



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Pengembangan Proses *Biomachining Multi-Axis* dengan Bakteri  
*Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 dan Analisis Pengaruh  
Inklinasi Benda Kerja dalam Cairan Medium Kultur**

**SKRIPSI**

**FERDIAN  
0806454746**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Pengembangan Proses *Biomachining Multi-Axis* dengan Bakteri  
*Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 dan Analisis Pengaruh  
Inklinasi Benda Kerja dalam Cairan Medium Kultur**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**FERDIAN**

**0806454746**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI MESIN  
DEPOK  
JUNI 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 : Ferdian

NPM : 0806454746

Tanda Tangan : 

Tanggal :

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ferdian  
NPM : 0806454746  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Pengembangan Proses *Biomachining Multi-Axis* dengan Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 dan Analisis Pengaruh Inklinasi Benda Kerja dalam 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 : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto M.Eng.



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



Pembimbing : Drs. Iman Santoso M.Phil.



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



Penguji : Yudan Whulanza S.T., M.Sc., PhD.



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



Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal :

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas bimbingan dan berkat-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:

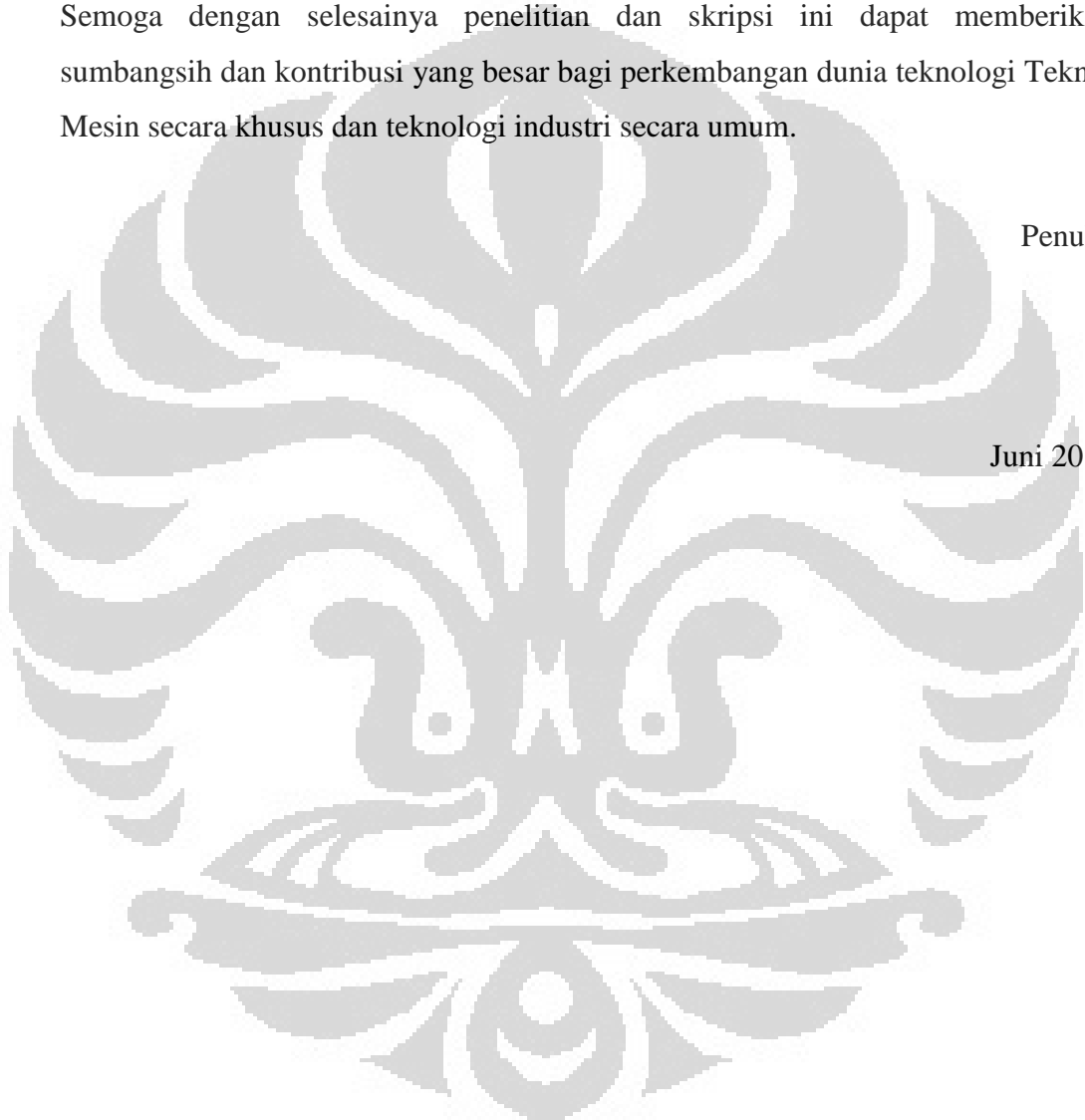
1. Kedua orangtua yang telah mendidik dan membesarkan penulis hingga bisa sampai pada tahap ini.
2. Pak Gandjar dan Pak Jos, yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Pak Iman dan Ibu Sita, yang telah membimbing penulis selama melakukan penelitian di laboratorium Mikrobiologi.
3. Seluruh karyawan DTM FTUI yang secara sukarela membantu penulis dalam proses pembuatan alat pendukung proses skripsi.
4. Lydia Linggowaty selaku sahabat hati yang selalu menemani dan mendukung penulis.
5. Jeffrey, Gracia, Michelle, dan Andre, saudara-saudara yang selalu menyemangati penulis selama kegiatan perkuliahan penulis.
6. Adnan Afif Alaudin, rekan skripsi yang berperan besar dan menemani penulis menyelesaikan skripsi.
5. Keluarga besar Lab Manufaktur dan Otomasi Lt. 2 Teguh, Jediel, Dedy, Derris, Danker, Agus, Bayu, Gani, Andri, Mba Dede, Mas Aska, Mas Fery, Yogi, Ijul, Nurrohman, Bobby, Sonia, Rani, Dea, Edwin, Stanley, Eric, Imanuel, Mas Hendra, dan lain-lain yang tidak disebutkan namanya namun selalu mendukung penulis dan memberikan kenangan berharga selama kegiatan perkuliahan penulis baik di kelas maupun di lab.
6. Teman-teman dari lab mikrobiologi Mas Pri, Niar, Reza, Bidin, dan Hana yang selalu berbagi ilmu dan pengalaman selama bekerja di lab mikrobiologi FMIPA UI, dan membantu penulis dalam melakukan penelitian di FMIPA.

7. Teman-teman lain Vincent, Stella, Windy, Ricky, Alfred, dan Seluruh keluarga besar Departemen Teknik Mesin UI terutama angkatan 2008 yang tidak disebutkan namanya satu persatu 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

Juni 2012



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

---

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

Nama : Ferdian  
NPM : 0806454746  
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* Multi-Axis dengan Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 dan Analisis Pengaruh Inklinasi Benda Kerja dalam 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 memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 19 Juni 2012

Yang menyatakan,



Ferdian

### Abstrak

Nama : Ferdian  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Pengembangan Proses *Biomachining Multi-Axis* dengan Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 dan Analisis Pengaruh Inklinasi Benda Kerja dalam Cairan Medium Kultur

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa bakteri mampu melakukan pemesinan pada logam, salah satunya adalah *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Keuntungan utama menggunakan bakteri untuk proses pemesinan adalah efisiensi energi yang digunakan. Penelitian sebelumnya telah membuktikan kemampuan *Acidithiobacillus ferrooxidans* dalam melakukan pemesinan termasuk karakterisasi pelepasan material dan hasil akhir pada benda kerja. Namun tidak satupun dari penelitian tersebut yang meneliti kemungkinan dari bakteri tersebut melakukan pemesinan *multi-axis*. Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai kemungkinan dari *Acidithiobacillus ferrooxidans* dalam melakukan pemesinan *multi axis* dengan menggunakan total 15 buah sampel benda kerja. Beberapa benda kerja tersebut diletakkan dalam cairan medium kultur dengan diberikan sudut inklinasi  $45^{\circ}$  dengan menggunakan inklinator untuk membandingkan hasil pemesinan dengan benda kerja yang tidak diberi inklinasi. Hasil dari mikrografi SEM menunjukkan bahwa benda kerja yang diberi inklinasi memiliki kedalaman pelepasan material dan profil potongan yang berbeda dengan benda kerja yang tidak diberi inklinasi. Benda kerja yang diberi inklinasi memiliki perbedaan kedalaman pelepasan material sebesar 45% lebih banyak pada sisi yang lebih tinggi. Dengan adanya perbedaan karakteristik pemesinan, diharapkan dapat dijadikan acuan untuk pengembangan proses *Biomachining multi-axis* lebih lanjut.

Kata kunci : *Biomachining*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Multi-axis*, sudut inklinasi  $45^{\circ}$ , Mikrografi SEM



### Absract

Name : Ferdian  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : Development of Multi-axis Biomachining Using *Acidithiobacillus ferrooxidans* NBRC 14262 and Analysis of the Influence of Inclination to the Workpiece in Cultured Medium.

Recent studies show that some bacteria have the ability to do machining process, and one of them is *Acidithiobacillus ferrooxidans*. The main purpose of using bacteria to do the machining process is the efficiency of energy used. Previous studies have already investigate the capability of *Acidithiobacillus ferrooxidans* to do the machining including the characterization of the material removed and surface finishing of the workpiece. However, none of them investigate the possibility for the bacteria to do the multi-axis machining. In this research, the capability of *Acidithiobacillus ferrooxidans* to do the machining process was investigated. A total of 15 workpieces were used, and placed in the cultured medium with different conditions. Some of the workpieces were placed without inclination angle while some of them were placed with 45<sup>0</sup> of inclination angle. The SEM micrograph result showed that there were differences in the cutting depth and cutting profile of the workpieces which were inclined and not inclined. The higher sides have 45% more depth of material removed. According to these result, there is a possibility it might led to the further development of multi-axis Biomachining.

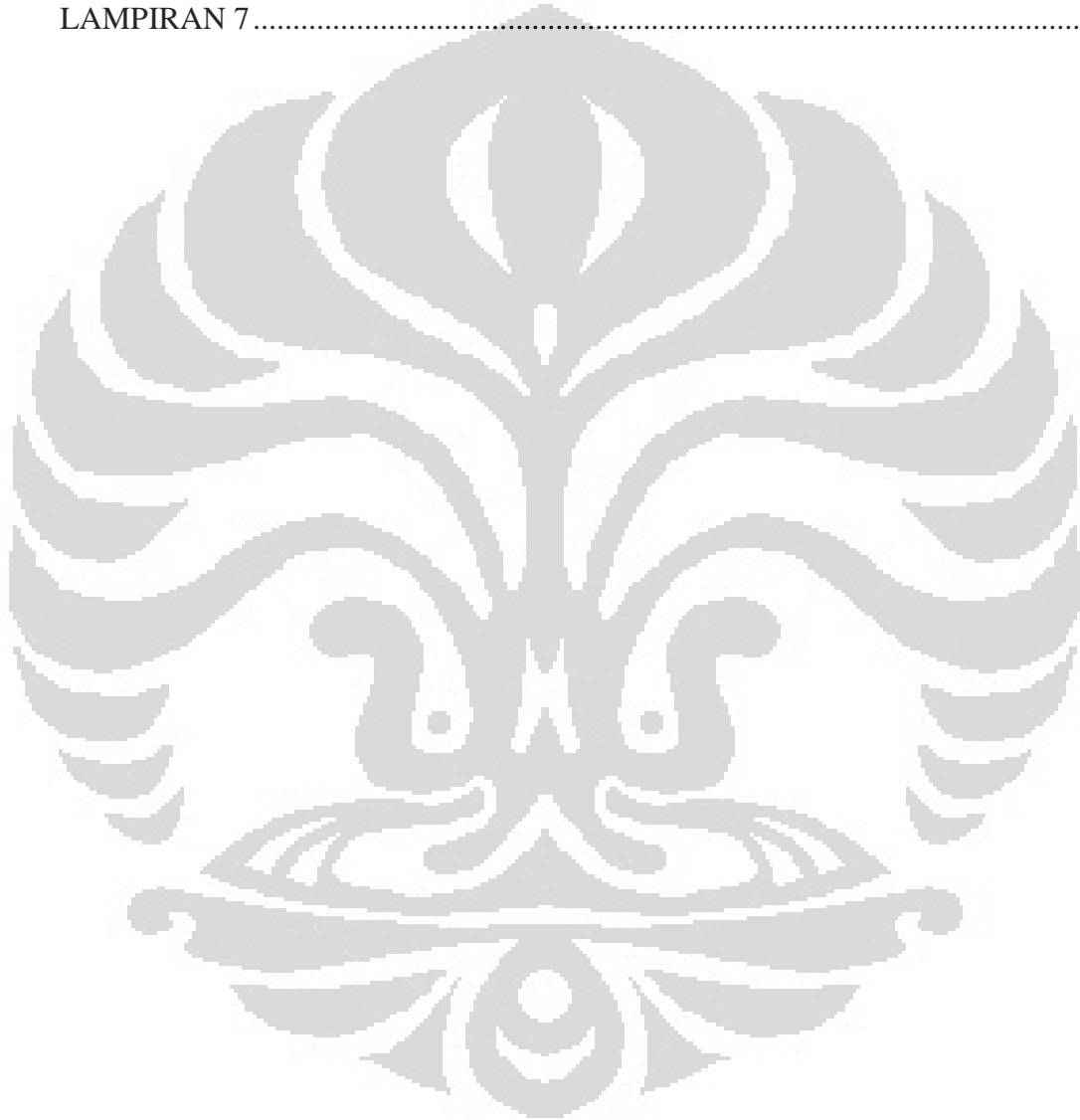
Keywords: Biomachining, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Multi-axis, inclination angle, SEM Micrograph

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
Abstrak.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Absract .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB 1 .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Tujuan Penelitian.....	2
1.3    Perumusah Masalah.....	2
1.4    Batasan Masalah.....	3
1.5    Metodologi Penelitian .....	3
1.5.1    Studi Literatur .....	3
1.5.2    Perancangan dan Pengujian Inklinator <i>Multi-axis</i> .....	3
1.5.3    Karakterisasi Awal Proses <i>Biomachining</i> .....	3
1.5.4    Fokus Penelitian.....	4
1.5.5    Pengumpulan Data dan Analisa .....	4
1.6    Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 .....	6
2.1    Definisi Biomachining .....	6
2.2    Bakteri <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> .....	7
2.3    Medium 9K.....	8
2.4    Metode MPN .....	10
2.5    Benda Kerja .....	12

2.6	Laju Pelepasan Material ( <i>Material Removal Rate</i> ) .....	14
2.7	Kekasaran Permukaan ( <i>Surface Roughness</i> ) .....	15
BAB 3 .....		18
3.1	Sistem Mekanik .....	18
3.2	Pemilihan Material Inklinator <i>Multi-axis</i> .....	21
3.3	Sistem Penggerak Menggunakan Motor <i>Stepper</i> .....	22
3.4	Sistem Kontrol Motor <i>Stepper</i> .....	24
3.4.1	Driver Motor Stepper 5 Fasa .....	24
3.4.2	Mikrokontroler .....	26
3.4.3	LCD 16x2 .....	26
3.4.4	Power Supply .....	26
3.4.5	Power Distribution .....	27
BAB 4 .....		28
4.1	Perbandingan MRR ( <i>Material Removal Rate</i> ) pada Medium 9K Steril dan Medium 9K Kultur Bakteri .....	28
4.2	Perbandingan MRR ( <i>Material Removal Rate</i> ) Terhadap Perbedaan Luas Permukaan Pemesinan .....	30
4.3	Pengujian Tingkat Kekasaran Permukaan dengan Variasi Waktu Pemesinan .....	34
4.4	Pengujian Pengaruh Posisi Benda Kerja Terhadap Permukaan Cairan Medium Kultur Bakteri <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> dalam proses <i>Biomachining</i> .....	36
BAB 5 .....		41
5.1	Persiapan Benda Kerja .....	42
5.2	Kultur Berkelanjutan Bakteri .....	43
5.3	Fokus Proses <i>Biomachining</i> Pengaruh Inklinasi dan Waktu Pemesinan Terhadap Kedalaman Pelepasan Material .....	43
5.4	Fokus Proses <i>Biomachining</i> Pengaruh Inklinasi dan Waktu Terhadap Profil Pelepasan Material .....	45
BAB 6 .....		47
BAB 7 .....		61
7.1	Kesimpulan .....	61
7.2	Saran Penelitian Lebih Lanjut .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....		63

LAMPIRAN 1 Tabel MPN 5 Tabung.....	65
LAMPIRAN 2 Gambar Teknik Inklinator Multi-Axis .....	66
LAMPIRAN 3 Fitur ATmega 16.....	67
LAMPIRAN 4 Datasheet L298N.....	68
LAMPIRAN 5 Skematik Rangkaian Minimum Sistem ATmega 16 .....	69
LAMPIRAN 6.....	71
LAMPIRAN 7.....	73

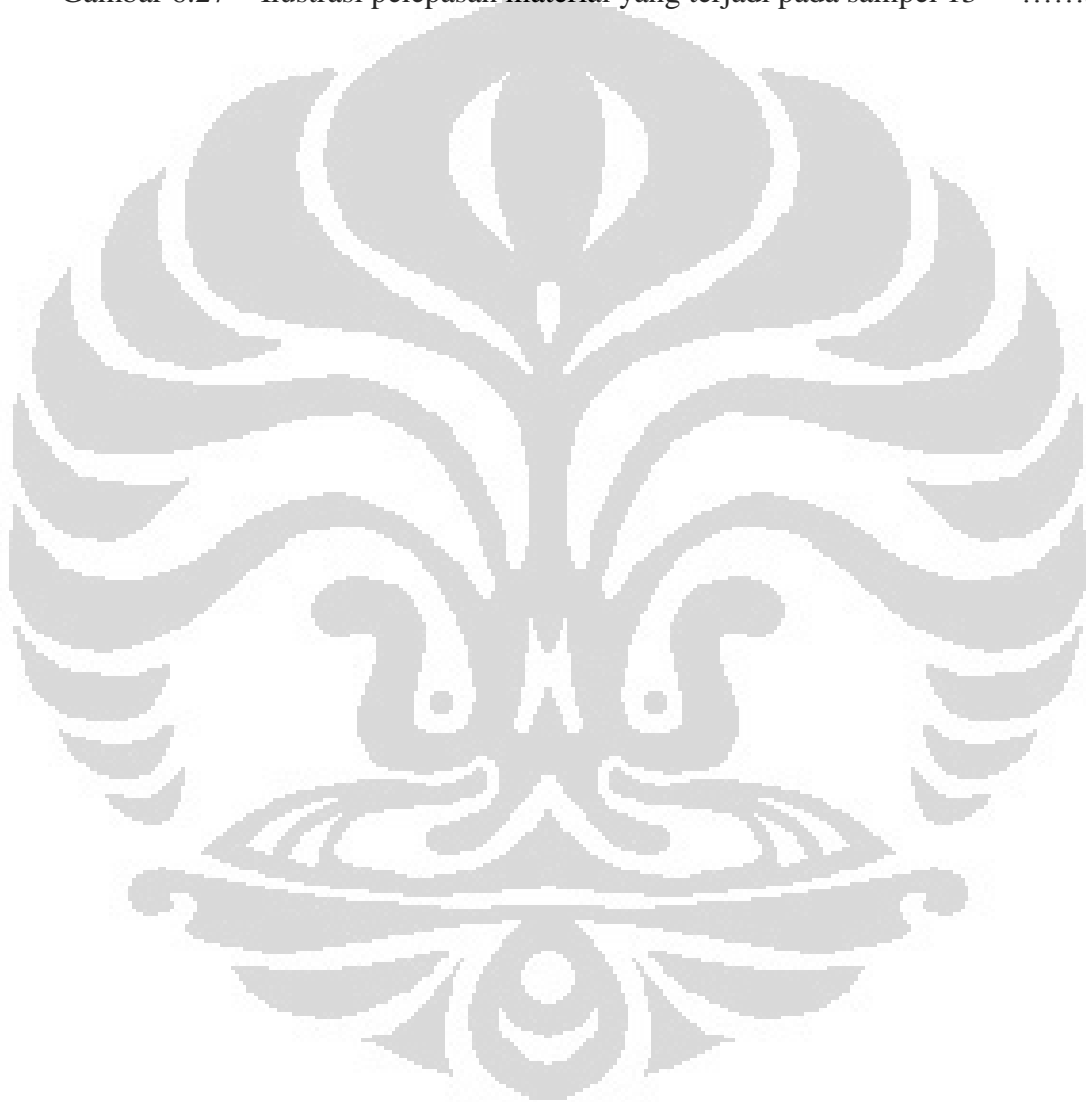


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Biomachining [4][10]	6
Gambar 2.2	Siklus Fe <sup>2+</sup> dan Fe <sup>3+</sup>	7
Gambar 2.3	Bakteri Acidithiobacillus ferrooxidans [14]	7
Gambar 2.4	Penampakan mikroskopis bakteri NBRC 14262	8
Gambar 2.5	Medium 9K steril	9
Gambar 2.6	Medium 9K Kultur Bakteri	10
Gambar 2.7	Skema kerja metode MPN	11
Gambar 2.8	Contoh hasil MTF 5 tabung	12
Gambar 2.9	Grafik temperatur vs. laju pelepasan rata-rata Fe dan Cu [1]	13
Gambar 2.10	Material tembaga sebagai benda kerja	13
Gambar 2.11	MRR pada proses turning	15
Gambar 2.12	Metode penghitungan Ra	16
Gambar 2.13	Metode penghitungan Rmax	17
Gambar 2.14	Metode penghitungan RMS	17
Gambar 3.1	Arah gerak Inklinator multi-Axis	18
Gambar 3.2	Gambar Inklinator multi-Axis	19
Gambar 3.3	Dimensi Inklinator multi-Axis	19
Gambar 3.4	Leadscrew penggerak sumbu Z	20
Gambar 3.5	Konstruksi umum linear guideway seri MGN [20]	20
Gambar 3.6	Dimensi Linear Guideway MGN 12C sebagai support penggerak sumbu Z [20]	20
Gambar 3.7	Penggunaan material pada Inklinator multi-axis	22
Gambar 3.8	Motor stepper A1K-S543 (W) [21]	22
Gambar 3.9	Dimensi motor stepper A1K-S543 (W) [21]	23
Gambar 3.10	Struktur coil motor stepper 5 fasa bipolar tipe A1K-S543(W) [21]	23
Gambar 3.11	Skema elektrikal inklinator multi-axis	24
Gambar 3.12	Driver motor stepper 5 fasa	25
Gambar 3.13	Pin L298N [22]	25
Gambar 3.14	Mikrokontroler ATmega 16	26
Gambar 3.15	LCD 16x2	26
Gambar 3.16	Power Supply Unit (PSU) sebagai sumber tegangan	27
Gambar 3.17	Power Distribution inklinator multi-axis	27
Gambar 4.1	Pengujian MRR antara cairan medium 9K steril dengan cairan medium 9K kultur bakteri	29
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan jenis perlakuan terhadap MRR pada medium 9K steril dan medium 9K kultur bakteri	30
Gambar 4.3	Kondisi penutupan sampel 1 – sampel 4	31
Gambar 4.4	Kondisi pencelupan sampel 1 – sampel 4	31
Gambar 4.5	Kondisi sampel 1 – sampel 4 setelah proses Biomachining selama 48jam	32
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan jenis perlakuan terhadap MRR pada masing-masing sampel	33
Gambar 4.7	Hasil mikrografi SEM sampel 1 sampai sampel 4	34
Gambar 4.8	Proses pengujian kekasaran permukaan	35

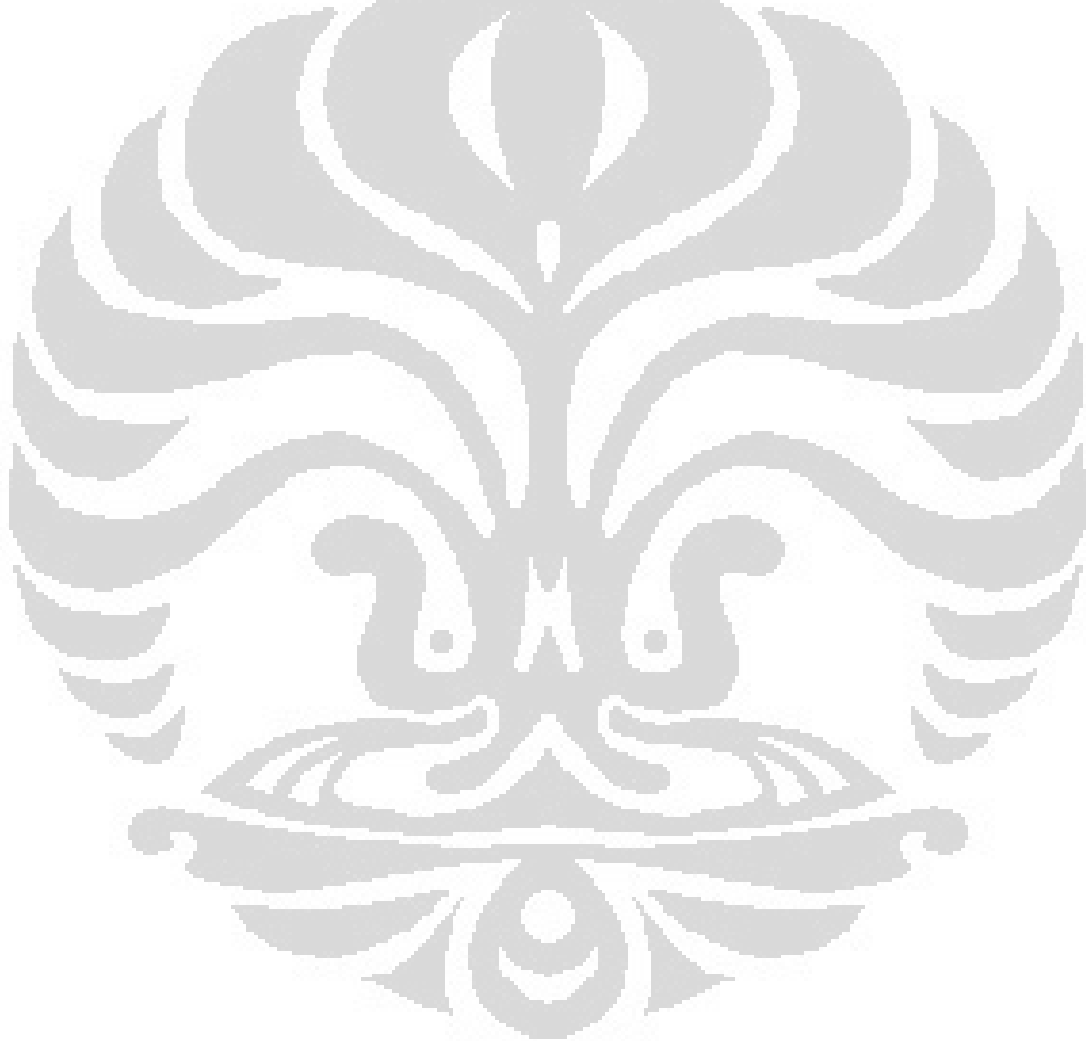
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan waktu pemesinan dengan perubahan tingkat kekasaran permukaan .....	35
Gambar 4.10	Desain Stripe Case .....	36
Gambar 4.11	Penempatan benda kerja pada Stripe case .....	36
Gambar 4.12	Ilustrasi benda kerja di dalam cairan medium 9K .....	37
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Machining Time Terhadap Perubahan MRR Percobaan 1 .....	37
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Machining Time Terhadap Perubahan MRR Percobaan 2 .....	37
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan Machining Time Terhadap Perubahan MRR Percobaan 3 .....	38
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR .....	38
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR .....	38
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR .....	39
Gambar 4.19	Ilustrasi kandungan oksigen pada setiap lapisan medium kultur bakteri .....	39
Gambar 4.20	Ilustrasi pergerakan bakteri penyebab ketidakefektifan proses pemesinan pada posisi 2, 3, dan 4 atau daerah transisi. ....	40
Gambar 5.1	Proses Biomachining .....	41
Gambar 5.2	Tampak depan benda kerja .....	42
Gambar 5.3	Posisi sampel 6 sampai 9 .....	44
Gambar 5.4	Keadaan sampel 10 – sampel 15 .....	45
Gambar 6.1	Tampak Depan Sampel 1 .....	46
Gambar 6.2	Tampak Depan Sampel 2 .....	46
Gambar 6.3	Tampak Depan Sampel 3 .....	47
Gambar 6.4	Tampak Depan Sampel 4 .....	47
Gambar 6.5	Tampak Depan Sampel 5 .....	47
Gambar 6.6	Tampak Atas Sampel 6 .....	48
Gambar 6.7	Tampak Samping Sampel 6 .....	49
Gambar 6.8	Tampak Atas Sampel 7 .....	49
Gambar 6.9	Tampak Samping Sampel 7 .....	49
Gambar 6.10	Tampak Atas Sampel 8 .....	50
Gambar 6.11	Tampak Samping Sampel 8 .....	51
Gambar 6.12	Tampak Atas Sampel 9 .....	51
Gambar 6.13	Tampak Samping Sampel 9 .....	51
Gambar 6.14	Grafik kedalaman pelepasan material pada sampel yang tidak diberi sudut inklinasi .....	52
Gambar 6.15	Grafik kedalaman pelepasan material pada sampel yang diberi sudut inklinasi .....	53
Gambar 6.16	Hasil Mikrografi SEM sampel 10 – sampel 15 .....	53
Gambar 6.17	Profil pelepasan material pada sampel 10 .....	54
Gambar 6.18	Profil pelepasan material pada sampel 11 .....	54
Gambar 6.19	Profil pelepasan material pada sampel 12 .....	55
Gambar 6.20	Profil pelepasan material pada sampel 13 .....	55
Gambar 6.21	Profil pelepasan material pada sampel 14 .....	56

Gambar 6.22	Profil pelepasan material pada sampel 15	.....56
Gambar 6.23	Perbandingan profil pelepasan material pada sampel 10, sampel 12, dan sampel 14	.....57
Gambar 6.24	Perbandingan profil pelepasan material pada sampel 11, sampel 13, dan sampel 15	.....57
Gambar 6.25	Perbandingan profil pelepasan material sampel 11 dan sampel 15	.....58
Gambar 6.26	Perbandingan profil pelepasan material sampel 11 dan sampel 13	.....58
Gambar 6.27	Ilustrasi pelepasan material yang terjadi pada sampel 13	.....59



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Komposisi Medium 9K .....	9
Tabel 2.2 Properti material tembaga .....	14
Tabel 3.1 Spesifikasi Linear Guideway seri MGN [20] .....	21
Tabel 3.2 Spesifikasi motor stepper A1K-S543(W) [21] .....	23
Tabel 3.3 Absolute maximum ratings L298N [22] .....	25
Tabel 4.1 Hasil MRR setiap sampel .....	30
Tabel 4.2 Perbedaan MRR sampel 1 – sampel 4 .....	32
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Ra setiap 12 Jam .....	35





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan produk mikro bentuk kompleks semakin meningkat terutama pada bidang elektronik dan peralatan medis belakangan ini. Proses pemesinan konvensional seperti *micro milling*, *micro turning*, *micro EDM* (*Electro Discharge Machining*), dan *Micro Ultrasonic Machining* yang sering dilakukan memiliki banyak kerugian terutama yang berdampak langsung kepada permukaan benda kerja [1][3]. Kerugian lain dari proses pemesinan konvensional tersebut adalah proses-proses tersebut membutuhkan banyak energi, dan penggunaan energi tersebut tidaklah efisien karena sebagian besar energi tersebut berubah menjadi panas. Energi panas yang dihasilkan tersebut berdampak langsung pada kurang baiknya hasil permukaan benda kerja. Proses pemesinan lain seperti *wet etching* dan *dry etching* juga memiliki kerugian yang berdampak langsung kepada lingkungan karena limbah dari proses pemesinan tersebut memiliki dampak yang sangat buruk pada lingkungan.

