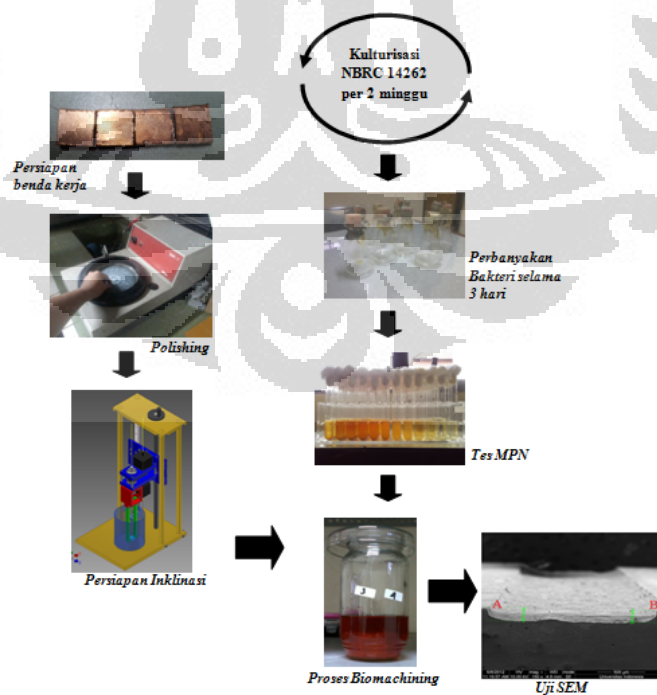
Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa tingkat kekasaran naik berbanding lurus dengan bertambahnya waktu pemesinan. Peningkatan bilangan Ra ini juga menjadi suatu parameter bahwa terjadi proses pemesinan pada benda kerja yang diakibatkan oleh aktifitas bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Namun peningkatan yang terjadi tidak sama dari setiap penambahan waktu yang diberikan. Perbedaan tersebut diperkirakan akibat belum seluruh permukaan yang mengalami proses pemesinan. Proses pemesinan paling optimal terjadi pada proses pemesinan setelah 12 jam hingga 48 jam. Setelah itu pada waktu pemesinan 96 jam terlihat terjadinya suatu kestabilan pada tingkat Ra 1.5. Hal ini diakibatkan seluruh bagian permukaan sudah sudah mengalami proses pemesinan.

Tabel 4.5 Machining parameter pengujian tingkat kekasaran proses biomachining

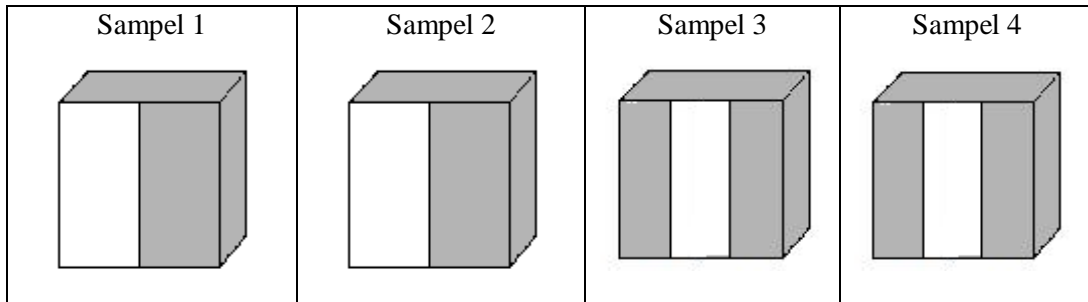
Machining Parameter	
Jenis Bakteri	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> NBRC 14262
Medium kultur	9K Medium
suhu	25°-28° C
pH	3
Volume larutan	100 ml
Waktu pemesinan	12,24,48,96 jam
Jumlah Bakteri	142 x 10 ⁸ microorganisme/ml
Jumlah Benda Kerja	4
Luas area pemesinan	90 mm ²

4.4 Pengujian Pengaruh Inklinasi Terhadap Hasil Pemesinan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui lebih lanjut tingkat kapabilitas dari arah pemakanan yang dapat dilakukan dalam proses biomachining. Pada pengujian ini akan dilakukan dengan menggunakan 4 buah sampel tembaga dengan ukuran 10x10x4 mm. Setiap sampel dilakukan proses isolasi seperti pada percobaan sebelumnya dimana setiap sampel mendapat perlakuan isolasi yang berbeda-beda.

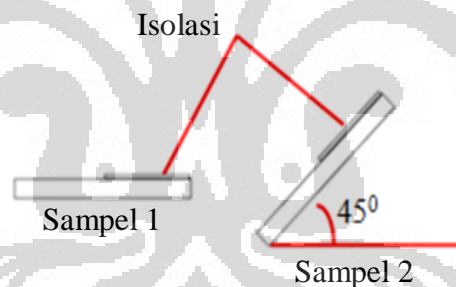


Gambar 4.10 Metodologi Pengujian Pengaruh Inklinasi Terhadap Hasil Pemesinan

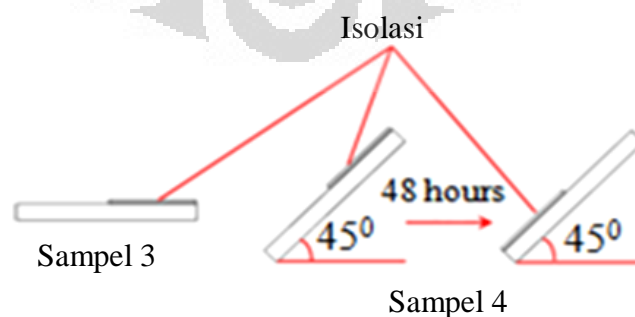


Gambar 4.11 Perlakuan isolasi pada setiap sampel dalam proses inklinasi

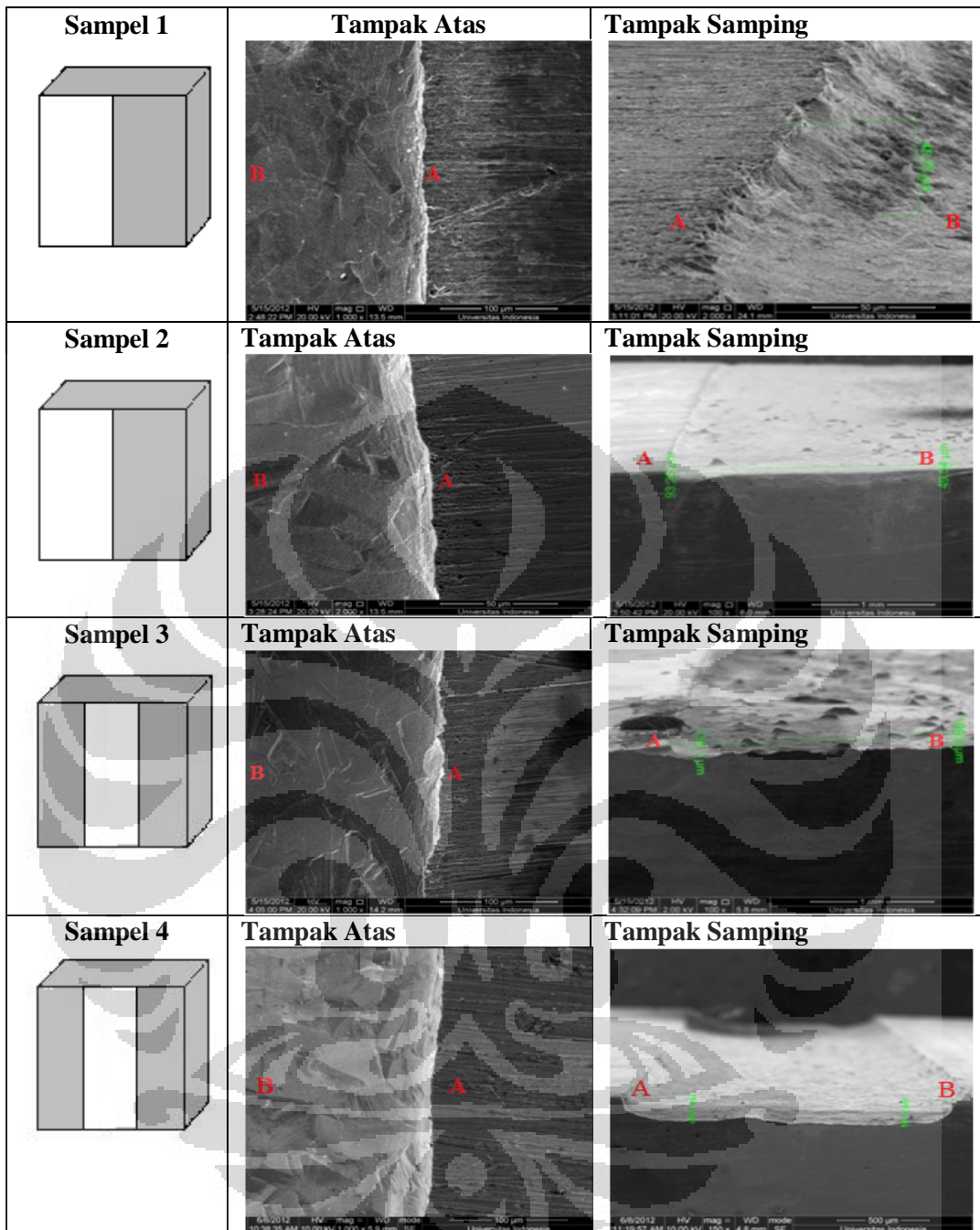
Proses inklinasi dilakukan dengan dua tipe percobaan. Tipe pertama sampel 1 diletakkan dengan posisi 0° dan pada sampel 2 menggunakan sudut 45° . Lama waktu pemesinan yang dilakukan pada proses inklinasi ini adalah 48 jam. Tipe kedua yaitu sampel 3 diletakkan secara horizontal dengan sudut 0° , kemudian sampel 4 diletakkan dengan sudut 45° . Proses pemesinan pada tipe kedua ini dilakukan selama 48 jam, kemudian setelah itu dilakukan proses pembalikan material sampel 4 untuk dilanjutkan proses pemesinan selama 48 jam selanjutnya. Jadi total waktu yang dibutuhkan pada percobaan tipe kedua yaitu 96 jam.



Gambar 4.12 Metode Inklinasi pada perboaan tipe 1



Gambar 4.13 Metode Inklinasi pada perboaan tipe 2

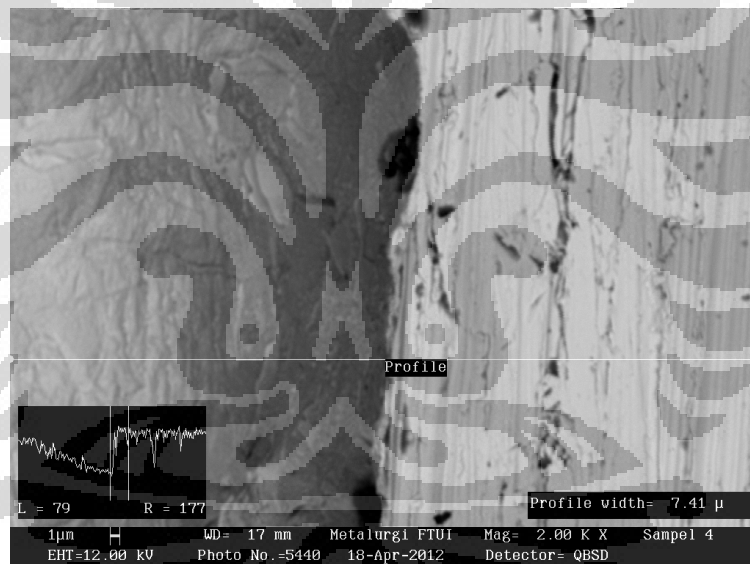


Gambar 4.14 Hasil Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

BAB 5
PENGARUH POSISI BENDA KERJA TERHADAP PERMUKAAN
CAIRAN MEDIUM KULTUR BAKTERI *ACIDITHIOBACILLUS*
FERROXIDANS* DALAM PROSES *BIOMACHINING

5.1 Latar Belakang Pengujian

Pada proses karakterisasi awal proses *biomachining* dengan menggunakan inklinasi, terdapat perbedaan tingkat pemakanan akibat perbedaan ketinggian. Hal ini mengindikasikan adanya suatu perbedaan daerah optimal dari cairan kultur bakteri yang digunakan dalam proses *biomachining*. Perbedaan ini terlihat jelas dari bentuk topografi dari permukaan benda kerja hasil foto uji SEM (*Scanning Electron Microscope*).

