

**RANCANG BANGUN PENCATAT KARAKTERISTIK MOTOR
ASINKRON TIGA FASA BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK
LABORATORIUM ELEKTRONIKA DAYA JTE FT-UB**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AHMAD FIRMANSYAH A.

NIM. 115060307111055

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017



LEMBAR PENGESAHAN
RANCANG BANGUN PENCATAT KARAKTERISTIK MOTOR ASINKRON
TIGA FASA BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK LABORATORIUM
ELEKTRONIKA DAYA JTE FT-UB

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AHMAD FIRMANSYAH A.
NIM. 115060307111055

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 7 Februari 2017

Dosen Pembimbing I



Ir. Soeparto, M.T.

NIP. 19561020 198903 1 001

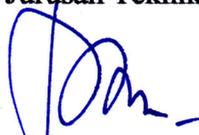
Dosen Pembimbing II



Adharul Muttaqin, S.T., M.T.

NIP. 19760121 200501 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

RANCANG BANGUN PENCATAT KARAKTERISTIK MOTOR ASINKRON TIGA FASA BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK LABORATORIUM ELEKTRONIKA DAYA JTE FT-UB

Nama Mahasiswa : Ahmad Firmansyah A.

NIM : 115060307111055

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Elektronika

Komisi Pembimbing :

Ketua : Ir. Soeprpto, M.T.

Anggota : Adharul Muttaqin, S.T., M.T.

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Muhammad Aswin, M.T.

Dosen Penguji 2 : Eka Maulana, S.T., M.T.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.

Tanggal Ujian : 3 Februari 2017

SK Penguji : 226/UN10.F07/SK/2017

Handwritten signatures of the supervisory committee members and examiners, each placed above a dotted line. The signatures are: Ir. Soeprpto, M.T. (top), Adharul Muttaqin, S.T., M.T. (second), Dr. Ir. Muhammad Aswin, M.T. (third), Eka Maulana, S.T., M.T. (fourth), and Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc. (bottom).

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 7 Februari 2017

Mahasiswa,



Ahmad Firmansyah A.

NIM. 115060307111055

RINGKASAN

AHMAD FIRMANSYAH A., Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Februari 2017, *Rancang Bangun Pencatat Karakteristik Motor Asinkron Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler untuk Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB*, Dosen Pembimbing: Ir. Soeprpto, M.T. dan Adharul Muttaqin, S.T., M.T.

Motor listrik adalah suatu perangkat elektromagnetik yang digunakan untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik dan termasuk ke dalam kategori mesin listrik dinamis. Dalam memahami sebuah motor listrik, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban motor mengacu kepada keluaran tenaga putar (torsi) sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Salah satu beban motor listrik yang berfungsi sebagai alat pengukur torsi motor adalah *magnetic powder brake*. Besarnya torsi diukur menggunakan *control unit* yang bekerja bersama dengan *magnetic powder brake*. *Control unit* ini juga digunakan bersama dengan *tachogenerator* untuk mengukur kecepatan rotasi motor. Selain itu, parameter elektrik motor juga diukur yang meliputi tegangan dan arus motor. Semua data yang berupa sinyal analog tersebut kemudian diterima oleh Arduino Uno untuk dikonversi menjadi data digital dan selanjutnya dikirim ke *Personal Computer* melalui koneksi USB. Data-data tersebut kemudian diolah lebih lanjut dan ditampilkan dalam bentuk visual menggunakan Microsoft Visual Studio. Efisiensi motor dapat dihitung menggunakan semua besaran yang telah diukur dan dicatat.

Kata kunci: karakteristik motor asinkron, torsi motor, kecepatan rotasi motor, *magnetic powder brake*, *tachogenerator*, akuisisi data

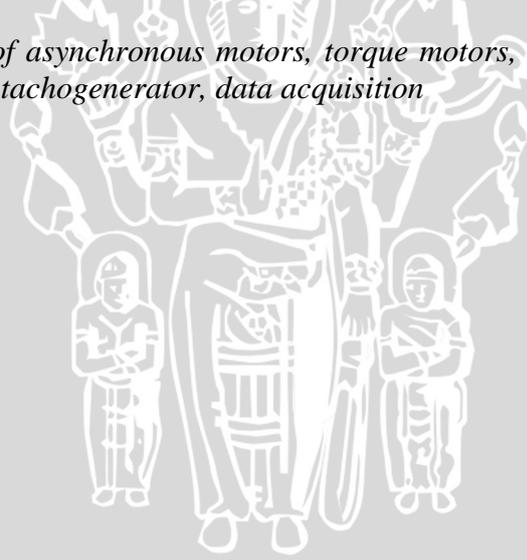


SUMMARY

AHMAD FIRMANSYAH A., *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Brawijaya University Malang, February 2017. Design of a Three-Phase Asynchronous Motor Logger Load Characteristics Based Microcontroller for Power Electronics Laboratory, Academic Supervisor: Ir. Soeprpto, M.T. and Adharul Muttaqin, S.T., M.T.*

The electric motor is an electromagnetic device used to convert electrical energy into mechanical energy and fall into the category of dynamic electric machine. In understanding an electric motor, it is important to understand what is meant by the motor load. Motor load refers to the power output rotary (torque) in accordance with the necessary speed. One load of an electric motor that serves as a motor torque measuring device is a magnetic powder brake. The amount of torque is measured using a control unit that works in conjunction with magnetic powder brake. Control unit is also used together with tachogenerator for measuring the rotational speed of the motor. In addition, the electrical parameters of the motor can also be measured which includes voltage and current of the motor. All the data in the form of analog signals are then received by the Arduino Uno to be converted into digital data and then sent to the personal computer via a USB connection. The data was then processed further and displayed in visual form using Microsoft Visual Studio. Motor efficiency can be calculated using all of the amount that has been measured and recorded.