Salah satu alternatif pemesinan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan makhluk hidup untuk melakukan pelepasan material. Proses tersebut dinamakan *Biomachining* [1]. Dalam proses *Biomachining*, bakteri yang digunakan berperan sebagai *cutting tool*, dan bakteri yang digunakan adalah *Acidithiobacillus ferrooxidans* [1][2][3][6][8][9]. Keuntungan utama dari *Biomachining* adalah *Biomachining* tidak memiliki dampak buruk terhadap lingkungan karena bakteri yang digunakan berasal dari alam [2][4][5][7]. Keuntungan lain dari *Biomachining* adalah proses ini tidak merusak permukaan benda kerja karena tidak ada panas yang dihasilkan selama *Biomachining* berlangsung [1][2].

Tidak seperti proses pemesinan konvensional dimana energi dalam jumlah yang sangat besar digunakan untuk memakan material dalam jumlah yang sangat sedikit, dalam *Biomachining* energi eksternal yang digunakan sangatlah sedikit, hanya untuk menjaga kestabilan lingkungan tempat hidup bakteri tersebut yaitu medium 9K, dan juga proses pemesinan terjadi karena

metabolisme alami bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* sehingga tidak membutuhkan energi eksternal tambahan [2]. Keuntungan lain dari proses *Biomachining* adalah bakteri yang berperan sebagai *cutting tool* dapat diperbaharui sehingga akan selalu tersedia [3].

Dalam proses pemesinan konvensional, parameter-parameter yang diperhatikan adalah *feed rate*, *spindle speed*, dan *depth of cut*. Dalam *Biomachining*, parameter yang diperhatikan adalah jenis kultur bakteri, larutan medium tempat hidup bakteri, dan waktu pemesinan.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan *Biomachining* yang telah dilakukan peneliti sebelumnya hanya berfokus pada proses *Biomachining* yang dilakukan dengan 1 *axis* arah pelepasan yaitu searah dengan arah gravitasi bumi, dan hal inilah yang mendorong dilakukannya penelitian untuk mengetahui kemampuan bakteri tersebut dalam melakukan proses pemesinan *multi-axis*.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dalam melakukan pemesinan *multi-axis*. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui dan menganalisis pengaruh inklinasi benda kerja terhadap kedalaman pelepasan material yang dilakukan oleh bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*.
2. Menganalisis pengaruh waktu pemesinan terhadap bentuk profil potongan yang dihasilkan pada benda kerja yang telah mengalami proses *Biomachining* dengan waktu yang bervariasi.

## 1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan hipotesis pertama mengenai arah pelepasan material yang dilakukan oleh bakteri, maka perumusan masalah yang ditentukan berupa analisis kemampuan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dalam melakukan pemesinan *multi-axis*, dan juga pengaruh waktu terhadap bentuk profil potongan pada benda kerja setelah proses *Biomachining* dilakukan.

#### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian akan difokuskan pada pengamatan terhadap perbedaan kedalaman pelepasan material dan juga bentuk profil potongan pada benda kerja yang diinklinasi  $45^0$  dan tidak diinklinasi selama waktu pelepasan material yang bervariasi. Pengamatan dilakukan berdasarkan hasil mikrografi SEM (*Scanning Electron Microscope*) terhadap sisi atas dan samping benda kerja.

#### 1.5 Metodologi Penelitian

Dalam menyusun skripsi ini, penulis melakukan beberapa metode dalam penulisannya, yaitu:

1. Studi Literatur
2. Perancangan dan Pengujian Inklinator *Multi-axis*
3. Karakterisasi Awal Proses *Biomachining*
4. Fokus Penelitian
5. Pengumpulan Data dan Analisa

##### 1.5.1 Studi Literatur

Tahap awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi literatur. Studi literatur dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu tahap pembelajaran mengenai hasil penelitian yang sebelumnya pernah dilakukan melalui jurnal internasional, pemahaman mengenai prinsip-prinsip dasar dalam mikrobiologi untuk mengkultur bakteri, dan juga pembelajaran mengenai perancangan desain mekanik maupun elektrik yang digunakan dalam merancang inklinator *multi-axis*.

##### 1.5.2 Perancangan dan Pengujian Inklinator *Multi-axis*

Pembuatan inklinator *multi-axis* bertujuan untuk menunjang proses *Biomachining multi axis* sehingga inklinasi pada benda kerja dapat diberikan secara akurat.

##### 1.5.3 Karakterisasi Awal Proses *Biomachining*

Karakterisasi awal yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari *Acidithiobacillus ferrooxidans* dalam melakukan *Biomachining*. Pengujian awal dilakukan dengan membandingkan

tingkat pelepasan material antara cairan kultur steril 9K medium dan cairan kultur bakteri 9K medium, pengujian laju pelepasan material pada benda kerja dengan luas permukaan yang berbeda-beda, dan juga pengukuran tingkat kekasaran permukaan benda kerja dengan variasi cairan kultur dan waktu pemesinan yang berbeda-beda.

#### **1.5.4 Fokus Penelitian**

Penelitian ini berfokus pada pengujian kemampuan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dalam melakukan proses pemesinan *multi-axis* terhadap benda kerja yang diinklinasi dengan sudut  $45^{\circ}$  untuk waktu yang bervariasi. Hasil yang diamati berupa kedalaman pelepasan material dan bentuk profil potongan yang terjadi pada material setelah proses *Biomachining*.

#### **1.5.5 Pengumpulan Data dan Analisa**

Data yang didapatkan dalam penelitian ini adalah data mikrofografi dari *SEM* (*Scanning Electron Microscope*), dan analisa dilakukan terhadap perbedaan kedalaman pelepasan material benda kerja dan juga bentuk profil potongan setelah proses *Biomachining* dilihat dari sisi samping benda kerja.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

#### **BAB 1: PENDAHULUAN**

Bab ini membahas latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, pembatasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2: PROSES *BIOMACHINING***

Bab ini membahas dasar teori yang terkait dengan topik yang dibahas.

#### **BAB 3: PENGEMBANGAN INKLINATOR *MULTI-AXIS***

Bab ini membahas mengenai perancangan alat bantu penelitian, yaitu peralatan yang mendukung proses pengambilan data, prosedur pengujian, dan kondisi pengujian.

#### **BAB 4: KARAKTERISASI AWAL PROSES *BIOMACHINING***

Bab ini membahas mengenai penelitian tahap awal yang telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan bakteri seperti yang telah dilakukan

peneliti sebelumnya, dan menampilkan hasilnya dalam tabel, grafik, dan foto hasil mikrografi *SEM* (*Scanning Electron Microscope*).

#### BAB V: ANALISIS PENGARUH INKLINASI BENDA KERJA DALAM CAIRAN MEDIUM KULTUR BAKTERI *Acidithiobacillus ferroxidans* UNTUK PENGEMBANGAN PROSES *BIOMACHINING MULTI-AXIS*

Bab ini membahas mengenai fokus penelitian yang berkaitan dengan judul penelitian yaitu pengamatan efek inklinasi benda kerja dalam media kultur dalam pengembangan proses *Biomachining multi-axis*.

#### BAB VI: ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menampilkan data-data dari percobaan yang dilakukan dalam fokus penelitian berupa tabel dan foto mikrografi *SEM* (*Scanning Electron Microscope*) dan menganalisa hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

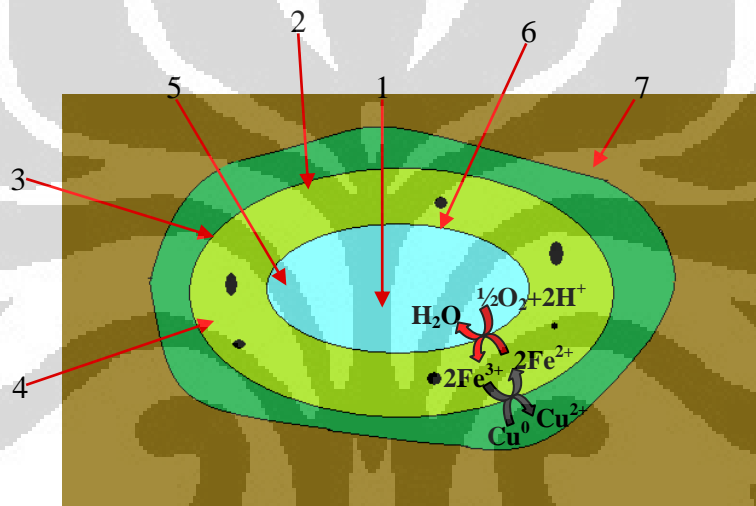
#### BAB VII: KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT

Bab ini merupakan bab penutup dari penelitian ini, menampilkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan memberi masukan untuk peneliti selanjutnya dalam melakukan penelitian dengan topik terkait mengenai apa saja yang dapat dikembangkan lebih lanjut.

## BAB 2 PROSES BIOMACHINING

### 2.1 Definisi *Biomachining*

Dalam penelitian ini *Biomachining* didefinisikan sebagai salah satu proses biologis untuk melakukan pelepasan material dengan memanfaatkan metabolisme bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Mekanisme *Biomachining* ditunjukkan gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mekanisme *Biomachining* [4][10]

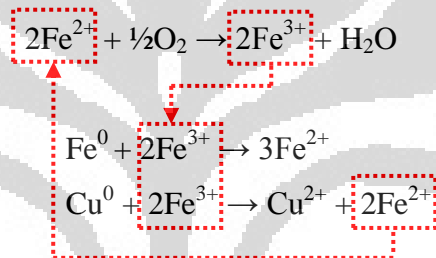
Keterangan gambar:

1. Sel Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*
2. EPS (*Extracellular Polymeric Substances*)
3. Membran luar
4. Rongga Periplasmik
5. Membran dalam
6. Sulfur globuli
7. Benda kerja (tembaga)

Oksidasi besi terjadi pada rongga periplasmik dan membran dalam bakteri dimana radikal  $\text{Fe}^{2+}$  dipindahkan dari cairan medium ke rongga periplasmik. Selama proses ini,  $\text{Fe}^{2+}$  kehilangan sebuah elektron melalui

katalis dari oksidasi besi [3][4]. Elektron tersebut dipindahkan ke oksigen dengan menggunakan rantai transport elektron dari ion  $H^+$  melewati membran dengan serangkaian proses biokimia [3]. Reaksi tersebut menghasilkan energi, dan  $Fe^{3+}$  sisa pembuangan dari sel bakteri tersebut merupakan oksidator kuat yang mengoksidasi tembaga ( $Cu_0$ ) menjadi  $Cu^{2+}$ .

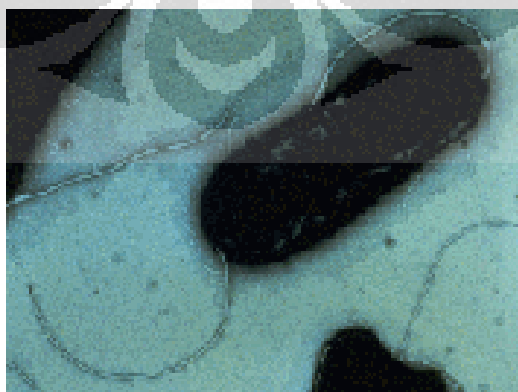
Dengan kata lain proses *Biomachining* adalah proses yang terjadi karena adanya oksidasi dari  $Fe^{3+}$  sisa metabolisme *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Selama proses *Biomachining*  $Fe^{3+}$  direduksi menjadi  $Fe^{2+}$ , dan dapat dioksidasi kembali menjadi  $Fe^{3+}$  dengan bantuan oksigen dan menjadikan sistem tersebut kontinu [3][4][8][10].



Gambar 2.2 Siklus  $Fe^{2+}$  dan  $Fe^{3+}$

## 2.2 Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*

Genus *Thiobacillus*, lebih dikenal dengan nama *Acidithiobacillus* merupakan bakteri berbentuk batang dan tidak berwarna. Bakteri ini memiliki kemampuan memperoleh energi dari oksidasi sulfur. Oleh karena itu bakteri ini hanya dapat hidup di lingkungan yang memiliki sulfur. *Acidithiobacillus* menggunakan oksigen sebagai perantara penerima elektron. Gambar 2.3 menunjukkan gambar bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*.



Gambar 2.3 Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* [14]

*Acidithiobacillus* termasuk bakteri gram negatif, *obligat autotrof*, dan *aerob*. Bakteri ini dapat bergerak, dan memiliki sebuah flagel. *Acidithiobacillus* hidup di lingkungan asam dengan pH optimal 1.5 - 2.5 dan dengan suhu sekitar 40<sup>0</sup> celsius.

*Acidithiobacillus* memperoleh energi dari oksidasi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup> dan mereduksi sulfur menjadi asam sulfat. Dalam lingkungan alami, *Acidithiobacillus ferrooxidans* berperan penting dalam menjaga kesuburan tanah dengan cara melepaskan fosfat dan sulfat secara perlahan-lahan.

Dalam penelitian yang dilakukan, jenis *Acidithiobacillus* yang digunakan adalah *Acidithiobacillus ferrooxidans* Japan's NBRC (*National Institute of Technology and Evaluation*) *Biological Resource Center* No.14262. Gambar 2.4 menunjukkan gambar mikroskopis bakteri NBRC 14262.



Gambar 2.4 Penampakan mikroskopis bakteri NBRC 14262

### 2.3 Medium 9K

Dalam penelitian ini, bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* hidup dalam cairan medium yang bernama Medium 9K. Medium 9K termasuk medium yang selektif sehingga tidak semua bakteri dapat hidup di dalamnya. Dalam proses Biomachining, medium 9K berperan sebagai pensuplai bahan makanan bagi *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Komposisi Medium 9K yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan tabel 2.1.



Tabel 2.1 Komposisi Medium 9K

Bahan 9K Medium	Jumlah
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2g
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	0.5g
$\text{MgSO}_4 - 7\text{H}_2\text{O}$	0.5g
KCl	0.1g
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.01g
$\text{FeSO}_4 - 7\text{H}_2\text{O}$	40g
Distilled Water	1L

Setelah semua bahan dimasukkan satu persatu ke dalam air distilasi hingga larut, campuran larutan tersebut ditambahkan dengan 6N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hingga pH campuran menjadi sekitar 3, dan campuran tersebut disterilkan dengan cara filtrasi menggunakan kertas filter. Gambar 2.5 menunjukkan gambar Medium 9K steril dan gambar 2.6 menunjukkan gambar Medium 9K Kultur Bakteri.



Gambar 2.5 Medium 9K steril



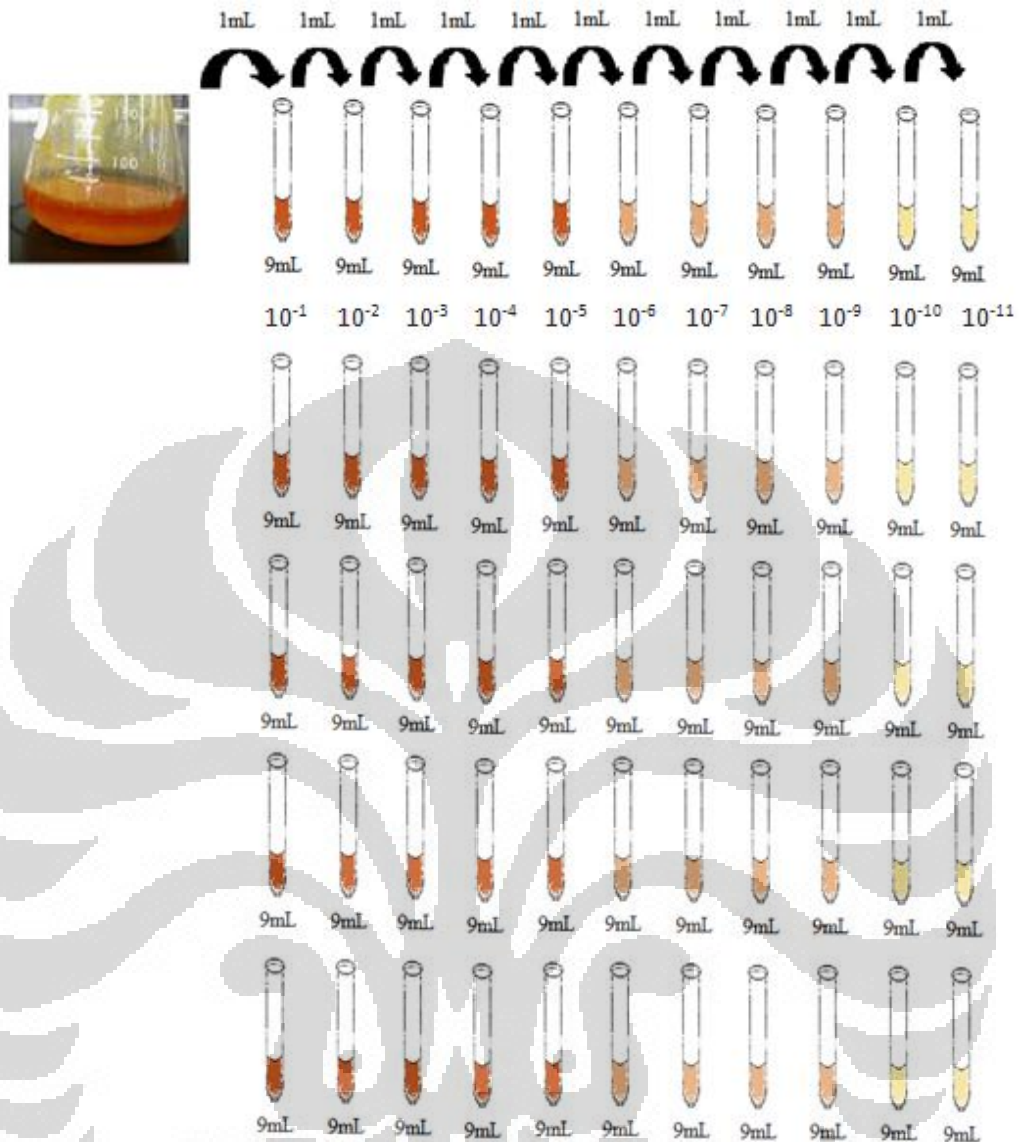
Gambar 2.6 Medium 9K Kultur Bakteri

#### 2.4 Metode MPN

Metode yang digunakan untuk menghitung jumlah bakteri yang terdapat di dalam cairan medium 9K secara kuantitatif adalah metode MTF (*Multiple Tube Fermentation*) dengan cara penghitungan MPN (*Most Probable Number*) dengan menggunakan 5 tabung.

Prinsip utama dari metode MPN (*Most Probable Number*) adalah mengencerkan sampel medium, dalam penelitian ini medium 9K sampai pengenceran tingkat tertentu. Dalam penelitian ini pengenceran dilakukan sampai 11 kali dengan 5 tabung di setiap pengencerannya. Pengamatan dilakukan terhadap ada atau tidaknya tanda pertumbuhan pada tabung-tabung tersebut, dan penghitungan dilakukan mulai dari pengenceran dengan nilai negatif (tidak ada pertumbuhan) konstan, mundur ke pengenceran yang lebih besar sebanyak 3 kali.

Nilai pengenceran yang diambil adalah nilai di tengah-tengah ketiga tabung tersebut, dan hanya nilai positif (adanya pertumbuhan) yang dihitung. Hasil 3 angka yang didapat dari metode MPN kemudian dicocokkan dengan tabel MPN untuk mengetahui secara kuantitatif jumlah bakteri yang terdapat dalam cairan medium 9K yang digunakan untuk proses *Biomachining*. Gambar 2.7 menunjukkan skema metode perhitungan jumlah bakteri dengan menggunakan MPN.

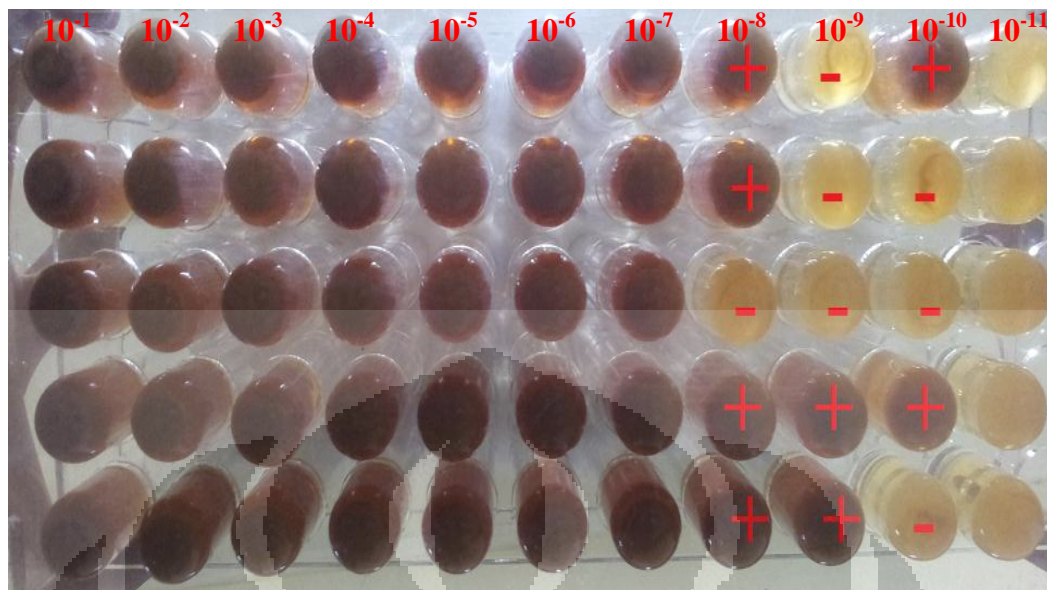


Gambar 2.7 Skema kerja metode MPN

Dalam melakukan perhitungan banteri dengan menggunakan metode *multiple tube fermentation* dengan metode MPN, beberapa asumsi digunakan.

Asumsi dalam melaksanakan metode penghitungan MPN adalah:

- Bakteri terdistribusi secara sempurna
- Sel bakteri terpisah secara individual, tidak membentuk rantai.
- Medium yang digunakan untuk pengenceran adalah medium yang sesuai untuk bakteri yang akan dihitung jumlahnya, dan juga dengan suhu yang sesuai dengan suhu ideal bakteri tersebut.
- Jumlah bakteri yang didapatkan menggambarkan bakteri yang hidup saja, sel yang rusak tidak akan menghasilkan tabung positif.



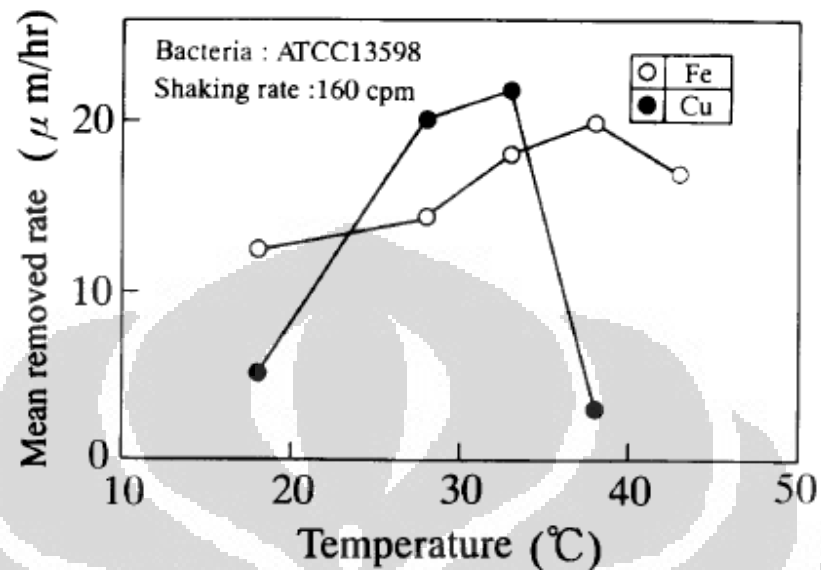
Gambar 2.8 Contoh hasil MTF 5 tabung

Seperti terlihat pada gambar 2.8, pada kolom pengenceran  $10^{-11}$  nilai semua tabung negatif, dan pada kolom  $10^{-8}$  terdapat 4 tabung positif sehingga angka pertama dari hasil MPN adalah 4. Pada kolom pengenceran  $10^{-9}$  terdapat 2 tabung positif sehingga angka kedua dari hasil MPN adalah 2, dan pada kolom pengenceran  $10^{-10}$  terdapat 2 tabung positif sehingga nilai ke tiga dari MPN tersebut adalah 2. Secara keseluruhan, nilai MPN yang diperoleh adalah 4-2-2. Dengan melihat tabel MPN pada lampiran dan mencocokkan angka 4-2-2 ke dalamnya, diperoleh angka 32. Angka 32 menunjukkan jumlah bakteri, dan dikalikan dengan  $10^9$  (Nilai tengah-tengah tabung yang diambil hasilnya), sehingga jumlah bakteri yang digunakan adalah  $32 \times 10^9$  bakteri dalam 100 mL cairan medium 9K.

## 2.5 Benda Kerja

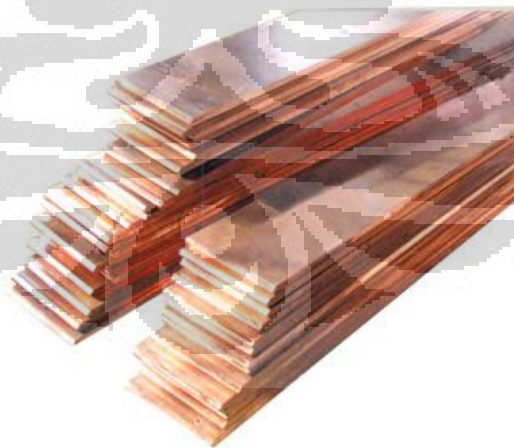
Pada percobaan *Biomachining* yang telah dilakukan peneliti sebelumnya, beberapa material dapat digunakan sebagai benda kerja. Contoh material yang sudah pernah digunakan dalam proses *Biomachining* adalah nikel (Ni), besi (Fe), dan tembaga (Cu). Ketiga material yang digunakan tersebut memiliki tingkat pelepasan material yang berbeda-beda [1][2]. Gambar 2.9 menunjukkan grafik temperatur vs laju pelepasan material rata-rata pada proses *Biomachining* menggunakan bakteri ATCC 13598 dengan

kecepatan putar medium 9K 160 putaran per menit yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [1].



Gambar 2.9 Grafik temperatur vs. laju pelepasan rata-rata Fe dan Cu [1]

Berdasarkan gambar 2.9, material tembaga digunakan sebagai benda kerja karena tembaga memiliki laju pelepasan material rata-rata yang lebih besar jika dibandingkan dengan besi sehingga hasil proses *Biomachining* akan lebih terlihat pada benda kerja tembaga. Gambar 2.10 menunjukkan contoh material tembaga, dan tabel 2.2 menunjukkan properti dari material tembaga.



Gambar 2.10 Material tembaga sebagai benda kerja

Tabel 2.2 Properti material tembaga

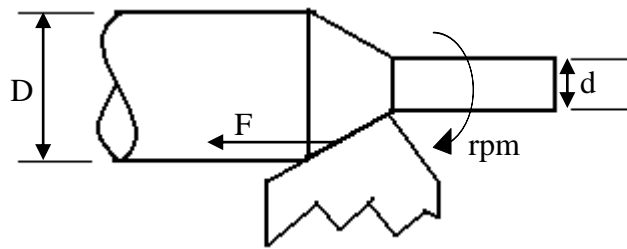
Nomor atom	29
Massa atom	63.546 g.mol <sup>-1</sup>
Elektronegativitas menurut Pauling	1.9
Densitas	8.9 g.cm <sup>-3</sup> pada 20 °C
Titik lebur	1083 °C
Titik didih	2595 °C
Radius vanderwaals	0.128 nm
Radius ion	0.096 nm (+1); 0.069 nm (+3)
Isotop	6
Kulit electron	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>
Energy awal ionisasi	743.5 kJ.mol <sup>-1</sup>
Energy ionisasi sekunder	1946 kJ.mol <sup>-1</sup>
Standar beda potensial	+0.522 V (Cu <sup>+</sup> /Cu); +0.345V (Cu <sup>2+</sup> /Cu)

## 2.6 Laju Pelepasan Material (*Material Removal Rate*)

Dalam proses *machining* seperti *milling*, *grinding*, *turning*, dan lain lain secara garis besar proses yang dilakukan adalah melepaskan bagian dari benda kerja yang tidak diinginkan sehingga bentuk benda kerja setelah proses pemesinan akan sesuai dengan yang diinginkan. Proses pelepasan material dari benda kerja memiliki berbagai parameter yang harus diperhatikan, diantaranya jenis material benda kerja, ukuran mata pahat, kecepatan makan, kecepatan putaran *spindle*, dan lain-lain.