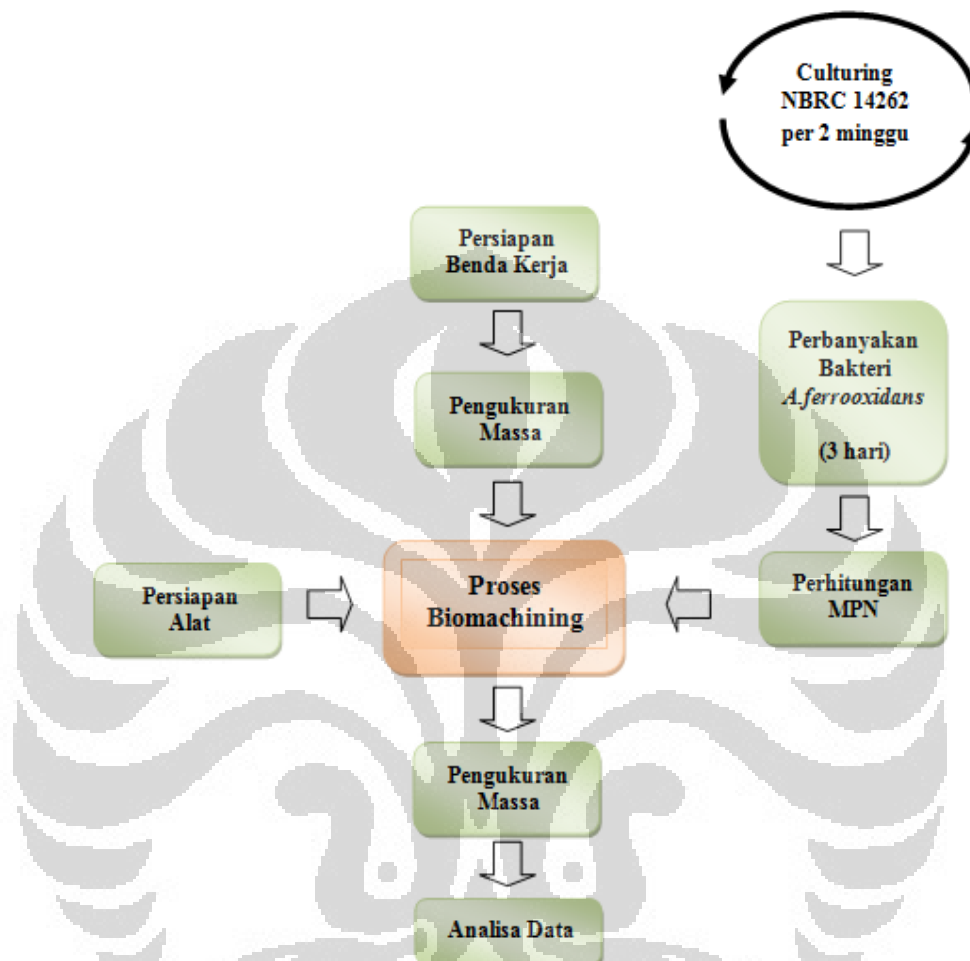


Gambar 5.1 Hasil Uji SEM benda kerja dengan metode inklinasi

5.2 Metodologi Pengujian

Pengujian pengaruh posisi benda kerja terhadap permukaan cairan medium kultur bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* ini diharapkan diperolehnya daerah optimal dari medium untuk dilakukan proses *biomachining*. Pada pengujian ini parameter utama yang akan dianalisa yaitu jarak antara benda kerja dengan permukaan cairan medium kultur bakteri serta material removal rate yang diukur dengan waktu tertentu. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali dimana

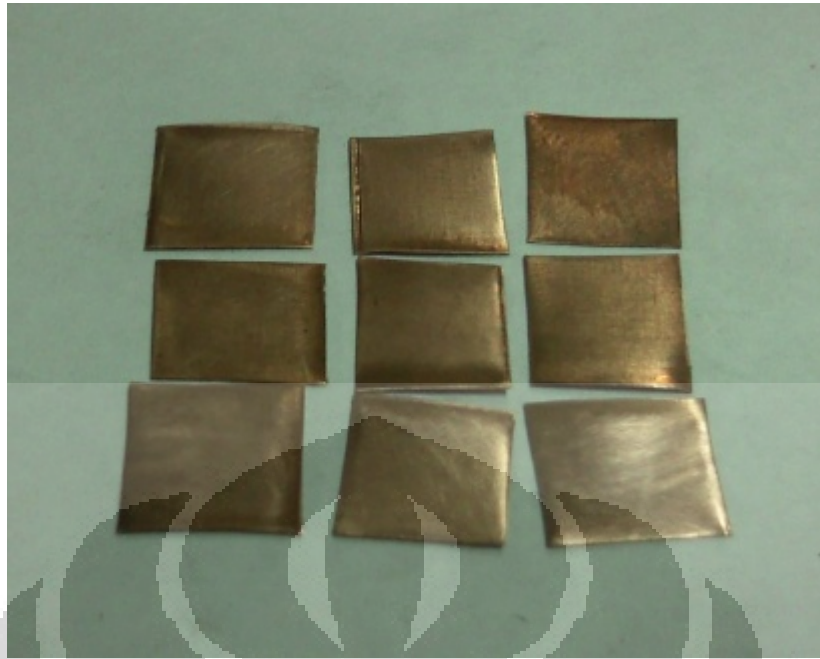
metodologi dalam penelitian ini tidak jauh berbeda dengan karakterisasi awal yang dilakukan.



Gambar 5.2 Metodologi Penelitian

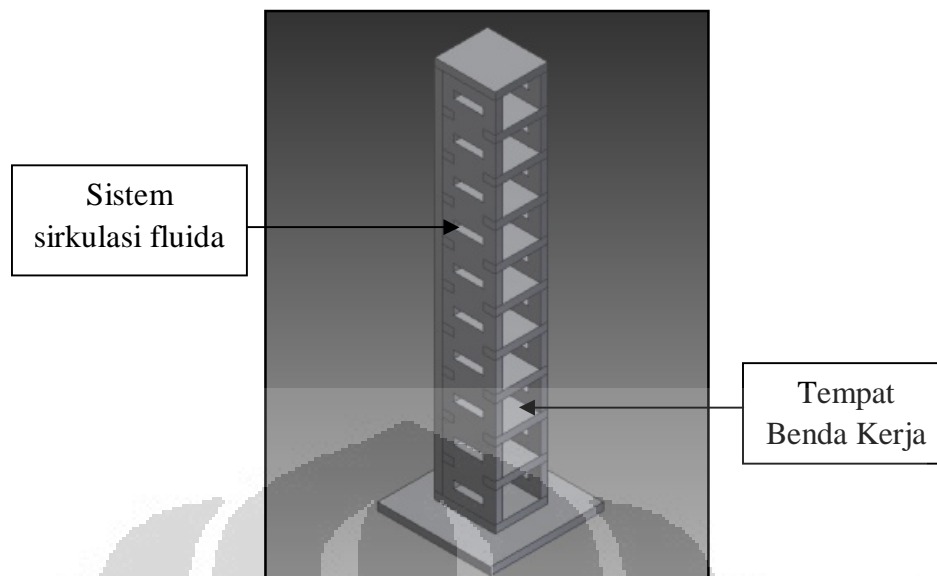
5.3 Persiapan Benda Kerja dan Alat Kerja

Pada percobaan ini digunakan tembaga *stripe* dengan ukuran 9mmx9mmx0.2mm sebagai benda kerja. Tembaga dibuat sebanyak 25 buah yang kemudian dilakukan proses pengamplasan untuk mendapatkan permukaan yang halus dan bersih dari residu seperti hasil oksidasi dengan udara bebas dan kotoran. Pada proses pengamplasan benda kerja digunakan 2 buah amplas dengan grit yang berbeda yaitu grit 1000 dan 1500. Setelah dilakukan proses pengamplasan material benda kerja disterilkan dengan cara disemprotkan alkohol 70% untuk kemudian ditempatkan kedalam tisu dan plastik rekat.



Gambar 5.3 Benda kerja setelah proses pengamplasan

Proses selanjutnya yaitu persiapan alat berupa *stripe case* yang di akan digunakan dengan untuk penempatan benda kerja. *Stripe case* ini di buat secara sederhana dengan menggunakan bahan acrylic. Desain *stripe case* ini dibuat bertingkat dengan system rak yang memiliki yang dilengkapi dengan system lubang-lubang untuk mempermudah sirkulasi fluida medium kultur bakteri. *Stripe case* ini akan dibuat sebanyak 5 buah dimana akan ditempatkan 5 buah benda kerja pada masing-masing *stripe case*. *Stripe case* ini akan diangkat pada setiap jam yang ditentukan.



Gambar 5.4 Desain *Stripe Case*



Gambar 5.5 Penempatan benda kerja pada *Stripe case*

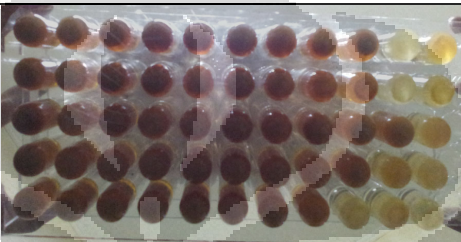
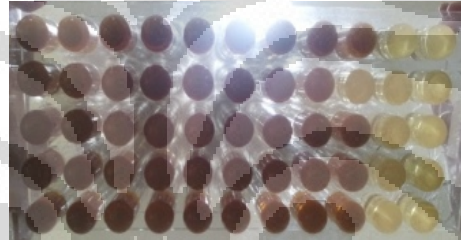
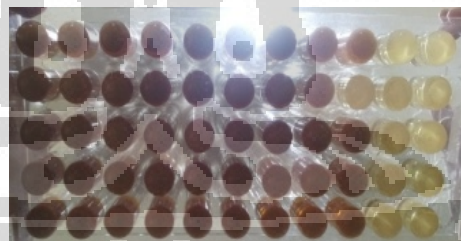
5.4 Estimasi Jumlah Bakteri Dengan Metode MPN Sebelum Proses *Biomachining*.

Dalam setiap percobaan yang dilakukan proses MPN untuk menghitung jumlah bakteri pada awal proses *biomachining*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan parameter berapa jumlah bakteri yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk dalam proses *biomachining*.

Teknik MPN ini dilakukan dengan cara pengenceran hingga tabung ke-11 dimana setiap seri pengenceran digunakan 5 tabung. Penggunaan 5 tabung dimaksudkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan 3 tabung pada setiap serinya.

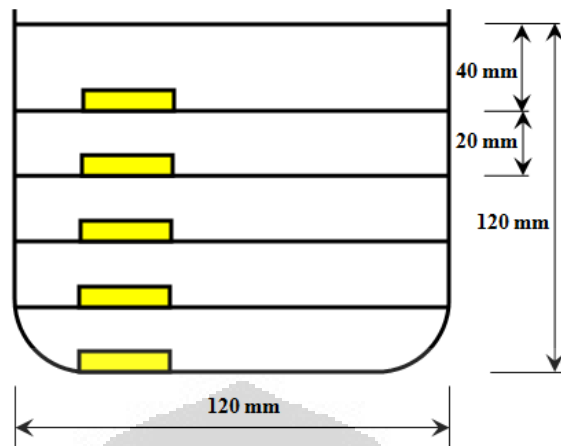
Berikut adalah jumlah bakteri yang ada pada awal ketiga percobaan yang telah dilakukan.

Tabel 5.1 Data MPN Sebelum Percobaan

Percobaan	Data MPN	Foto	Jumlah Bakteri
Percobaan 1	541		170×10^9 org/ml
Percobaan 2	554		1600×10^8 org/ml
Percobaan 3	554		1600×10^8 org/ml

5.5 Proses *Biomachining*

Proses *biomachining* dimulai dengan pengukuran massa benda kerja. Pengukuran ini digunakan sebagai parameter untuk mengukur delta pengurangan massa benda kerja setelah proses *biomachining*. Pada proses *biomachining* ini digunakan medium kultur bakteri sebanyak 900 ml yang ditempatkan kedalam wadah dengan ukuran diameter 12 cm dan tinggi 13.5 cm. Wadah ini digunakan untuk mendapatkan ketinggian permukaan sebesar 12 cm dari dasar wadah.

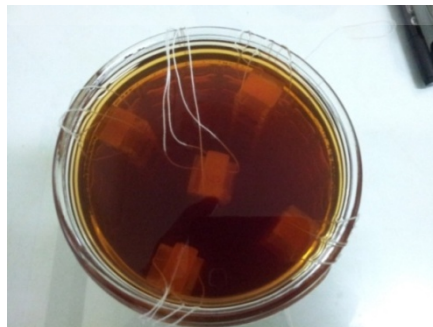


Gambar 5.6 Ilustrasi ketinggian benda kerja di dalam wadah



Gambar 5.7 Ketinggian cairan permukaan

Proses *biomachining* dilakukan selama 13 jam. Pengambilan data berupa pengukuran massa material benda kerja pada setiap *stripe case* dilakukan yaitu setelah 1 jam, 4 jam, 7 jam, 10 jam, dan 13 jam.



Gambar 5.8 Letak Pencelupan benda kerja pada wadah

Secara umum parameter pemesinan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 5.2 Machining parameter proses biomachining

Machining Parameter	
Jenis Bakteri	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> NBRC 14262
Medium kultur	9K Medium
suhu	25 ^o -28 ^o C
pH	3
Volume larutan	1000 ml
Waktu pemesinan	Perc 1,2 : 1, 4, 7, 10, dan 13 jam Perc 3: 4, 16, 28, 40 dan jam
Jumlah Bakteri	142 x 10 ⁸ microorganisme/ml
Jumlah Benda Kerja	25
Luas area pemesinan	90 mm ²

5.6 Perhitungan Massa Benda Kerja

Berdasarkan metodologi penelitian perhitungan massa benda kerja dilakukan sebelum dan sesudah proses *biomachining*. Perhitungan ini dilakukan dengan cara menimbang massa material benda kerja dengan timbangan yang memiliki ketelitian empat angka dibelakang koma. Penggunaan timbangan ini dikarenakan proses biomachining ini merupakan proses pemesinan dengan skala mikro sehingga didapat hasil yang akurat.



Gambar 5.9 Timbangan *Oertling*

BAB 6

HASIL DAN ANALISIS

Percobaan dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang valid. Percobaan pertama dan kedua memiliki perlakuan yang sama dalam hal rentang waktu penimbangan. Pada percobaan ketiga dilakukan perbedaan waktu penimbangan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah akan terjadi pola yang sama seperti pada percobaan pertama dan kedua.