Keyword: characteristics of asynchronous motors, torque motors, the motor rotation speed, magnetic powder brake, tachogenerator, data acquisition



PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi. Skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Pencatat Karakteristik Motor Asinkron Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler untuk Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB” disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya dengan ketulusan dan kerendahan hati kepada:

- Kedua orang tua penulis, Mama Andi Siti Hapsah dan Ayah Sutarno, serta kakak penulis Muthmainnah Aziz atas segala pengorbanan, kasih sayang, perhatian, kesabaran, doa, dan motivasi yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan,
- Bapak M. Aziz Muslim S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas kesabarannya dalam membantu penulis menyelesaikan administrasi ujian skripsi,
- Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas segala ketulusannya dalam membimbing serta memotivasi penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi,
- Bapak Ir. Soeprapto, M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan,
- Bapak Adharul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 atas segala kesabaran, ketulusan, nasihat, bimbingan, motivasi, serta ilmu yang telah diberikan,
- Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. beserta kakak-kakak Alumni Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas bantuan beasiswa yang telah diberikan sehingga penulis mampu mengikuti ujian skripsi,
- Ibu Qurrotu Aini beserta kakak-kakak Alumni Jurusan Teknik Elektro Universitas

Brawijaya dari Yayasan Pelangi 91 atas bantuan beasiswa skripsi yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi,

- Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas semua ilmu yang telah diberikan,
- Staf Administrasi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Tante Andi Naimah atas segala bantuan yang telah diberikan selama masa pendaftaran kuliah.
- Aditya Sandiva, S.T. selaku teman seperjuangan dalam pengerjaan skripsi atas segala bantuan dan motivasi yang telah diberikan,
- Joko Purnomo, S.T. atas bantuan tenaganya dalam pembuatan alat skripsi,
- Teman-teman Inverter 2011 atas suka dukanya selama masa perkuliahan,
- Teman-teman Konsentrasi Teknik Elektronika dan Asisten Laboratorium Elektronika atas segala bantuan yang telah diberikan selama perkuliahan,
- Keluarga Besar 47 Brawijaya Malang atas kebersamaan dan keceriaan yang telah diberikan,
- Teman-teman Komania atas kehangatan yang telah diberikan selama penulis tinggal di Malang,
- Nala Pintoko, S.I.P. beserta teman-teman Koroop VIP atas tempat tinggal yang telah diberikan selama penulis menyelesaikan skripsi,
- Nadia Khairunnisa dan Kartika Lestari Gladysia atas segala doa dan semangat yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi,
- Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas segala bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan yang lebih lanjut.

