

**KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI MEDIA KARBON DAN
TEMPERATUR PADA PROSES *HARDENING* TERHADAP
STRUKTUR MATERIAL, NILAI KEKERASAN, DAN LAJU
KOROSI ALUMINIUM 6063**

SKRIPSI

Bidang Material

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh:

**Victor Chrisnadi
202031007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA KARYA MALANG
2024**

**KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI MEDIA KARBON DAN
TEMPERATUR PADA PROSES *HARDENING* TERHADAP
STRUKTUR MATERIAL, NILAI KEKERASAN, DAN LAJU
KOROSI ALUMINIUM 6063**

SKRIPSI

Bidang Material

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh:

**Victor Chrisnadi
202031007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA KARYA MALANG
2024**

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI MEDIA KARBON DAN TEMPERATUR PADA PROSES *HARDENING* TERHADAP STRUKTUR MATERIAL, NILAI KEKERASAN, DAN LAJU KOROSI ALUMINIUM 6063

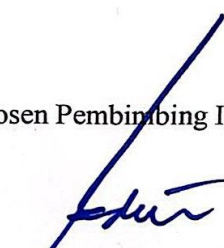
Disusun oleh:

Nama : Victor Chrisnadi

NIM : 202031007

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I,


Dr. Nereus Tugur Redationo, S.T., M.T.
NIDN. 0712057101

Dosen Pembimbing II,


Antonius Prisma Jalu Permana, S.Si., M.Si.
NIDN. 0723059202

Mengetahui:


Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Sunik, S.T., M.T.
NIDN. 0714067401


Ketua Program Studi Teknik Mesin,

Harsa Dhani, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN. 0703117904

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI MEDIA KARBON DAN TEMPERATUR PADA PROSES *HARDENING* TERHADAP STRUKTUR MATERIAL, NILAI KEKERASAN, DAN LAJU KOROSI ALUMINIUM 6063

Telah diuji dan dipertahankan dihadapan Dewan Penguji Laporan Tugas Akhir
pada hari Selasa tanggal 23 Juli 2024.

Dinyatakan Lulus dan memenuhi syarat guna memperoleh gelar Sarjana.

Disusun Oleh:

Nama : Victor Chrisnadi

NIM : 202031007

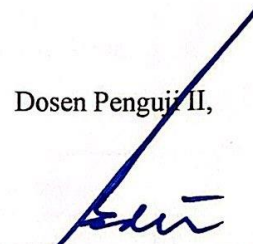
Menyetujui:

Dosen Penguji I,



Bernardus Crisanto Putra Mbulu, S.T., M.T.
NIDN. 0721088101

Dosen Penguji II,



Dr. Nereus Tugur Redationo, S.T., M.T.
NIDN. 0712057101

Dosen Penguji Saksi,



Antonius Prisma Jala Permana, S.Si., M.Si.
NIDN. 0723059202

Mengetahui:



Dr. Sunik, S.T., M.T.
NIDN. 0714067401

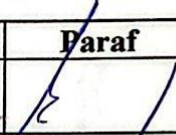
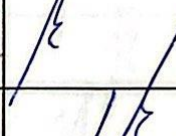
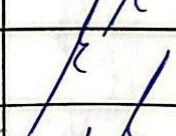
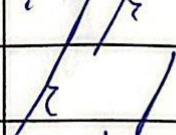
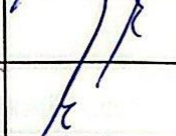
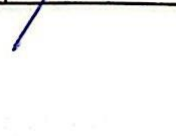
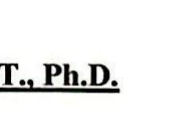


Harsa Dhani, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN. 0703117904

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Victor Chrisnadi
 NIM : 202031007
 Universitas : Universitas Katolik Widya Karya Malang
 Fakultas : Teknik
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul Skripsi : **KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI MEDIA KARBON DAN TEMPERATUR PADA PROSES HARDENING TERHADAP STRUKTUR MATERIAL, NILAI KEKERASAN, DAN LAJU KOROSI ALUMINIUM 6063**