6.1 Hasil Pengujian

6.1.1 Percobaan 1

Tabel 6.1 Pengukuran Material Removal Rate Percobaan 1

No	Jenis Perlakuan	Sampel	Massa Sampel				Perubahan massa	MRR
			Sebelum Proses		Setelah Proses			
			Pengukuran	Delta	Pengukuran	Delta		
1	Rak 1 (Setelah 1 Jam, 19.00)	Kertas	0.2542		0.2514			
		1	1.5812	1.327	1.5759	1.3245	0.0025	0.2809
		2	1.5394	1.2852	1.5339	1.2825	0.0027	0.3034
		3	1.493	1.2388	1.4883	1.2369	0.0019	0.2135
		4	1.3908	1.1366	1.3863	1.1349	0.0017	0.1910
		1.6612	1.407	1.6554	1.404	0.003	0.3371	
2	Rak 2 (Setelah 4 jam, 22.00)				0.2526			
		6	1.4707	1.2165	1.467	1.2144	0.0021	0.0590
		7	1.5122	1.258	1.5078	1.2552	0.0028	0.0787
		8	1.537	1.2828	1.5319	1.2793	0.0035	0.0983
		9	1.5407	1.2865	1.5362	1.2836	0.0029	0.0815
		1.6394	1.3852	1.6342	1.3816	0.0036	0.1011	
3	Rak 3 (Setelah 7 jam, 01.00)				0.2506			
		11	1.5368	1.2826	1.5306	1.28	0.0026	0.0417
		12	1.5018	1.2476	1.4937	1.2431	0.0045	0.0722
		13	1.4918	1.2376	1.4847	1.2341	0.0035	0.0562
		14	1.6222	1.368	1.6147	1.3641	0.0039	0.0626
		1.4841	1.2299	1.4737	1.2231	0.0068	0.1091	
4	Rak 4 (Setelah 10 jam, 04.00)				0.2588			
		16	1.2322	0.978	1.233	0.9742	0.0038	0.0427
		17	1.4375	1.1833	1.4354	1.1766	0.0067	0.0753
		18	1.4857	1.2315	1.4839	1.2251	0.0064	0.0719
		19	1.5878	1.3336	1.5861	1.3273	0.0063	0.0708
		1.6515	1.3973	1.6468	1.388	0.0093	0.1045	
5	Rak 5 (Setelah 13 jam, 07.00)				0.2559			
		21	1.4966	1.2424	1.4915	1.2356	0.0068	0.0588
		22	1.5363	1.2821	1.5265	1.2706	0.0115	0.0994
		23	1.3023	1.0481	1.2953	1.0394	0.0087	0.0752
		24	1.4552	1.201	1.4499	1.194	0.007	0.0605
		1.5577	1.3035	1.5485	1.2926	0.0109	0.0942	

6.1.2 Percobaan 2

Tabel 6.2 Pengukuran Material Removal Rate Percobaan 2

No	Jenis Perlakuan	Sampel	Massa Sampel				Perubahan massa	MRR
			Sebelum Proses		Setelah Proses			
			Pengukuran	Delta	Pengukuran	Delta		
1	Rak 1 (Setelah 1 Jam, 19.00)	Kertas	0.2509		0.2534			
		1	0.3752	0.1243	0.3775	0.1241	0.0002	0.0225
		2	0.3656	0.1147	0.3674	0.114	0.0007	0.0787
		3	0.3628	0.1119	0.3651	0.1117	0.0002	0.0225
		4	0.3678	0.1169	0.37	0.1166	0.0003	0.0337
2	Rak 2 (Setelah 4 jam, 22.00)				0.2539			
		6	0.3772	0.1263	0.3794	0.1255	0.0008	0.0225
		7	0.3614	0.1105	0.3631	0.1092	0.0013	0.0365
		8	0.38	0.1291	0.3808	0.1269	0.0022	0.0618
		9	0.3685	0.1176	0.3695	0.1156	0.002	0.0562
3	Rak 3 (Setelah 7 jam, 01.00)	10	0.3706	0.1197	0.3706	0.1167	0.003	0.0843
					0.2529			
		11	0.3755	0.1246	0.3762	0.1233	0.0013	0.0209
		12	0.3545	0.1036	0.3553	0.1024	0.0012	0.0193
		13	0.362	0.1111	0.3626	0.1097	0.0014	0.0225
4	Rak 4 (Setelah 10 jam, 04.00)	14	0.3614	0.1105	0.3628	0.1099	0.0006	0.0096
		15	0.3634	0.1125	0.3639	0.111	0.0015	0.0241
					0.2508			
		16	0.3653	0.1144	0.3623	0.1115	0.0029	0.0326
		17	0.3547	0.1038	0.351	0.1002	0.0036	0.0404
5	Rak 5 (Setelah 13 jam, 07.00)	18	0.3709	0.12	0.3681	0.1173	0.0027	0.0303
		19	0.3553	0.1044	0.3521	0.1013	0.0031	0.0348
		20	0.3625	0.1116	0.359	0.1082	0.0034	0.0382
					0.2514			
		21	0.379	0.1281	0.3772	0.1258	0.0023	0.0199
5	Rak 5 (Setelah 13 jam, 07.00)	22	0.3662	0.1153	0.3649	0.1135	0.0018	0.0156
		23	0.3508	0.0999	0.349	0.0976	0.0023	0.0199
		24	0.363	0.1121	0.3616	0.1102	0.0019	0.0164
		25	0.3631	0.1122	0.36	0.1086	0.0036	0.0311

6.1.3 Percobaan 3

Tabel 6.3 Pengukuran Material Removal Rate Percobaan 3

No	Jenis Perlakuan	Sampel	Massa Sampel				Perubahan massa	MRR
			Sebelum Proses		Setelah Proses			
			Pengukuran	Delta	Pengukuran	Delta		
1	Rak 4 (Setelah 1 Jam, 21.00)	Kertas	0.352		0.3519			
		1	0.4829	0.1309	0.4808	0.1289	0.002	0.0562
		2	0.4806	0.1286	0.4782	0.1263	0.0023	0.0646
		3	0.4955	0.1435	0.4929	0.141	0.0025	0.0702
		4	0.4906	0.1386	0.4887	0.1368	0.0018	0.0506
	5	0.4913	0.1393	0.4881	0.1362	0.0031	0.0871	
2	Rak 2 (Setelah 16 jam, 09.00)				0.3511			
		6	0.4779	0.1259	0.4596	0.1085	0.0174	0.1222
		7	0.4808	0.1288	0.4692	0.1181	0.0107	0.0751
		8	0.4806	0.1286	0.4708	0.1197	0.0089	0.0625
		9	0.4755	0.1235	0.4667	0.1156	0.0079	0.0555
	10	0.493	0.141	0.471	0.1199	0.0211	0.1482	
3	Rak 3 (Setelah 28 jam, 21.00)				0.3473			
		11	0.4943	0.1423	0.4767	0.1294	0.0129	0.0518
		12	0.493	0.141	0.4733	0.126	0.015	0.0602
		13	0.4763	0.1243	0.4521	0.1048	0.0195	0.0783
		14	0.4811	0.1291	0.4653	0.118	0.0111	0.0445
	15	0.4697	0.1177	0.4409	0.0936	0.0241	0.0967	
4	Rak 4 (Setelah 40 jam, 09.00)				0.3579			
		16	0.4782	0.1262	0.4574	0.0995	0.0267	0.0750
		17	0.4856	0.1336	0.4786	0.1207	0.0129	0.0362
		18	0.4708	0.1188	0.4622	0.1043	0.0145	0.0407
		19	0.4796	0.1276	0.4629	0.105	0.0226	0.0635
	20	0.4809	0.1289	0.4542	0.0963	0.0326	0.0916	

6.2 Analisis

6.2.1 Analisis Percobaan Biomachining

Percobaan *biomachining* ini dilakukan dengan cara mengamati perubahan penurunan massa material benda kerja. Pengamatan perubahan penurunan massa ini dilakukan dengan menimbang massa material benda kerja sebelum sesudah proses *biomachining*. Perhitungan massa material benda kerja dilakukan dengan menimbang massa material dengan timbangan yang memiliki ketelitian empat angka dibelakang koma.

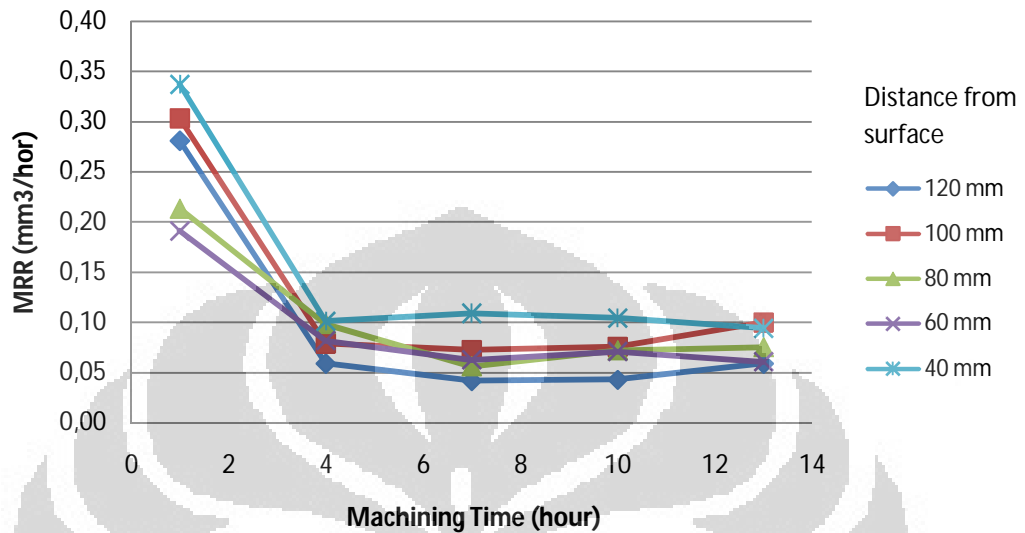
Pada perhitungan massa sebelum percobaan, penimbangan massa material benda kerja dilakukan secara keseluruhan sebanyak 25 buah material benda kerja. Pada perhitungan massa setelah percobaan dilakukan dengan menimbang setiap 5 buah benda kerja karena setiap *stripe case* terdapat lima buah benda kerja. Pada proses penimbangan benda kerja setelah proses *biomachining* terlebih dahulu dilakukan proses pembersihan dengan menggunakan larutan alkohol yang disemprotkan ke permukaan benda kerja. Hal ini dimaksudkan agar sisa oksidasi maupun larutan medium yang masih menempel pada permukaan benda kerja. Proses pembersihan ini dapat mempengaruhi proses penimbangan setelah proses *biomachining* karena jika masih terdapat sisa oksidasi yang menempel pada benda kerja akan menyebabkan material benda kerja memiliki massa yang lebih besar dibandingkan sebelum proses *biomachining*.

Selain proses pembersihan dilakukan proses penyimpanan material benda kerja menggunakan kertas tisu. Penggunaan kertas tisu ini dimaksudkan untuk mencegah oksidasi dengan udara bebas pada permukaan benda kerja. Hasil oksidasi ini juga dapat menyebabkan penambahan massa material benda kerja.

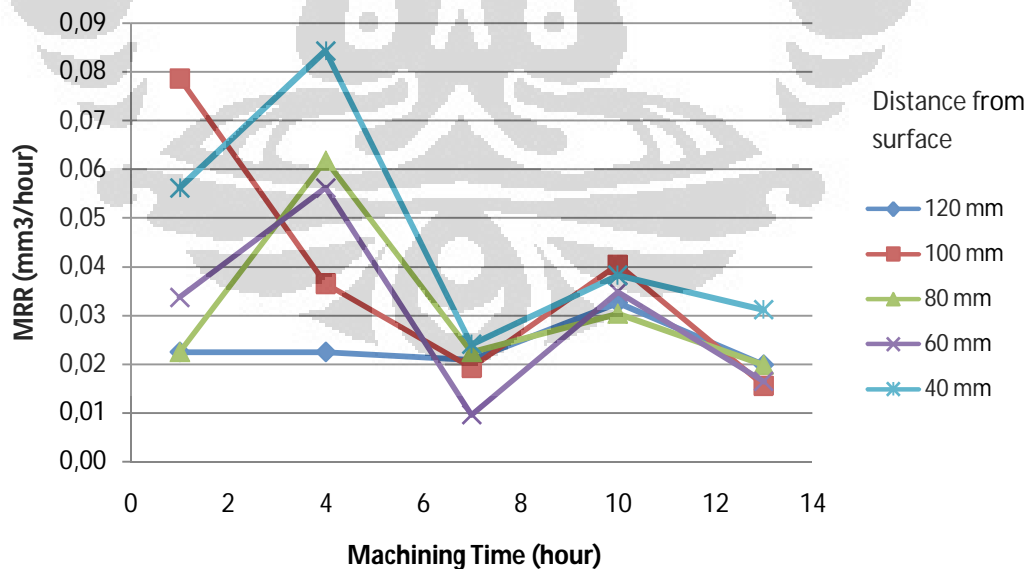
Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan tidak terdapat penambahan massa material benda kerja pada penimbangan setelah proses *biomachining*. Hal ini membuktikan bahwa proses pembersihan dan penyimpanan dilakukan dengan baik.

6.2.2 Analisis Data dan Grafik

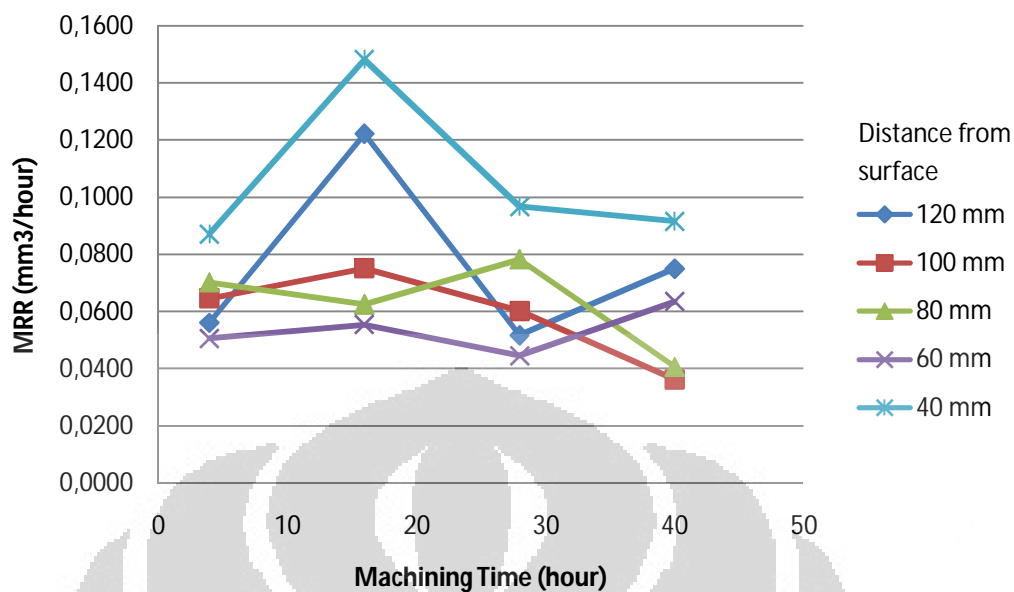
6.2.2.1 Analisis Perbandingan Waktu Pemesinan Terhadap Material Removal Rate



Gambar 6.1 Grafik perbandingan *machining time* terhadap perubahan *MRR* pada Percobaan 1