Malang, Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

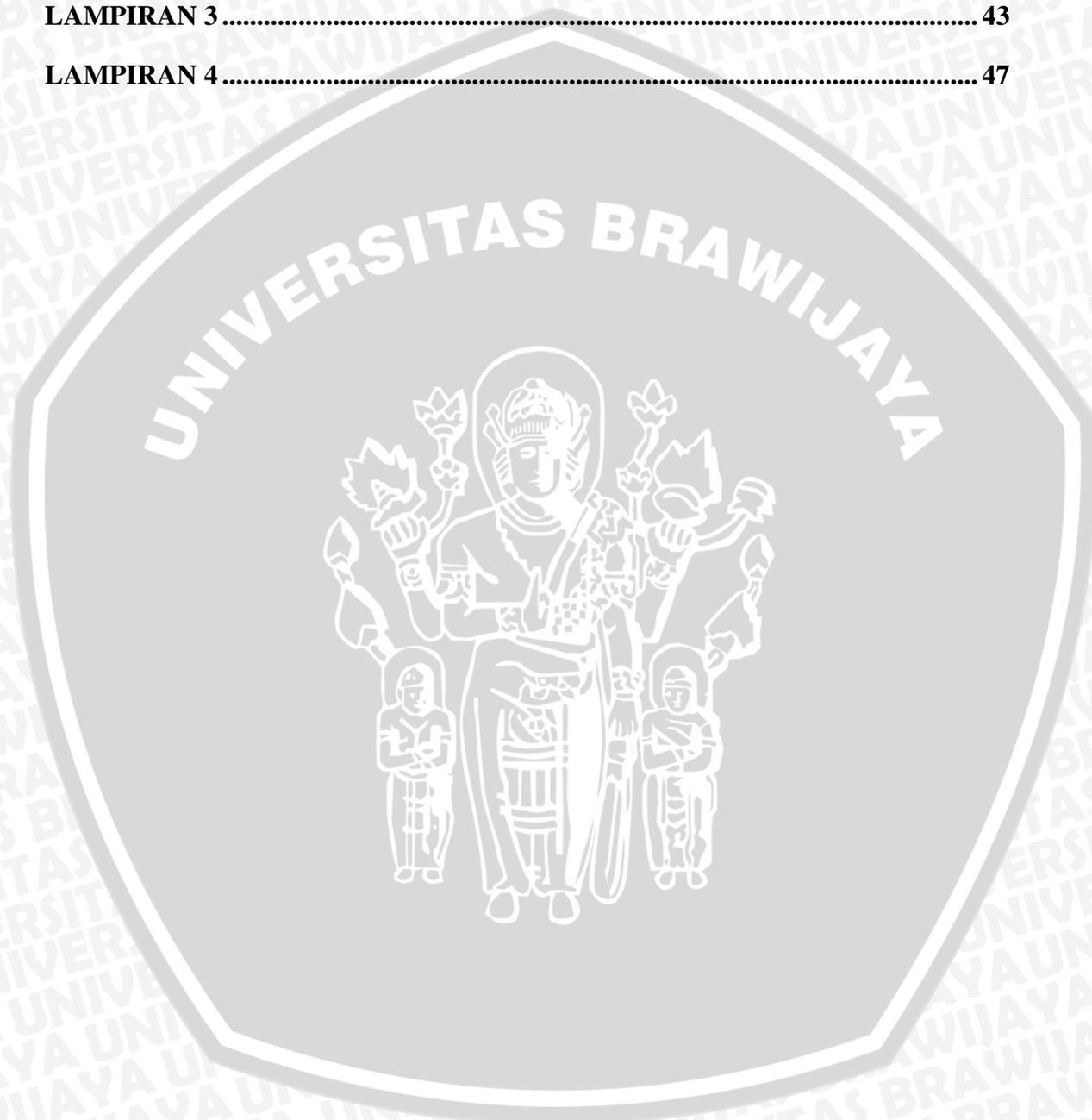
RINGKASAN.....	i
SUMMARY.....	ii
PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengereman Elektrik.....	4
2.2 Sensor Putaran.....	4
2.3 Sensor Torsi.....	5
2.4 Control Unit.....	6
2.5 Isolation Amplifier.....	7
2.6 Rangkaian Pembagi Tegangan.....	8
2.7 Arduino Uno.....	9
2.8 Microsoft Visual Studio.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Penentuan Spesifikasi Sistem.....	14
3.2 Perancangan.....	14
3.2.1 Perancangan Diagram Blok Sistem.....	15



3.2.2 Perancangan Perangkat Keras	16
3.3 Pengujian	26
3.3.1 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal untuk Control Unit.....	26
3.3.2 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Tegangan Motor	26
3.3.3 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus Motor.....	26
3.3.4 Pengujian Keseluruhan Sistem.....	26
BAB IV	27
HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal untuk Control Unit	27
4.1.1 Peralatan Pengujian	27
4.1.2 Prosedur Pengujian	27
4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisis	28
4.2 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Tegangan Motor.....	29
4.2.1 Peralatan Pengujian	29
4.2.2 Prosedur Pengujian.....	30
4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisis	30
4.3 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus Motor	32
4.3.1 Peralatan Pengujian	32
4.3.2 Prosedur Pengujian	32
4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis	33
4.4 Pengujian Keseluruhan Sistem	34
4.4.1 Peralatan Pengujian	34
4.4.2 Prosedur Pengujian	35
4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisis	36
BAB V.....	39
KESIMPULAN.....	39
5.1 Kesimpulan	39



5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN 1	41
LAMPIRAN 2	42
LAMPIRAN 3	43
LAMPIRAN 4	47



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno	10
Tabel 4.1 Data tegangan keluaran rangkaian pengkondisi sinyal untuk <i>control unit</i> ..	28



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tachogenerator 0,3 kW	5
Gambar 2.2 Magnetic Powder Brake 1 kW.....	6
Gambar 2.3 Control Unit 0,3 kW yang ada di Laboratorium Elektronika Daya TEUB	7
Gambar 2.4 Isolation Amplifier yang ada di Laboratorium Elektronika Daya TEUB.....	8
Gambar 2.5 Skematik rangkaian Isolation Amplifier.....	8
Gambar 2.6 Rangkaian pembagi tegangan	9
Gambar 2.7 Arduino Uno	10
Gambar 3.1 Diagram blok sistem.....	17
Gambar 3.2 Rangkaian pengkondisi sinyal untuk <i>control unit</i>	17
Gambar 3.3 Rangkaian pembagi tegangan pada pengkondisi sinyal tegangan motor	117
Gambar 3.4 Rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor	19
Gambar 3.5 Rangkaian pembagi tegangan pada pengkondisi sinyal arus motor	20
Gambar 3.6 Rangkaian akuisi data arus motor.....	21
Gambar 3.7 Rangkaian antarmuka Arduino	22
Gambar 3.8 Diagram alir perangkat lunak mikrokontroler	23
Gambar 3.9 Desain tampilan form 1	24
Gambar 3.10 Desain tampilan tab 1	25
Gambar 3.11 Desain tampilan tab 2 dan 3	25
Gambar 4.1 Rangkaian pengujian pembagi tegangan untuk control unit.....	25
Gambar 4.2 Grafik tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan untuk <i>control unit</i>	29
Gambar 4.3 Rangkaian pengujian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor.....	30
Gambar 4.4 Rangkaian pengujian pengkondisi sinyal tegangan motor	30
Gambar 4.5 Sinyal keluaran rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor	31
Gambar 4.6 Sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor	31
Gambar 4.7 Rangkaian pengujian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor.....	32
Gambar 4.8 Rangkaian pengujian pengkondisi sinyal tegangan motor	33
Gambar 4.9 Sinyal keluaran rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal arus motor	33