Berdasarkan parameter-parameter tersebut, maka didapatkanlah suatu kemampuan untuk melepaskan material dari benda kerja, dan sering disebut dengan laju pelepasan material atau *Material Removal Rate (MRR)*. *Material Removal Rate* dapat didefinisikan sebagai perbandingan banyaknya volume material dari benda kerja yang dilepaskan terhadap satuan waktu tertentu.

Satuan yang umum digunakan dalam MRR adalah mm<sup>3</sup>/menit untuk skala makro dan µm<sup>3</sup>/menit untuk skala mikro. Gambar 2.11 menunjukkan contoh MRR pada proses *turning*.



Gambar 2.11 MRR pada proses turning

Berdasarkan Gambar 2.11, MRR dapat dirumuskan melalui persamaan 1:

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

Dengan D = Diameter benda kerja sebelum proses pemesinan  
d = Diameter benda kerja setelah proses pemesinan

Penghitungan MRR sangat bergantung pada *machining parameter*, dan efek parameter tersebut sama untuk skala makro maupun skala mikro. Pada proses *Biomachining* yang dilakukan, MRR dapat dihitung dengan cara membagi jumlah volume yang hilang per satuan waktu, dan dapat dilihat pada Persamaan 2:

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

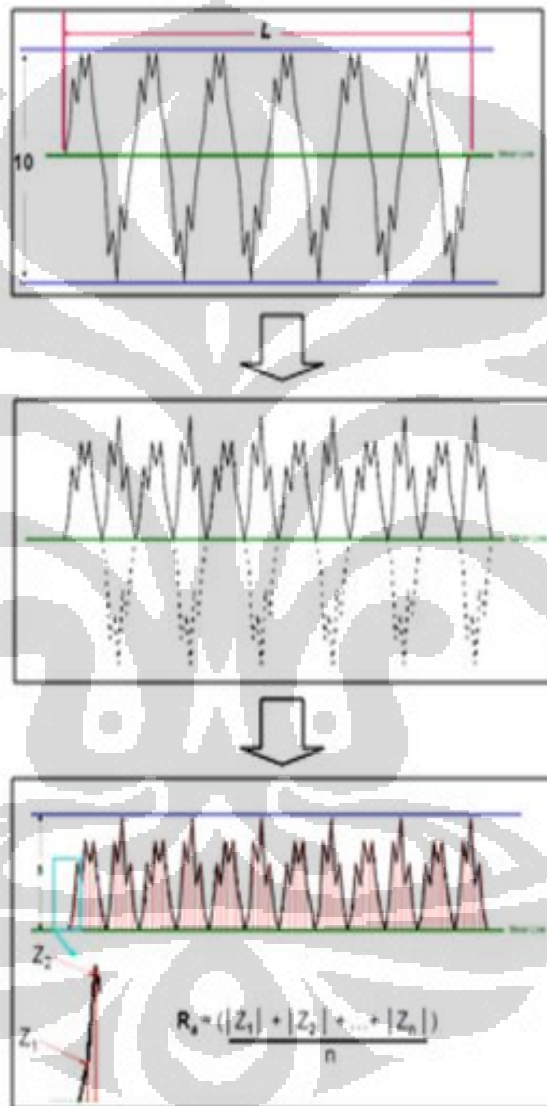
Dengan MRR = *Material Removal Rate* ( $\mu\text{m}^3/\text{jam}$ )  
m = massa (gram)  
 $\rho$  = massa jenis material ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )  
t = waktu (jam)

## 2.7 Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)

Tingkat kekasaran dari permukaan benda kerja setelah melalui proses pemesinan merupakan salah satu parameter yang sangat diperhatikan karena terkait langsung dengan kualitas produk yang dihasilkan. Beberapa parameter

yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan produk adalah  $R_a$ ,  $R_q$ , dan  $R_z$ .

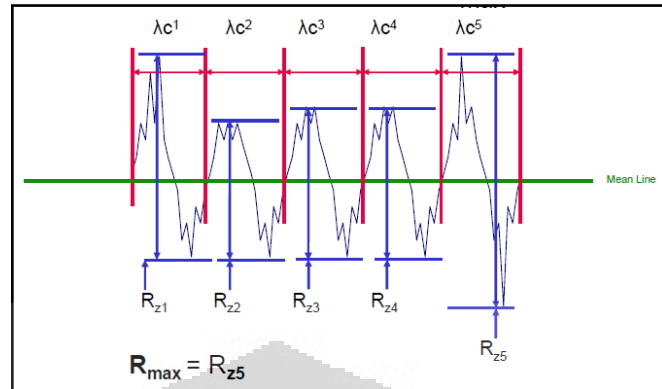
$R_a$  adalah (*Roughness Average*) adalah nilai rata-rata dari nilai absolut yang diambil pada ordinat tertentu di produk, dan dirata-rata. Nilai  $R_a$  inilah yang biasa dijadikan acuan untuk mengukur tingkat kekasaran suatu produk. Gambar 2.12 menjelaskan metode penghitungan  $R_a$ .



Gambar 2.12 Metode penghitungan  $R_a$

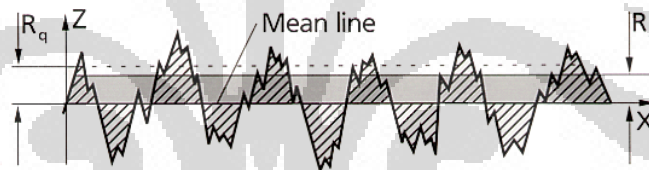
Parameter lain yang juga dihasilkan dalam proses pengukuran kekasaran permukaan produk adalah  $R_z$  atau biasa disebut juga  $R_{max}$ .  $R_{max}$  merupakan ketinggian maksimal dari pengukuran kekasaran permukaan produk. Gambar 2.13 menunjukkan metode penghitungan  $R_{max}$ .





Gambar 2.13 Metode penghitungan  $R_{max}$

Parameter lain yang dapat dijadikan acuan dalam mengukur kekasaran permukaan suatu produk selain  $R_a$  dan  $R_z$  adalah  $R_q$ .  $R_q$  atau biasa disebut RMS (*Root Mean Square*) adalah parameter yang menghitung tingkat kekasaran suatu produk pada akar kuadrat rata-rata dari ordinat permukaan tertentu. Gambar 2.14 menunjukkan metode penghitungan RMS.



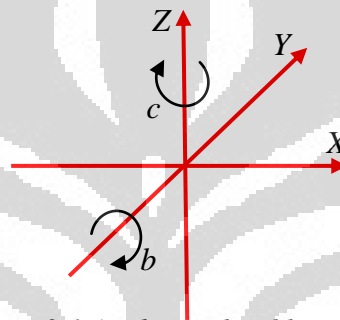
$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

Gambar 2.14 Metode penghitungan RMS

## BAB 3

### PENGEMBANGAN INKLINATOR *MULTI-AXIS*

Inklinator yang dikembangkan untuk menunjang proses *Biomachining multi-axis* dalam penelitian ini memiliki 3 sumbu gerak yaitu sumbu  $X$ , sumbu  $Y$ , dan sumbu  $Z$ . Inklinator ini juga memiliki 2 sumbu putar yaitu sumbu  $b$  (berputar searah sumbu  $Y$ ) dan sumbu  $c$  (berputar searah sumbu  $Z$ ). Gambar 3.1 menunjukkan skema arah gerak Inklinator.

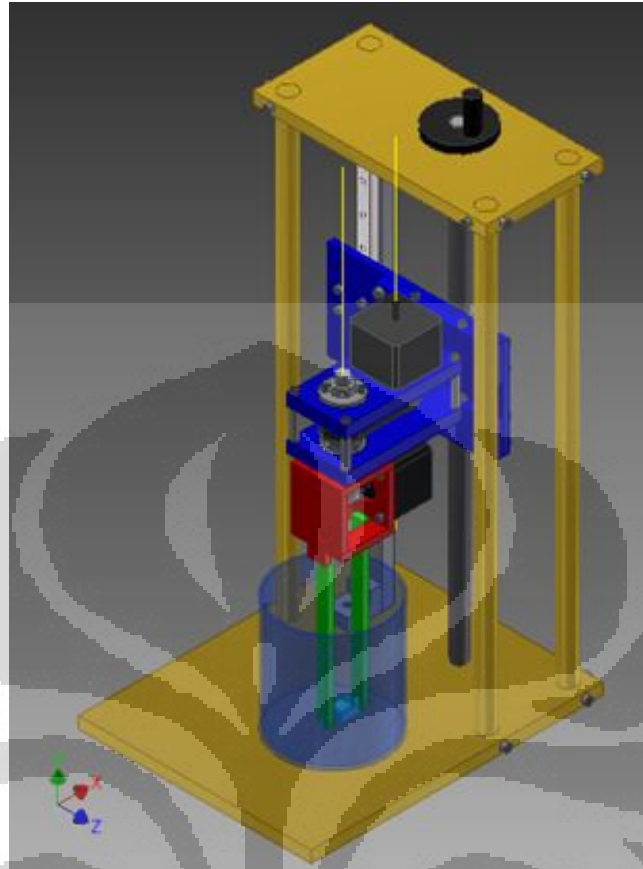


*Gambar 3.1 Arah gerak Inklinator multi-Axis*

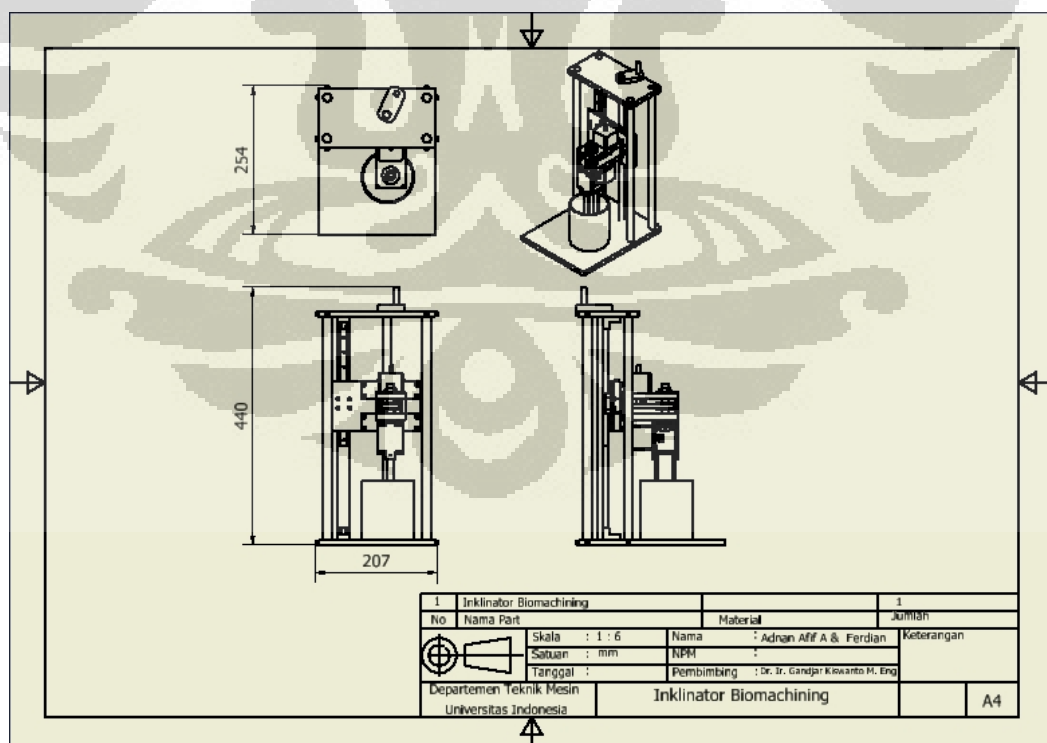
#### 3.1 Sistem Mekanik

Ketiga sumbu gerak Inklinator *multi-axis* yang diproduksi memiliki sistem penggerak yang berbeda-beda. Sumbu  $Z$  Inklinator bergerak dengan menggunakan sistem *leadscrew* yang digerakkan secara manual dengan cara memutar tuas yang terhubung dengan batang *leadscrew*, dan dibantu dengan menggunakan *Linear Guideway*.

Untuk sumbu putar  $b$  dan  $c$ , sistem penggerak yang digunakan adalah motor *stepper 5 fasa bipolar* yang dikontrol untuk bergerak pada sudut tertentu sesuai dengan perintah yang diberikan. Untuk sumbu putar  $b$ , ujung motor dihubungkan dengan tali pengungkit yang juga terhubung dengan wadah benda kerja sehingga sistem gerak tersebut dapat memberikan inklinasi terhadap benda kerja. Untuk sumbu putar  $c$ , sistem penggerak yang digunakan adalah *timing belt* dan *pulley* dengan rasio 1:1. Gambar 3.2 menunjukkan desain dari Inklinator *multi-axis*, dan gambar 3.3 menunjukkan garis besar dimensi Inklinator *multi axis*.

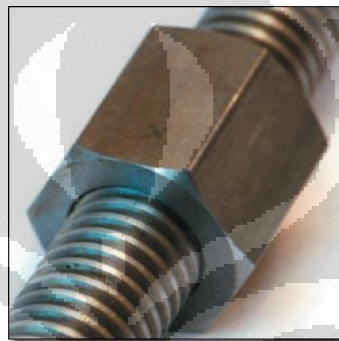


Gambar 3.2 Gambar Inclinotor multi-Axis

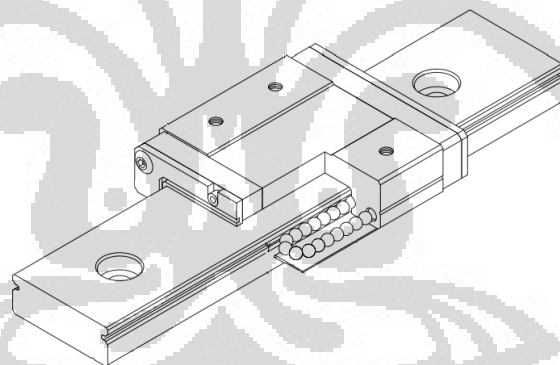


Gambar 3.3 Dimensi Inclinotor multi-Axis

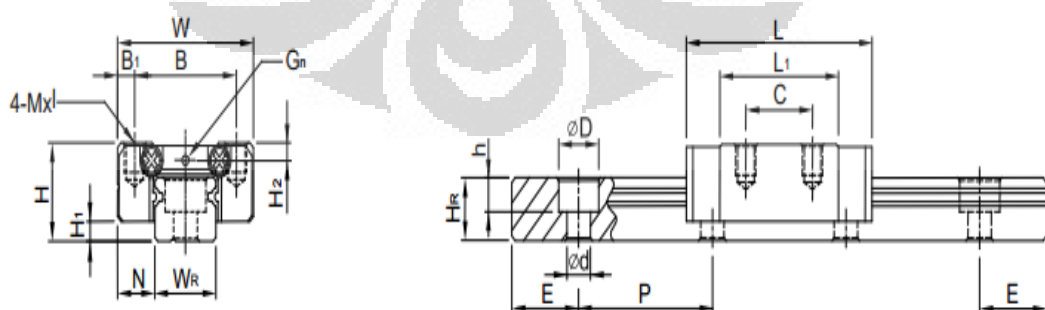
Untuk pergerakan sumbu **Z**, sistem penggerak yang digunakan adalah sistem *leadscrew*. Gambar 3.4 menunjukkan contoh *leadscrew* yang digunakan sebagai sistem penggerak sumbu **Z** pada inklinator *multi-axis*. Sebagai support pada pergerakan sumbu **Z** Inklinator *multi-axis*, sebuah *Linear Guideway* tipe MGN 12C digunakan. Gambar 3.5 menunjukkan konstruksi umum *linear guideway* seri MGN, dan gambar 3.6 menunjukkan dimensi *Linear Guideway* tipe MGN 12C yang digunakan.



Gambar 3.4 Leadscrew penggerak sumbu **Z**



Gambar 3.5 Konstruksi umum linear guideway seri MGN [20]



Gambar 3.6 Dimensi *Linear Guideway* MGN 12C sebagai support penggerak sumbu **Z** [20]

Tabel 3.1 Spesifikasi Linear Guideway seri MGN [20]

Model No.	Dimensions of Assembly (mm)			Dimensions of Block (mm)										Dimensions of Rail (mm)						
	H	H <sub>1</sub>	N	W	B	B <sub>1</sub>	C	L <sub>1</sub>	L	G	G <sub>n</sub>	Mxl	H <sub>2</sub>	W <sub>R</sub>	H <sub>R</sub>	D	h	d	P	E
MGN 5C	6	1.5	3.5	12	8	2	-	9.6	16	-	0.8	M2x1.5	1	5	3.6	3.6	0.8	2.4	15	5
MGN 7C	8	1.5	5	17	12	2.5	8	13.5	22.5	-	Ø1.2	M2x2.5	1.5	7	4.8	4.2	2.3	2.4	15	5
MGN 7H								13	21.8											
MGN 9C	10	2	5.5	20	15	2.5	10	18.9	28.9	-	Ø1.4	M3x3	1.8	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5
MGN 9H								16	29.9											
MGN 12C	13	3	7.5	27	20	3.5	15	21.7	34.7	-	Ø2	M3x3.5	2.5	12	8	6	4.5	3.5	25	10
MGN 12H							20	32.4	45.4											
MGN 15C	16	4	8.5	32	25	3.5	20	26.7	42.1	4.5	M3	M3x4	3	15	10	6	4.5	3.5	40	15
MGN 15H							25	43.4	58.8											

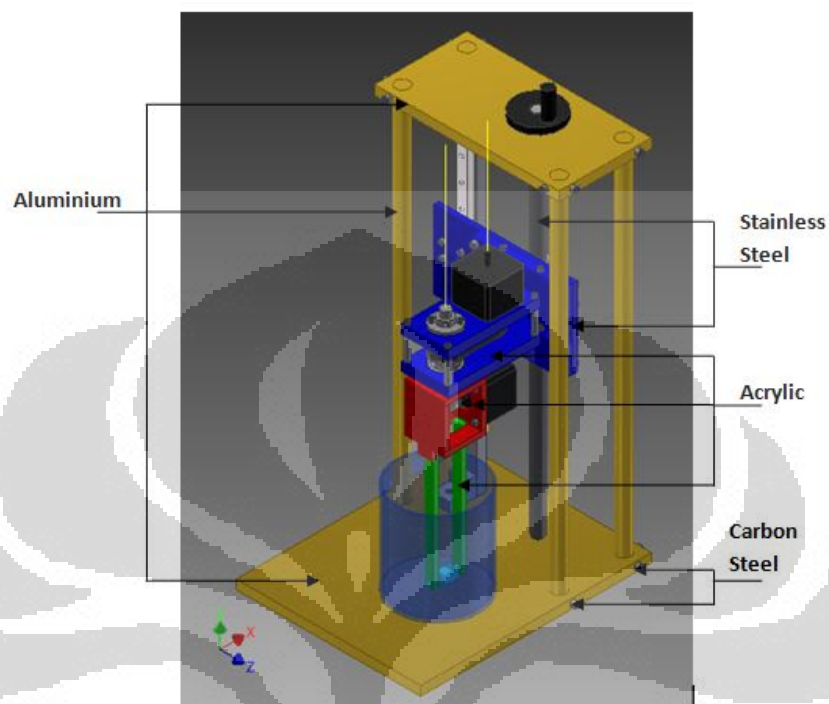
Note : 1 kgf = 9.81 N

Model No.	Mounting Bolt for Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C (kN)	Basic Static Load Rating C <sub>0</sub> (kN)	Static Rated Moment			Weight	
				M <sub>R</sub>	M <sub>P</sub>	M <sub>V</sub>	Block	Rail
				N-m	N-m	N-m	kg	kg/m
MGN 5C	M2x6	0.54	0.84	2	1.3	1.3	0.008	0.15
MGN 7C	M2x6	0.98	1.24	4.70	2.84	2.84	0.010	0.22
MGN 7H		1.37	1.96	7.64	4.80	4.80	0.015	
MGN 9C	M3x8	1.86	2.55	11.76	7.35	7.35	0.016	0.38
MGN 9H		2.55	4.02	19.60	18.62	18.62	0.026	
MGN 12C	M3x8	2.84	3.92	25.48	13.72	13.72	0.034	0.65
MGN 12H		3.72	5.88	38.22	36.26	36.26	0.054	
MGN 15C	M3x10	4.61	5.59	45.08	21.56	21.56	0.059	1.06
MGN 15H		6.37	9.11	73.50	57.82	57.82	0.092	

### 3.2 Pemilihan Material Inklinator *Multi-axis*

Dalam pembuatan Inklinator *multi-axis* yang telah dilakukan, material yang digunakan diantaranya: *aluminum*, *stainless steel*, *carbon steel*, dan akrilik. Pemilihan material tersebut dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan antara lain kekuatan material, kemampuan produksi material

tersebut, ketersediaan material di pasaran, dan efisiensi biaya. Gambar 3.7 menunjukkan detail penggunaan material pada Inklinator *multi axis*.



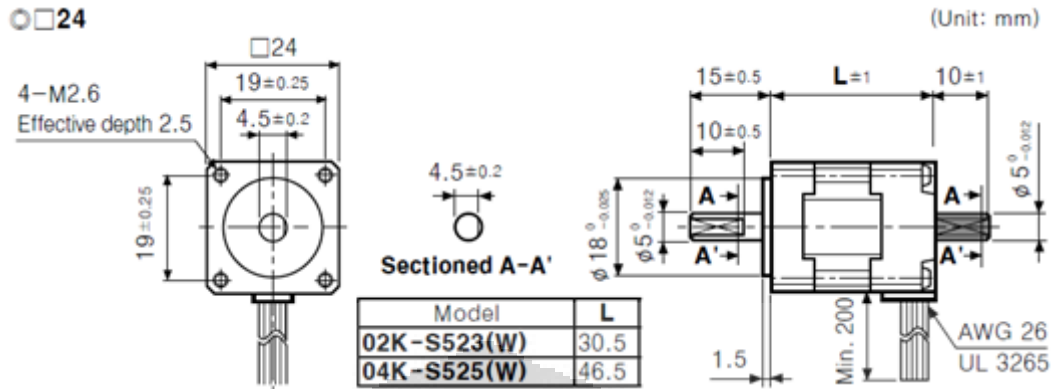
Gambar 3.7 Penggunaan material pada Inklinator *multi-axis*

### 3.3 Sistem Penggerak Menggunakan Motor *Stepper*

Sistem penggerak yang digunakan untuk memutar sumbu *b* dan sumbu *c* pada Inklinator yang diproduksi adalah motor *stepper*. Motor *stepper* yang digunakan adalah tipe A1K-S543 (W), yang merupakan motor *steper* 5 fasa *bipolar* dan digerakkan dengan driver L298D. Gambar 3.8 menunjukkan gambar motor *stepper* A1K-S543 (W), dan gambar 3.9 menunjukkan dimensi motor *stepper* A1K-S543 (W).



Gambar 3.8 Motor *stepper* A1K-S543 (W) [21]

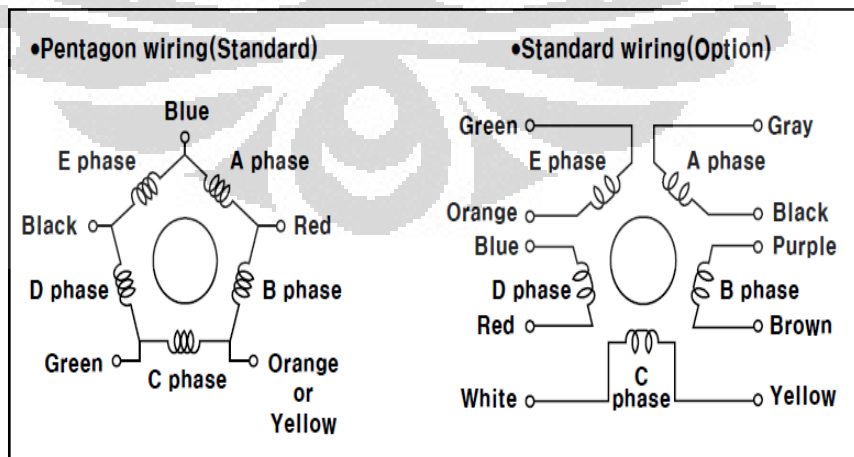


Gambar 3.9 Dimensi motor stepper A1K-S543 (W) [21]

Alasan penggunaan motor *stepper* tipe tersebut adalah karena ketahanan motor tipe tersebut sudah teruji. Tabel 3.2 menunjukkan spesifikasi motor *stepper* A1K-S543 (W), dan gambar 3.10 menunjukkan struktur *wiring coil* motor *stepper* A1K-S543 (W).

Tabel 3.2 Spesifikasi motor stepper A1K-S543(W) [21]

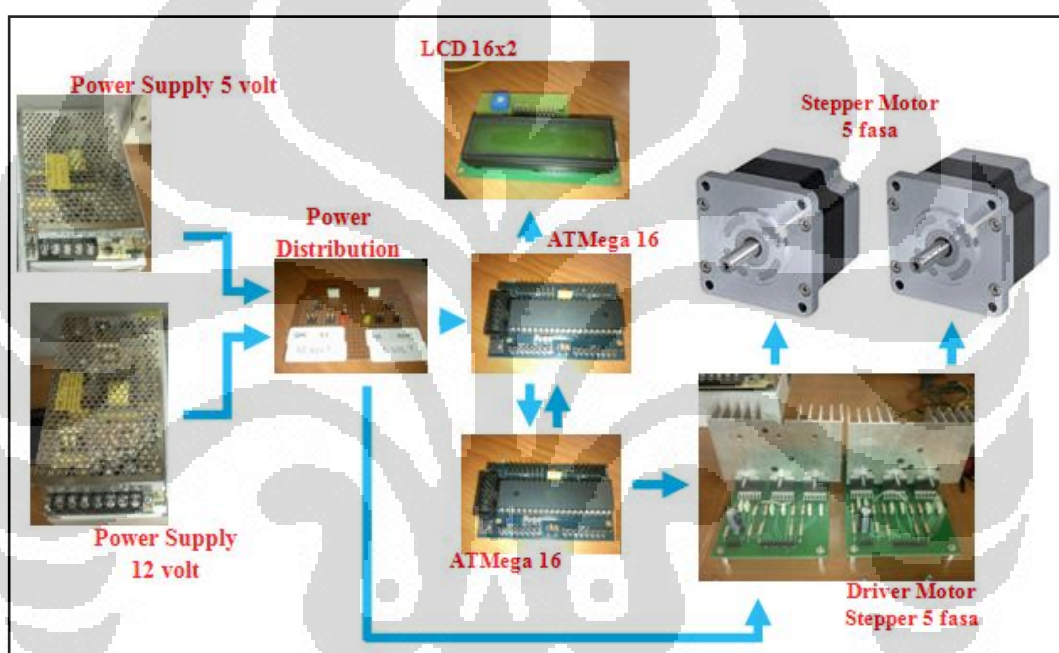
Model	A1K-S543(W)
Max. holding torque	1.3 kgf.cm (0.13 N.m)
Moment of rotor inertia	35 g.cm <sup>2</sup> (35x10 <sup>-7</sup> kg.m <sup>2</sup> )
Rated current	0.75/Phase
Basic step angle	0.72 <sup>0</sup> / 0.36 <sup>0</sup> (full/half)
Unit weight	Approx. 0.25kg



Gambar 3.10 Struktur coil motor stepper 5 fasa bipolar tipe A1K-S543(W) [21]

### 3.4 Sistem Kontrol Motor *Stepper*

Untuk sistem kontrol motor *stepper* A1K-S543 (W), sebuah IC L298N digunakan sebagai driver dan ATmega 16 digunakan sebagai pusat kontrol. Motor *stepper* A1K-S543 (W) yang digunakan bekerja dengan sumber tegangan sebesar 12V yang berasal dari *power supply*, dan sistem kontrol motor *stepper* tersebut bekerja dengan menggunakan sumber tegangan 5V dari *power supply* berbeda. Gambar 3.11 menunjukkan skema elektrikal inklinator *multi-axis*, dan gambar 3.12 menunjukkan sistem kontrol dan sumber tegangan yang digunakan untuk menunjang motor *stepper* A1K-S543 (W).

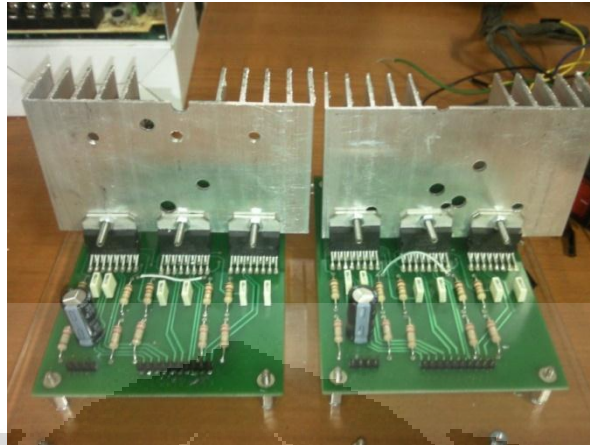


Gambar 3.11 Skema elektrikal inklinator *multi-axis*

#### 3.4.1 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. Gambar 3.12 menunjukkan gambar driver motor *stepper* 5 fasa.