Dosen Pembimbing I: Dr. Nereus Tugur Redationo, S.T., M.T.
 Jadwal Bimbingan,

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	14 Mei 2024	Pengajuan judul skripsi	
2.	3 Juni 2024	Pengajuan Bab 1-3	
3.	18 Juni 2024	Revisi Bab 1: Latar belakang Revisi Bab 2: Penambahan dasar teori Revisi Bab 3: Hipotesis, diagram alir, skema penelitian, rumus perhitungan	
4.	24 Juni 2024	Pengajuan Bab 4	
5.	28 Juni 2024	Revisi Bab 4: Penulisan, tabel, diagram	
6.	2 Juli 2024	Revisi Bab 4: Penambahan penjelasan	
7.	8 Juli 2024	Revisi Abstrak Revisi Bab 5: Kesimpulan dan Saran	
8.	18 Juli 2024	Revisi Bab 4: Pembahasan	
9.	19 Juli 2024	Revisi Bab 4: Penambahan Pembahasan	



Malang, 23 Juli 2024

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Mesin,

Harsa Dhanio S.T., M.T., Ph.D.

NIDN. 0703117904

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Victor Chrisnadi
 NIM : 202031007
 Universitas : Universitas Katolik Widya Karya Malang
 Fakultas : Teknik
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul Skripsi : **KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI MEDIA KARBON DAN TEMPERATUR PADA PROSES HARDENING TERHADAP STRUKTUR MATERIAL, NILAI KEKERASAN, DAN LAJU KOROSI ALUMINIUM 6063**

Dosen Pembimbing II: Antonius Prisma Jalu Permana, S.Si., M.Si.
 Jadwal Bimbingan,

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	15 Mei 2024	Pengajuan judul skripsi	
2.	4 Juni 2024	Pengajuan Bab 1-3	
3.	20 Juni 2024	Revisi Bab 2: Penambahan diagram Revisi Bab 3: Hipotesis	
4.	27 Juni 2024	Pengajuan Bab 4	
5.	1 Juli 2024	Revisi Bab 4: Penulisan	
6.	17 Juli 2024	Revisi Bab 4: Pembahasan	
7.	23 Juli 2024	Revisi Bab 4: Grafik	

Malang, 23 Juli 2024
 Mengetahui,
 Ketua Program Studi Teknik Mesin,

Harsa Phani, S.T., M.T., Ph.D.
 NIDN. 0703117904

LEMBAR PENYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini yang berjudul “Kaji Eksperimental Variasi Media Karbon dan Temperatur Pada Proses *Hardening* Terhadap Struktur Material, Nilai Kekerasan, dan Laju Korosi Aluminium 6063” merupakan karya tulis asli.

Nama : Victor Chrisnadi

NIM : 202031007

Fakultas : Teknik

Jurusan : Teknik Mesin

Universitas : Universitas Katolik Widya Karya Malang

Dan bukan karya plagiat baik secara sebagian maupun seluruhnya.

Demikian surat keterangan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan apabila terdapat kesalahan, saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Malang, 23 Juli 2024



Victor Chrisnadi

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Victor Chrisnadi

NIM : 202031007

Program studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Universitas : Universitas Katolik Widya Karya Malang

Menyatakan memberikan dan menyetujui Hak Bebas Royalty Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya:

Judul : Kaji Eksperimental Variasi Media Karbon dan Temperatur Pada Proses *Hardening* Terhadap Struktur Material, Nilai Kekerasan, dan Laju Korosi Aluminium 6063.

kepada Perpustakaan Universitas Katolik Widya Karya Malang untuk menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam pangkalan data, mendistribusikan, serta menampilkannya di internet (Repository UKWK, APTIK Digital Library, RAMA Repository, dll) atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan bersedia serta menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Katolik Widya Karya Malang, segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta/plagiarisme dalam karya ilmiah ini.