Gambar 4.10 Sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal arus motor..... 34

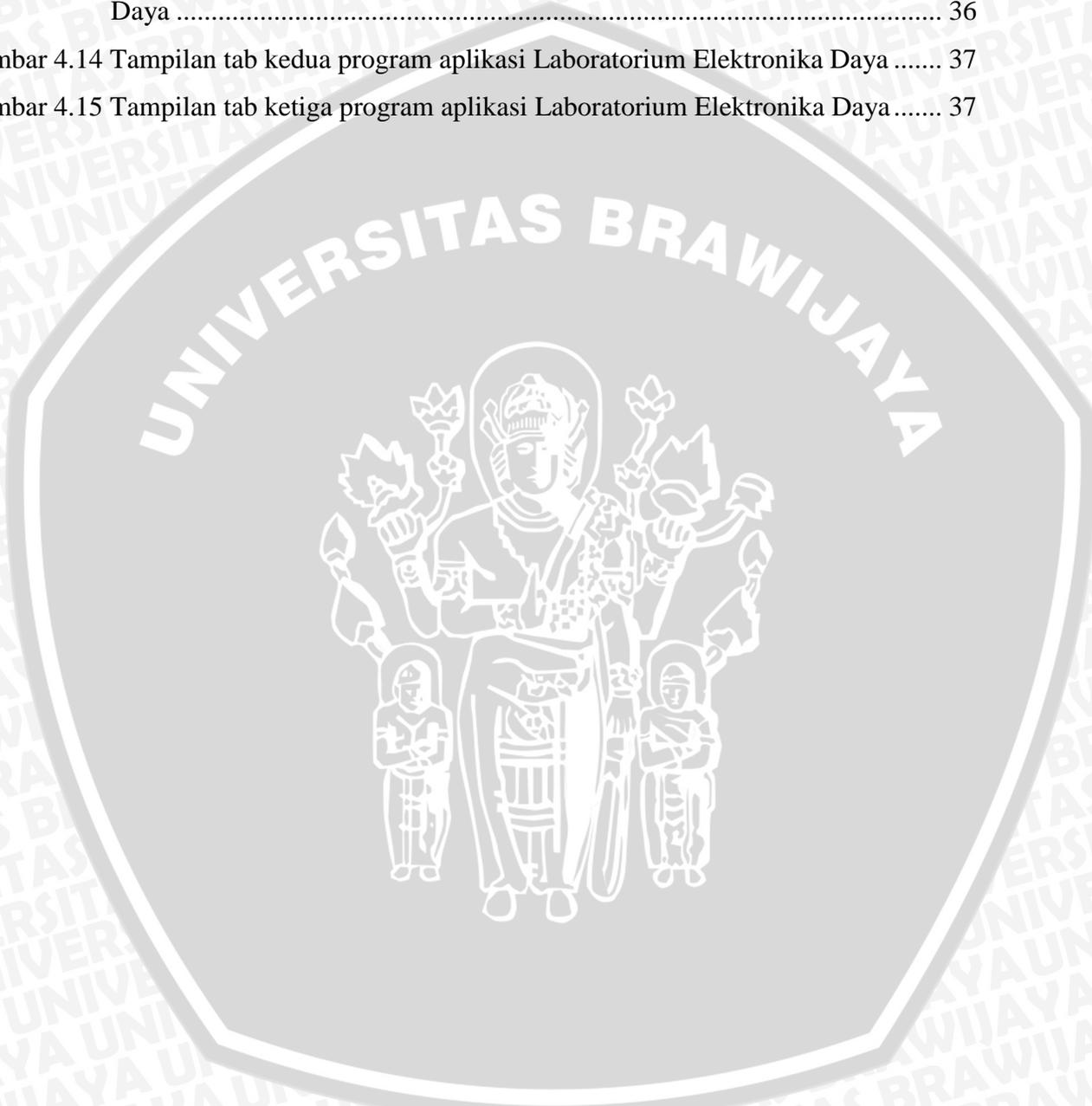
Gambar 4.11 Rangkaian pengujian keseluruhan sistem..... 35

Gambar 4.12 Tampilan menu utama program aplikasi Laboratorium Elektronika
Daya 36

Gambar 4.13 Tampilan tab pertama program aplikasi Laboratorium Elektronika
Daya 36

Gambar 4.14 Tampilan tab kedua program aplikasi Laboratorium Elektronika Daya 37

Gambar 4.15 Tampilan tab ketiga program aplikasi Laboratorium Elektronika Daya 37



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini dituntut untuk memenuhi kebutuhan manusia yang bermacam-macam tidak hanya dari segi fungsi, tetapi juga harus efisien. Manusia sudah mulai meninggalkan aktivitas yang dilakukan secara konvensional dan beralih ke fasilitas digital yang menggunakan peralatan-peralatan elektronik. Peralatan elektronik pun semakin lama semakin mengalami kemajuan, khususnya dalam hal teknologi antarmuka komputer. Perangkat penghubung yang digunakan oleh komputer saat ini harus memiliki kemampuan *plug-and-play* yang baik, terkonfigurasi secara otomatis oleh sistem operasi terkini, dan dapat digunakan untuk menghubungkan semua jenis periferal.