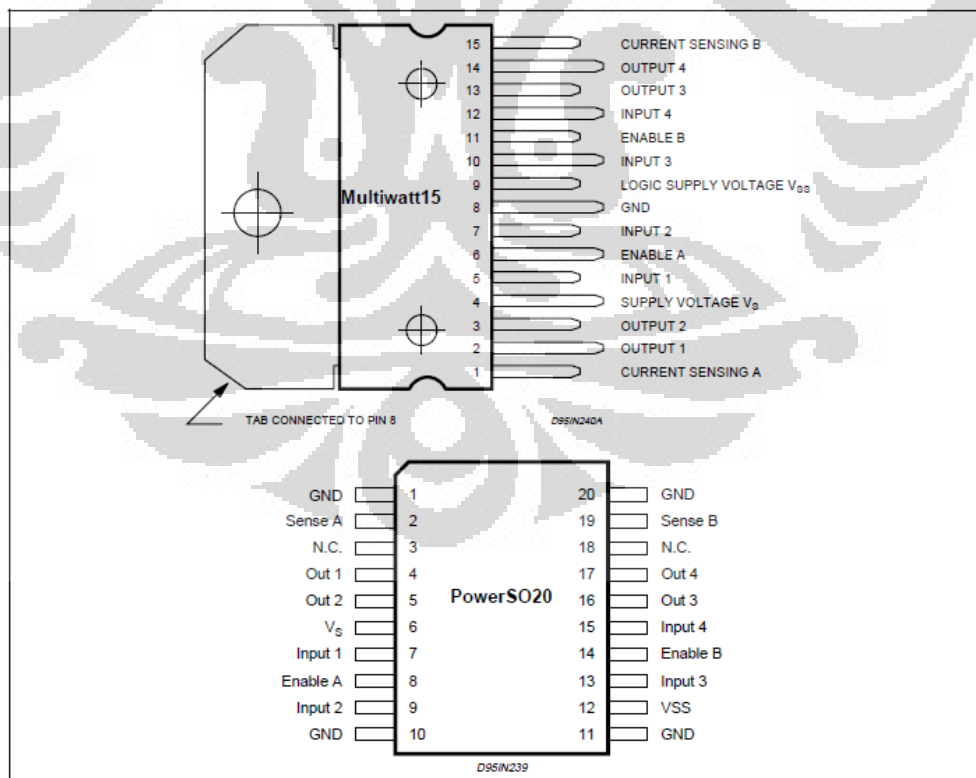




Gambar 3.12 Driver motor stepper 5 fasa

Tabel 3.3 Absolute maximum ratings L298N [22]

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 3.13 Pin L298N [22]

### 3.4.2 Mikrokontroller

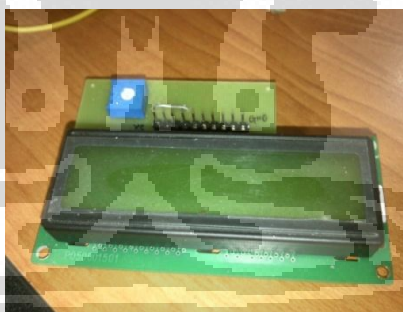
Pusat sistem kontrol inklinator *multi-axis* menggunakan 2 buah ATmega16. Alasan penggunaan mikrokontroller jenis ini dikarenakan fitur-fitur yang dimiliki sudah sangat lengkap untuk digunakan dalam pengendalian axis yang ada pada inklinator *multi-axis*. Gambar 3.14 menunjukkan gambar mikrokontroller ATmega 16.



Gambar 3.14 Mikrokontroller ATmega 16

### 3.4.3 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 3.15 menunjukkan gambar LCD 16x2



Gambar 3.151 LCD 16x2

### 3.4.4 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 mikrokontroller. Untuk power supply 12 volt digunakan sebagai sumber tegangan motor stepper 5 fasa bipolar. Gambar 3.16 menunjukkan gambar power supply 12 volt dan 5 volt



Gambar 3.162 Power Supply Unit (PSU) sebagai sumber tegangan

### 3.4.5 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 mikrokontroler dan power supply 12 volt digunakan untuk 2 buah motor stepper 5 fasa bipolar. Gambar 3.17 menunjukkan gambar power distribution inklinator *multi-axis*.



Gambar 3.173 Power Distribution inklinator *multi-axis*

## BAB 4

### KARAKTERISASI AWAL PROSES BIOMACHINING

Tahap awal dalam penelitian yang dilakukan untuk mengetahui apakah bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* mampu melakukan Biomachining multi-axis adalah dengan melakukan karakterisasi awal bakteri tersebut sesuai dengan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah *Acidithiobacillus ferrooxidans* memiliki kemampuan pemesinan yang sama dengan jenis lainnya. Karakterisasi awal yang dilakukan meliputi:

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

#### **4.1 Perbandingan MRR (*Material Removal Rate*) pada Medium 9K Steril dan Medium 9K Kultur Bakteri**

Dalam karakterisasi awal untuk membandingkan MRR antara medium 9K steril dan Medium 9K kultur bakteri, benda kerja yang digunakan adalah tembaga dengan dimensi 10x10x3 mm yang permukaannya diampelas dengan menggunakan kertas amplas grit 1500. Pengamplasan dilakukan untuk menghilangkan permukaan tembaga yang tertutup oksidasi karena udara bebas maupun karena pengotor yang menempel. Setelah pengamplasan dilakukan, seluruh benda kerja ditimbang untuk kemudian membandingkan massa benda kerja sebelum dan sesudah dilakukan *Biomachining*.

Dalam percobaan ini digunakan 4 sampel yang diberi perlakuan berbeda. Dua buah sampel diletakkan dalam cairan medium 9K steril, dan 2 sampel lain diletakkan dalam cairan medium 9K dengan kultur bakteri. Kedua sampel dalam masing-masing botol diberi perlakuan yang identik, dimana salah satu sampel ditutupi seluruh permukaannya dengan menggunakan material khusus selain sisi depan, dan sampel lainnya diberi

penutup yang sama dengan separuh bagian atas sisi depan juga ditutupi. Keempat benda kerja tersebut diletakkan sekitar 3 cm dari dasar cairan medium 9K.

Proses *Biomachining* dilakukan selama 48 jam untuk seluruh sampel, dengan keadaan RTP (suhu 28<sup>0</sup>C dan tekanan 1atm). Setelah pemesinan selesai dilakukan, permukaan seluruh sampel dibersihkan dengan menggunakan alkohol dan material penutupnya dilepaskan sebelum ditimbang kembali. Gambar 4.1 menunjukkan proses pengujian MRR antara cairan medium 9K steril dengan cairan medium 9K kultur bakteri.

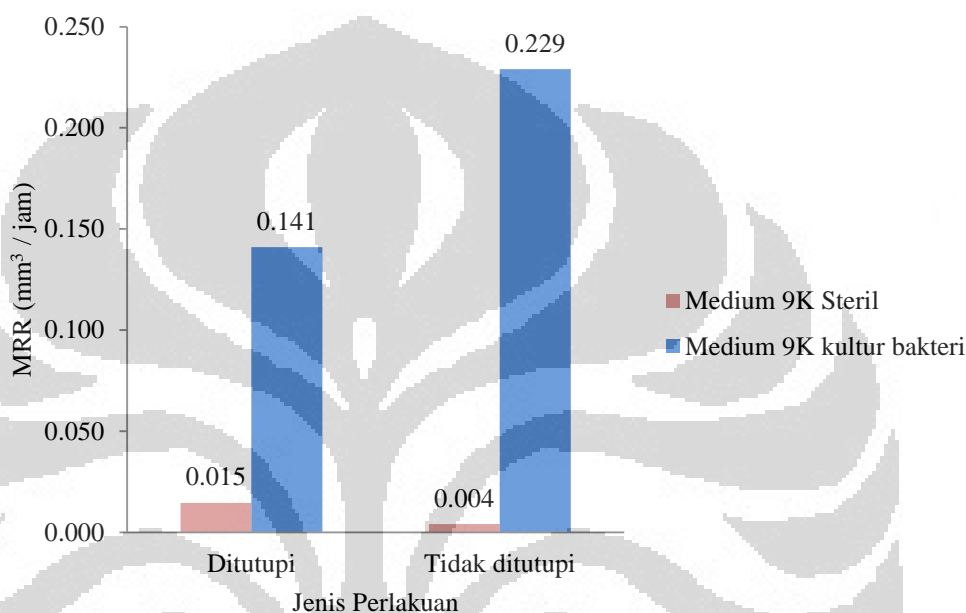


*Gambar 4.1 Pengujian MRR antara cairan medium 9K steril dengan cairan medium 9K kultur bakteri*

Setelah proses *Biomachining* dilakukan selama 48 jam antara medium 9K steril dengan medium 9K berkultur bakteri, semua benda kerja yang digunakan ditimbang untuk membandingkan perubahan massa yang terjadi setelah proses pemesinan, dan kemudian dilakukan penghitungan MRR pada setiap sampel. Tabel 4.1 menunjukkan hasil MRR pada setiap sampel.

Tabel 4.1 Hasil MRR setiap sampel

Jenis Perlakuan	MRR (mm <sup>3</sup> /jam)	
	Cairan Medium 9K Steril	Cairan Medium 9K Kultur Bakteri
Ditutupi	0.015	0.141
Tidak Ditutupi	0.004	0.229



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan jenis perlakuan terhadap MRR pada medium 9K steril dan medium 9K kultur bakteri

#### 4.2 Perbandingan MRR (*Material Removal Rate*) Terhadap Perbedaan Luas Permukaan Pemesinan

Percobaan dilakukan dengan menggunakan 4 sampel benda kerja dan diberi nama sampel 1 sampai sampel 4, dimana semua sampel diletakkan dalam medium 9k dengan kultur bakteri, dan 5 sisi permukaannya ditutupi dengan menggunakan material khusus, sedangkan sisi depan dari benda kerja dibiarkan terbuka dengan perlakuan berbeda-beda. Sebelum permukaannya ditutupi, ke-4 sampel tersebut ditimbang terlebih dahulu.

Pada Sampel 1 dan sampel 3, seluruh sisi depan dari benda kerja dibiarkan terbuka dan diletakkan ke dalam medium 9K dengan kultur bakteri, sedangkan sampel 2 dan sampel 4, setengah dari permukaan sisi depannya dilapisi dengan menggunakan material khusus dengan arah yang

berbeda dan diletakkan ke dalam medium 9K dengan kultur bakteri, sampel 1 dan sampel 2 diletakkan dalam wadah yang sama, sampel 3 dan 4 juga diletakkan dalam wadah yang sama. Seluruh sampel diletakkan 3cm dari dasar wadah cairan medium, dan proses pemasinan dilakukan pada suhu 28<sup>0</sup>C dan tekanan 1atm, dengan waktu pemasinan tiap sampel selama 48 jam, dan percobaan diulang sebanyak 3 kali untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

Setelah proses pemasinan selama 48 jam, semua sampel tersebut diangkat dan material penutup sampel tersebut dilepaskan. Permukaan yang dibiarkan terbuka dibersihkan dengan menggunakan alkohol untuk menghilangkan sisa-sisa oksidasi dan sisa medium yang masih menempel pada sampel saat pemasinan dan penutup yang masih menempel juga dibersihkan sebelum kemudian sampel-sampel tersebut ditimbang. Gambar 4.3 menunjukkan kondisi penutupan permukaan Sampel 1 sampai dengan Sampel 4, dan Gambar 4.4 menunjukkan kondisi pencelupan keempat sampel tersebut.

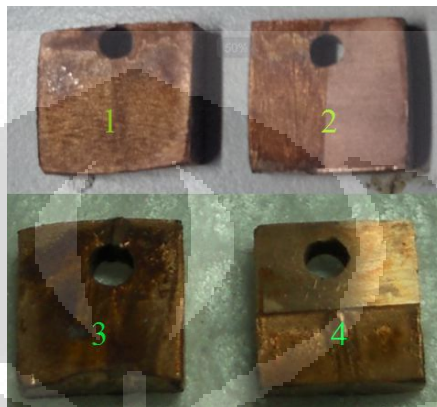


*Gambar 4.3 Kondisi penutupan sampel 1 – sampel 4*



*Gambar 4.4 Kondisi pencelupan sampel 1 – sampel 4*

Setelah proses *Biomachining* selama 48 jam, dilakukan penghitungan massa terhadap material yang sudah diangkat dan dibersihkan. Gambar 4.5 menunjukkan kondisi Sampel 1 – Sampel 4 setelah proses *Biomachining* selama 48 jam, dan Tabel 4.2 menunjukkan perbedaan MRR keempat sampel tersebut.



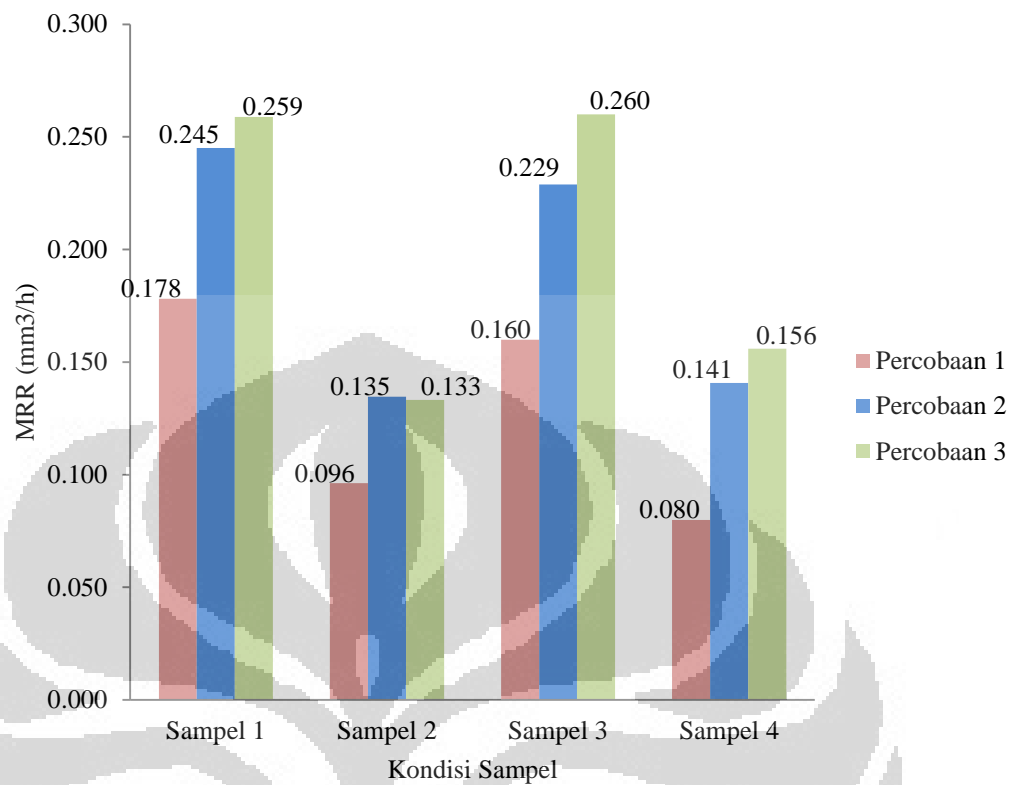
Gambar 4.5 Kondisi sampel 1 – sampel 4 setelah proses *Biomachining* selama 48jam

Tabel 4.2 Perbedaan MRR sampel 1 – sampel 4

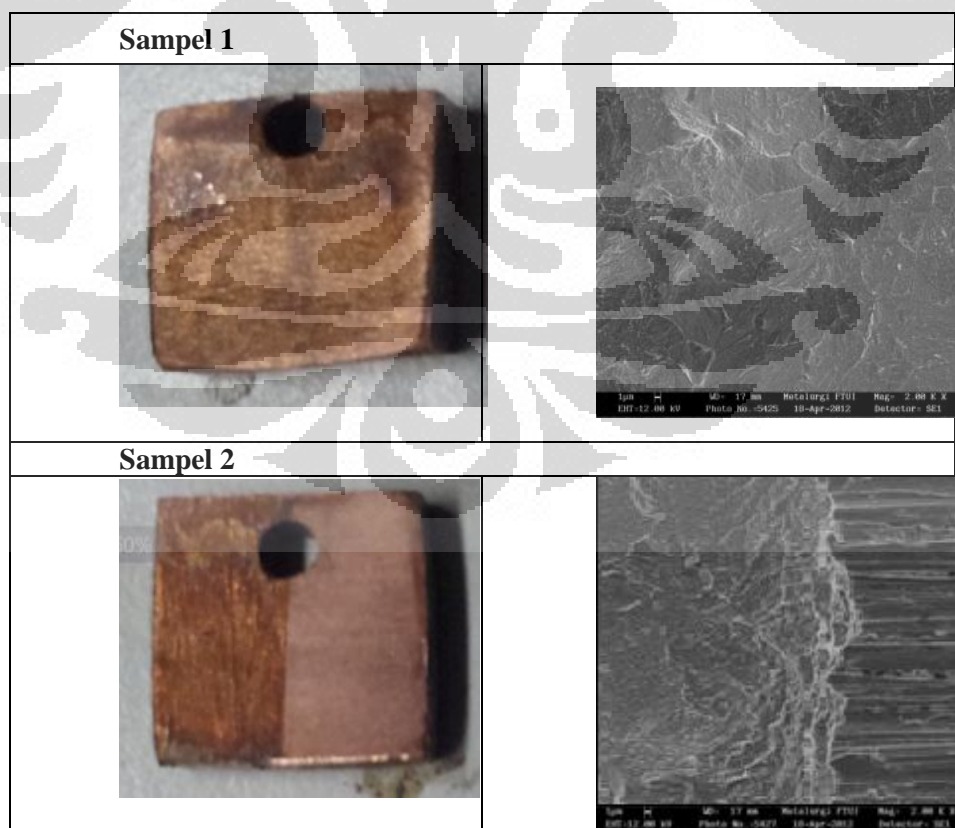
Jenis Perlakuan	MRR (mm <sup>3</sup> /jam)		
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
Sampel 1	0.178	0.245	0.259
Sampel 2	0.096	0.135	0.133
Sampel 3	0.160	0.229	0.260
Sampel 4	0.080	0.141	0.156

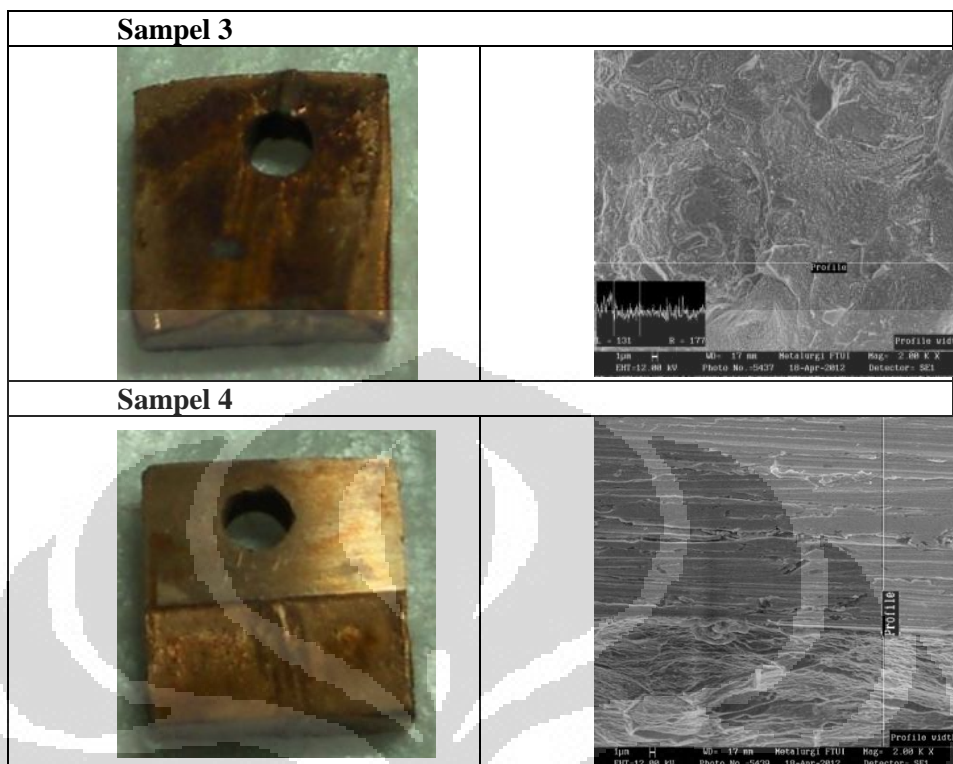
Berdasarkan Tabel 4.2, Dapat dilihat bahwa MRR pada proses *Biomachining* sangat dipengaruhi oleh luas area pemesinan. Luas Area dengan MRR memiliki hubungan yang linear dimana MRR benda kerja yang separuh sisi depannya ditutupi memiliki MRR yang nilainya 50% lebih sedikit jika dibandingkan dengan benda kerja yang seluruh permukaannya dibiarkan terbuka. Grafik 4.2 menunjukkan secara jelas perbandingan MRR dengan perlakuan yang diberikan kepada keempat sampel tersebut.





Gambar 4.6 Grafik Perbandingan jenis perlakuan terhadap MRR pada masing-masing sampel

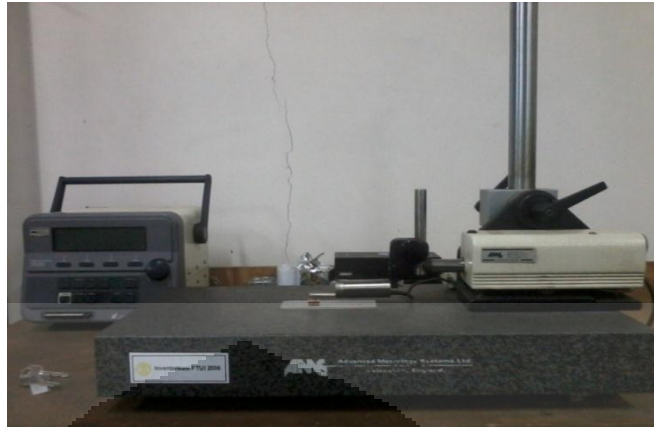




Gambar 4.7 Hasil mikrofografi SEM sampel 1 sampai sampel 4

#### 4.3 Pengujian Tingkat Kekasaran Permukaan dengan Variasi Waktu Pemesinan

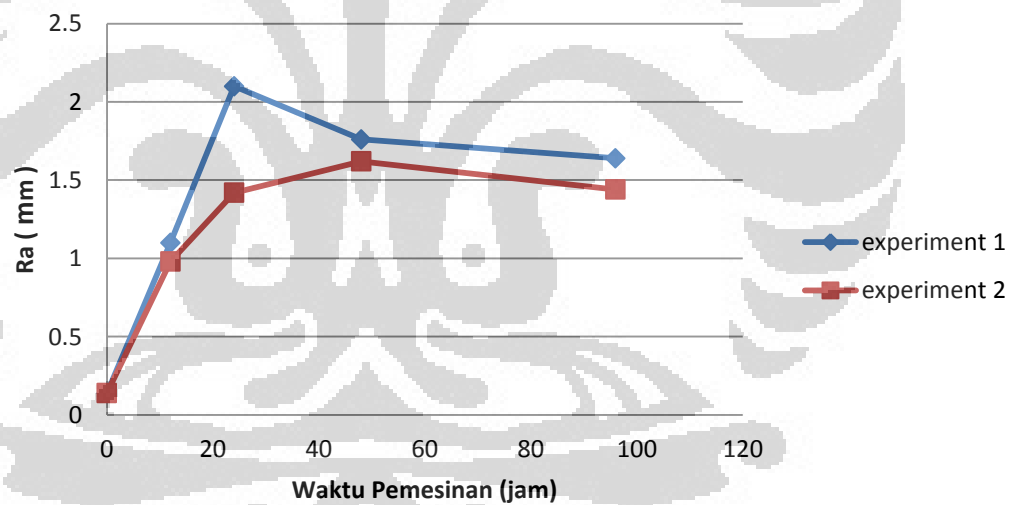
Pengujian kekasaran permukaan benda kerja setelah proses *Biomachining* yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui hubungan waktu pemesinan dengan kekasaran permukaan seperti yang sudah dilakukan peneliti sebelumnya. Parameter kekasaran permukaan yang diuji adalah  $Ra$ , dan pengujian dilakukan untuk proses *Biomachining* yang berlangsung setiap 12 jam untuk 3 kali pengambilan data yang dilakukan pada 2 kondisi berbeda yaitu pada cairan medium 9K steril dan cairan medium 9K kultur bakteri. Setelah waktu pemesinan tertentu, semua data tersebut dibandingkan. Gambar 4.8 menunjukkan proses pengujian kekasaran permukaan, dan tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran kekasaran permukaan benda kerja setelah proses pemesinan.



Gambar 4.8 Proses pengujian kekasaran permukaan

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Ra setiap 12 Jam

Benda Kerja	Waktu Pemesinan (jam)	Ra (Roughness Average)	
		Percobaan 1	Percobaan 2
1	0	0.14	0.14
2	12	1.1	0.98
3	24	2.1	1.42
4	48	1.76	1.62
5	96	1.64	1.44

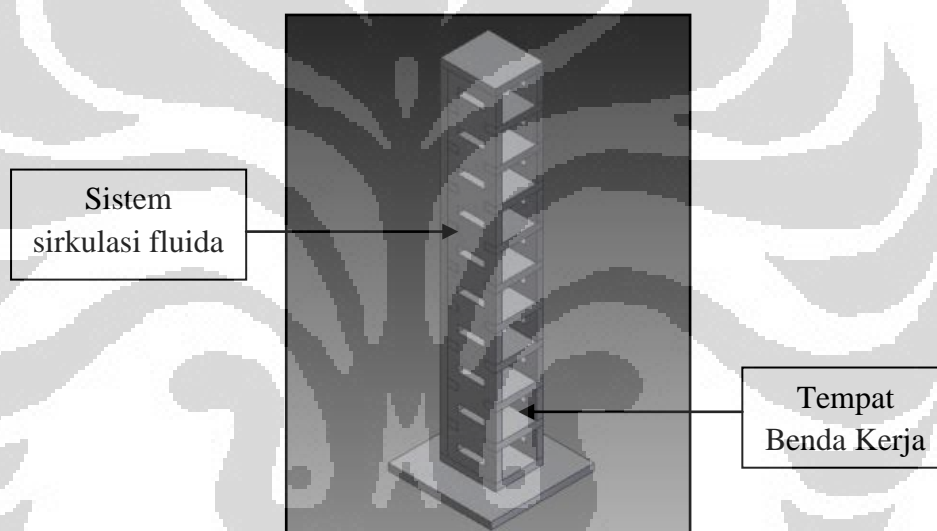


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan waktu pemesinan dengan perubahan tingkat kekasaran permukaan

Gambar 4.9 menunjukkan grafik perbandingan waktu pemesinan dengan perubahan tingkat kekasaran permukaan. Berdasarkan gambar 4.9 terlihat bahwa tingkat kekasaran naik berbanding lurus dengan bertambahnya waktu pemesinan. Namun penambahan yang terjadi tidak sama dari setiap penambahan waktu yang diberikan.

#### 4.4 Pengujian Pengaruh Posisi Benda Kerja Terhadap Permukaan Cairan Medium Kultur Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dalam proses *Biomachining*

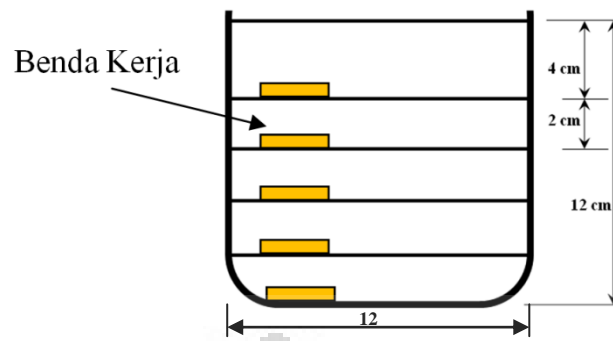
Pengujian pengaruh posisi benda kerja terhadap permukaan cairan medium kultur bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* ini diharapkan diperolehnya daerah optimal dari medium untuk dilakukan proses *biomachining*. Pada pengujian ini parameter utama yang akan dianalisa yaitu jarak antara benda kerja dengan permukaan cairan medium kultur bakteri serta material removal rate yang diukur dengan waktu tertentu. Benda kerja yang digunakan diletakkan dalam rak akrilik untuk mengatur ketinggian benda kerja tersebut.