Malang, 23 Juli 2024



Victor Chrisnadi
202031007

**KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI MEDIA KARBON DAN
TEMPERATUR PADA PROSES *HARDENING* TERHADAP STRUKTUR
MATERIAL, NILAI KEKERASAN, DAN LAJU KOROSI ALUMINIUM
6063**

Victor Chrisnadi, N. Tugur Redationo, Antonius Prisma Jalu Permana
Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Karya,
JL. Bondowoso No. 2 Malang, Juli 2024

RINGKASAN

Indonesia adalah negara dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, namun pemanfaatannya masih belum maksimal. Sebagai contoh yaitu kelapa dan bambu yang belum diolah dengan baik. Kelapa dan bambu dapat diolah menjadi karbon melalui proses pirolisis pada temperatur 1000°C. Karbon tersebut dapat dimanfaatkan untuk proses *hardening* pada aluminium guna meningkatkan nilai kekerasannya. Proses *hardening* meliputi pemanasan, penahanan, dan pendinginan. *Hardening* dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya yaitu temperatur pemanasan. Dengan memvariasikan temperatur pemanasan (300°C, 400°C, 500°C) dan variasi media karbon untuk pendinginan, hasilnya akan diuji struktur mikro, uji kekerasan *Vickers*, dan laju korosinya. Struktur mikro material dengan variasi karbon kelapa atau karbon bambu menunjukkan hasil bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka struktur permukaan dari material akan semakin halus. Nilai kekerasan *Vickers* memiliki hasil 1454,67 HV pada RAW Material, dengan pendinginan karbon bambu 2521,98 HV, 1391,13 HV, dan 1453 HV, sedangkan dengan pendinginan karbon kelapa memiliki hasil 2864,22 HV, 1967,15 HV, dan 2579,25 HV pada variasi temperatur 300°C, 400°C, dan 500°C. Nilai laju korosi memiliki hasil 0,06366649 mm/year pada RAW Material, dengan pendinginan karbon bambu 0,06366649 mm/year, 0,10611082 mm/year, 0,06366649 mm/year, sedangkan dengan pendinginan karbon kelapa memiliki hasil 0,04244433 mm/year, 0,06366649 mm/year, 0,04244433 mm/year pada variasi temperatur 300°C, 400°C, 500°C. Kesimpulannya yaitu semakin tinggi nilai kekerasan dari aluminium, maka laju korosinya semakin rendah. Namun terdapat faktor-faktor lain yang mempengaruhi nilai kekerasan dan laju korosi material.

Kata kunci: Karbon, *Hardening*, Pirolisis, Rekristalisasi, Kekerasan, Struktur Mikro, Laju Korosi

EXPERIMENTAL STUDY OF VARIATION OF CARBON MEDIUM AND TEMPERATURE IN HARDENING PROCESS ON MATERIAL STRUCTURE, HARDNESS VALUE, AND CORROSION RATE OF ALUMINUM 6063

Victor Chrisnadi, N. Tugur Redationo, Antonius Prisma Jalu Permana
Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Karya,
JL. Bondowoso No. 2 Malang, Juli 2024

SUMMARY

Indonesia is a country with abundant natural resources, but its utilization is still not optimal. For example, coconut and bamboo have not been processed properly. Coconut and bamboo can be processed into carbon through pyrolysis at 1000°C. The carbon can be used for the hardening process on aluminum to increase its hardness value. The hardening process includes heating, holding, and cooling. Hardening is influenced by several factors, one of which is heating temperature. By varying the heating temperature (300°C, 400°C, 500°C) and variations in carbon media for cooling, the results will be tested for microstructure, Vickers hardness test, and corrosion rate. The microstructure of the material with variations of coconut carbon or bamboo carbon shows that the higher the heating temperature, the smoother the surface structure of the material. The Vickers hardness value has a result of 1454,67 HV in RAW Material, with bamboo carbon cooling 2521,98 HV, 1391,13 HV, and 1453 HV, while with coconut carbon cooling has a result of 2864,22 HV, 1967,15 HV, and 2579,25 HV at temperature variations of 300°C, 400°C, and 500°C. The corrosion rate value has a result of 0,06366649 mm/year in RAW Material, with bamboo carbon cooling 0,06366649 mm/year, 0,10611082 mm/year, 0,06366649 mm/year, while with coconut carbon cooling has a result of 0,04244433 mm/year, 0,06366649 mm/year, 0,04244433 mm/year at temperature variations of 300°C, 400°C, 500°C. The conclusion is that the higher the hardness value of aluminum, the lower the corrosion rate. However, there are other factors that affect the hardness value and corrosion rate of the material.