Pada Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB, terdapat beberapa mesin listrik yang digunakan untuk kepentingan praktikum. Salah satu mesin listrik yang digunakan dalam praktikum tersebut adalah motor listrik. Motor listrik adalah suatu perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan termasuk ke dalam kategori mesin listrik dinamis. Pencatatan karakteristik suatu motor listrik saat diberi torsi pengereman harus dilakukan dengan cepat, terutama saat nilai torsi pengereman yang besar agar tidak terjadi kerusakan pada motor tersebut. Pencatatan secara manual oleh manusia sangat tidak efektif untuk diterapkan karena keterbatasan manusia dalam membaca sebuah alat ukur dengan cepat.

Modul yang digunakan untuk pencatatan karakteristik motor listrik di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB adalah CASSY-P produksi Leybold Didactic. Namun, CASSY-P masih menggunakan bus PCI dengan penambahan *expansion card* untuk perangkat penghubungnya. Teknologi saat ini sudah tidak menyediakan slot ekspansi PCI dan penggunaan konektor PCI untuk antarmuka komputer. Selain itu, sistem operasi yang digunakan oleh CASSY-P masih menggunakan MS-DOS yang sudah tidak digunakan lagi oleh komputer saat ini. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang menggunakan teknologi antarmuka dan sistem operasi yang umum digunakan oleh komputer saat ini untuk menggantikan fungsi dari CASSY-P sebagai pencatat karakteristik motor listrik di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat sebuah sistem yang mampu mencatat karakteristik motor asinkron tiga fasa berupa nilai torsi, kecepatan, tegangan, dan arus listrik secara *real time* dan dapat ditampilkan oleh *Personal Computer* menggunakan

antarmuka USB yang merupakan teknologi standar dan paling banyak digunakan untuk perangkat penghubung serta paling mutakhir dari teknologi antarmuka komputer.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem yang dapat mencatat karakteristik motor asinkron tiga fasa berupa nilai torsi, kecepatan, tegangan, dan arus listrik dan dapat ditampilkan secara *real time*.
2. Bagaimana prinsip kerja sistem pencatat karakteristik motor asinkron tiga fasa berbasis mikrokontroler.

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini akan diberi batasan sebagai berikut:

1. Motor listrik yang digunakan adalah motor asinkron tiga fasa yang terdapat di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB.
2. Pembacaan nilai torsi dan kecepatan motor asinkron tiga fasa menggunakan *tachogenerator* dan *magnetic powder brake* yang dihubungkan ke *control unit* yang terdapat di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB.
3. Pembacaan nilai tegangan dan arus listrik motor asinkron tiga fasa menggunakan *isolation amplifier* yang terdapat di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB.
4. Pengolahan data karakteristik motor asinkron tiga fasa menggunakan Arduino Uno.
5. Perangkat lunak yang digunakan untuk menampilkan data dalam bentuk visual secara *real time* adalah Microsoft Visual Studio

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat sebuah sistem yang mampu mencatat karakteristik motor asinkron tiga fasa berupa nilai torsi, kecepatan, tegangan, dan arus listrik secara *real time* yang dapat dihubungkan ke *Personal Computer* menggunakan antarmuka USB.

1.5 Manfaat

Manfaat dari perancangan dan pembuatan pencatat karakteristik motor asinkron tiga fasa ini khususnya bagi Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB adalah sebagai penunjang kebutuhan praktikum Elektronika Daya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri dari lima bab yang masing-masing babnya berisi pembahasan yang berbeda-beda. Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan sistem yang meliputi teori mengenai pengereman elektrik dan akuisisi data, serta literatur mengenai sensor kecepatan, sensor torsi, *control unit*, *isolation amplifier*, Arduino Uno, dan Microsoft Visual Studio.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan sistem yang dirancang yang meliputi penentuan spesifikasi sistem, perancangan, dan pengujian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengujian terhadap sistem yang telah direalisasikan. Hasil pengujian sistem yang akan dibahas pada bab ini antara lain pengujian rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*, pengujian rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor, pengujian rangkaian pengkondisi sinyal arus motor, serta pengujian keseluruhan sistem pencatat karakteristik motor asinkron tiga fasa yang meliputi nilai torsi, kecepatan, tegangan, dan arus listrik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem yang telah dirancang

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa teori pendukung yang perlu dibahas dalam pembuatan sistem ini meliputi teori mengenai pengereman elektrik dan akuisisi data, serta literatur mengenai sensor kecepatan, sensor torsi, *control unit*, *isolation amplifier*, Arduino Uno, dan Microsoft Visual Studio.