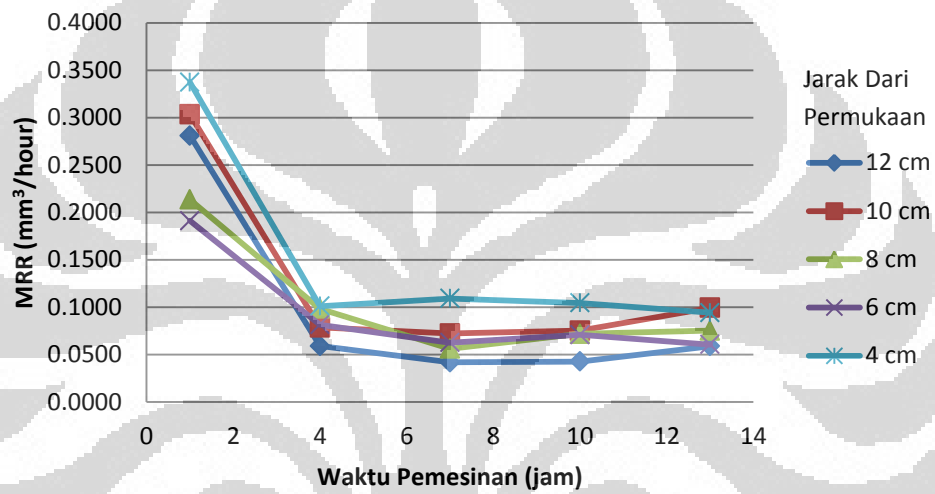
Gambar 4.10 Desain Stripe Case



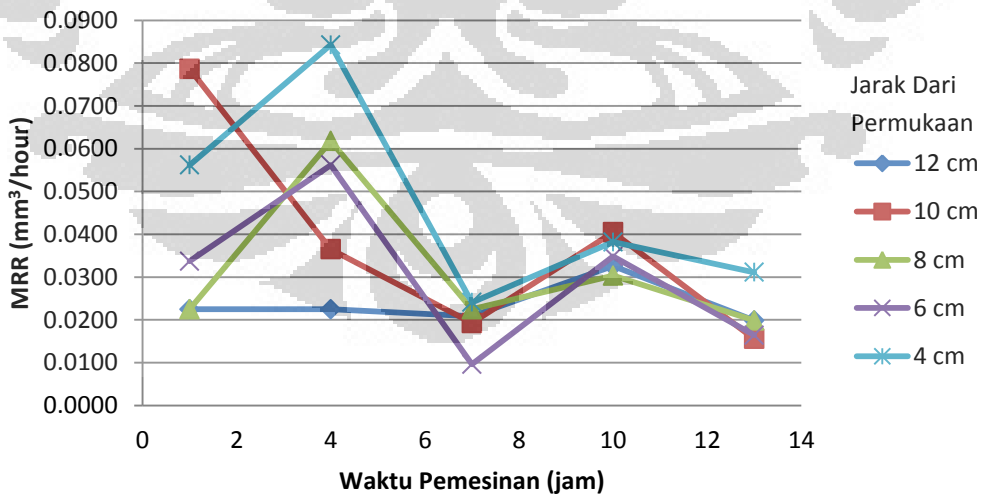
Gambar 4.11 Penempatan benda kerja pada Stripe case



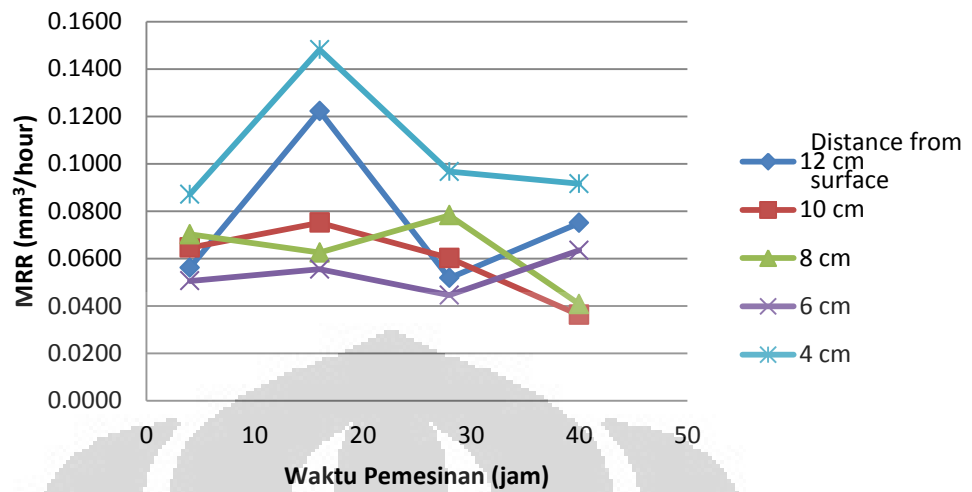
Gambar 4.12 Ilustrasi benda kerja di dalam cairan medium 9K



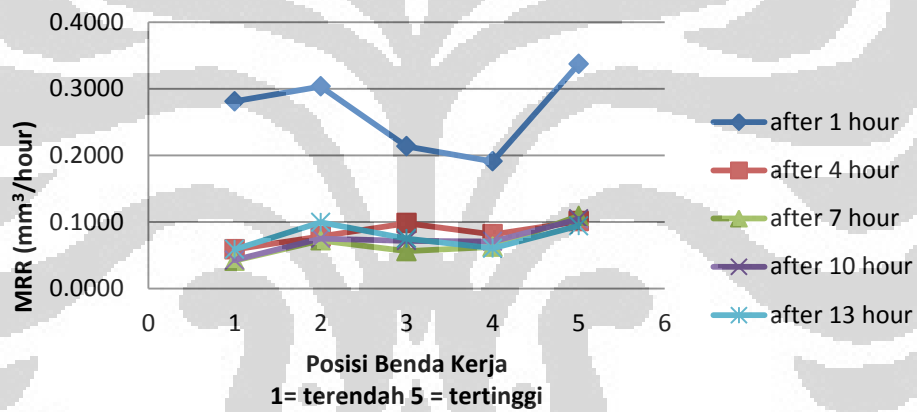
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Machining Time Terhadap Perubahan MRR Percobaan 1



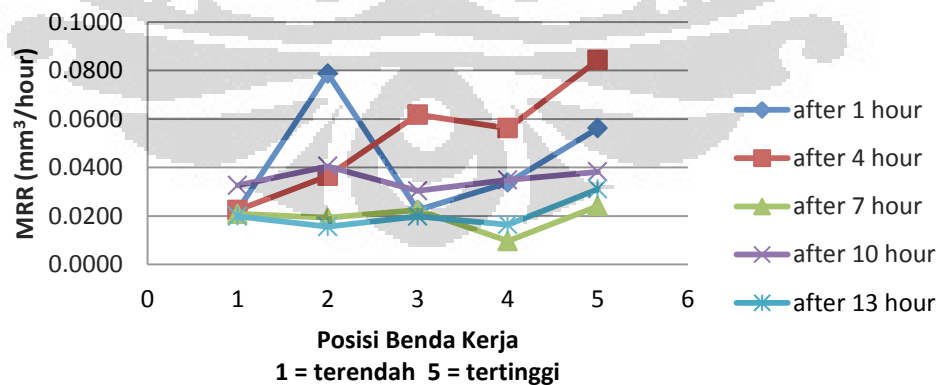
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Machining Time Terhadap Perubahan MRR Percobaan 2



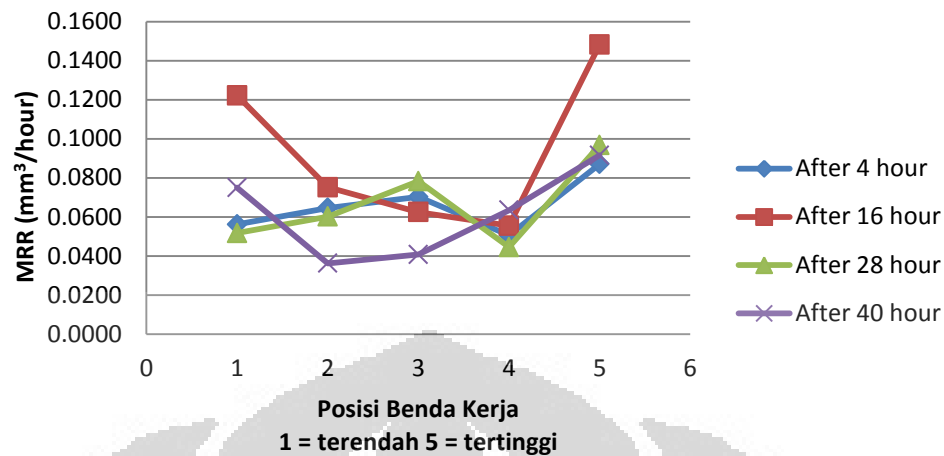
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Machining Time Terhadap Perubahan MRR Percobaan 3



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR

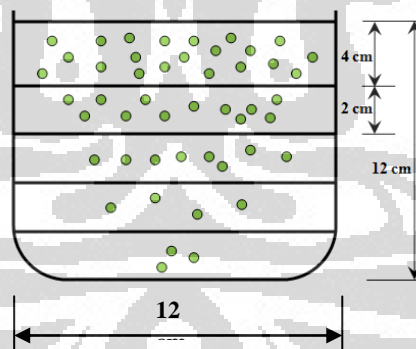


Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR



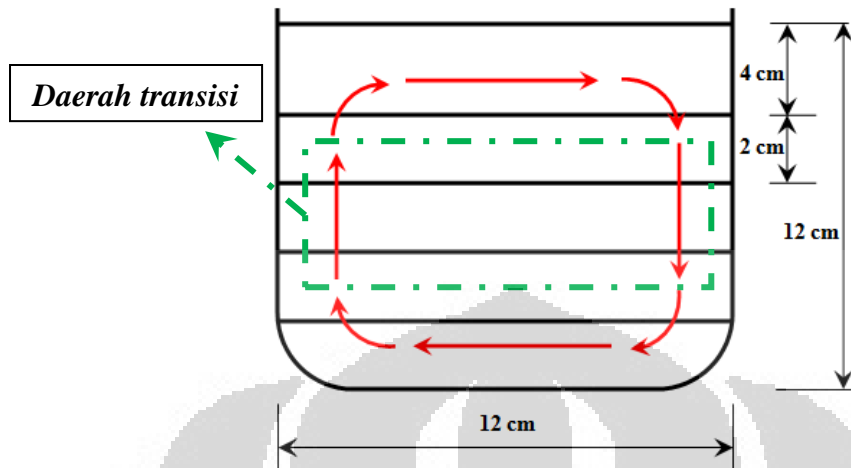
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Posisi Benda Kerja Terhadap Perubahan MRR

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 permesinan yang dilakukan. Hal ini terlihat dari *material removal rate* pada bagian paling atas selalu lebih besar pada setiap jam proses *biomachining*.



Gambar 4.19 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 permesinan dengan kemampuan *material removal rate* tertentu.

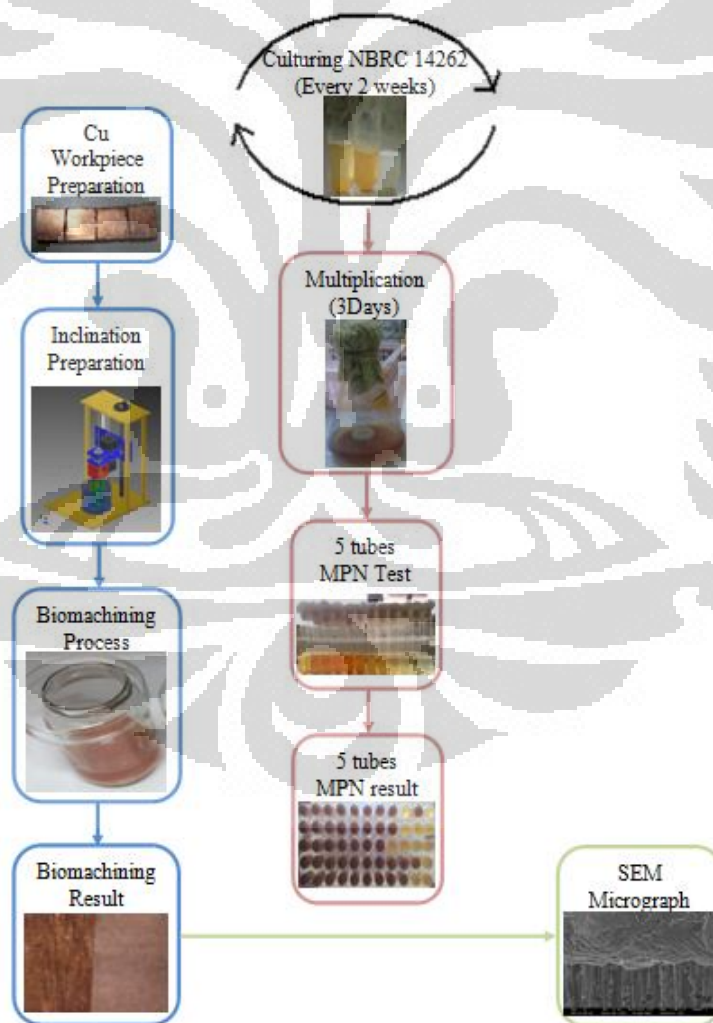


*Gambar 4.20 Ilustrasi pergerakan bakteri penyebab ketidakefektifan proses permesinan pada posisi 2,3, dan 4 atau daerah transisi.*



**BAB 5**  
**ANALISIS PENGARUH INKLINASI BENDA KERJA DALAM**  
**CAIRAN MEDIUM KULTUR BAKTERI *Acidithiobacillus***  
***ferrooxidans* UNTUK PENGEMBANGAN PROSES**  
**BIOMACHINING MULTI-AXIS**

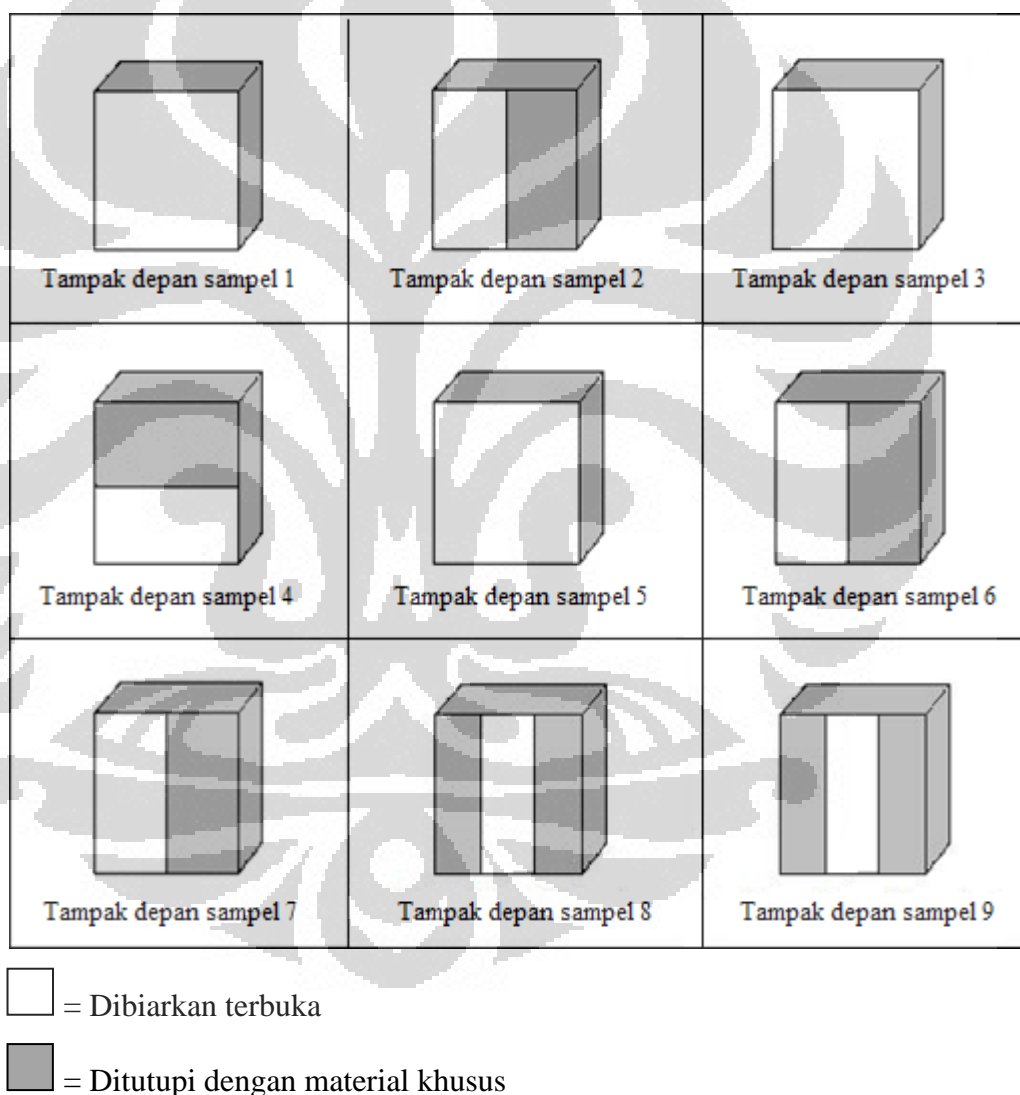
Penelitian tentang *Biomachining* yang dilakukan berfokus pada kemampuan dari *Acidithiobacillus ferrooxidans* melakukan *multi-axis* machining. Bakteri yang digunakan berasal dari *strain* NRBC 14262. Secara garis besar fokus utama penelitian ini dapat dibagi menjadi 3 poin yaitu: (1) persiapan benda kerja, (2) kultur berkelanjutan untuk bakteri, dan (3) mikrografi SEM. Gambar 5.1 menunjukkan detail proses *Biomachining* yang dilakukan.



*Gambar 5.1 Proses Biomachining*

### 5.1 Persiapan Benda Kerja

Dalam percobaan *Biomachinig* yang dilakukan, 9 sampel tembaga dengan dimensi 10x10x4mm digunakan, dimana 5 sisi dari benda kerja tersebut ditutupi dengan menggunakan material khusus, dengan 1 sisi muka 10x10mm benda kerja tersebut dibiarkan terbuka ataupun setengah terbuka. Bagian yang dibiarkan terbuka tersebut dihaluskan dengan menggunakan kertas amplas dengan *grit* 1500. Gambar 5.2 menunjukkan detail bagian depan benda kerja yang digunakan.



Gambar 5.2 Tampak depan benda kerja

## 5.2 Kultur Berkelanjutan Bakteri

Dalam percobaan *Biomachining* yang dilakukan, bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* berperan sebagai *cutting tool*, dan dapat dikembangbiakkan secara terus menerus. Untuk menumbuhkan bakteri tersebut, dibutuhkan lingkungan dengan pH 1.5-2.5 dan ion besi sebagai sumber electron yang digunakan saat bakteri tersebut melakukan metabolisme.

Beberapa milliliter dari cairan dengan bakteri yang sudah terkultur diambil dan dicampurkan ke dalam erlenmeyer berisi 150mL cairak 9K segar, dan kemudian erlenmeyer tersebut diletakkan di dalam shaker dengan kecepatan putar 110 rpm pada temperatur 28<sup>0</sup>C sebelum digunakan dalam proses *Biomachining*.

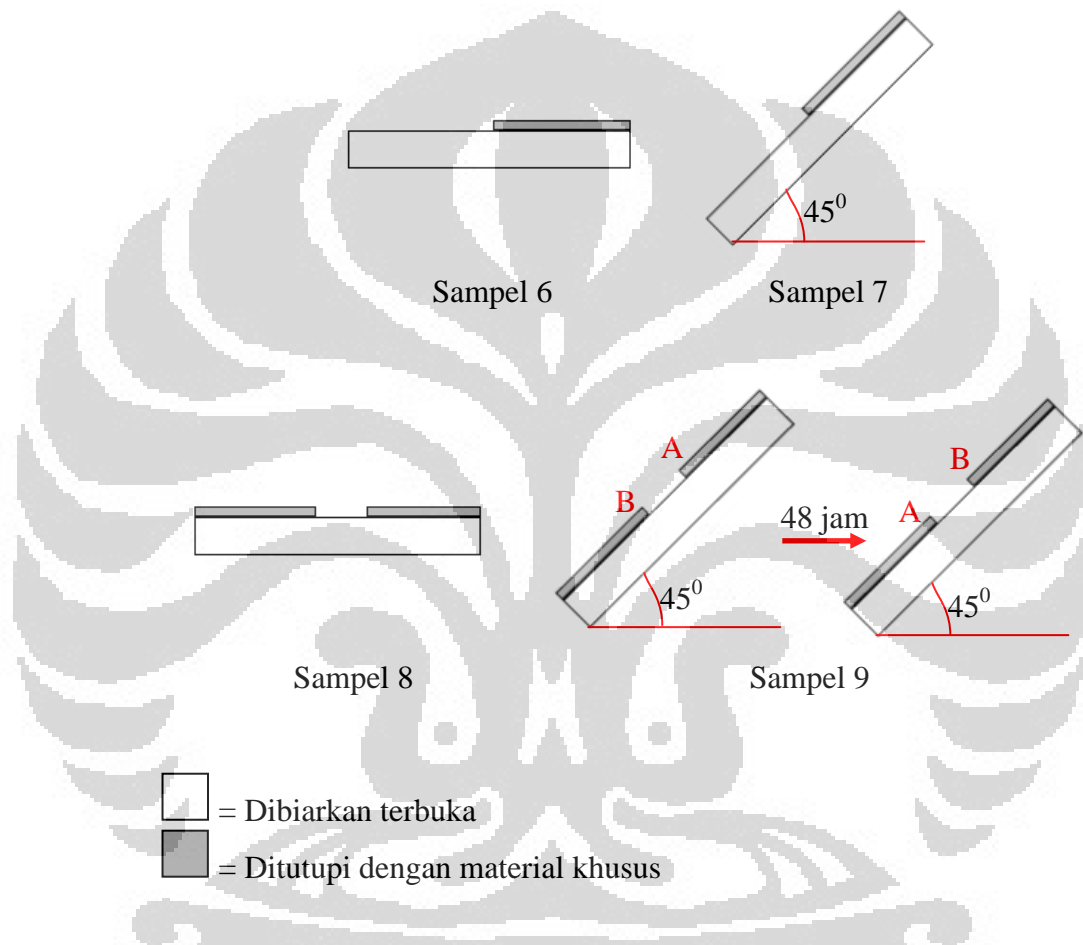
Setelah percobaan *Biomachining* dilakukan, metode MPN digunakan untuk mengestimasi secara kuantitatif jumlah bakteri yang terdapat di dalam erlenmeyer dan digunakan untuk proses *Biomachining*.

## 5.3 Fokus Proses *Biomachining* Pengaruh Inklinasi dan Waktu Pemesinan Terhadap Kedalaman Pelepasan Material

Proses *Biomachining* dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dalam melakukan pemesinan *multi-axis*. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan 9 sampel benda kerja tembaga dan diberi nama sampel 1 sampai dengan sampel 9. Sampel 1 sampai dengan sampel 4 diletakkan di dalam cairan medium 9K dengan kultur bakteri di dalamnya, dengan sisi depan yang dibiarkan terbuka dan sisi lainnya ditutupi dengan menggunakan material khusus. Sisi depan sampel 1 dan 3 dibiarkan terbuka seluruhnya, sedangkan setengah sisi depan sampel 2 dan 4 ditutupi dengan material khusus dengan arah yang berbeda. Untuk sampel 5, sisi depannya dibiarkan terbuka dengan sisi lainnya ditutupi dengan material khusus, dan sampel 5 diletakkan dalam cairan medium 9K steril. Sampel 1 sampai dengan sampel 5 diletakkan secara vertical mengacu pada permukaan medium 9K yang digunakan.

Sepuluh permukaan depan sampel 6 dan sampel 7 juga dibiarkan terbuka, dengan permukaan lainnya ditutupi dengan menggunakan material khusus. Sedangkan sampel 8 dan sampel 9, kedua ujung bagian

depan sampel tersebut ditutupi dengan menggunakan material khusus, sehingga hanya menyisakan sedikit bagian tengah material tersebut terbuka. Detail bagian depan sampel 1 sampai dengan sampel 9 dapat dilihat kembali pada gambar 5.2, dan detail posisi sampel 6 sampai dengan posisi 9 dapat dilihat pada gambar 5.3 dan gambar 5.4.



*Gambar 5.3 Posisi sampel 6 sampai 9*

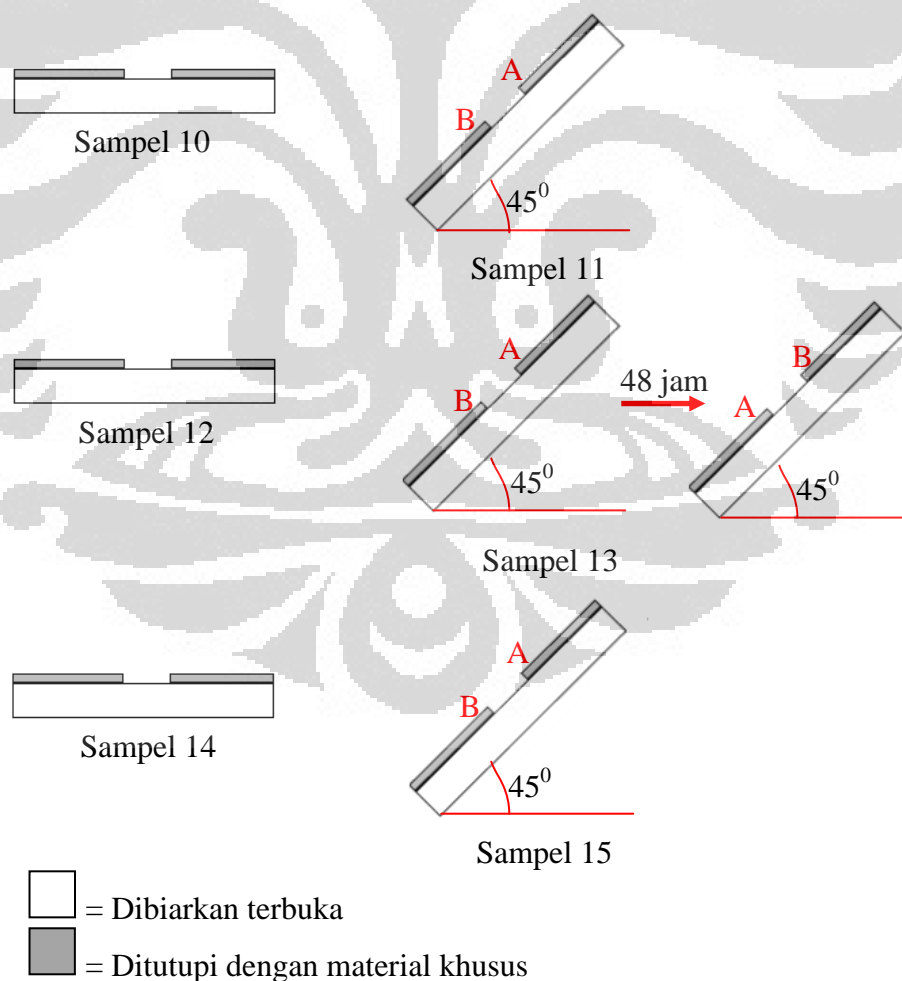
Seperti terlihat pada gambar 5.3, sampel 6 diletakkan secara horizontal, dan sampel 7 diletakkan dengan sudut  $45^{\circ}$  dari arah horizontal, dan putaran dilakukan berlawanan dengan arah jarum jam.

Gambar 5.4 menunjukkan sampel 8 diletakkan secara horizontal seperti sampel 6, dan sampel 9 diletakkan searah dengan sampel 7. Namun, setelah waktu pemesinan tertentu, sampel 9 diputar  $90^{\circ}$  searah jarum jam dari arah awal benda kerja tersebut.

Waktu pemesinan untuk sampel 1 sampai dengan sampel 7 adalah 48jam, sedangkan waktu pemesinan untuk sampel 8 adalah 96 jam. Untuk sampel 9, waktu pemesinan pertama adalah 48 jam, sebelum kemudian diputar  $90^{\circ}$  dan diletakkan kembali kedalam cairan medium 9K selama 48jam. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan dapat dilihat pada bagian Hasil dan Analisis, termasuk hasil foto SEM untuk ke-9 benda kerja yang digunakan.

#### 5.4 Fokus Proses *Biomachining* Pengaruh Inklinasi dan Waktu Terhadap Profil Pelepasan Material

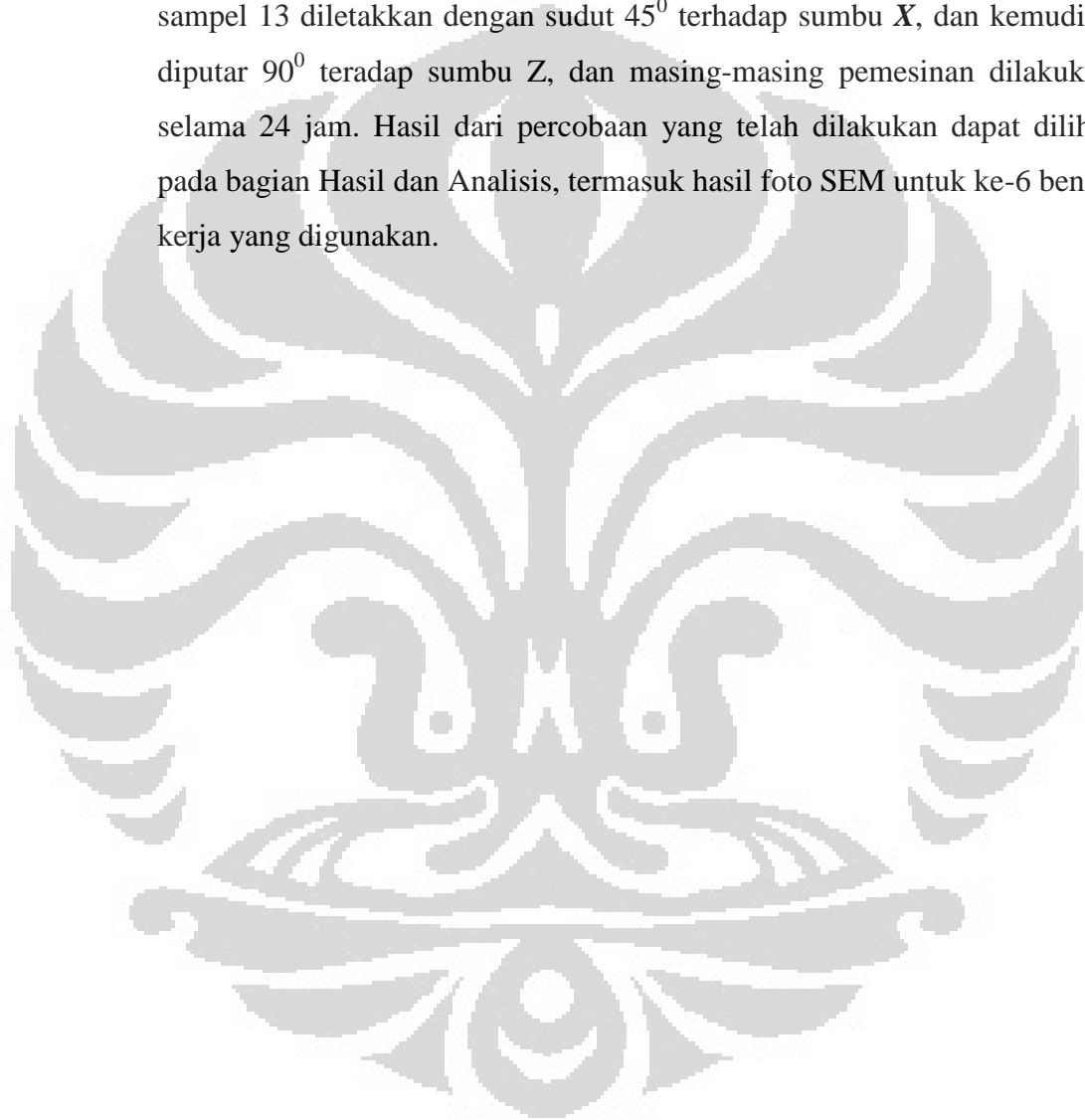
Fokus Penelitian yang dilakukan selanjutnya adalah pengamatan profil hasil pelepasan material dengan variasi waktu dan sudut inklinasi yang diberikan pada benda kerja. Gambar 5.5 menunjukkan keadaan benda kerja yang digunakan.