Keywords: Carbon, Hardening, Pyrolysis, Recrystallization, Hardness, Microstructure, Corrosion Rate

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya skripsi ini dapat terselesaikan. Skripsi ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Universitas Katolik Widya Karya Malang. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Frater Dr. Klemens Mere, S.E., M.Pd., M.M., M.H., M.A.P., M.Ak., BHK., selaku Rektor Universitas Katolik Widya Karya Malang.
2. Ibu Dr. Sunik, S.T, M.T., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Karya Malang.
3. Bapak Harsa Dhani, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program studi Teknik Mesin Universitas Katolik Widya Karya Malang.
4. Bapak Dr. Nereus Tugur Redationo, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji II, Universitas Katolik Widya Karya Malang.
5. Bapak Antonius Prisma Jalu Permana, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji Saksi, Universitas Katolik Widya Karya Malang.
6. Bapak Bernardus Crisanto Putra Mbulu, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I, Universitas Katolik Widya Karya Malang.
7. Dosen-dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Katolik Widya Karya Malang yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Orang tua dan keluarga yang memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Teman-teman Teknik Mesin yang telah membantu penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.

Akhir kata penulis berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penulisan skripsi ini dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 23 Juli 2024


Victor Chrisnadi

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR ASISTENSI.....	iii
LEMBAR ASISTENSI	iv
LEMBAR PENYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BIODATA PENULIS	xvi
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	xvii
LEMBAR PERUNTUKAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Tempurung Kelapa	4
2.3 Bambu	5
2.4 Pirolisis.....	6
2.5 Karbon	6
2.6 Aluminium.....	6
2.7 Aluminium 6063.....	8
2.8 Perubahan Fasa Pada Pendinginan	8

2.9	Diagram Fasa Al-Mg ₂ Si	11
2.10	Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	12
2.11	Macam-Macam Proses <i>Heat Treatment</i>	12
2.12	Oli.....	13
2.13	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses <i>Hardening</i>	14
2.13.1	Presipitasi	14
2.13.2	Tegangan Residual	14
2.13.3	Supersaturasi	14
2.13.4	Zona Bebas Presipitat (PFZ – <i>Precipitate Free Zone</i>).....	15
2.13.5	Presipitat Besar.....	15
2.13.6	<i>Quenching</i>	15
2.13.7	Dislokasi.....	15
2.13.8	Titik Nukleasi.....	16
2.13.9	Rekristalisasi	16
2.14	Pengujian Material	16
2.14.1	Uji Kekerasan Material	16
2.14.2	Uji Laju Korosi	18
2.14.3	Uji Struktur Mikro	19
BAB III METODE PENELITIAN.....		20
3.1	Deskripsi Penelitian.....	20
3.2	Hipotesis Penelitian.....	20
3.3	Metode Penelitian.....	21
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	22
3.5	Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.6	Variabel Penelitian	24
3.7	Alat dan Bahan	25
3.7.1	Alat.....	25
3.7.2	Bahan.....	28
3.8	Proses Pengambilan Data	29
3.9	Rencana Pengambilan Data.....	30
3.10	Skema Penelitian	31
3.11	Rencana Perhitungan Data	34