2.1 Pengereman Elektrik

Pengereman adalah suatu usaha atau gaya yang diberikan pada motor yang sedang berputar agar motor mengalami perlambatan ataupun berhenti berputar dalam waktu yang relatif singkat. Pengereman dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara mekanik dan elektrik (Owen, 2011).

Pada pengereman secara elektrik, energi putaran rotor diubah menjadi energi elektrik yang kemudian dikembalikan ke suplai daya, atau dengan memberikan suatu medan magnet stasioner pada stator sehingga putaran rotor akan berkurang dengan sendirinya. Pengereman secara elektrik ini lebih halus dan tidak ada hentakan yang terjadi. Pengereman secara elektrik ini tidak dapat menghasilkan torsi untuk menahan beban dalam keadaan sudah berhenti dan membutuhkan sumber energi listrik untuk mengoperasikannya.

Torsi pada pengereman elektrik dihasilkan berdasarkan nilai arus injeksi yang diberikan pada belitan stator. Arus searah yang diinjeksikan pada kumparan stator akan mengembangkan medan stasioner untuk menurunkan tegangan pada rotor. Oleh karena kumparan rotor terhubung singkat, arus yang mengalir menghasilkan medan magnet. Medan magnet akan berputar dengan kecepatan yang sama dengan rotor tetapi dengan arah yang berlawanan untuk menjadikan stasioner terhadap stator (Eddens, 1976).

Interaksi medan resultan dan gerak gaya magnet rotor akan meningkatkan torsi yang berlawanan dengan torsi motor sehingga pengereman terjadi. Torsi pengereman yang dihasilkan tergantung pada arus injeksi searah pada belitan stator karena torsi pengereman sebanding dengan arus injeksi, sedangkan nilai tahanan berpengaruh pada nilai kecepatan torsi pengereman terjadi. Semakin kecil nilai tahanan, semakin cepat torsi pengereman terjadi.

2.2 Sensor Putaran

Sensor putaran adalah suatu transduser yang digunakan untuk mengkonversi jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros menjadi sinyal listrik. Data masukan yang berupa

putaran diubah menjadi suatu nilai frekuensi yang kemudian diubah lagi ke dalam bentuk tegangan listrik. Ada berbagai macam jenis sensor putaran, salah satunya adalah *tachogenerator*.

Tachogenerator digunakan bersama dengan *control unit* untuk pencatatan kecepatan mesin listrik. *Tachogenerator* adalah sebuah generator kecil yang membangkitkan tegangan DC ataupun tegangan AC dan digunakan sebagai sensor kecepatan. Dari segi eksitasi, *tachogenerator* dapat dibangkitkan dengan eksitasi dari luar atau imbas elektromagnet dari magnet permanen. *Tachogenerator* DC dapat membangkitkan tegangan DC yang langsung dapat menghasilkan informasi kecepatan. Sensitivitas *tachogenerator* DC cukup baik terutama pada daerah kecepatan tinggi. *Tachogenerator* yang digunakan di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB adalah *tachogenerator* DC dengan eksitasi imbas elektromagnetik dari magnet permanen dan nilai sensitivitasnya sebesar 1 V/1000 rpm (Leybold, 1996:1). *Tachogenerator* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Tachogenerator* 0,3 kW
(Sumber: Leybold)

2.3 Sensor Torsi

Sensor torsi adalah suatu transduser yang digunakan untuk mengkonversi masukan mekanik yang berupa torsi menjadi sinyal listrik. Ada dua jenis sensor torsi, yaitu yang digunakan untuk mengukur torsi statis dan untuk mengukur torsi dinamis. Torsi statis relatif mudah diukur, sedangkan torsi dinamis tidak mudah untuk diukur karena biasanya membutuhkan transfer beberapa efek listrik atau magnet dari poros yang diukur dengan sistem statis. Salah satu sensor torsi yang digunakan untuk mengukur torsi dinamis adalah *magnetic powder brake*.

Magnetic powder brake digunakan bersama dengan *control unit* untuk pencatatan torsi pada mesin listrik. Prinsip kerja dari *magnetic powder brake* adalah pengereman yang disebabkan oleh serbuk magnet yang terletak pada ruang partikel magnet. Efek pengereman dapat disesuaikan dengan mengubah nilai dari medan magnet. Daya disuplai oleh *control unit* melalui kabel penghubung menggunakan konektor serial multi-pin. Saat daya dicatukan ke *magnetic powder brake*, medan magnet di bagian dalam belitan berubah sesuai dengan tegangan atau arus yang diinjeksikan. Perubahan medan magnet mengubah kerapatan posisi serbuk pada ruangan partikel magnet. Partikel yang sejajar di sepanjang garis gaya medan magnet menghasilkan ikatan tarik menarik sehingga menghasilkan efek pengereman. Saat arus terputus, serbuk magnet terdorong melawan medan stator melalui gaya sentrifugal hingga ikatan rotor terlepas sehingga dapat berputar. Rem terlindung oleh saklar termal dan ventilasi terpisah terhadap pemanasan yang berlebih (Leybold, 1996:2). *Magnetic powder brake* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Magnetic Powder Brake* 1 kW
(Sumber: Leybold)