Gambar 6.2 Grafik perbandingan *machining time* terhadap perubahan *MRR* pada percobaan 2



Gambar 6.3 Grafik perbandingan machining time terhadap perubahan MRR pada Percobaan 3

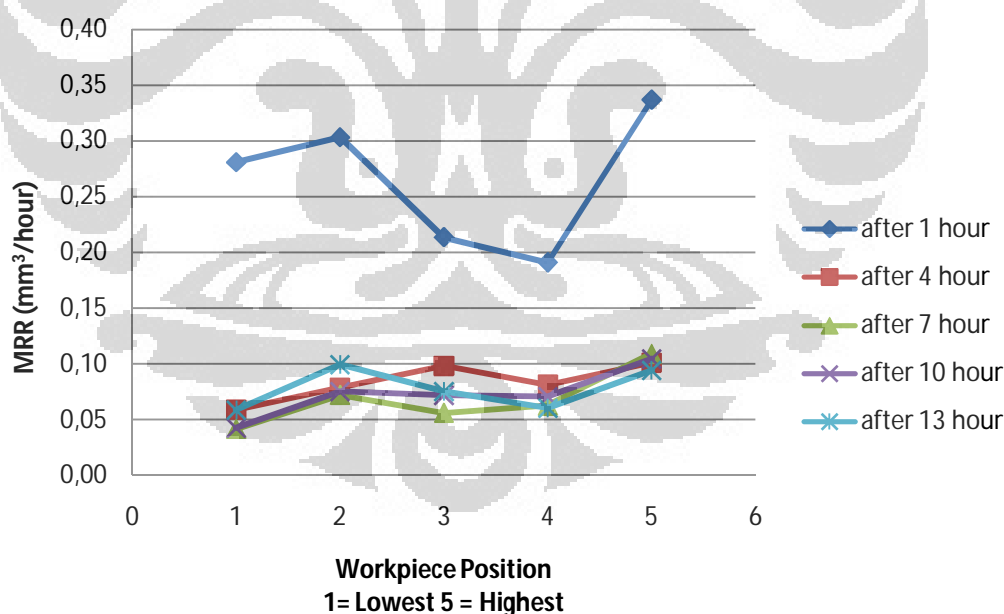
Dari ketiga percobaan menunjukkan bagaimana *material removal rate* memiliki kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya *machining time* yang dilakukan pada proses *biomachining*. Penurunan ini diakibatkan karena tingkat kejenuhan dalam medium kultur bakteri yang semakin meningkat. Tingkat kejenuhan ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu hasil oksidasi berupa endapan atau presipitasi yang sudah semakin banyak.

Dari grafik pertama terlihat penurunan tingkat produktivitas dari proses *biomachining* seiring bertambahnya waktu. *Material removal rate* cukup tinggi pada satu jam pertama namun turun sangat drastis setelah proses pemesinan berjalan selama 4 jam. Penyebab penurunan dari *material removal rate* ini kemungkinan akibat bakteri yang masih sangat aktif pada satu jam pertama dan kemudian menurun akibat persediaan oksigen sebagai *acceptor electron* yang sudah semakin menurun pada medium yang ada. Selain itu setelah proses pemesinan berlangsung selama 4 jam mulai terbentuk lapisan sisa oksidasi yang cukup tebal pada permukaan benda kerja dari proses *biomachining* yang telah dihasilkan sehingga menghambat proses pemesinan selanjutnya. Penurunan

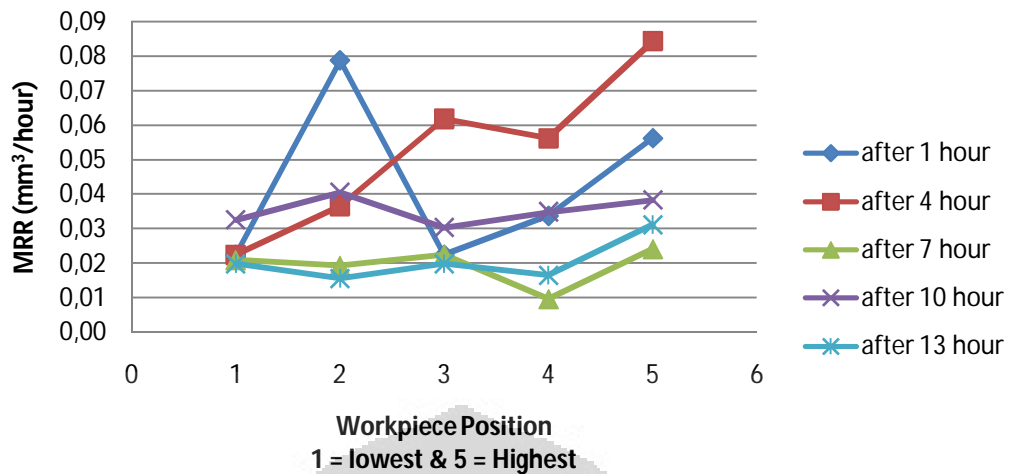
tingkat produktivitas kemungkinan juga dipengaruhi dengan peningkatan pertumbuhan bakteri yang cukup besar pada 4 jam pertama sehingga menimbulkan tingkat kejenuhan yang semakin tinggi pada larutan medium.

Pada percobaan 2 dan 3 keadaan menunjukkan hasil yang sebaliknya dimana pada pengangkatan pada jam setelah 4 jam terlihat *material removal rate* lebih tinggi dibandingkan pada pengangkatan setelah 1 jam pertama. Kenaikan tersebut tidak terjadi pada semua posisi penempatan benda kerja, tapi hanya pada beberapa bagian saja. Hal ini menunjukkan belum terlihat adanya kenaikan tingkat kejenuhan medium kultur bakteri sehingga *material removal rate* yang disebabkan oleh metabolisme bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* masih cukup tinggi. Namun pada akhir proses *biomachining* tetap terlihat penurunan yang cukup signifikan pada akhir dari proses *biomachining* yang dilakukan.

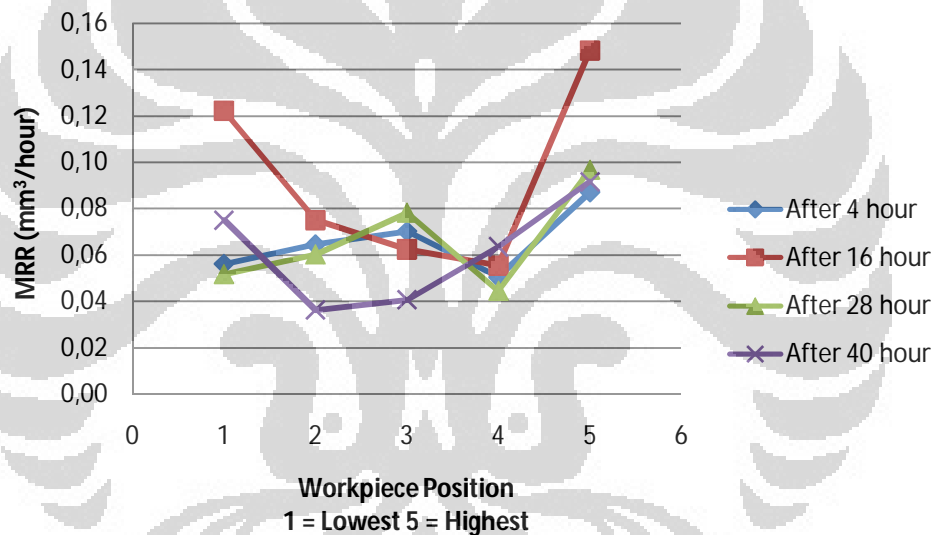
6.2.2.2 Analisis Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR



Gambar 6.4 Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR Percobaan 1

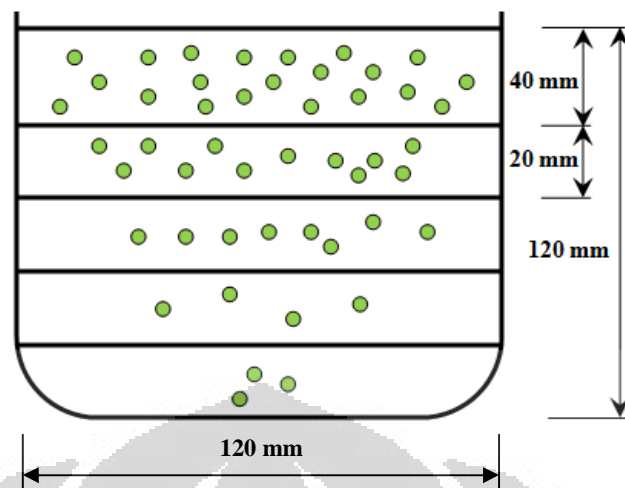


Gambar 6.5 Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR Percobaan 2



Gambar 6.6 Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR Percobaan 3

Berdasarkan grafik terlihat bahwa tingkat produktivitas dari proses *biomachining* terjadi pada bagian paling atas dari penempatan benda kerja. Hal ini membuktikan bahwa kadar oksigen berperan cukup tinggi dalam proses pemesinan yang dilakukan. Pengaruh perbedaan kadar oksigen tersebut dapat terlihat dari *material removal rate* pada bagian paling atas selalu lebih besar pada setiap jam proses *biomachining*.



Gambar 6.7 Ilustrasi kandungan oksigen pada setiap lapisan medium kultur bakteri

Dengan memperkirakan kisaran kandungan oksigen yang ada pada setiap larutan medium kultur bakteri maka dapat dibuat suatu batas yang dapat dijadikan acuan dalam proses *biomachining*. Penerapan batas ini dapat dibuat dengan menetapkan jarak antara permukaan benda kerja dengan permukaan larutan sebagai sebuah *bandwidth* atau daerah optimum pemesinan dengan kemampuan *material removal rate* tertentu.

Perhitungan rata-rata dilakukan untuk mendapatkan kemampuan *material removal rate* pada setiap batas lapisan medium. Perhitungan rata-rata yang dilakukan disertai dengan analisa anova untuk memastikan tingkat keseragaman pada setiap rata-rata yang diambil.

Tabel 6.4 Perhitungan Anova Percobaan 1

Distance	Machining Time					Jumlah data	Mean
	1	4	7	10	13		
120	0.2809	0.0590	0.0417	0.0427	0.0588	0.4831	0.096618101
100	0.3034	0.0787	0.0722	0.0753	0.0994	0.6289	0.125785899
80	0.2135	0.0983	0.0562	0.0719	0.0752	0.5151	0.103016422
60	0.1910	0.0815	0.0626	0.0708	0.0605	0.4664	0.093272009
40	0.3371	0.1011	0.1091	0.1045	0.0942	0.7461	0.149211014
Distance	$(x - \text{mean})^2$					Varians	Standar Deviasi
120	0.0340	0.0014	0.0030	0.0029	0.0014		
100	0.0315	0.0022	0.0029	0.0026	0.0007	0.0100	0.0998
80	0.0122	0.0000	0.0022	0.0010	0.0008	0.0040	0.0636
60	0.0096	0.0001	0.0009	0.0005	0.0011	0.0031	0.0553
40	0.0353	0.0023	0.0016	0.0020	0.0030	0.0111	0.1052

Tabel 6.5 Perhitungan Anova Percobaan 2

Distance	Machining Time					Jumlah Data	Mean
	1	4	7	10	13		
120	0.0225	0.0225	0.0209	0.0326	0.0199	0.1183	0.0237
100	0.0787	0.0365	0.0193	0.0404	0.0156	0.1904	0.0381
80	0.0225	0.0618	0.0225	0.0303	0.0199	0.1570	0.0314
60	0.0337	0.0562	0.0096	0.0348	0.0164	0.1508	0.0302
40	0.0562	0.0843	0.0241	0.0382	0.0311	0.2338	0.0468
Distance	$(x - \text{mean})^2$					Varians	Standar Deviasi
120	0.000001	0.000001	0.000008	0.000080	0.000014		
100	0.001645	0.000002	0.000354	0.000006	0.000508	0.000629	0.0251
80	0.000067	0.000016	0.000003	0.000009	0.000011	0.000027	0.0052
60	0.000013	0.000677	0.000421	0.000022	0.000189	0.000330	0.0182
40	0.000089	0.001406	0.000515	0.000073	0.000245	0.000582	0.0241

Tabel 6.6 Perhitungan Anova Percobaan 3

Distance	Machining Time				Jumlah data	Mean
	4	16	28	40		
120	0.0562	0.1222	0.0518	0.0750	0.3051	0.076284109
100	0.0646	0.0751	0.0602	0.0362	0.2362	0.059043941
80	0.0702	0.0625	0.0783	0.0407	0.2517	0.062926364
60	0.0506	0.0555	0.0445	0.0635	0.2141	0.053516252
40	0.0871	0.1482	0.0967	0.0916	0.4235	0.105883828
Distance	$(x - \text{mean})^2$				Varians	Standar Deviasi
120	0.000404	0.002107	0.000601	0.000002		
100	0.000031	0.000259	0.000001	0.000520	0.000271	0.016448
80	0.000053	0.000000	0.000235	0.000493	0.000260	0.016134
60	0.000009	0.000004	0.000081	0.000099	0.000064	0.008009
40	0.000354	0.001788	0.000084	0.000205	0.000810	0.028467

Dengan menghitung *uji F* dalam analisa anova yang dilakukan, maka akan didapat keseragaman rata-rata yang nantinya akan digunakan sebagai parameter material-removal rate yang terjadi pada setiap lapisan medium kultur. Adapun komponen yang harus dihitung untuk mendapatkan hasil keseragaman rata-rata pada *uji F* adalah sebagai berikut :

Tabel 6.7 Komponen Uji F

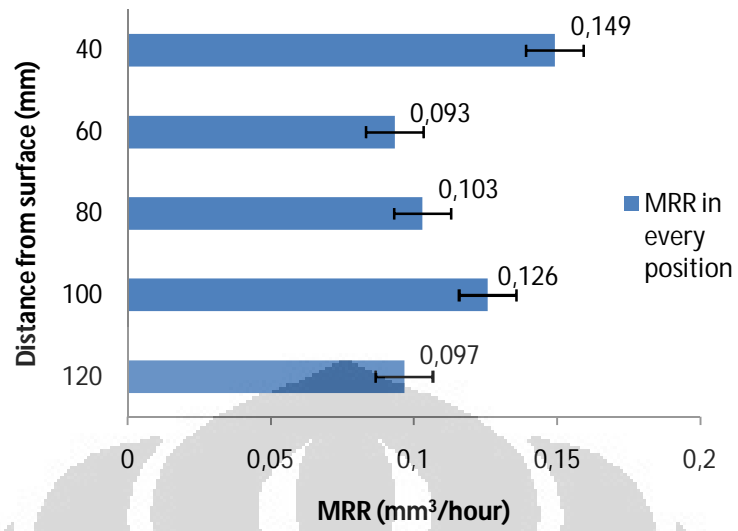
Uji F	$F = \frac{MST}{MSE}$	
Varians antar sampel	$MST = \frac{SST}{k-1}$	$SST = \sum_{j=1}^{n_j} n_j (x_{ij} - \bar{x}_G)^2$
Varians dalam sampel	$MSE = \frac{SSE}{n-k}$	$SSE = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$

Jika didapat nilai *F* yang dihitung lebih kecil daripada nilai *F* yang didapat dari tabel anova, maka dapat dikatakan rata-rata populasi yang diambil memiliki keseragaman, namun bila nilai *F* yang dihitung lebih besar daripada nilai *F* yang didapat dari tabel anova, maka rata-rata populasi yang diambil tidak memiliki keseragaman dan tidak dapat dibandingkan satu dengan lainnya.