Gambar 5.4 Keadaan sampel 10 – sampel 15

Sampel 10, sampel 12, dan sampel 14 diletakkan secara sejajar terhadap sumbu x, dengan waktu pemesinan yang berbeda-beda, 24 jam untuk sampel 10, 48 jam untuk sampel 12, dan 72 jam untuk sampel 14.

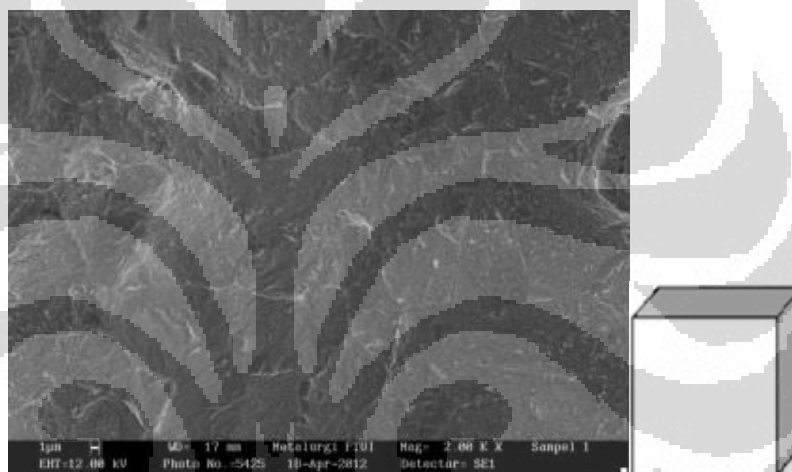
Sampel 11 dan sampel 15 diletakkan dengan sudut  $45^{\circ}$  terhadap sumbu  $X$  dengan waktu pemesinan yang berbeda, 24 jam untuk sampel 11 dan 48 jam untuk sampel 15. Sedangkan untuk sampel 13, mula-mula sampel 13 diletakkan dengan sudut  $45^{\circ}$  terhadap sumbu  $X$ , dan kemudian diputar  $90^{\circ}$  terhadap sumbu  $Z$ , dan masing-masing pemesinan dilakukan selama 24 jam. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan dapat dilihat pada bagian Hasil dan Analisis, termasuk hasil foto SEM untuk ke-6 benda kerja yang digunakan.



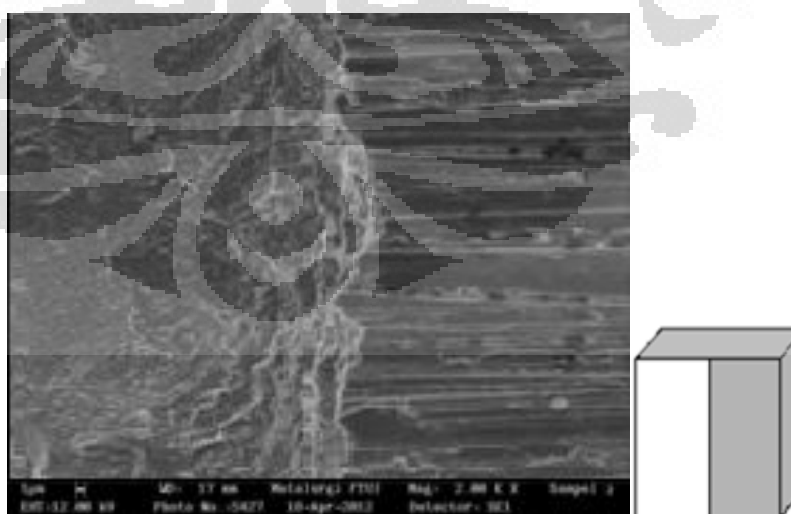
## BAB 6

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

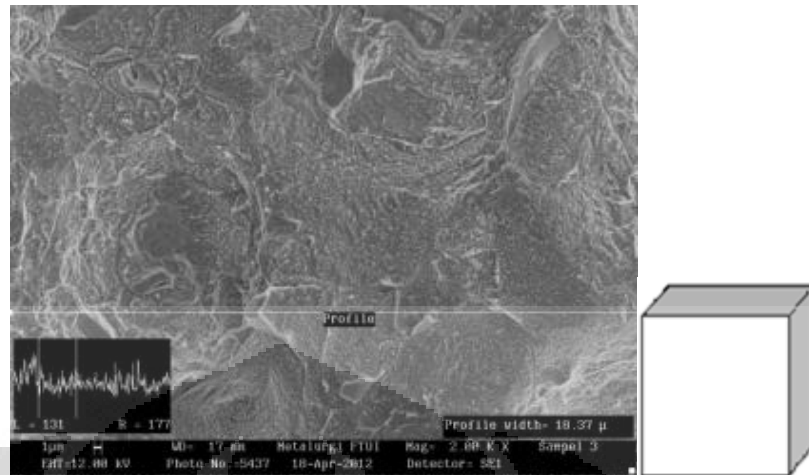
Mengacu pada penelitian pertama mengenai karakterisasi awal bakteri, dapat diamati adanya perbedaan hasil pemesinan yang dilakukan antara cairan medium 9K berisi kultur bakteri dan cairan medium 9K steril pada benda kerja. Gambar 6.1 – gambar 6.5 menunjukkan hasil mikrografi SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk benda kerja setelah proses pemesinan selama 48 jam dalam keadaan RTP (*Room Temperature and Pressure*, 28<sup>0</sup>, 1 atm).



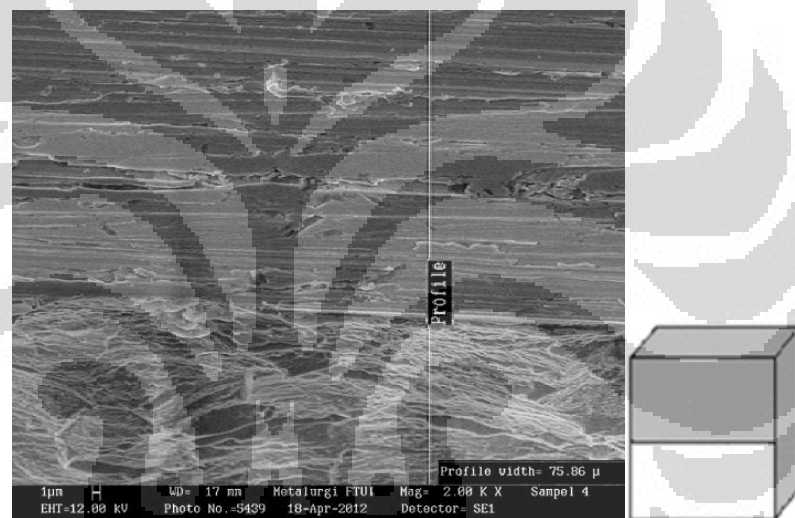
Gambar 6.1 Tampak Depan Sampel 1



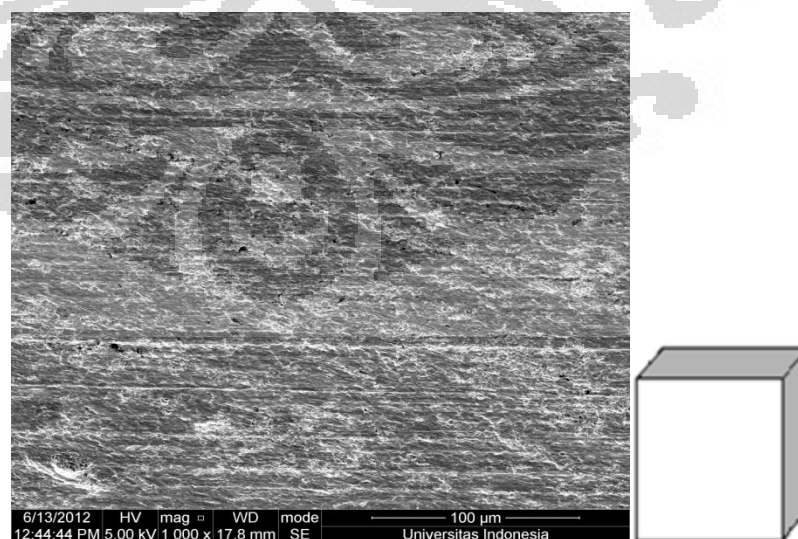
Gambar 6.2 Tampak Depan Sampel 2



*Gambar 6.3 Tampak Depan Sampel 3*



*Gambar 6.4 Tampak Depan Sampel 4*

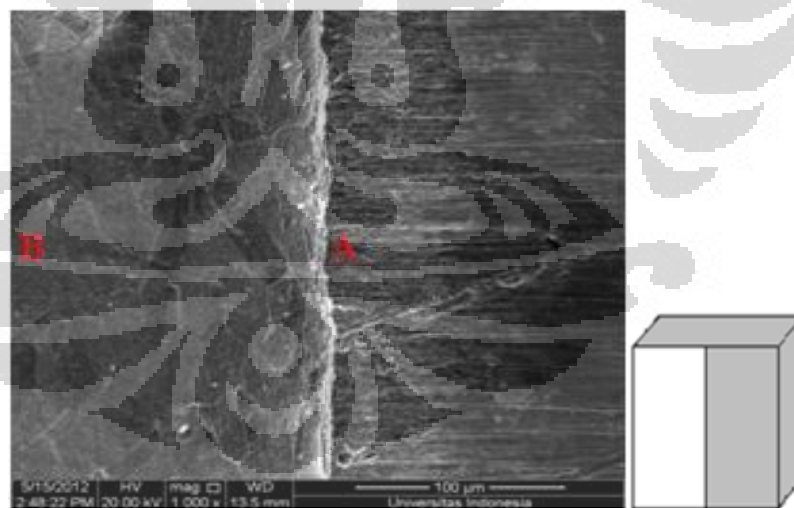


*Gambar 6.5 Tampak Depan Sampel 5*

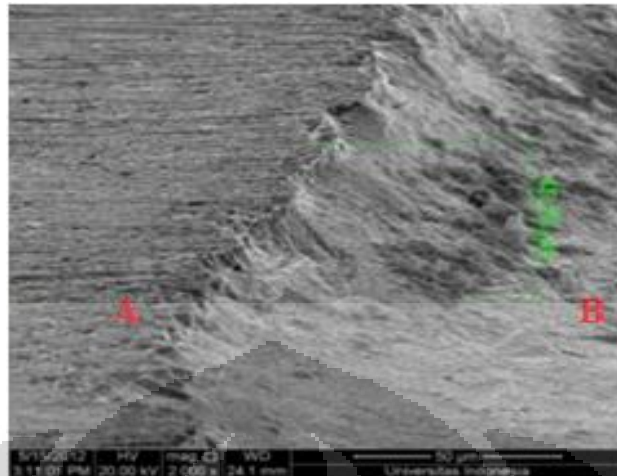


Hasil mikrografi SEM (*Scanning Electron Microscope*) menunjukkan adanya perbedaan permukaan antara bagian yang ditutupi dan bagian yang dibuka. Terlihat juga adanya perbedaan yang jelas antara proses pemesinan yang terjadi pada sampel yang diletakkan dalam medium 9K yang berisi kultur bakteri dan medium 9K steril. Proses pelepasan material terjadi pada kedua jenis medium 9K, namun proses *Biomachining* hanya terjadi pada medium 9K dengan kultur bakteri di dalamnya, dan hanya oksidasi yang terjadi pada sampel 5 yang diletakkan dalam medium 9K steril. Oksidasi tersebut terjadi karena sifat asam dari medium 9K itu sendiri.

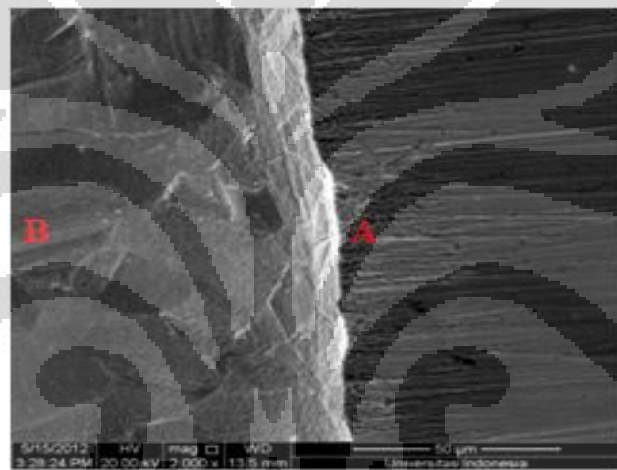
Percobaan pada sampel 1 sampai dengan sampel 5 dilakukan untuk mengetahui karakteristik proses pemesinan yang dilakukan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan bagaimana efeknya terhadap permukaan benda kerja, sedangkan percobaan yang dilakukan pada sampel 6 sampai sampel 9 bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari *Acidithiobacillus ferrooxidans* untuk melakukan *multi-axis Biomachining*. Gambar 6.6 sampai Gambar 6.13 menunjukkan hasil mikrografi SEM untuk Sampel 6 sampai dengan Sampel 9.



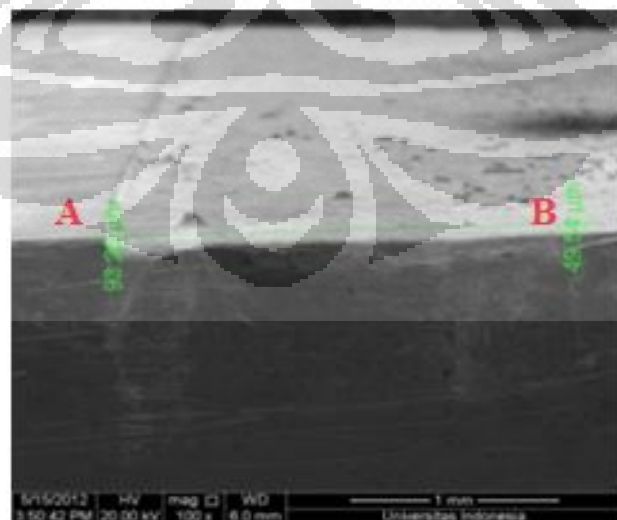
Gambar 6.6 Tampak Atas Sampel 6



*Gambar 6.7 Tampak Samping Sampel 6*



*Gambar 6.8 Tampak Atas Sampel 7*

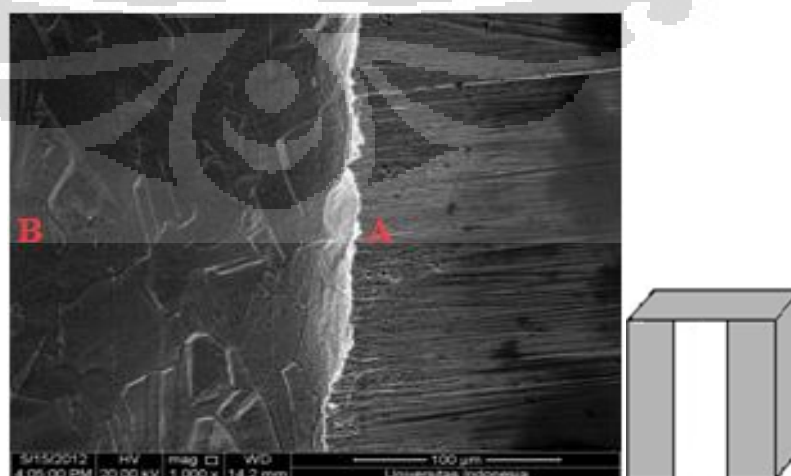


*Gambar 6.9 Tampak Samping Sampel 7*

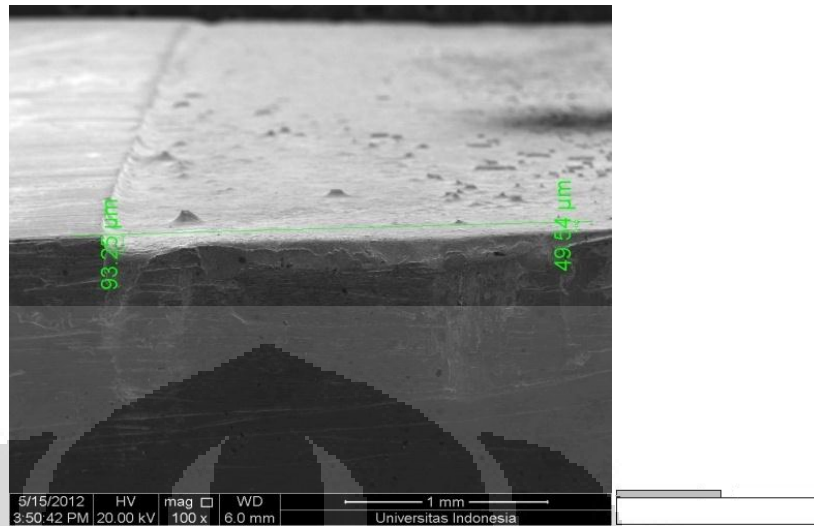
Berdasarkan tampak samping dari Sampel 6 dan Sampel 7, dapat dilihat bahwa pada sampel 6 tidak adanya perbedaan yang berarti pada kedalaman pelepasan material di titik A (titik di tengah-tengah benda kerja) dan titik B (titik di pinggir benda kerja). Namun pada Sampel 7, terlihat dengan jelas bahwa adanya perbedaan kedalaman pelepasan material di titik A dan titik B.

Hasil mikrografi SEM untuk Sampel 7 menunjukkan bahwa kedalaman pelepasan material pada titik A 55% lebih besar dibandingkan kedalaman pelepasan material di titik B. Hal ini dapat terjadi karena jarak benda kerja terhadap permukaan medium cair 9K yang memengaruhi kecepatan pelepasan benda kerja, dan juga disebabkan oleh inklinasi yang diberikan pada benda kerja. Bagaimana inklinasi yang diberikan memengaruhi proses *Biomachining* akan diteliti lebih lanjut dan diharapkan meningkatkan kemungkinan melakukan *multi-axis Biomachining*.

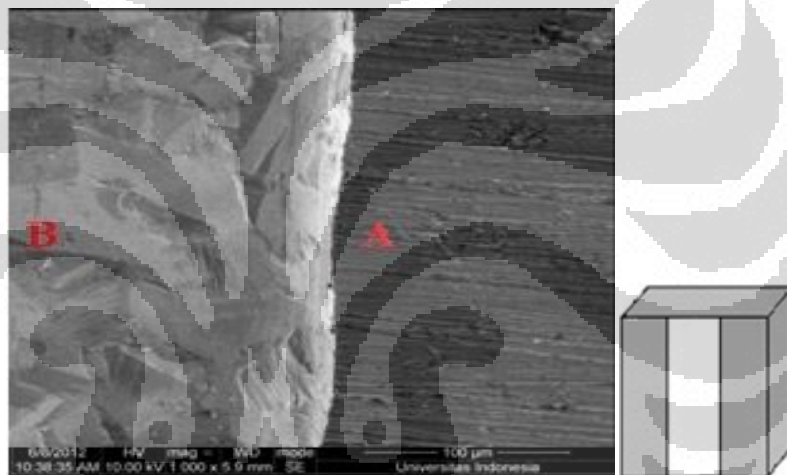
Berdasarkan hasil mikrografi SEM untuk Sampel 8 dan Sampel 9, dapat dilihat bahwa Sampel 8, yang diletakkan searah dengan Sampel 6 dalam medium 9K berkultur bakteri dengan waktu pemesinan yang berbeda dapat dilihat bahwa adanya pola linear antara material yang dimakan dengan waktu pemesinan seperti yang telah diungkapkan peneliti sebelumnya. Semakin lama waktu pemesinannya, semakin banyak material yang dimakan, dan pola pelepasan material tersebut berbentuk linear. Gambar 6.10 sampai dengan Gambar 6.13 menunjukkan hasil mikrografi SEM pada tampak atas dan samping Sampel 8 dan Sampel 9.



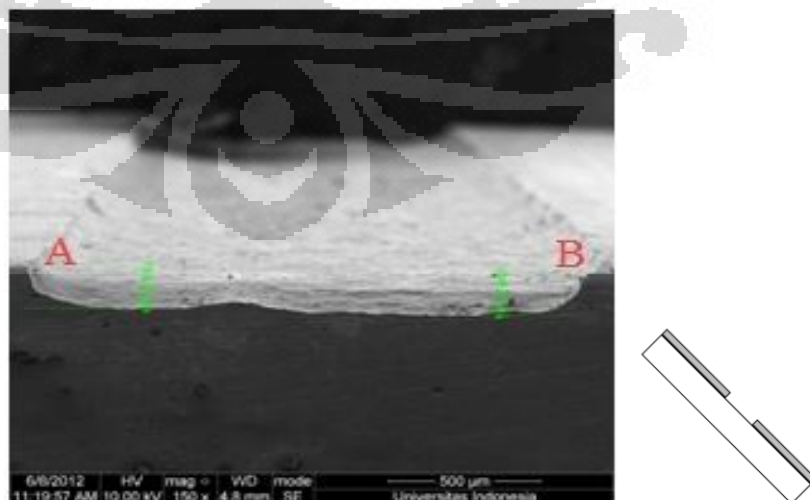
Gambar 6.10 Tampak Atas Sampel 8



*Gambar 6.11 Tampak Samping Sampel 8*



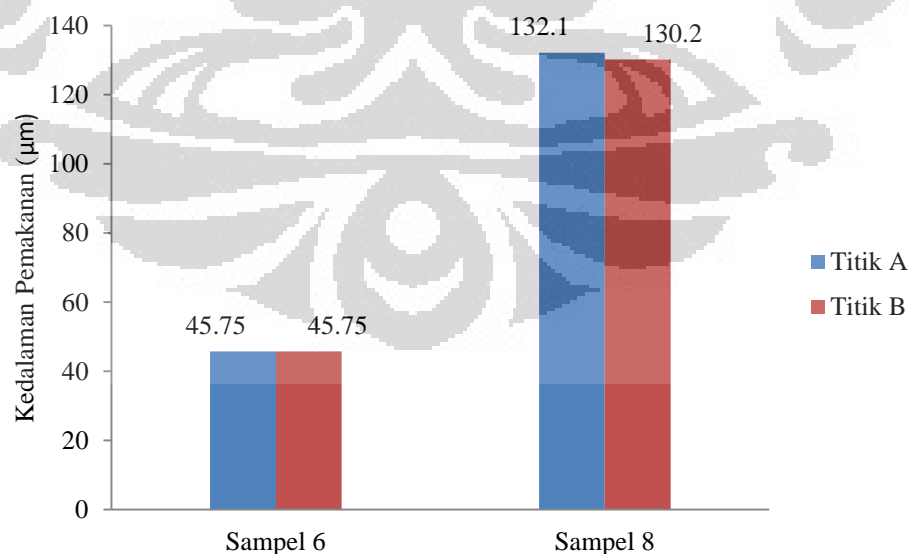
*Gambar 6.12 Tampak Atas Sampel 9*



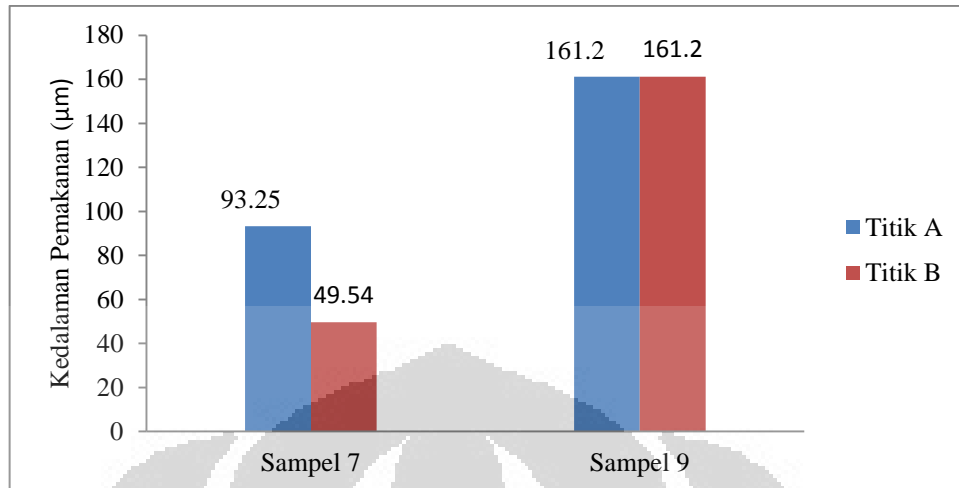
*Gambar 6.13 Tampak Samping Sampel 9*

Berdasarkan hasil mikrografi SEM untuk Sampel 8, dapat dilihat bahwa kedalaman pelepasan material untuk Sampel 8 memiliki pola yang mirip dengan Sampel 6, kedalaman pelepasan material untuk Sampel 8 lebih besar karena waktu pemesinannya yang lebih lama. Sedangkan untuk Sampel 9, dapat dilihat bahwa kedalaman pelepasan material dari titik A dan titik B sama besar, dan hal ini terjadi karena adanya pemberian inklinasi dan perubahan sudut inklinasi. Pada 48 jam pertama kondisi Sampel 9 akan identik dengan kondisi Sampel 7, namun setelah proses *Biomachining* selama 48 jam, Sampel 7 dibersihkan dan diamati, sedangkan Sampel 9 mengalami tambahan 48 jam waktu pemesinan. Pada mulanya di titik A Sampel 9 kedalaman pelepasan materialnya lebih besar dikarenakan pengaruh ketinggian titik A yang lebih besar dibandingkan dengan titik B diukur dari dasar cairan medium 9K seperti yang sedang diteliti oleh peneliti lain di lab. Teknologi Manufaktur dan Otomasi rantai 2, namun setelah diputar untuk 48 jam selanjutnya, titik A pada Sampel 9 menjadi lebih rendah dibandingkan titik B sehingga kedalaman pelepasan material di titik B menjadi lebih besar pada kondisi 2. Hal ini menyebabkan samanya kedalaman pelepasan material pada kedua titik tersebut setelah 96 jam proses *Biomachining*.

Gambar 6.14 dan gambar 6.15 menunjukkan grafik perubahan kedalaman pelepasan material pada sampel yang tidak diinklinasi dan diinklinasi.



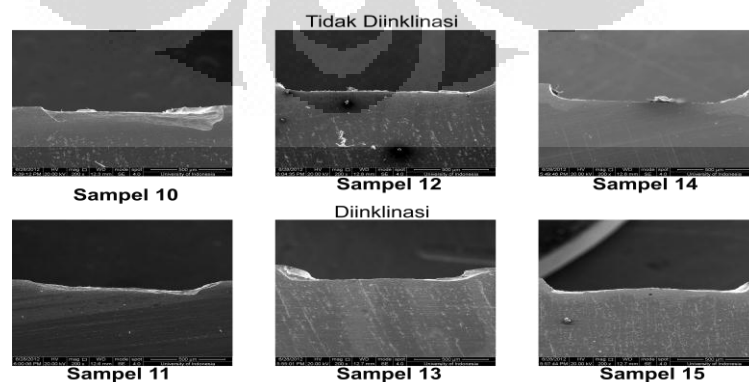
Gambar 6.14 Grafik kedalaman pelepasan material pada sampel yang tidak diberi sudut inklinasi



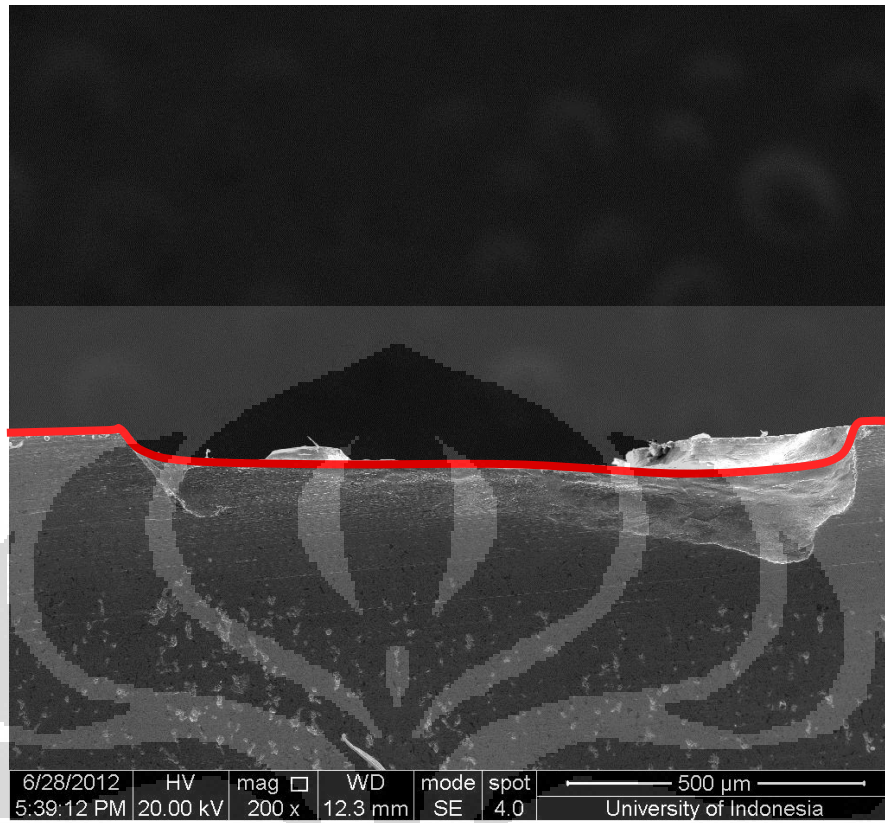
Gambar 6.15 Grafik kedalaman pelepasan material pada sampel yang diberi sudut inklinasi

Seperti terlihat pada gambar 6.14 dan gambar 6.15, terjadi perbedaan kedalaman pelepasan material pada sampel yang tidak diinklinasi dan sampel yang diinklinasi. Pada sampel yang tidak diinklinasi, kedalaman pelepasan material pada kedua titik di benda kerja cenderung sama dengan sedikit perbedaan, namun pada sampel yang diinklinasi 24 jam dan tidak dibalik, terdapat perbedaan 40% kedalaman pelepasan material dimana titik yang berada pada posisi lebih tinggi memiliki lebih banyak material yang dilepaskan. Namun, setelah sampel tersebut dibalik, kedalaman pelepasan materialnya menjadi sama karena setelah dibalik untuk 24 lagi, posisi kedua titik tersebut bertukar tempat sehingga laju pelepasan material rata-ratanya untuk 48 jam menjadi setara untuk kedua titik tersebut.