2.4 *Control Unit*

Control unit merupakan suatu instrumen elektronik yang digunakan untuk melakukan pengukuran karakteristik dari suatu mesin listrik. *Control unit* digunakan bersama dengan *magnetic powder brake* dan *tachogenerator* untuk pencatatan karakteristik mesin listrik baik secara manual maupun otomatis. Sinyal masukan yang diterima dari *magnetic powder brake* dan *tachogenerator* dikonversi menjadi sinyal keluaran analog 0 – 10 V DC. Terdapat tiga jenis *control unit* yang diklasifikasikan berdasarkan *rating* dayanya, yaitu *control unit* 0,1 kW, 0,3 kW dan 1 kW (Leybold, 1996:1). *Control unit* yang digunakan di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Control Unit 0,3 kW yang ada di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB

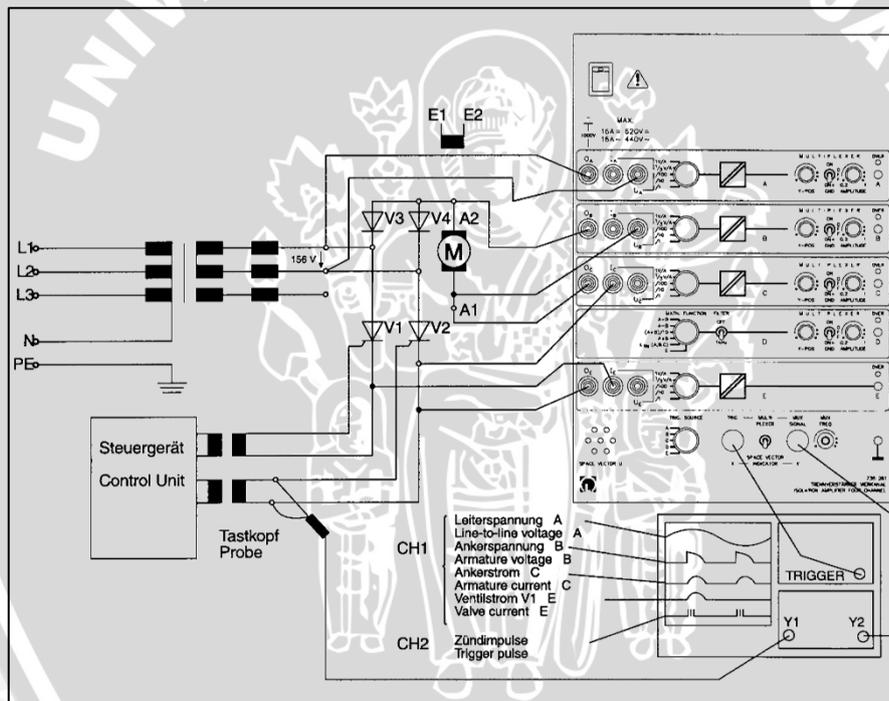
Control unit menyuplai daya yang diperlukan oleh *magnetic powder brake* baik dalam kontrol *loop* terbuka maupun *loop* tertutup. Untuk *loop* terbuka, kecepatan dan torsi dari mesin yang akan diuji ditentukan pada instrumen dan pencatat. Berdasarkan metode ini, koordinat torsi dan kecepatan dapat dicatat sampai ke titik kritis untuk mesin induksi. Untuk *loop* tertutup, kecepatan dicatat sebagai nilai yang sebenarnya dibandingkan dengan variabel referensi yang juga dapat menjadi fungsi *ramp*, dan dari variabel kontrol arus pengereman terbentuk. Dalam proses ini, koordinat torsi dan kecepatan mesin dapat ditetapkan untuk berhenti pada suatu titik, tetapi harus tetap mempertimbangkan temperatur mesin agar tidak terjadi kerusakan pada mesin. Saklar termal akan terpicu untuk aktif jika mesin mengalami pemanasan yang berlebih. Saklar termal yang terpasang pada mesin dan rem akan memutuskan proses pengereman ketika suhu operasi telah melewati batas yang diperbolehkan sehingga temperatur mesin dengan cepat dapat dikembalikan ke kisaran suhu operasi normal. Rem secara otomatis akan dipaksa untuk berventilasi (Leybold, 1996:2).

2.5 Isolation Amplifier

Isolation amplifier merupakan suatu instrumen elektronik yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tegangan dan arus listrik mesin listrik sebagai konverter tegangan atau arus listrik. Sinyal yang masuk ke kanal *isolation amplifier* dikonversi menjadi nilai tegangan yang dapat diperkecil sesuai kebutuhan untuk selanjutnya digunakan dalam akuisisi data tegangan dan arus mesin listrik (Leybold, 1995:1). Masing-masing kanal *isolation amplifier* terbentuk dari penguat diferensial dengan penambahan isolasi optoelektronik (Leybold, 1995:6). *Isolation amplifier* yang digunakan di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB ditunjukkan pada Gambar 2.4.