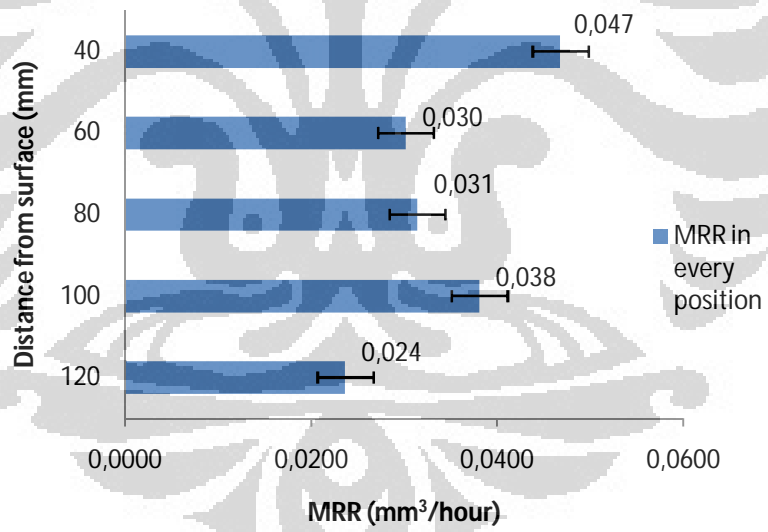
Tabel 6.8 Hasil Perhitungan Anova

	SST	SSE	derajat kebebasan 1	derajat kebebasan 2	MST	MSE	F hitung	F tabel	Status Keseragaman
Percobaan 1	0.0112	0.0388	4	20	0.0028	0.0019	0.359	2.886	Diterima
Percobaan 2	0.0015	0.0016	4	20	0.00039	7.97E-05	1.209	2.886	Diterima
Percobaan 3	0.0139	0.0024	4	15	0.00463	0.000153	4.26728	3.056	Diterima

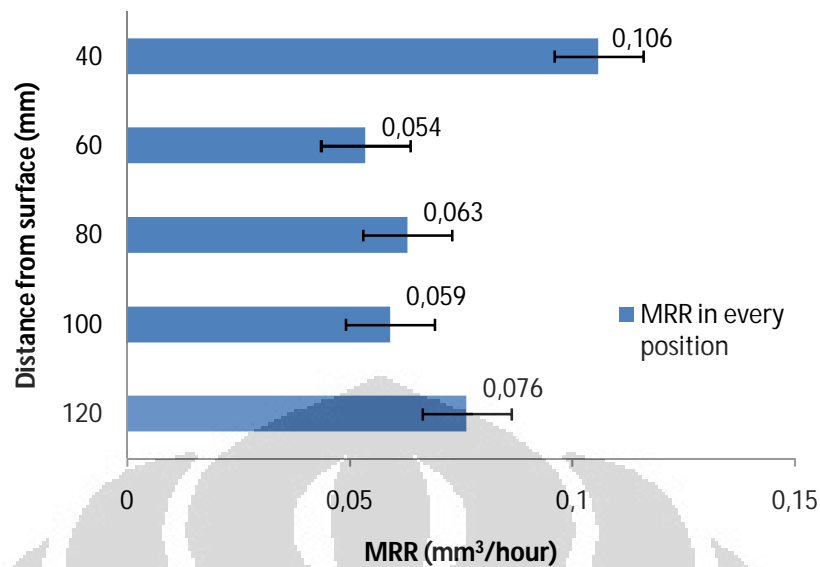
Berdasarkan hasil yang didapat diperoleh terdapat nilai keseragaman yang dapat diterima pada percobaan 1 dan 2 akibat nilai *uji F* yang dihitung lebih rendah dibandingkan dengan nilai *uji F* yang terdapat pada tabel, sehingga kita dapat menjadikan rata-rata *material removal rate* pada setiap lapisan sebagai parameter pemesinan di setiap lapisan tersebut. Pada percobaan ketiga *uji F* hitung memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan *uji F* tabel. Seharusnya dengan keseragaman ditolak karena, namun pembebanan yang tidak merata terjadi tidak secara signifikan oleh karena itu keseragaman percobaan 3 juga dapat diterima.



a)



b)



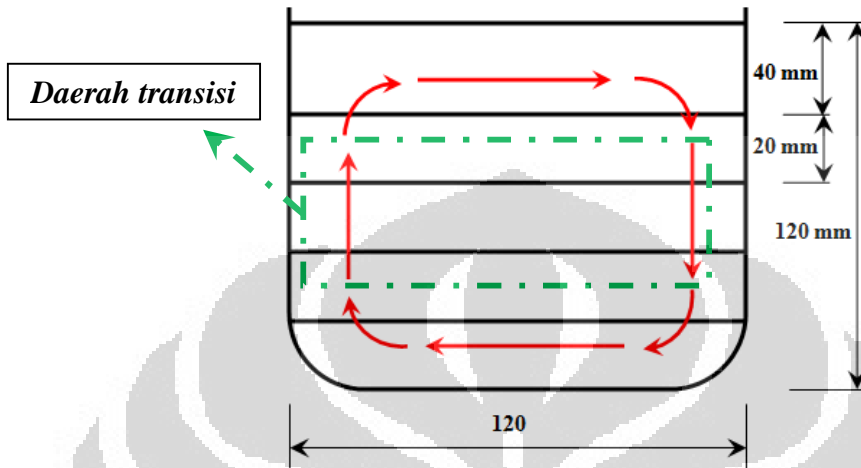
c)

Gambar 6.8 Perbandingan *bandwidth* pada ketiga percobaan a) *bandwidth percobaan 1* b) *bandwidth percobaan 2* c) *bandwidth percobaan 3*

Berdasarkan grafik *bandwidth* dari setiap posisi benda kerja dari setiap percobaan terlihat bagaimana posisi benda kerja yang paling dekat dengan permukaan cairan medium kultur memiliki *material removal rate* yang paling besar dibandingkan lapisan-lapisan lainnya. Namun dari grafik yang telah didapat terjadi peningkatan dan penurunan yang tidak stabil pada ketiga percobaan. Hal ini memiliki kebalikan dari hipotesa awal dimana seharusnya jarak benda kerja terhadap permukaan cairan berbanding secara linear terhadap *material removal rate* yang dihasilkan pada setiap lapisan.

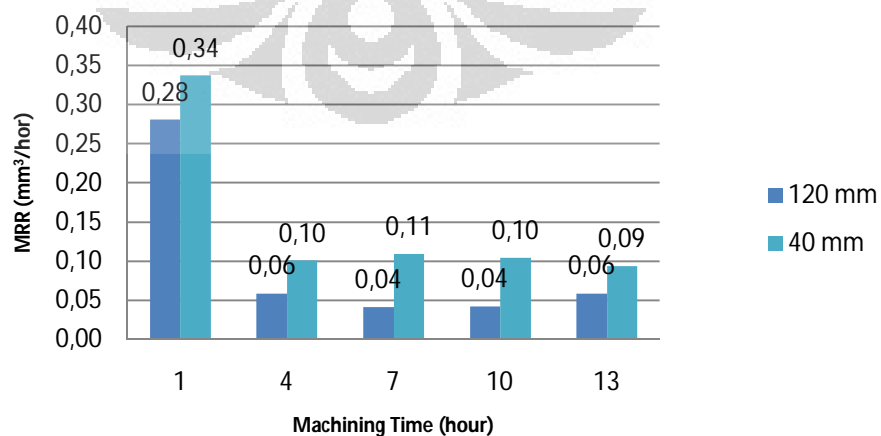
Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketidakstabilan tingkat *material removal rate* pada posisi 2,3 dan 4. Faktor ini dibagi menjadi dua yaitu faktor dari dalam dan faktor dari luar. Faktor dari dalam berupa adanya pergerakan bakteri dari lapisan paling bawah hingga lapisan paling atas yang tidak dapat diprediksi. Sehingga pada bagian posisi penempatan benda kerja pada posisi 2,3 dan 4 terdapat jumlah bakteri yang secara signifikan berubah-ubah. Perubahan signifikan diperkirakan akibat dari pergerakan bakteri yang disebabkan oleh sifat bakteri yang aerob sehingga bakteri membutuhkan oksigen yang cukup banyak

dalam proses metabolismenya. Dengan adanya fenomena ini bagian lapisan cairan medium kultur bakteri pada posisi 2,3 dan 4 merupakan *daerah transisi* yang tidak optimal jika dilakukan proses pemesinan.

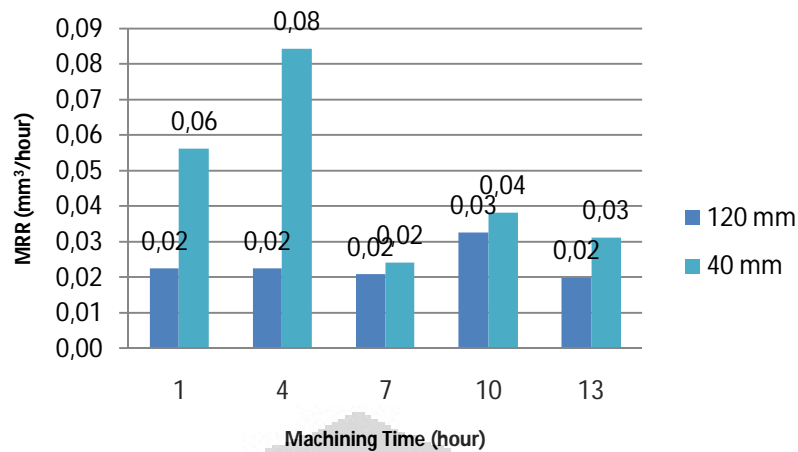


Gambar 6.9 Ilustrasi pergerakan bakteri penyebab ketidakefektifan proses pemesinan pada posisi 2,3, dan 4 atau daerah transisi.

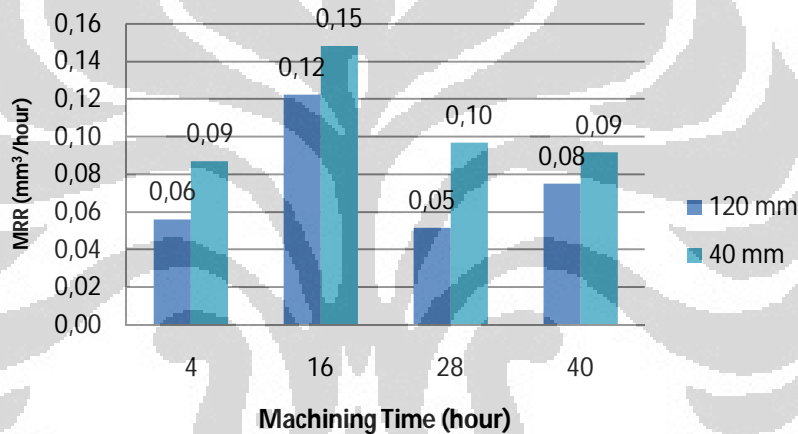
Dengan menganggap posisi 2,3, dan 4 merupakan daerah transisi maka kita dapat membandingkan posisi 1 dan posisi 5 yang merupakan bagian terendah dan tertinggi pada medium kultur bakteri. Pada kedua posisi ini terlihat perbedaan yang cukup signifikan karena pada bagian paling bawah terdapat tingkat *material removal rate* yang lebih rendah pada setiap *machining time* yang dilakukan.



a) percobaan 1



b) percobaan 2



c) percobaan 3

Gambar 6.10 Perbandingan Perbedaan MRR pada posisi 1 dan 5 pada setiap percobaan
a) percobaan 1 b) percobaan 2 c) percobaan 3

Dengan mengacu pada percobaan yang dilakukan maka dapat diambil suatu parameter dalam proses pemesinan dengan metode *biomachining* bahwa dengan wadah berukuran diameter 120 mm dan ketinggian cairan larutan kultur medium 120 mm *feed rate* optimum dapat dilakukan dengan kedalaman benda kerja maksimal 40 mm terhadap permukaan cairan. Hal ini dikarenakan perbandingan *material removal rate* pada posisi dengan kedalaman 40 mm terhadap permukaan cairan mencapai hingga 50% lebih besar dibandingkan pada material benda kerja dengan kedalaman 120 mm terhadap permukaan cairan kultur bakteri.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT

7.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Teknik pemesinan skala mikro dengan metode *biomachining* menggunakan *Acidithiobacillus ferrooxidans* dengan tipe strain NBRC 14262 dapat dilakukan. Hal ini ditunjukkan dengan beberapa hasil karakterisasi atau pengujian awal yang telah dilakukan yaitu :
 - Terlihat perbedaan yang sangat signifikan dari pengujian pemesinan dengan hanya menggunakan medium steril 9K dan medium yang sudah ditumbuhi bakteri.
 - *Material removal rate* yang dihasilkan dalam proses *biomachining* berbanding lurus dengan semakin besarnya luas permukaan yang digunakan.
 - Tingkat kekasaran yang dihasilkan dalam proses *biomachining* semakin meningkat akibat aktifitas metabolime bakteri yang juga semakin meningkat seiring bertambahnya *machining time* yang dilakukan.
2. Jarak antara permukaan benda kerja dengan permukaan cairan medium kultur bakteri sangat mempengaruhi tingkat *material removal rate* yang terjadi dalam proses *biomachining*. Pada benda kerja dengan jarak 40 mm dari permukaan cairan medium kultur memiliki *material removal rate* lebih besar hampir 50% dibandingkan dengan *material removal rate* pada benda kerja dengan jarak 120 mm dari permukaan cairan benda kerja. Hal ini dapat dijadikan parameter dalam proses pemesinan dengan metode *biomachining* bahwa dengan wadah berukuran diameter 120 mm dan ketinggian cairan larutan kultur medium 120 mm *feed rate* optimum dapat dilakukan dengan kedalaman benda kerja maksimal 40 mm terhadap permukaan cairan.