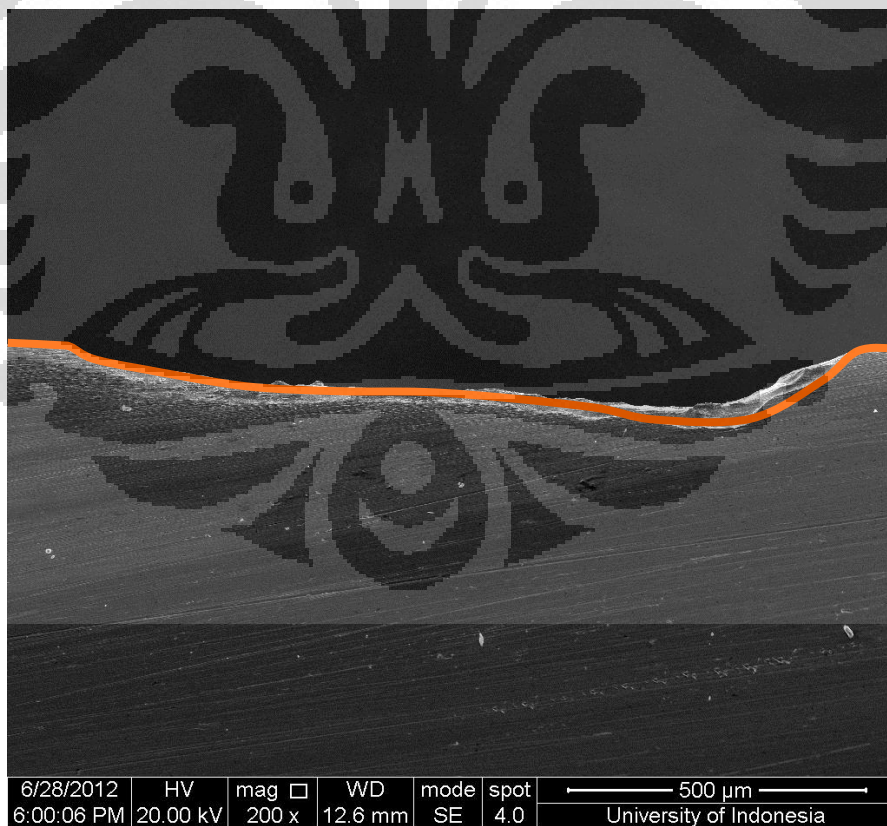
Gambar 6.16 menunjukkan hasil mikrografi SEM untuk profil pelepasan material sampel 10 – sampel 15.



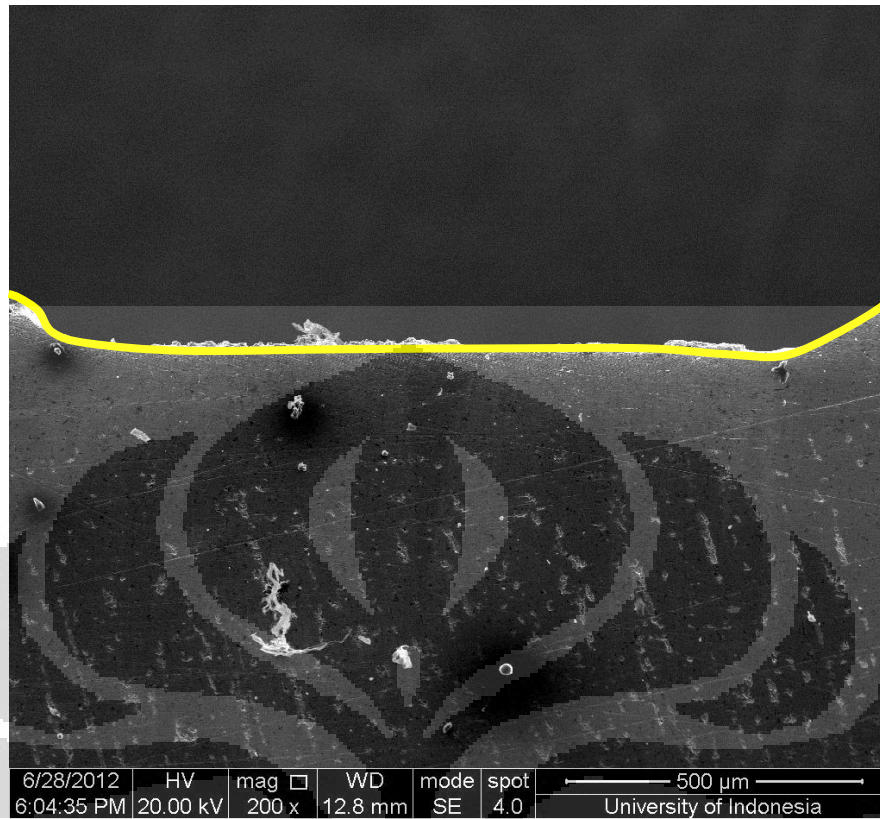
Gambar 6.16 Hasil Mikrografi SEM sampel 10 – sampel 15



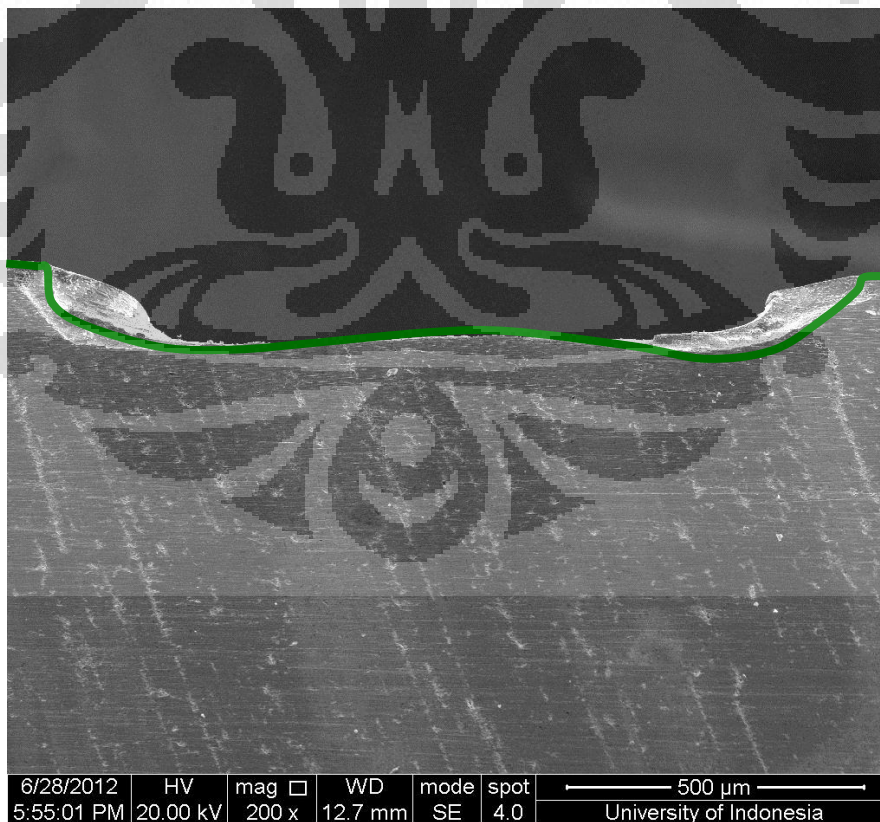
*Gambar 6.17 Profil pelepasan material pada sampel 10*



*Gambar 6.18 Profil pelepasan material pada sampel 11*

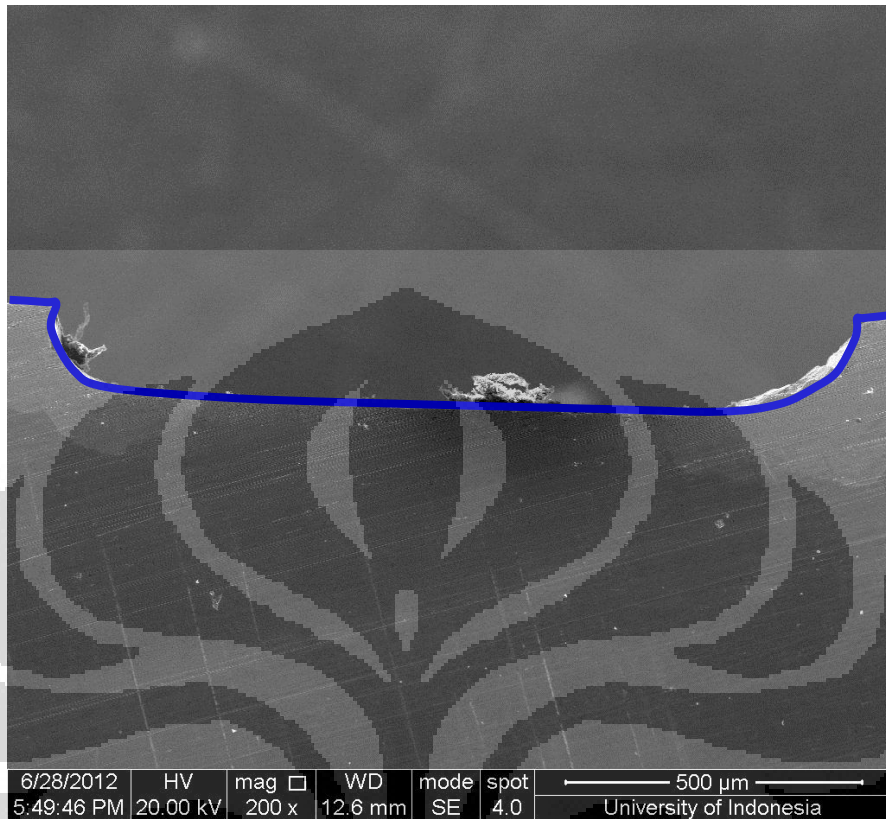


*Gambar 6.19 Profil pelepasan material pada sampel 12*

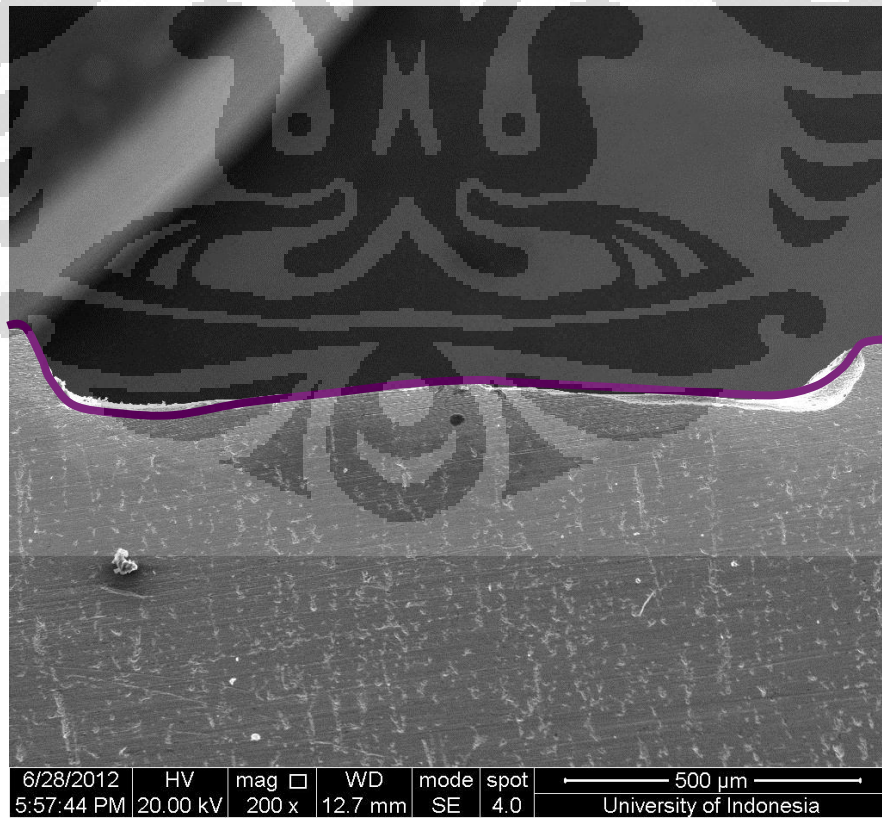


*Gambar 6.20 Profil pelepasan material pada sampel 13*



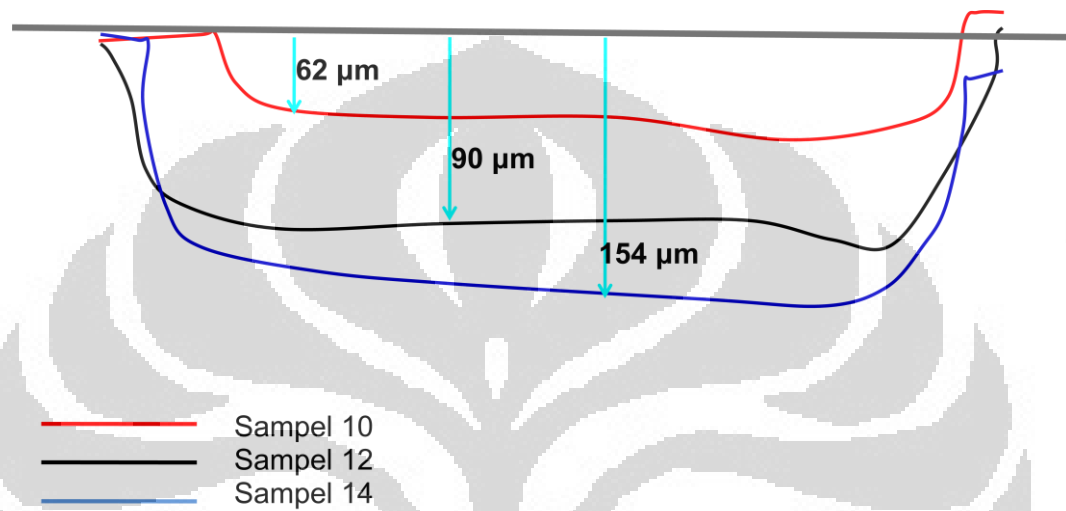


*Gambar 6.21 Profil pelepasan material pada sampel 14*

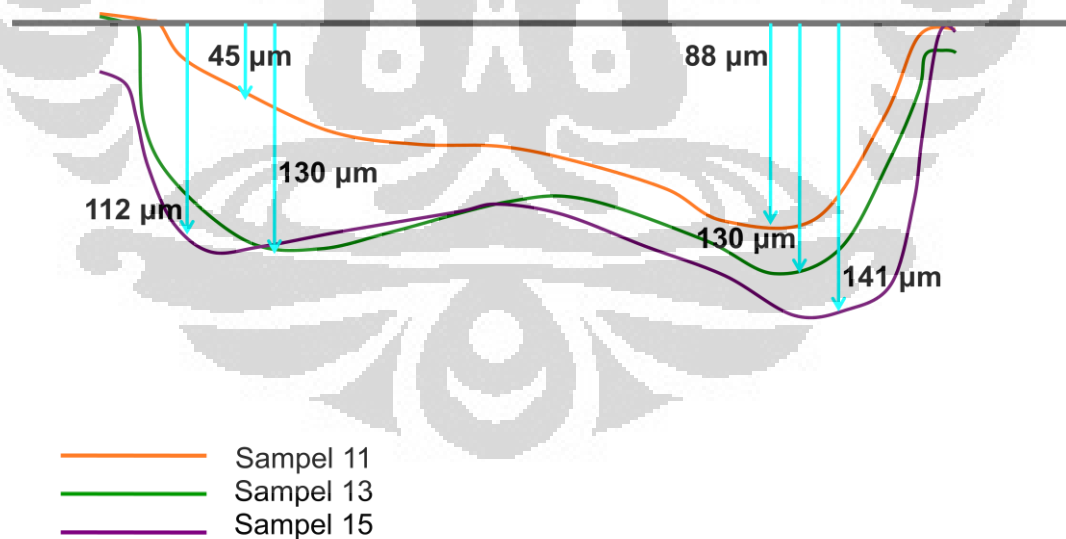


*Gambar 6.22 Profil pelepasan material pada sampel 15*

Gambar 6.15 sampai dengan gambar 6.20 menunjukkan profil dari hasil pelepasan material untuk sampel 10 sampai dengan sampel 15. Perbandingan profil pelepasan material terhadap ke-6 sampel tersebut dapat dilihat pada gambar 6.21 dan gambar 6.22



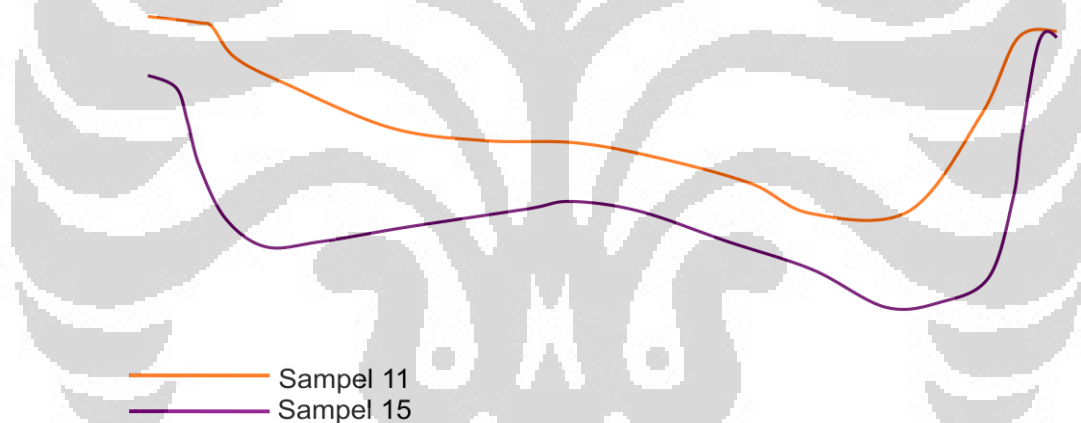
*Gambar 6.23 Perbandingan profil pelepasan material pada sampel 10, sampel 12, dan sampel 14*



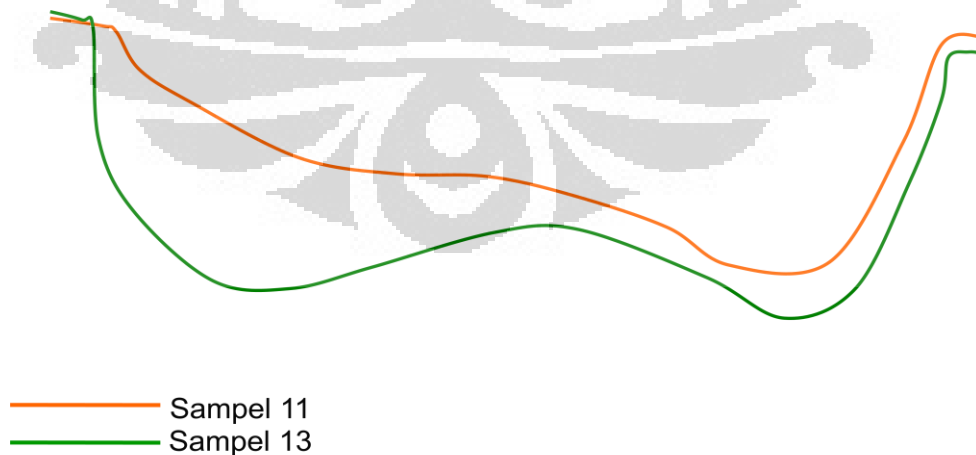
*Gambar 6.24 Perbandingan profil pelepasan material pada sampel 11, sampel 13, dan sampel 15*

Berdasarkan ilustrasi terhadap profil pelepasan material untuk sampel 10 sampai dengan sampel 15, pengamatan akan difokuskan kepada beberapa bagian. Seperti terlihat pada perbandingan untuk sampel 10, sampel 12, dan sampel 14, profil pelepasan material pada sampel-sampel tersebut menunjukkan bahwa dengan bertambahnya waktu pemesinan, maka jumlah material yang dilepaskan akan semakin banyak seperti telah dinyatakan oleh peneliti sebelumnya [1].

Untuk pengamatan hasil pelepasan material pada benda kerja yang diinklinasi, pengamatan dibagi menjadi 2 bagian besar yaitu perbandingan antara sampel 11 dengan sampel 13 dan sampel 11 dengan sampel 15. Gambar 6.23 menunjukkan perbandingan profil pelepasan material sampel 11 dengan sampel 13, dan gambar 6.24 menunjukkan perbandingan profil pelepasan material sampel 11 dan sampel 15.



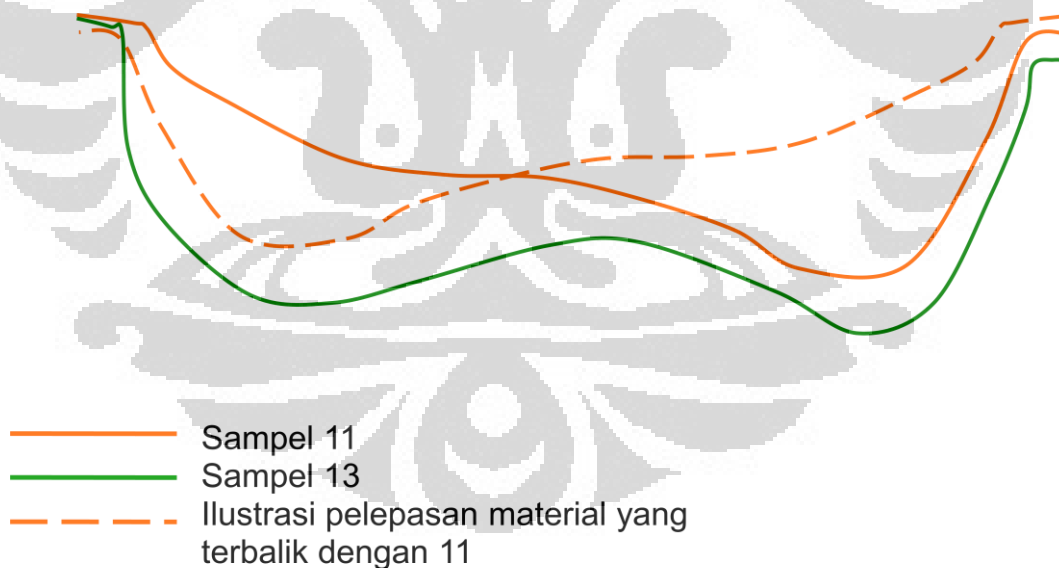
Gambar 6.25 Perbandingan profil pelepasan material sampel 11 dan sampel 15



Gambar 6.26 Perbandingan profil pelepasan material sampel 11 dan sampel 13

Seperti terlihat pada gambar 6.23, profil pelepasan material pada sampel 11 menunjukkan bahwa terjadinya pelepasan material yang tidak seimbang antara sisi kiri dan kanan benda kerja dikarenakan pemberian inklinasi sebesar  $45^{\circ}$  pada benda kerja. Sedangkan profil pelepasan material pada sampel 15 menunjukkan tidak jauhnya perbedaan kedalaman pelepasan material pada sisi kiri dan kanan benda kerja, hal ini dikarenakan waktu pemesinan yang terlalu lama.

Sedangkan untuk perbandingan profil pelepasan material untuk sampel 11 dan sampel 13, dapat dilihat bahwa sampel 13 memiliki profil yang kedalaman pelepasan material pada sisi kiri dan kanannya sama, namun dengan cembungan yang terdapat pada tengah profil benda kerja. Cembungan ini terjadi karena perbedaan sudut yang diberikan, mula-mula  $45^{\circ}$ , dan kemudian  $-45^{\circ}$ . Mula-mula arah pelepasan material pada benda kerja lebih banyak terjadi di sisi kanan, namun setelah benda kerja diputar, arah pelepasan material menjadi lebih banyak di sisi kiri benda kerja sehingga kedalaman pelepasan material pada sisi kiri dan kanan benda kerja cenderung sama dengan cembungan pada bagian tengah profil pelepasan materialnya. Gambar 6.24 menunjukkan ilustrasi terhadap pelepasan material pada sampel 13.



*Gambar 6.27 Ilustrasi pelepasan material yang terjadi pada sampel 13*

## BAB 7

### KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT

#### 7.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh percobaan yang telah dilakukan termasuk karakterisasi awal dan fokus penelitian, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

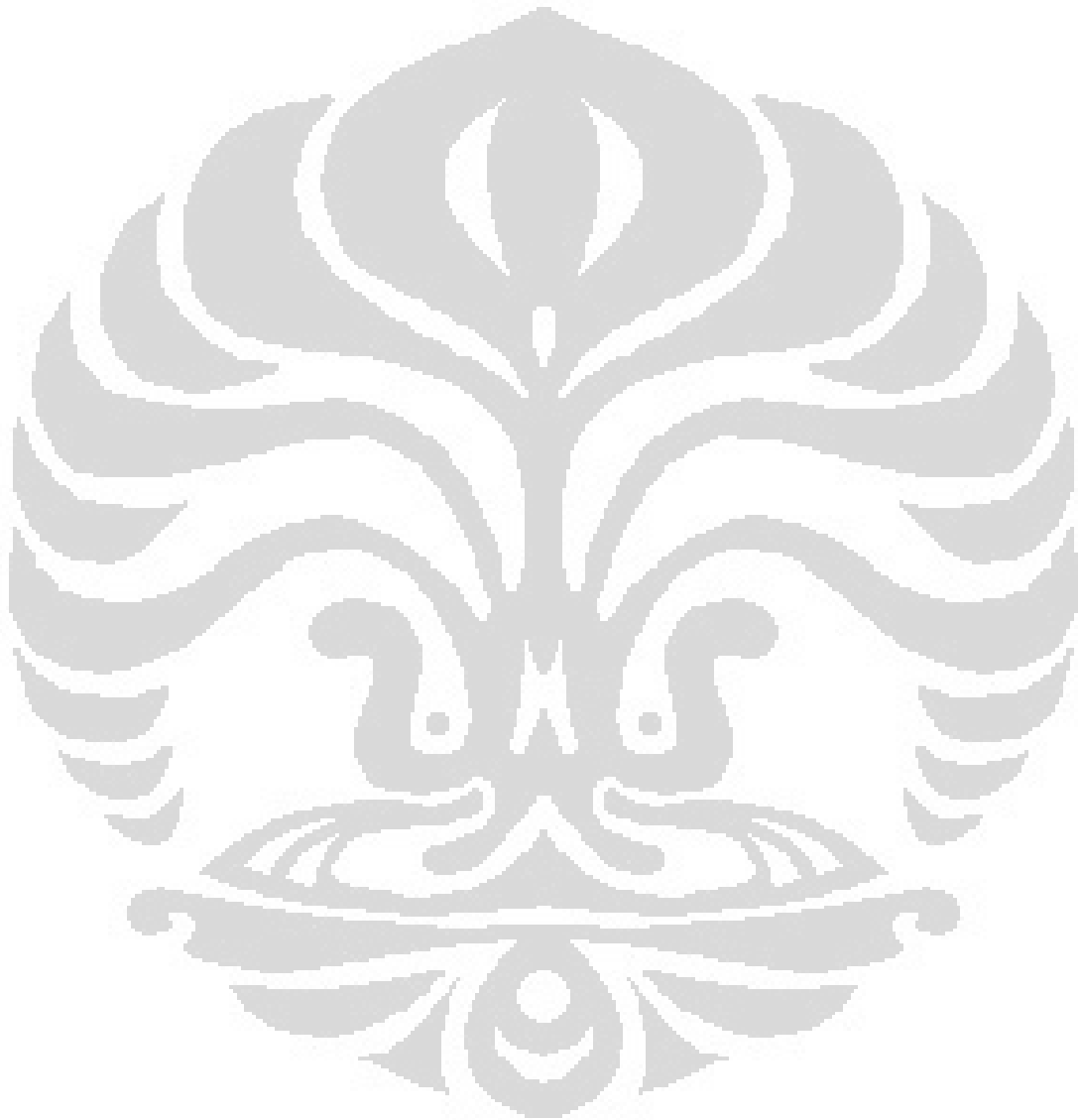
1. Bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dengan strain NBRC 14262 mampu melakukan proses pemesinan dengan karakteristik dan kapabilitas yang hampir sama dengan *Acidithiobacillus ferrooxidans* dari strain lainnya. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan permukaan dan penurunan massa pada benda kerja yang diletakkan dalam cairan medium 9K steril dan cairan medium 9K dengan kultur bakteri.
2. *Material Removal Rate* akan berbanding lurus dengan lamanya waktu pemesinan dan luas permukaan yang dibiarkan terbuka, dan nilai kekasaran permukaan akan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu pemesinan.
3. Pemberian inklinasi pada benda kerja dapat menyebabkan perbedaan kedalaman pelepasan material dengan material yang tidak diberi inklinasi, dan hal ini dapat diteliti lebih jauh untuk pengembangan proses *Biomachining multi-axis*.