3.12	Rencana Diagram	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Hasil dan Pembahasan Struktur Mikro Material	36
4.1.1	Foto Mikro RAW Material.....	36
4.1.2	Foto Mikro Dengan Menggunakan Karbon Bambu	36
4.1.3	Foto Mikro Dengan Menggunakan Karbon Kelapa.....	38
4.2	Perhitungan, Hasil, dan Pembahasan Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	40
4.2.1	Uji Kekerasan <i>Vickers</i> dengan Karbon Bambu.....	40
4.2.2	Uji Kekerasan <i>Vickers</i> dengan Karbon Kelapa.....	42
4.2.3	Perbandingan Nilai Kekerasan Karbon Bambu dan Kelapa	43
4.3	Perhitungan, Hasil, dan Pembahasan Laju Korosi	45
4.3.1	Laju Korosi dengan Karbon Bambu	45
4.3.2	Laju Korosi dengan Karbon Kelapa.....	47
4.3.3	Perbandingan Laju Korosi Karbon Bambu dan Kelapa.....	48
4.4	Perbandingan Data Laju Korosi, Nilai Kekerasan, dan Struktur Mikro.	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perubahan Fasa Selama Pendinginan	9
Gambar 2.2 Diagram Fasa Al-Mg ₂ Si	11
Gambar 2.3 Metode Brinell.....	17
Gambar 2.4 Metode Vickers	17
Gambar 2.5 Metode Rockwell	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2 Lumpang Kayu dan Mortar	25
Gambar 3.3 Mesh 250 dan 300	25
Gambar 3.4 Tungku Pemanas	26
Gambar 3.5 Guci Keramik	26
Gambar 3.6 Timbangan Digital	26
Gambar 3.7 Capitan	26
Gambar 3.8 Gelas Ukur.....	27
Gambar 3. 9 Kaleng Susu.....	27
Gambar 3.10 Alat Uji Kekerasan Vickers.....	27
Gambar 3.11 Kamera Mikro	27
Gambar 3.12 Plat Aluminium 6063	28
Gambar 3.13 Ampelas.....	28
Gambar 3.14 Serbuk Karbon Tempurung Kelapa dan Bambu	28
Gambar 3.15 Alkohol.....	28
Gambar 3.16 Oli.....	29
Gambar 3.17 Plastik dan Karet	29
Gambar 3.18 Skema Penelitian	31
Gambar 3.19 Contoh Diagram Laju Korosi.....	34
Gambar 3.20 Contoh Diagram Nilai Kekerasan Vickers.....	35
Gambar 4.1 Perbandingan Nilai Kekerasan Karbon Bambu dan Kelapa	43
Gambar 4.2 Perbandingan Laju Korosi Karbon Bambu dan Kelapa	48
Gambar 4.3 Perbandingan Nilai Kekerasan dan Laju Korosi Karbon Bambu	51
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Kekerasan dan Laju Korosi Karbon Kelapa.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan dalam Tempurung Kelapa	5
Tabel 2.2 Kandungan dalam Bambu Hitam	5
Tabel 2.3 Klasifikasi Aluminium	7
Tabel 2.4 Komposisi Aluminium 6063	8
Tabel 2.5 Sifat Fisik Aluminium 6063	8
Tabel 3.1 Struktur Permukaan Material	30
Tabel 3.2 Perhitungan Laju Korosi	30
Tabel 3.3 Kekerasan Vickers	31
Tabel 4.1 Foto Mikro RAW Material	36
Tabel 4.2 Foto Mikro dengan Karbon Bambu	37
Tabel 4.3 Foto Mikro dengan Karbon Kelapa	38
Tabel 4.4 Hasil dan Perhitungan Nilai Kekerasan Vickers Karbon Bambu	41
Tabel 4.5 Hasil dan Perhitungan Nilai Kekerasan Vickers Karbon Kelapa	42
Tabel 4.6 Nilai Laju Korosi Karbon Bambu	46
Tabel 4.7 Nilai Laju Korosi Karbon Kelapa	47
Tabel 4.8 Perbandingan Data Laju Korosi, Nilai Kekerasan, dan Struktur Mikro	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Pengujian Sampel	59
Lampiran 2 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers	60
Lampiran 3 Surat Keterangan Bebas Plagiasi	62

LEMBAR PERUNTUKAN

Tidak ada mimpi yang gagal, yang ada hanyalah mimpi yang tertunda.
Cuma sekiranya kalau teman-teman merasa gagal dalam mencapai mimpi,
jangan khawatir, mimpi-mimpi lain bisa diciptakan.
(Windah Basudara)

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Kepada mamaku Ika Christina dan Ko Lukas yang selalu mendukung, menyemangati, dan memberi nasehat serta dukungan materi dan moril dari awal kuliah sampai terselesaikannya skripsi ini.
3. Kepada Waknik yang selalu mendukung, menyemangati, dan mendoakanku agar segera terselesaikannya skripsi ini
4. Kepada Pak Tugur, Pak BC, dan Pak Prisma serta Dosen Teknik Mesin yang telah memberikan ilmunya dan nasehatnya serta selalu sabar dalam mengajar saya sehingga terselesaikannya skripsi ini.
5. Kepada teman-teman, Mas Surya, Carlos, Marcel, dan seluruh teman-teman Jurusan Teknik Mesin yang selalu membantuku dalam pengerjaan skripsi ini.
6. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive. I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times.*