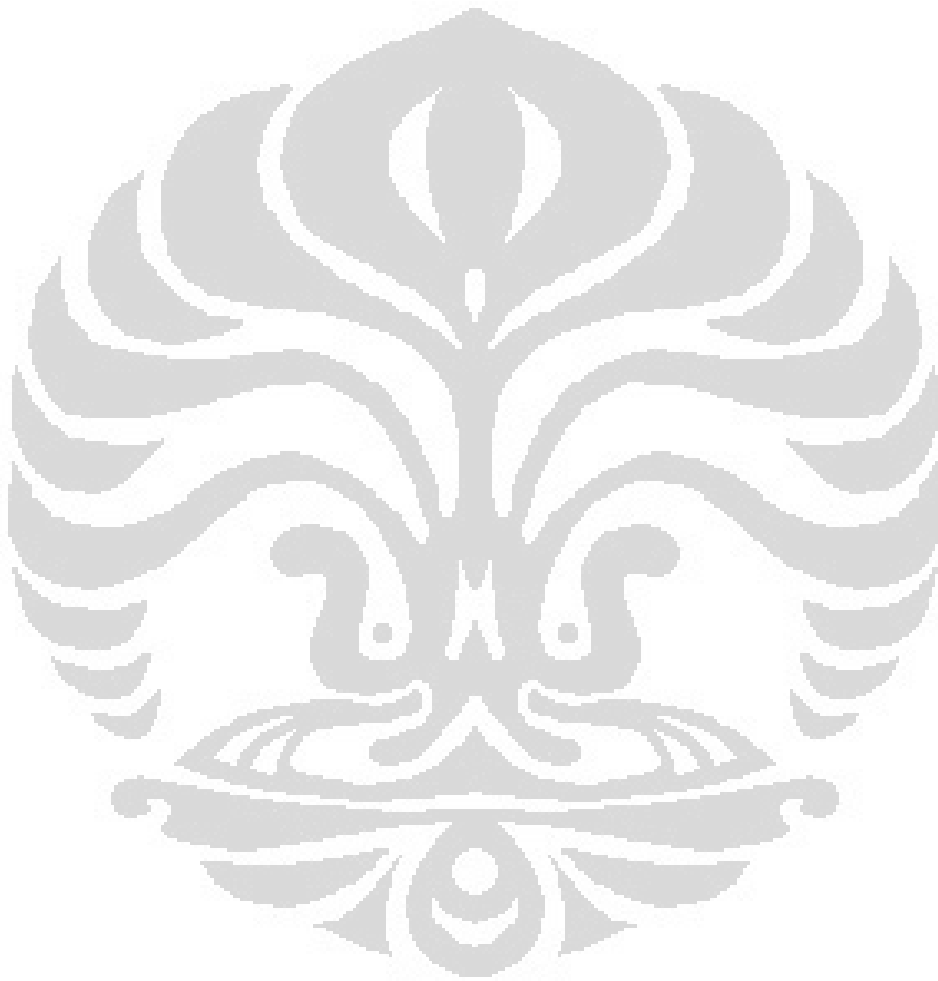
3. Rancang bangun inklinator *multi-axis* berhasil dilakukan namun harus ada pengembangan lebih lanjut dalam segi pemrograman dan *user interface*.
4. Penerapan metode pemesinan dengan cara *multi-axis* dapat dilakukan dalam proses *biomachining*. Hal ini terlihat dari hasil pemesinannya yang memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada profil benda kerja.

7.2 Saran

Dari penelitian ini ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya pada persiapan benda kerja diharapkan menggunakan alat bantu yang lebih presisi dalam hal pemotongan material. Hal ini akan sangat membantu dalam pengambilan data yang lebih akurat dengan luas permukaan yang identik pada setiap benda kerja.
2. Dalam proses perhitungan massa material benda kerja sebaiknya menggunakan timbangan digital sehingga memiliki tingkat kepresisian yang lebih tinggi.
3. Pengembangan system pemrograman serta software *interface* inklinator *multi-axis* harus dilakukan karena akan sangat berguna untuk pengembangan metode *multi-axis* dalam proses *biomachining*.
4. Dalam setiap percobaan diharapkan sebagian besar dilakukan di lab manufaktur dan otomasi lt 2. Hal ini dimaksudkan untuk efisiensi waktu dalam pengambilan data serta menghindari kegagalan percobaan akibat terjadinya korosi akibat oksidasi permukaan material benda kerja.
5. Dalam penelitian selanjutnya mengenai proses *biomachining* diharapkan dapat mempraktikkan seluruh proses yang ada dalam proses *biomachining* baik itu dalam proses inokulasi dan kulturisasi bakteri hingga proses pemesinan dengan berbagai metode yang diterapkan.
6. Berdasarkan hasil percobaan mengenai pengaruh ketinggian posisi benda kerja terhadap permukaan cairan medium kultur bakteri dapat diterapkan beberapa metode seperti penambahan saluran suplai oksigen dan juga pengaduk larutan kultur bakteri. Penerapan metode ini dimaksudkan agar tingkat komposisi oksigen yang terkandung di dalam larutan dapat

tersirkulasi sehingga proses pemesinan dapat optimal di setiap tempat di dalam larutan medium kultur bakteri.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Uno, Y., Kaneeda, T. and Yokomizo, S., “Fundamental study on biomachining (machining of metals by *Thiobacillus ferrooxidans*),” *JSME International Journal, Series C*, Vol. 39, No. 4, pp. 837-842, 1996.
- [2] Johnson, D., Warner, R., Shih, A.J., 2007, “Surface Roughness and Material Removal Rate in Machining Using Microorganisms,” *ASME* Vol. 129 pp. 223-227
- [3] Istiyanto, J., Ko, T.J., Yoon I.C., 2010, “A Study on Copper Micromachining Using Microorganisms,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* Vol. 11, No. 5, pp. 659-664
- [4] J.S. Colton *ME 4210: Manufacturing Processes & Engineering GIT 2009*
- [5] Zhang, D. and Li, Y., “Possibility of Biological Micromachining Used for Metal Removal,” *Science in China*, Vol. 41, No. 2, pp. 151-156, 1998.
- [6] http://www.nmm.jx-group.co.jp/english/industry/ind07_01.html dibuka tanggal 18 Juni 2012
- [7] Ferdian Harjono, “Analisis Pengaruh Inklinasi Benda Kerja Dalam Medium Kultur Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* Dalam Pengembangan *Biomachining Multi-Axis*”. Skripsi. 2012.
- [8] http://web.mst.edu/~microbio/BIO221_2008/T_ferrooxidans.html dibuka dibuka tanggal 27 Mei 2012 pukul 23:31
- [9] <http://www.nmm.jx-group.co.jp/english/sustainability/theme/environment-conscious/index.html> dibuka tanggal 25 Mei 2012 pukul 19:05
- [10] <http://ekmon-saurus.blogspot.com/2011/03/metode-mpn-most-probable-number-atau.html> dibuka tanggal 10 Juni 2012 pukul 15:19

- [11] Optimization Of Surface Roughness, Material Removal Rate And Cutting Tool Flank Wear In Turning Using Extended Taguchi Approach National Institute Of Technology Rourkela 769008, India
- [12] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6063T6> dibuka tanggal 7 juni 2012 pukul 12:28
- [13] http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=stainless_steel_aisi_201 dibuka tanggal 7 juni 2012 pukul 12:36
- [14] <http://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm> dibuka tanggal 9 juni 2012
- [15] Autonics Stepping Motor Datasheet
- [16] <http://www.alliedmetals.co.in/fastener-specifications.htm> dibuka tanggal 10 juni 2012 pukul 13:21
- [17] Kayson, Physical Properties of Acrylic Sheets Akrylik Accessories and Furniture.
- [18] Linear Guidway Catalog. Hiwin.
- [19] ATMEL. ATmega16 Microcontroller Datasheet.
<http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2466.pdf>, di unduh tanggal 3 maret 2012
- [20] L298 Datasheet. Dual Full-Bridge Driver.
<http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/1773.pdf>, diunduh tanggal 3 maret 2012
- [21] <http://xltoolbox.sourceforge.net/> dibuka tanggal 8 Juli 2012
- [22] Rendi Kurniawan. PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL MESIN RAPID PROTOTYPING BERBASIS FUSED DEPOSITION MODELING (FDM). 2010

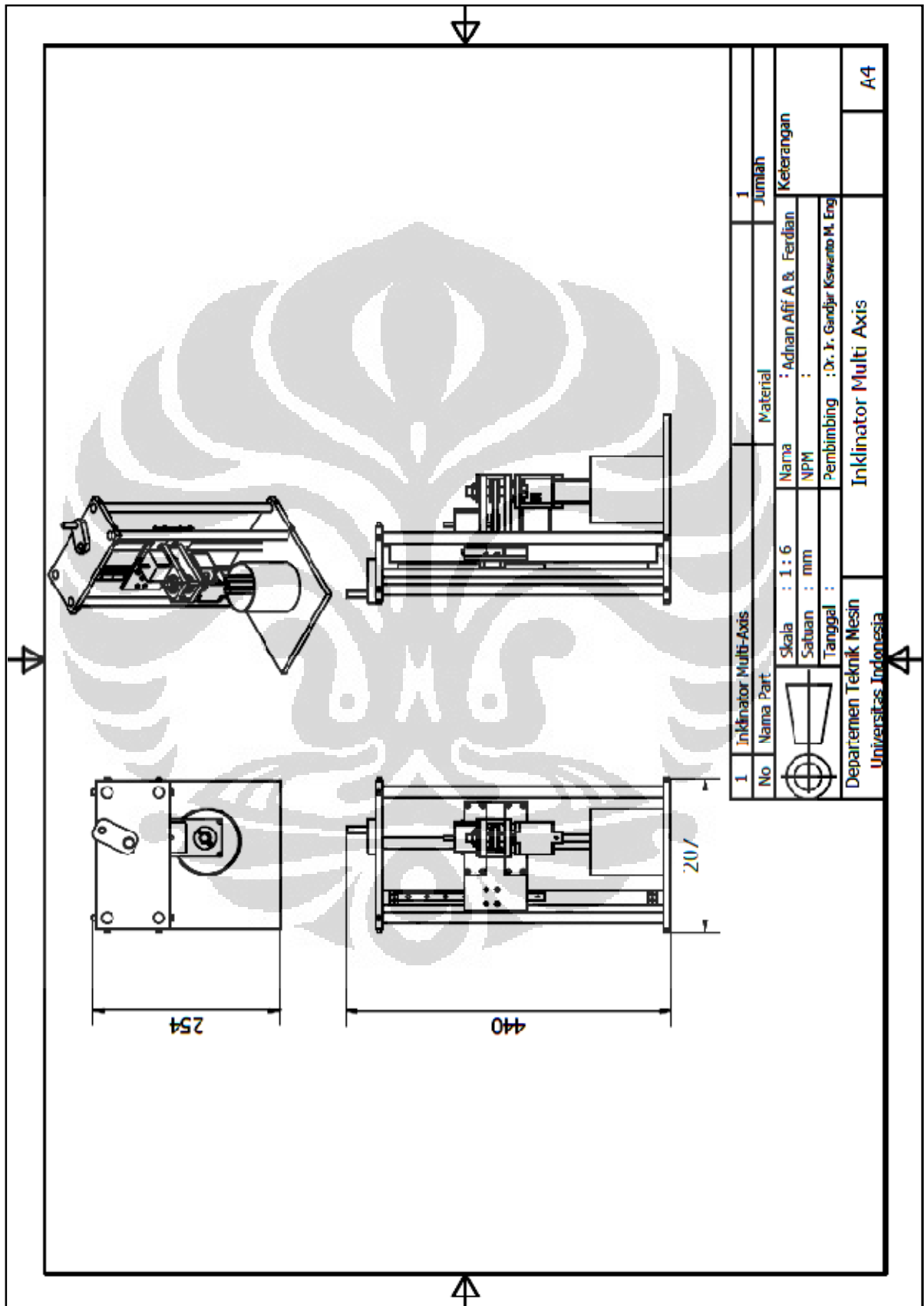
LAMPIRAN 1
Tabel MPN 5 Tabung

10;1;0,1	MPN	10;1;0,1	MPN	10;1;0,1	MPN	10;1;0,1	MPN	10;1;0,1	MPN	10;1;0,1	MPN
000	<1.8	100	2	200	4.5	300	7.8	400	13	500	23
001	1.8	101	4	201	6.8	301	11	401	17	501	31
002	3.6	102	6	202	9.1	302	13	402	21	502	43
003	5.4	103	8	203	12	303	16	403	25	503	58
004	7.2	104	10	204	14	304	20	404	30	504	76
005	9	105	12	205	16	305	23	405	36	505	95
010	1.8	110	4	210	6.8	310	11	410	17	510	33
011	3.6	111	6.1	211	9.2	311	14	411	21	511	46
012	5.5	112	8.1	212	12	312	17	412	26	512	64
013	7.3	113	10	213	14	313	20	413	31	513	84
014	9.1	114	12	214	17	314	23	414	36	514	110
015	11	115	14	215	19	315	27	415	42	515	130
020	3.7	120	6.1	220	9.3	320	14	420	22	520	49
021	5.5	121	8.2	221	12	321	17	421	26	521	70
022	7.4	122	10	222	14	322	20	422	32	522	95
023	9.2	123	12	223	17	323	24	423	38	523	120
024	11	124	15	224	19	324	27	424	44	524	150
025	13	125	17	225	22	325	31	425	50	525	180
030	5.6	130	8.3	230	12	330	17	430	27	530	79
031	7.4	131	10	231	14	331	21	431	33	531	110
032	9.3	132	13	232	17	332	24	432	39	532	140
033	11	133	15	233	20	333	28	433	45	533	180
034	13	134	17	234	22	334	31	434	52	534	210
035	15	135	19	235	25	335	35	435	59	535	250
040	7.5	140	11	240	15	340	21	440	34	540	130
041	9.4	141	13	241	17	341	24	441	40	541	170
042	11	142	15	242	20	342	28	442	47	542	220
043	13	143	17	243	23	343	32	443	54	543	280
044	15	144	19	244	25	344	36	444	62	544	350
045	17	145	22	245	28	345	40	445	69	545	440
050	9.4	150	13	250	17	350	25	450	41	550	240
051	11	151	15	251	20	351	29	451	48	551	350
052	13	152	17	252	17	352	32	452	56	552	540
053	15	153	19	253	26	353	37	453	64	553	920
054	17	154	22	254	29	354	41	454	72	554	1600
055	19	155	24	255	32	355	45	455	81	555	>1600

(sumber : Dr. Ciira. 2003. Kiiyukia Laboratory Manual Of Food Microbiology For Ethiopian Health And Nutrition Research Institute)

LAMPIRAN 2

Gambar Teknik Inklinator Multi-Axis



LAMPIRAN 3

Fitur ATmega 16

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 16K Bytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 512 Bytes EEPROM
 - 1K Byte Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega16L
 - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
 - Active: 1.1 mA
 - Idle Mode: 0.35 mA
 - Power-down Mode: < 1 µA



8-bit **AVR[®]**
Microcontroller
with 16K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega16
ATmega16L

Summary

Note: Not recommended for new designs.