#### 7.2 Saran Penelitian Lebih Lanjut

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Persiapan benda kerja sebaiknya dilakukan dengan menggunakan metode yang lebih menjamin tingkat presisi dari benda kerja yang akan digunakan karena kedataran dan ketegak lurus sudut benda kerja akan sangat berpengaruh terhadap hasil pengamatan dengan menggunakan SEM.
2. Untuk penelitian lebih lanjut diharapkan seluruh proses *Biomachining* dilakukan di lab. Manufaktur dan Otomasi lantai 2 untuk menghindari oksidasi yang terjadi pada permukaan benda kerja karena terpapar udara bebas dan tidak langsung dimasukkan ke dalam cairan medium 9K.

3. Peneliti selanjutnya diharapkan dapat mengatur dan memastikan jadwal penggunaan SEM dan pengangkatan material untuk menghindari teroksidasinya permukaan benda kerja yang tidak segera diamati setelah diangkat.



## 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
- [2] 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
- [3] Zhang, D. and Li, Y., "Possibility of Biological Micromachining Used for Metal Removal," Science in China, Vol. 41, No. 2, pp. 151-156, 1998.
- [4] Chang, J. H., Hocheng, H., Chang, H. Y. and Shih, A., "Metal removal rate of *Thiobacillus thiooxidans* without pre-secreted metabolite," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 201, No. 1-3, pp. 560-564, 2008.
- [5] Kurasaki, Y., Matsui, M., Nakamura, Y., Murai, K. and Kimura, T., "Material processing using microorganisms (an investigation of microbial action on metals)," JSME International Journal, Series C, Vol. 46, No. 1, pp. 322-330, 2003.
- [6] Oh, K. H., Lim, H., Im, H. and Jeong, S., "Manufacturing Process of Copper Microgrooves Utilizing a Novel Optical Fiberbased Laser-induced Etching Technique," Int. J. Precis. Eng.Manuf., Vol. 10, No. 3, pp. 155-160, 2009.
- [7] Zhang, D. and Li, Y., "Studies on Kinetics and Thermodynamics of Biomachining Pure Copper," Science in China, Vol. 42, No. 1, pp. 57-62, 1999.
- [8] Ting, Y. P., Kumar, A. S., Rahman, M. and Chia, B. K., "Innovative Use of *Thiobacillus ferrooxidans* for the Biological Machining of Metals," Acta Biotechnologica, Vol. 20, No. 2, pp. 87-96, 2000.
- [9] Rahman, M. and Gul, S., "Biorecovery of Copper From Chalcopyrite Ore Using *Thiobacillus ferrooxidans*," Pakistan Journal of Biological Sciences, Vol. 6, No. 9, pp. 836-839, 2003.

- [10] Barron, J. L. and Lueking, D. R., "Growth and Maintenance of *Thiobacillus ferrooxidans* Cells," *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 56, No. 9, pp. 2801-2806, 1990.
- [11] Nyavor, K., Egiebor, N. O. and Fedorak, P. M., "The effect of ferric ion on the rate of ferrous oxidation by *Thiobacillus ferrooxidans*," *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 45, No. 5, pp. 688-691, 1996.
- [12] Blodgett, Robert. 2006. Appendix 2, Most Probable Number from Serial Dilution. BAM (Bacteriological Analytical Manual), Chapter 4. FDA (Food and Drug Administration).
- [13] USDA/FSIS. 2008. Most Probable Number Procedure and Tables. USDA (United States Department of Agriculture) / FSIS (Food Safety and Inspection Service).
- [14] MVTechnologies, Inc. (MVTI) 2855 West Market Street Suite 214 Akron, OH 44333
- [15] 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
- [16] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6063T6> tanggal 7 juni 2012 pukul 12:28
- [17] [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=stainless\\_steel\\_aisi\\_201](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=stainless_steel_aisi_201) tanggal 7 juni 2012 pukul 12:36
- [18] <http://www.nmm.jx-group.co.jp/english/sustainability/theme/environment-conscious/index.html>
- [19] [http://web.mst.edu/~microbio/BIO221\\_2008/T\\_ferroidans.html](http://web.mst.edu/~microbio/BIO221_2008/T_ferroidans.html)
- [20] Hiwin Linear Guideway Catalogue (<http://www.hiwin.com.tw>) tanggal 7 Juni 2012 pukul 12:50
- [21] Autonics Stepping Motor Datasheet (<http://www.autonics.com>) tanggal 7 juni 2012 pukul 12:55
- [22] ATMEL. ATmega16 Microcontroller Datasheet. <http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2466.pdf>, tanggal 3 maret 2012

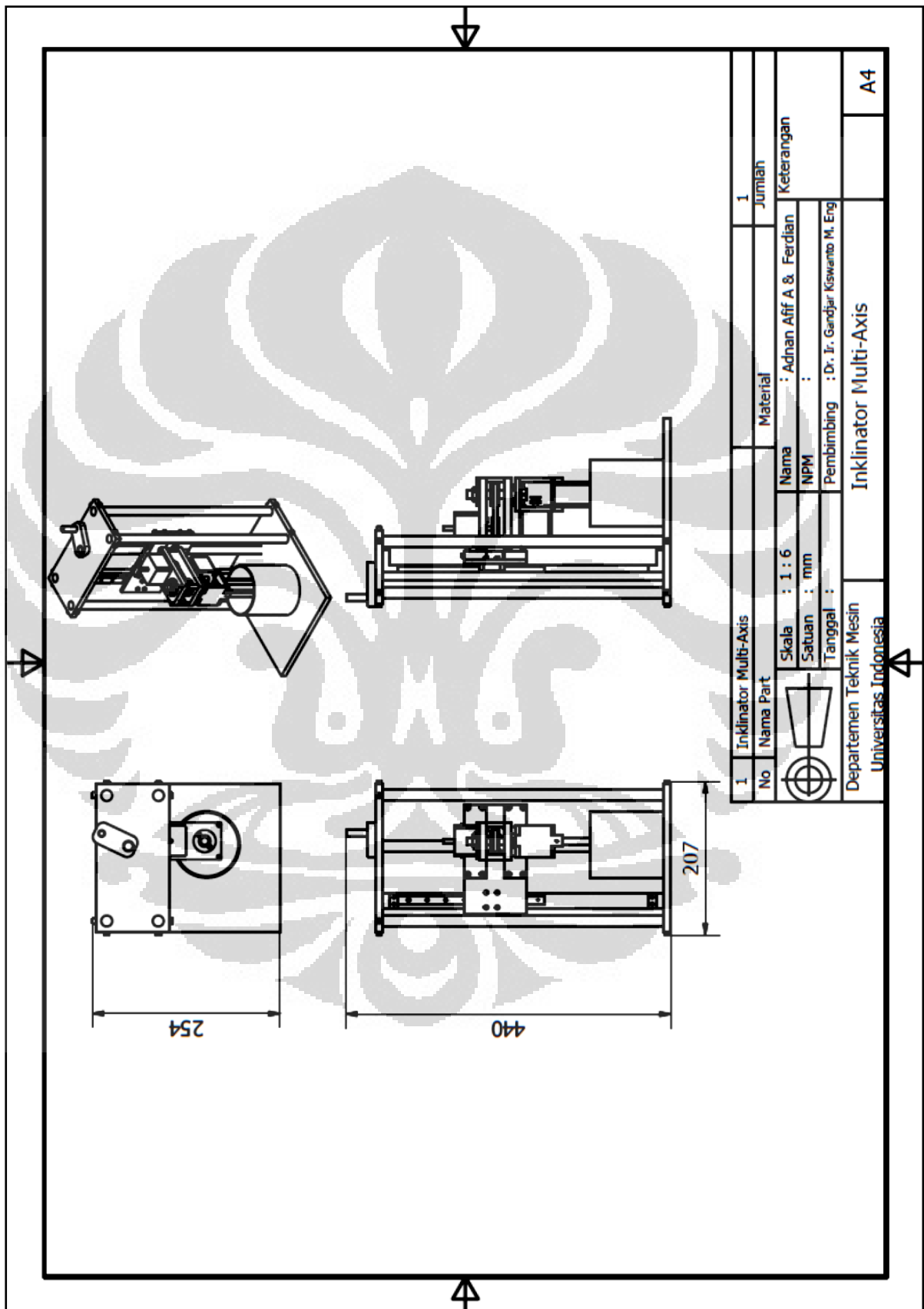


**LAMPIRAN 1**  
**Tabel MPN 5 Tabung**

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

## LAMPIRAN 2

### Gambar Teknik Inklinator Multi-Axis



## LAMPIRAN 3

### Fitur ATmega 16

#### Features

- High-performance, Low-power AVR<sup>®</sup> 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<sup>(1)</sup>
  - 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<sup>®</sup>**  
Microcontroller  
with 16K Bytes  
In-System  
Programmable  
Flash

ATmega16  
ATmega16L

Summary

Note: Not recommended for new designs.

Rev. 2462SS-AVR-05/09



## LAMPIRAN 4

### Datasheet L298N



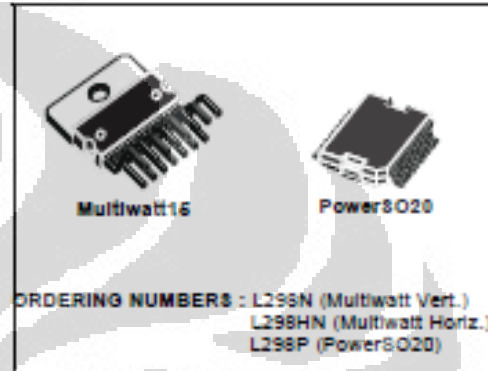
# L298

## 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)

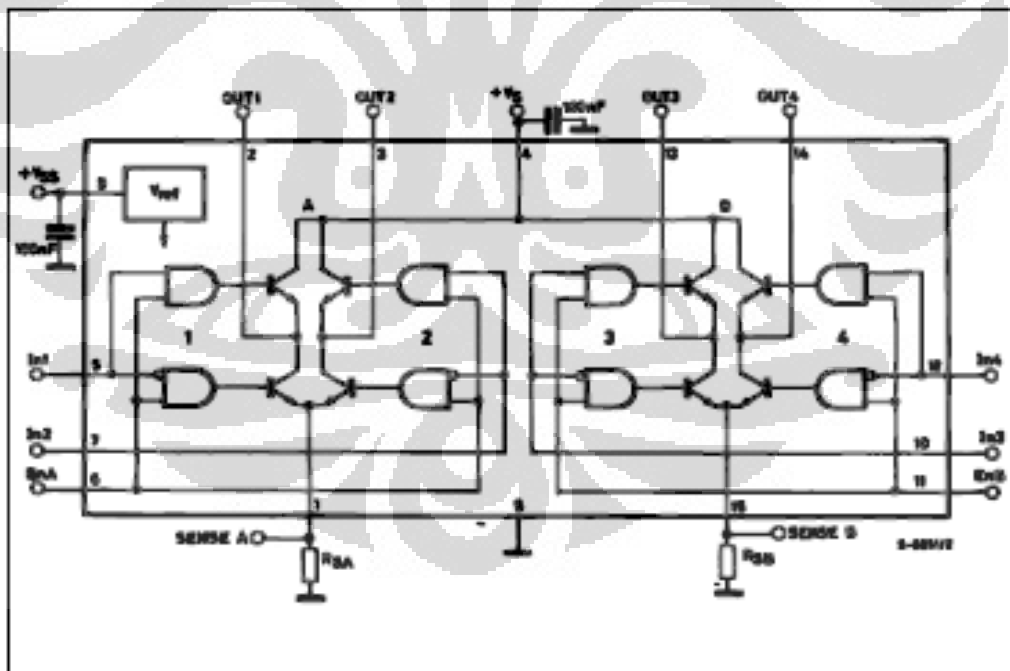
### DESCRIPTION

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-



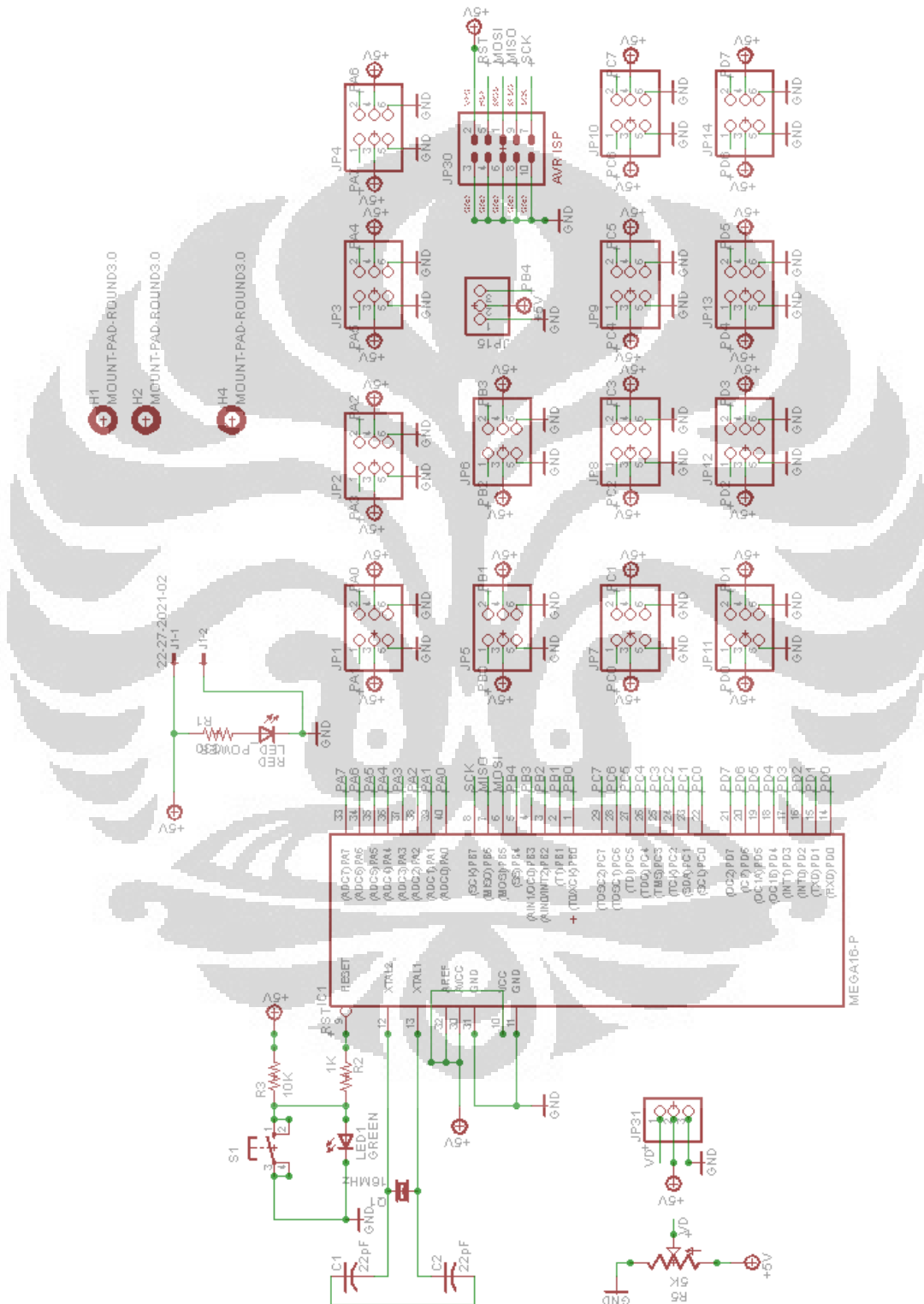
nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

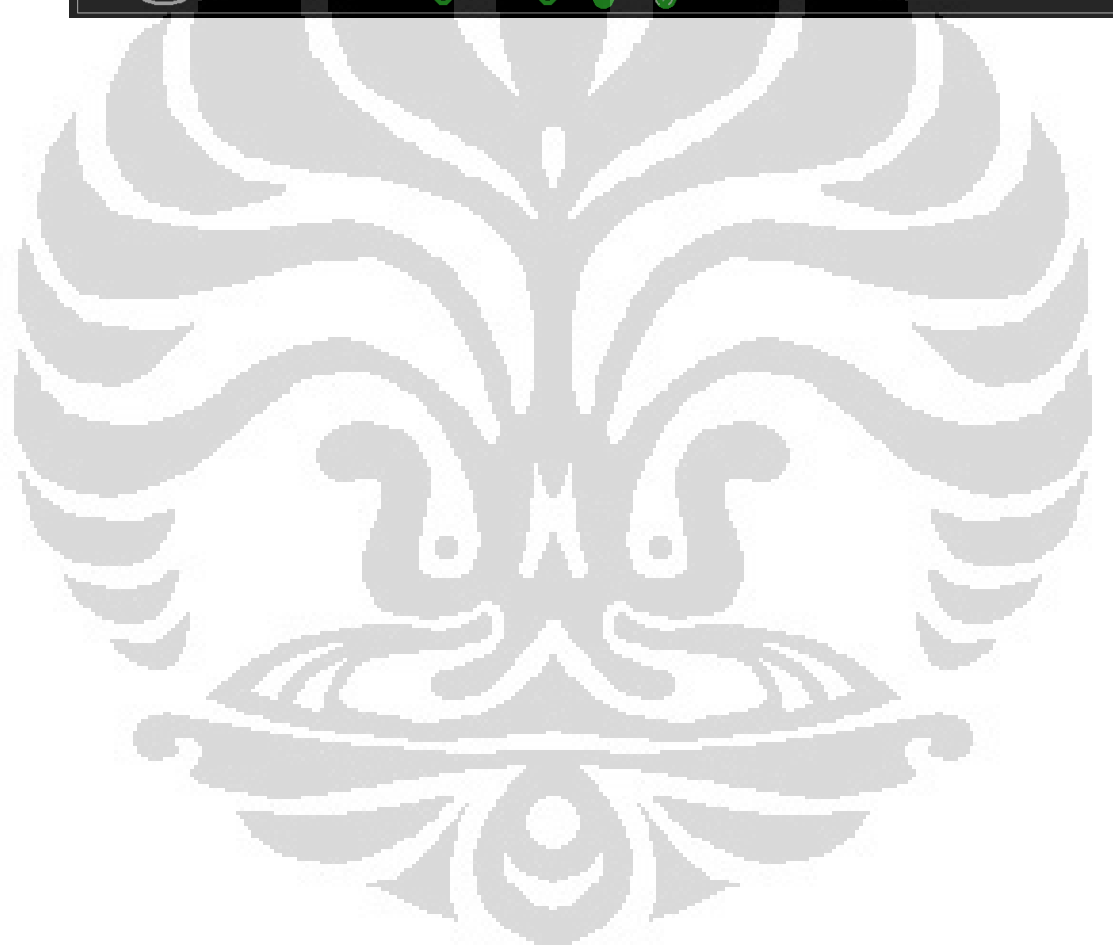
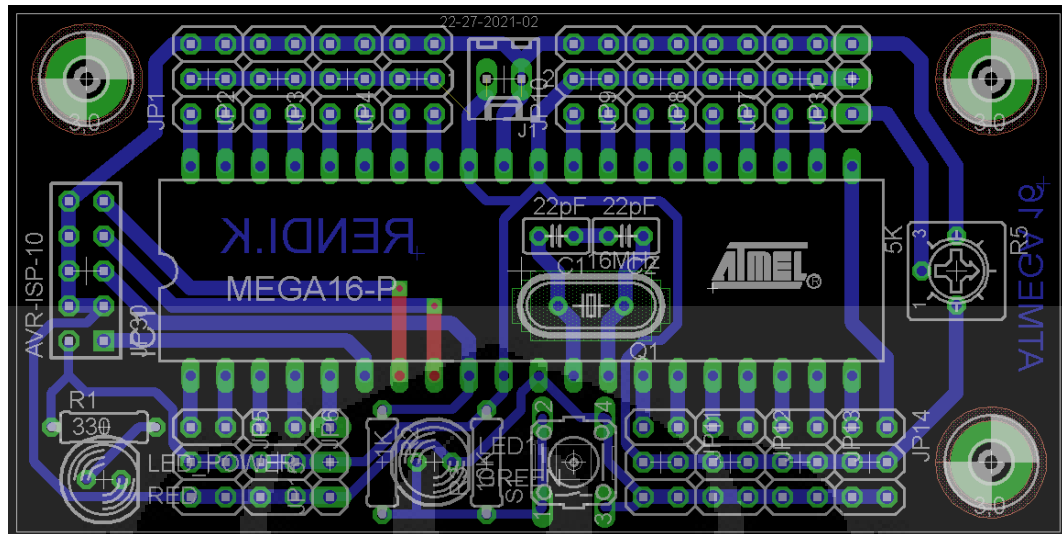
### BLOCK DIAGRAM



# LAMPIRAN 5

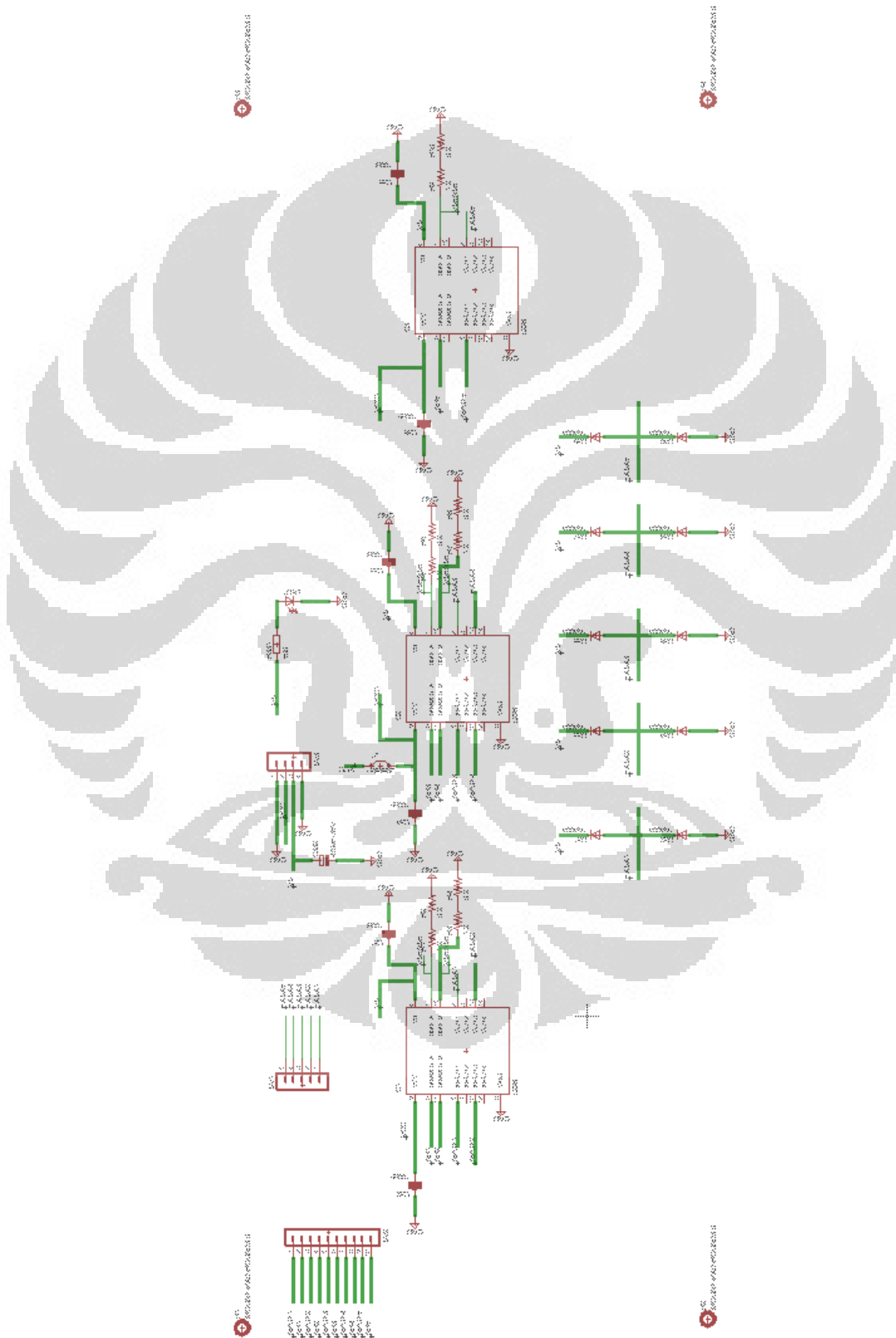
## Skematik Rangkaian Minimum Sistem ATmega 16

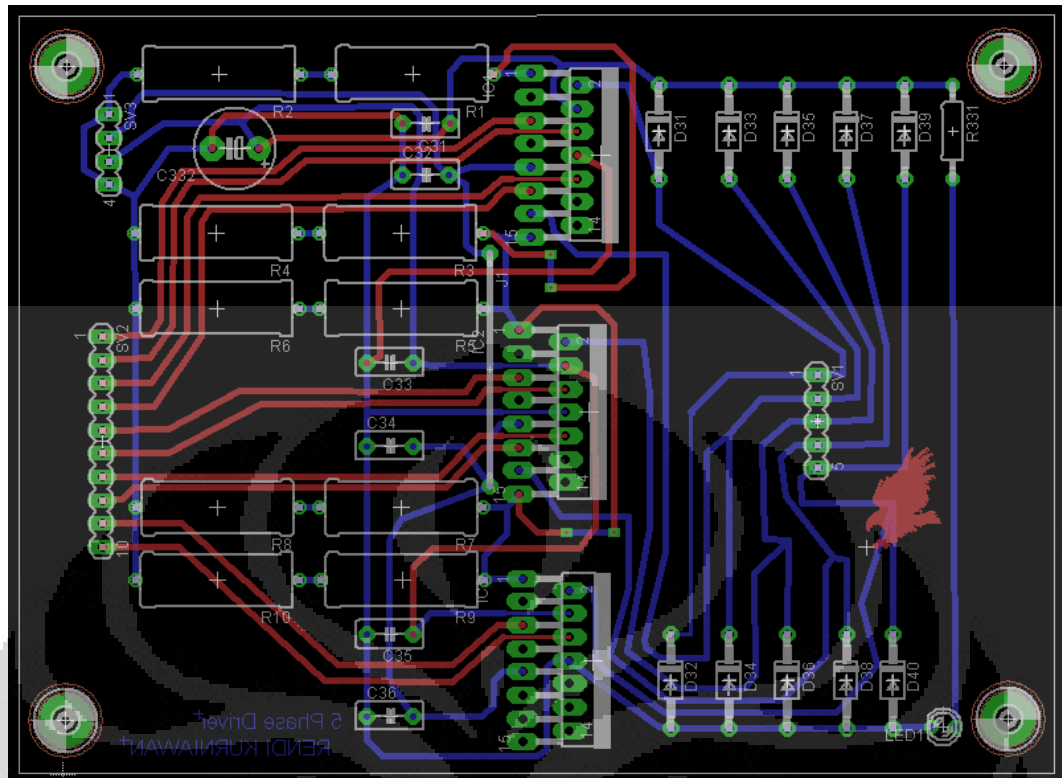




## LAMPIRAN 6

### Rangkaian Skematik Driver Motor Stepper 5 Fasa







**LAMPIRAN 7**  
**Tabel Hasil Perubahan Massa Pada Pengaruh Ketinggian**  
**Terhadap Proses *Biomachining***

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
		5	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
3	Rak 3 (Setelah 7 jam, 01.00)	10	1.6394	1.3852	1.6342	1.3816	0.0036	0.1011
					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
4	Rak 4 (Setelah 10 jam, 04.00)	15	1.4841	1.2299	1.4737	1.2231	0.0068	0.1091
					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
5	Rak 5 (Setelah 13 jam, 07.00)	20	1.6515	1.3973	1.6468	1.388	0.0093	0.1045
					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
	25	1.5577	1.3035	1.5485	1.2926	0.0109	0.0942	

## 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
		5	0.3644	0.1135	0.3664	0.113	0.0005	0.0562
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
		10	0.3706	0.1197	0.3706	0.1167	0.003	0.0843
3	Rak 3 (Setelah 7 jam, 01.00)				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
		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
4	Rak 4 (Setelah 10 jam, 04.00)				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
		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
5	Rak 5 (Setelah 13 jam, 07.00)				0.2514			
		21	0.379	0.1281	0.3772	0.1258	0.0023	0.0199
		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

## 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
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
3	Rak 3 (Setelah 28 jam, 21.00)	10	0.493	0.141	0.471	0.1199	0.0211	0.1482
					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
4	Rak 4 (Setelah 40 jam, 09.00)	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
					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

## LAMPIRAN 8

### 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_a0();
    PORTA.1 = 0;
    PORTA.2 = 1;
    PORTA.3 = 1;
    PORTA.4 = 0;
    PORTA.5 = 0;
    delay_ms(10);

//step 3
    enable_a0();
    PORTA.1 = 1;
    PORTA.2 = 1;
    PORTA.3 = 1;
    PORTA.4 = 0;
    PORTA.5 = 0;
    delay_ms(10);

//step 2
    enable_a0();
    PORTA.1 = 1;
    PORTA.2 = 1;
    PORTA.3 = 0;
    PORTA.4 = 0;
    PORTA.5 = 0;
    delay_ms(10);

//step 1
    enable_a0();
    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_a0();
    PORTA.1 = 1;
    PORTA.2 = 0;
    PORTA.3 = 0;
    PORTA.4 = 1;
    PORTA.5 = 1;
    delay_ms(10);

//step 7
    enable_a0();
    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_b0;
PORTB.0 = 1;
PORTB.1 = 1;
PORTB.2 = 1;
PORTB.3 = 0;
PORTB.4 = 0;
delay_ms(10);

//step 1
enable_b0;
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("Inclinotor");
  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();  
  
};  
}
```