Rev. 2462SS-AVR-05/00



Lampiran 4 Datasheet L298N



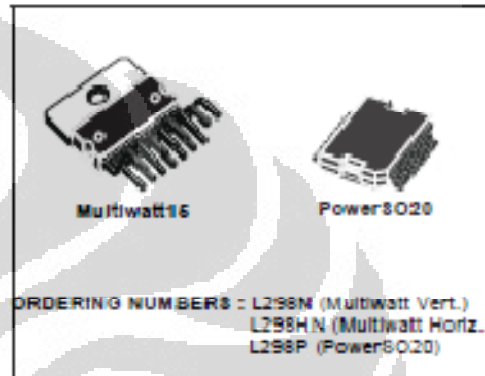
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

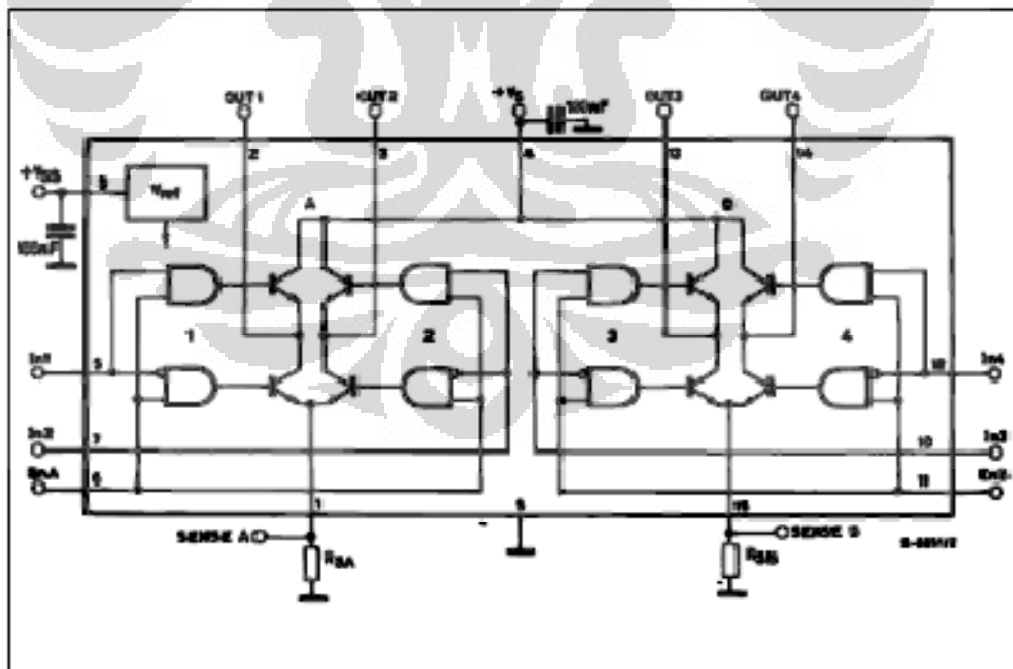
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



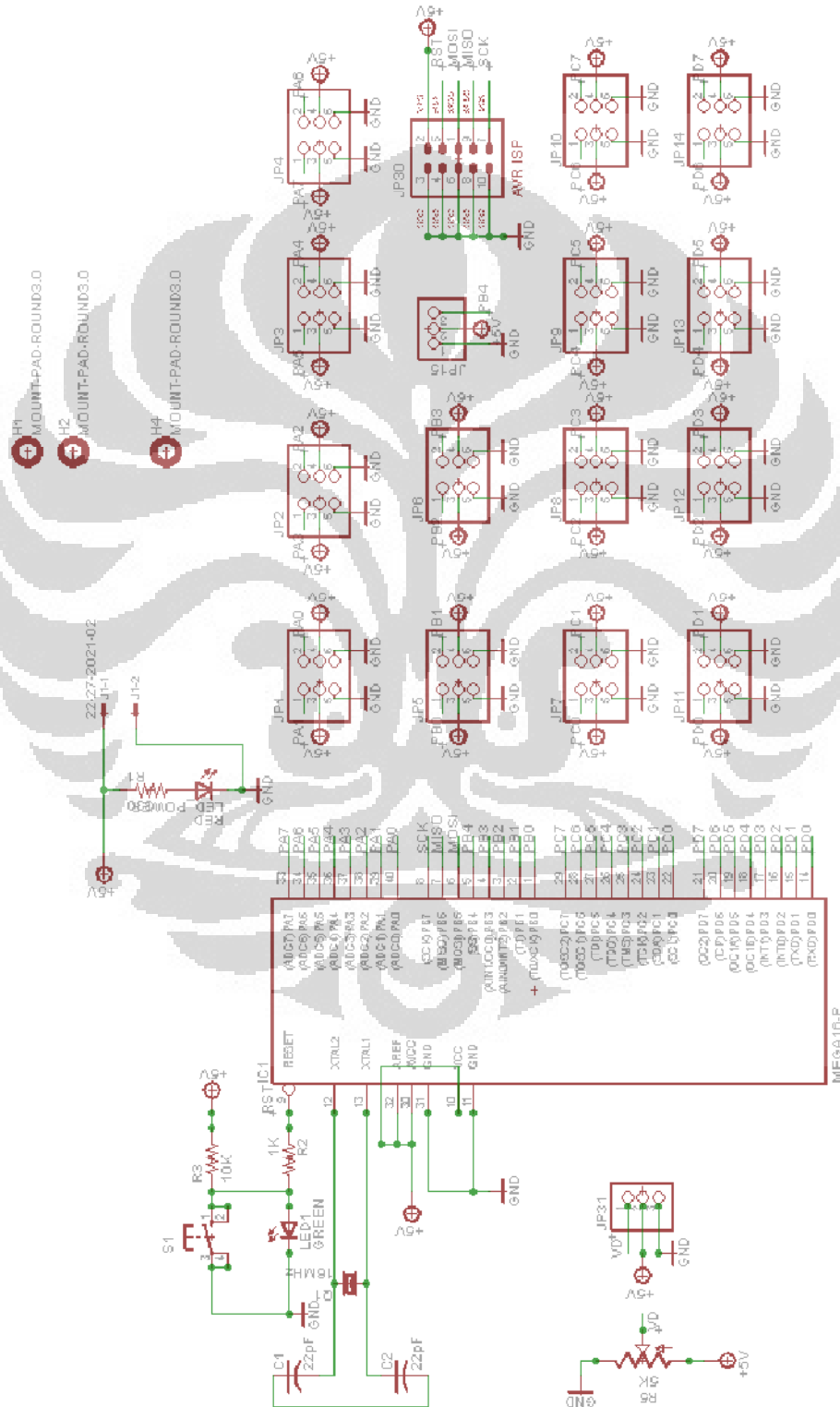
nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM



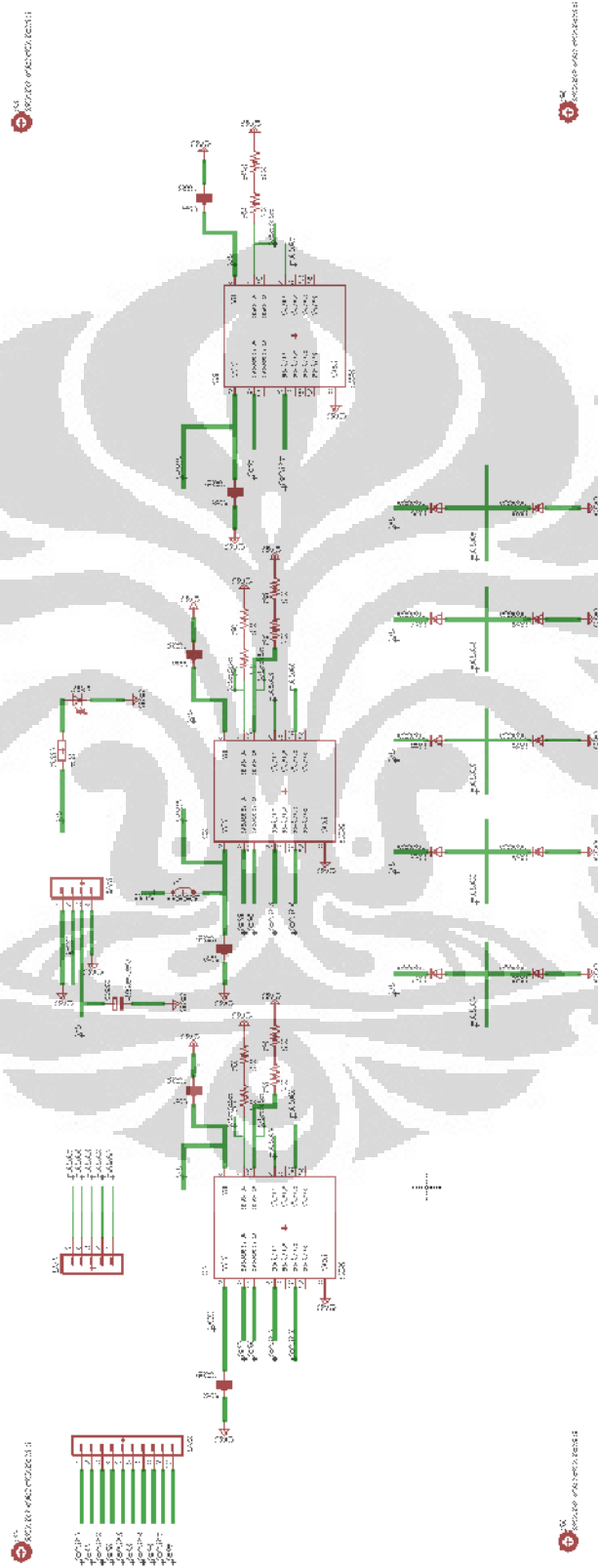
LAMPIRAN 5

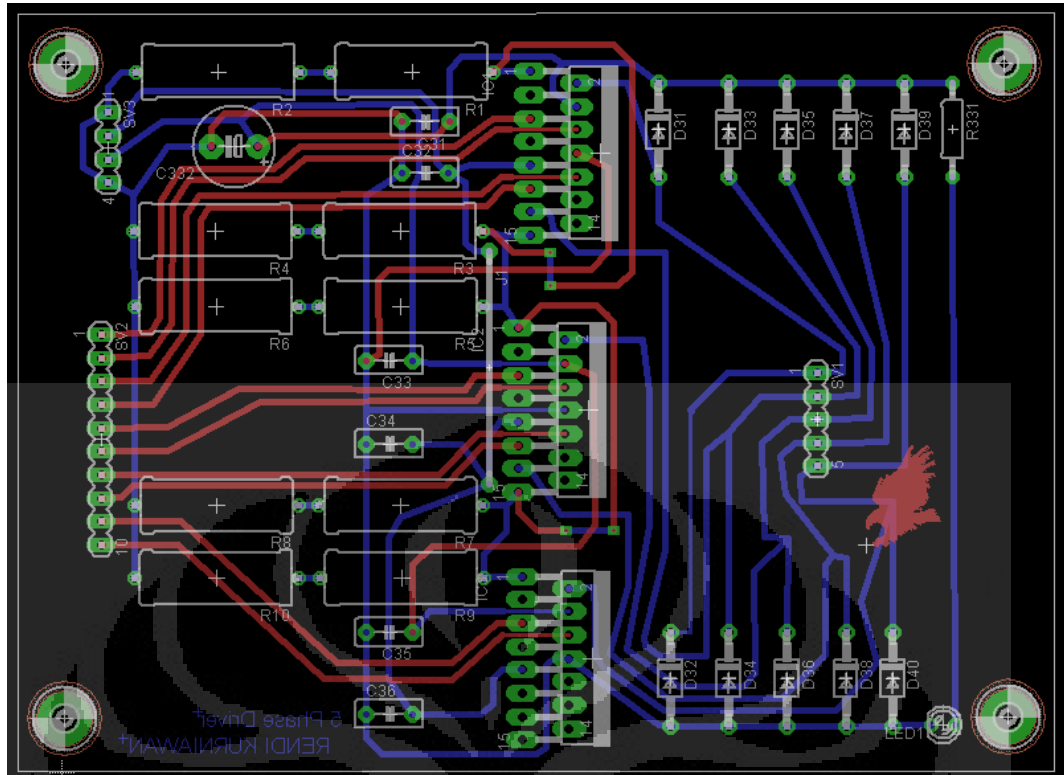
Skematik Rangkaian Minimum Sistem ATmega 16



LAMPIRAN 6

Rangkaian Skematik Driver Motor Stepper 5 Fasa





(sumber : Rendi Kurniawan. PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL MESIN
 RAPID PROTOTYPING BERBASIS FUSED DEPOSITION MODELING
 (FDM). 2010)

LAMPIRAN 7

PROGRAM SUDUT INKLINATOR

```
/******
```

```
This program was produced by the  
CodeWizardAVR V2.03.4 Standard  
Automatic Program Generator  
© Copyright 1998-2008 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.  
http://www.hpinfotech.com
```

```
Project      : Program Pengaturan Sudut Inklinasi  
Version     : 1  
Date        : 6/19/2012  
Author      : Adnan Afif Alaudin  
Company     : Universitas Indonesia  
Comments    : Skripsi  
Chip type   : ATmega16  
Program type : Application  
Clock frequency : 16.000000 MHz  
Memory model : Small  
External RAM size : 0  
Data Stack size : 256
```

```
***** /
```

```
#include <mega16.h>  
#include <delay.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <stdio.h>
```

```
// Alphanumeric LCD Module functions  
#asm  
    .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC  
#endasm  
#include <lcd.h>
```

```
// Declare your global variables here
```

```
int a;  
int b;  
int c;  
int d;  
int e;
```

```
void terima_data()  
{  
    while(getchar()!='c')  
{
```

```
    lcd_clear();  
    lcd_gotoxy(0,0);  
    lcd_putsf("waiting...");  
}
```

```
for(a=0;a<=10;a++)  
    lcd_clear();  
    lcd_gotoxy(0,0);  
    lcd_putsf("Welcome to the");  
    lcd_gotoxy(0,1);  
    lcd_putsf("Program of");  
    delay_ms(2000);  
    lcd_clear();  
    lcd_gotoxy(0,0);  
    lcd_putsf("Inclinotor");  
    lcd_gotoxy(0,1);
```

```

    lcd_putsf("Biomachining");
    delay_ms(2000);
    lcd_clear();
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_putsf("Authorized by");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("Adnan Afif A");
    delay_ms(2000);
}

void enable_a()
{
    PORTC.3 = 1 ; //INH1(Enable 1)
    PORTC.4 = 1 ; //INH2(Enable 2)
    PORTC.5 = 1 ; //INH3(Enable 3)
    PORTC.6 = 1 ; //INH4(Enable 4)
    PORTC.7 = 1 ; //INH5(Enable 5)
}

void enable_b()
{
    PORTD.0 = 1 ; //INH1(Enable 1)
    PORTD.1 = 1 ; //INH2(Enable 2)
    PORTD.2 = 1 ; //INH3(Enable 3)
    PORTD.3 = 1 ; //INH4(Enable 4)
    PORTD.4 = 1 ; //INH5(Enable 5)
}

//====KODINGAN MOTOR BAWAH====
void motor1_ccwhalf()
{
    //PORTA.1 = input 1
    //PORTA.2 = input 2
    //PORTA.3 = input 3
    //PORTA.4 = input 4
    //PORTA.5 = input 5

//step 1
    enable_a();
    PORTA.1 = 1;
    PORTA.2 = 1;
    PORTA.3 = 0;
    PORTA.4 = 0;
    PORTA.5 = 1;
    delay_ms(10);

//step 2
    enable_a();
    PORTA.1 = 1;
    PORTA.2 = 1;
    PORTA.3 = 0;
    PORTA.4 = 0;
    PORTA.5 = 0;
    delay_ms(10);

//step 3
    enable_a();
    PORTA.1 = 1;
    PORTA.2 = 1;
    PORTA.3 = 1;
    PORTA.4 = 0;
    PORTA.5 = 0;
    delay_ms(10);

//step 4
    enable_a();
    PORTA.1 = 0;
    PORTA.2 = 1;
    PORTA.3 = 1;
    PORTA.4 = 0;
}

```

```

PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 5
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 6
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 7
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

//step 8
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

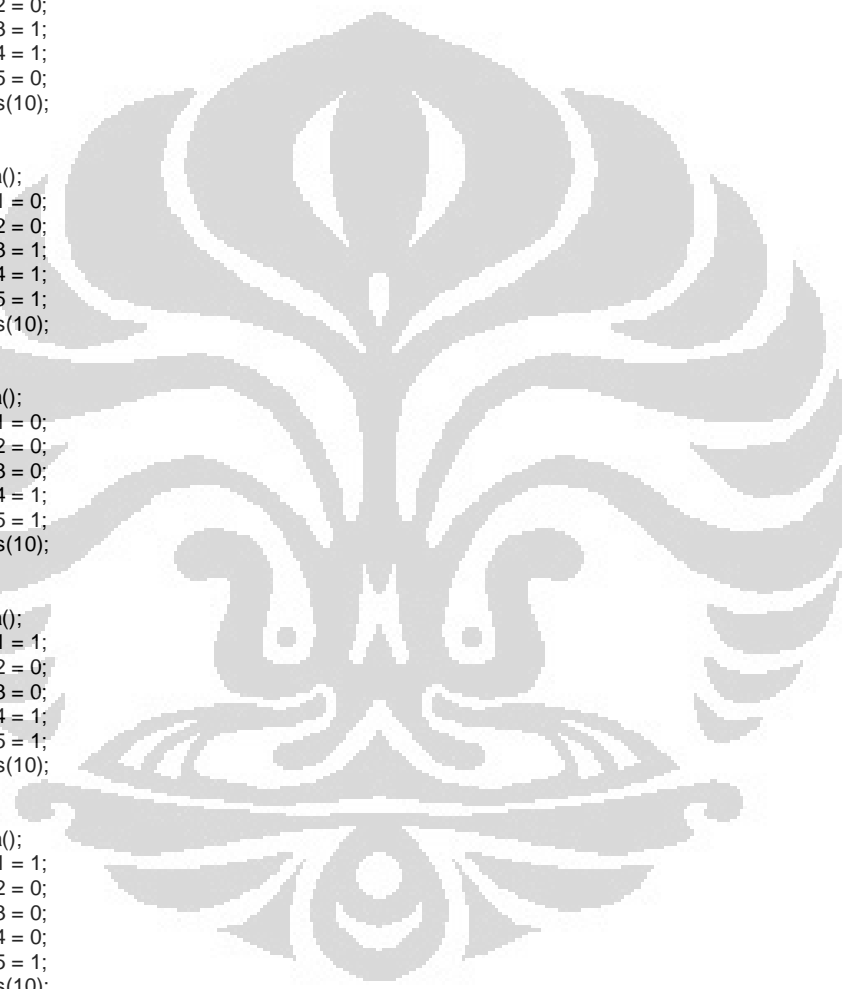
//step 9
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

//step 10
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);
}

void motor1_ccwfull()
{
  //PORTA.1 = input 1
  //PORTA.2 = input 2
  //PORTA.3 = input 3
  //PORTA.4 = input 4
  //PORTA.5 = input 5

  //step 1
  enable_a();
  PORTA.1 = 1;
  PORTA.2 = 1;
  PORTA.3 = 0;

```



```
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

//step 3
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 5
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 7
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

//step 9
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);
}

void motor1_cwhalf()
{
  //PORTA.1 = input 1
  //PORTA.2 = input 2
  //PORTA.3 = input 3
  //PORTA.4 = input 4
  //PORTA.5 = input 5

  //step 10
  enable_a();
  PORTA.1 = 1;
  PORTA.2 = 0;
  PORTA.3 = 0;
  PORTA.4 = 0;
  PORTA.5 = 1;
  delay_ms(10);

  //step 9
  enable_a();
  PORTA.1 = 1;
  PORTA.2 = 0;
  PORTA.3 = 0;
  PORTA.4 = 1;
  PORTA.5 = 1;
  delay_ms(10);

  //step 8
  enable_a();
  PORTA.1 = 0;
```

```

PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

//step 7
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

//step 6
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 5
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 4
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 3
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 2
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 1
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);
}

void motor1_cwfull()
{
  //PORTA.1 = input 1

```



```

//PORTA.2 = input 2
//PORTA.3 = input 3
//PORTA.4 = input 4
//PORTA.5 = input 5

//step 9
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

//step 7
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 0;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);

//step 5
enable_a();
PORTA.1 = 0;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 1;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 3
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 1;
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 0;
delay_ms(10);

//step 1
enable_a();
PORTA.1 = 1;
PORTA.2 = 1;
PORTA.3 = 0;
PORTA.4 = 0;
PORTA.5 = 1;
delay_ms(10);
}
//=====

//====KODINGAN MOTOR ATAS=====
void motor2_ccwhalf()
{
//PORTB.0 = input 1
//PORTB.1 = input 2
//PORTB.2 = input 3
//PORTB.3 = input 4
//PORTB.4 = input 5

//step 1
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 2
enable_b();

```

```
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 3
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 4
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 5
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 6
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 7
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 8
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 9
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 10
enable_b();
```

```

PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);
}

void motor2_ccwfull()
{
  //PORTB.0 = input 1
  //PORTB.1 = input 2
  //PORTB.2 = input 3
  //PORTB.3 = input 4
  //PORTB.4 = input 5

  //step 1
  enable_b();
  PORTB.0 = 1;
  PORTB.1 = 1;
  PORTB.2 = 0;
  PORTB.3 = 0;
  PORTB.4 = 1;
  delay_ms(10);

  //step 3
  enable_b();
  PORTB.0 = 1;
  PORTB.1 = 1;
  PORTB.2 = 1;
  PORTB.3 = 0;
  PORTB.4 = 0;
  delay_ms(10);

  //step 5
  enable_b();
  PORTB.0 = 0;
  PORTB.1 = 1;
  PORTB.2 = 1;
  PORTB.3 = 1;
  PORTB.4 = 0;
  delay_ms(10);

  //step 7
  enable_b();
  PORTB.0 = 0;
  PORTB.1 = 0;
  PORTB.2 = 1;
  PORTB.3 = 1;
  PORTB.4 = 1;
  delay_ms(10);

  //step 9
  enable_b();
  PORTB.0 = 1;
  PORTB.1 = 0;
  PORTB.2 = 0;
  PORTB.3 = 1;
  PORTB.4 = 1;
  delay_ms(10);
}

void motor2_cwhalf()
{
  //PORTB.1 = input 1
  //PORTB.2 = input 2
  //PORTB.3 = input 3
  //PORTB.4 = input 4
  //PORTB.5 = input 5

  //step 10

```

```
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 9
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 8
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 7
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 6
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 5
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 4
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 3
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 2
enable_b();
```



```

PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 1
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);
}

void motor2_cwfull()
{
//PORTB.1 = input 1
//PORTB.2 = input 2
//PORTB.3 = input 3
//PORTB.4 = input 4
//PORTB.5 = input 5

//step 9
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 7
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 0;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);

//step 5
enable_b();
PORTB.0 = 0;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 1;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 3
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 1
enable_b();
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 0;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 1;
delay_ms(10);
}
//=====

```

```
//=====SUDUT 30 MOTOR BAWAH=====
//=====sudut 28.88=====
void sudut_30_bawah()
{
for(b=0;b<=48;b++)
{
motor1_ccwhalf();
}
for(c=0;c<=48;c++)
{
motor1_cwhalf();
}
}
//=====
```

```
//=====SUDUT 30 MOTOR ATAS=====
//=====sudut 28.88=====
void sudut_30_atas()
{
for(b=0;b<=4;b++)
{
motor2_ccwhalf();
}
for(c=0;c<=4;c++)
{
motor2_cwhalf();
}
}
//=====
```

```
//=====SUDUT 45 MOTOR BAWAH=====
//=====sudut 43.2=====
void sudut_45_bawah()
{
for(b=0;b<=72;b++)
{
motor1_ccwhalf();
}
for(b=0;b<=72;b++)
{
motor1_cwhalf();
}
}
//=====
```

```
//=====SUDUT 45 MOTOR ATAS=====
//=====sudut 43.2=====
void sudut_45_atas()
{
for(b=0;b<=6;b++)
{
motor2_ccwhalf();
}
for(b=0;b<=6;b++)
{
motor2_cwhalf();
}
}
//=====
```

```
//=====SUDUT 60 MOTOR BAWAH=====
//=====sudut 57.6=====
void sudut_60_bawah()
{
for(c=0;c<=96;c++)
{
motor1_ccwhalf();
}
for(c=0;c<=96;c++)
{
motor1_cwhalf();
}
}
//=====
```

```

}
}
//=====

//=====SUDUT 60 MOTOR ATAS=====
//=====sudut 57.6=====
void sudut_60_atas()
{
for(c=0;c<=8;c++)
{
motor2_ccwhalf();
}

for(c=0;c<=8;c++)
{
motor2_cwhalf();
}
}
//=====

void main(void)
{
// Declare your local variables here

PORTA=0x00;
DDRA=0xff;
PORTB=0x00;
DDRB=0xff;
PORTC=0x00;
DDRC=0xff;
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// LCD module initialization
lcd_init(16);

//====PEMBUKAAN=====
for(a=0;a<=10;a++)
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("Welcome to the");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("Program of");
delay_ms(2000);
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("Inclinor");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("Biomachining");
delay_ms(2000);
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("Authorized by");
delay_ms(2000);
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("Adnan Afif A");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("Ferdian H");
delay_ms(2000);
}

//=====

while (1)
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("sudut_30");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("motor_atas");
delay_ms(1000);
}
}
}

```

```

sudut_30_atas();

lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("sudut_45");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("motor_atas");
delay_ms(1000);
sudut_45_atas();

lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("sudut_60");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("motor_atas");
delay_ms(1000);
sudut_60_atas();

lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("sudut_30");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("motor_bawah");
delay_ms(1000);
sudut_30_bawah();

lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("sudut_45");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("motor_bawah");
delay_ms(1000);
sudut_45_bawah();

lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("sudut_60");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("motor_bawah");
delay_ms(1000);
sudut_60_bawah();

};
}

```