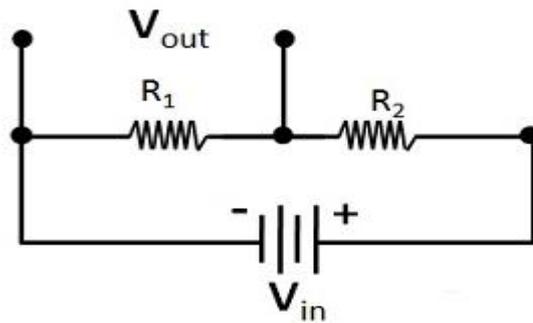
Gambar 2.4 Isolation Amplifier yang ada di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB



Gambar 2.5 Skematik rangkaian Isolation Amplifier

2.6 Rangkaian Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi rangkaian pembagi tegangan ini adalah untuk membagi tegangan masukan menjadi satu atau beberapa tegangan output yang diperlukan oleh komponen lainnya di dalam rangkaian.



Gambar 2.6 Rangkaian pembagi tegangan
(Sumber: www.teknikelektronika.com)

Rumus pembagi tegangan:

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \quad (2-1)$$

dengan:

V_{out} = tegangan keluaran (V)

V_{in} = tegangan masukan (V)

R_1 = resistor 1 (Ω)

R_2 = resistor 2 (Ω)

2.7 Arduino Uno

Ada banyak jenis mikrokontroler yang masing-masing memiliki keluarga atau seri sendiri-sendiri. Secara garis besar, pengelompokan keluarga mikrokontroler ditentukan oleh perusahaan tertentu sesuai dengan spesifikasi khusus yang dimilikinya yang membedakan dengan mikrokontroler keluarga lainnya. Salah satu contoh keluarga mikrokontroler yaitu keluarga AVR.

Arduino adalah *board* berbasis mikrokontroler pada 8 bit Atmel AVR, atau 32 bit Atmel ARM. Salah satu jenis *board* Arduino adalah Arduino Uno yang berbasis mikrokontroler ATmega328 yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Arduino Uno memiliki 14 pin *input/output* digital (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 6 masukan analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, ICSP (*Input Circuit Serial Programming*) Header, soket daya, dan tombol *reset*. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler (Arduino, 2009:1). Spesifikasi Arduino Uno ditunjukkan dalam Tabel 2.1.



Gambar 2.7 Arduino Uno
(Sumber: Arduino, 2009:1)

Tabel 2.1. Spesifikasi Arduino Uno

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

(Sumber: Arduino, 2009:2)

Arduino Uno diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya akan dipilih secara otomatis. Penggunaan catu daya eksternal dihubungkan melalui 2.1 mm soket daya dengan kutub positif berada di tengah. ATmega328 memiliki 32 kB memori dengan 0,5 kB digunakan untuk *bootloader*, 2 kB dari SRAM, dan 1 dari kB EEPROM. Masing-masing dari 14 pin digital pada Arduino Uno dapat digunakan sebagai masukan atau keluaran dan beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima

arus maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal yang secara *default* terputus dari 20 – 50 k Ω . Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

1. Serial: pin 0 (Rx) dan pin 1 (Tx). Pin ini digunakan untuk menerima (Rx) dan mengirimkan (Tx) data TTL serial. Pin ini terhubung ke pin yang sesuai dari *Chip Serial USB to TTL ATmega8U2*.
2. *Interrupt* Eksternal: pin 2 dan pin 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu *interrupt* pada logika rendah, tepi naik, atau tepi turun.
3. *Pulse Width Modulation* (PWM): pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Pin ini menyediakan 8-bit PWM *output*.
4. *Serial Peripheral Interface* (SPI): pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), dan 13 (SCK).
5. LED: pin 13. LED terhubung ke pin digital 13. LED menyala saat pin berlogika tinggi, dan mati saat pin berlogika rendah (Arduino, 2009:3).

Arduino Uno memiliki 6 masukan analog, pin A0 – A5, yang masing-masing menyediakan resolusi 10 bit. Secara *default*, pin-pin tersebut mengukur nilai tegangan dari *ground* sampai 5 volt, meskipun batas atas dari rentang ADC dapat diubah menggunakan pin AREF. Pin analog yang memiliki fungsi khusus sebagai *Two Wire Interface* (TWI) yaitu pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL). Selain itu terdapat pin *reset* pada kondisi logika rendah untuk melakukan *reset* mikrokontroler.

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5 volt) komunikasi serial, yang tersedia di pin digital 0 (Rx) dan 1 (Tx). Sebuah ATmega16U2 pada saluran *board* komunikasi serial ini melalui USB dan muncul sebagai *com port virtual* untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware* ATmega16U2 menggunakan *driver* standar USB COM dan tidak membutuhkan tambahan *driver* eksternal. Namun, *file .inf* diperlukan pada Windows. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke *board* Arduino. LED Rx dan Tx di *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui *chip USB to Serial* dan koneksi USB ke komputer. ATmega328 ini juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI (Arduino, 2009:4).

Arduino Uno dapat diprogram dengan perangkat lunak Arduino IDE. Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) adalah sebuah aplikasi *cross-platform* yang ditulis dengan basis Java. *Source program* untuk diaplikasikan pada Arduino menggunakan bahasa C/C++. Pengguna Arduino menggunakan dua fungsi inti untuk membuat *looping* program yang dapat dieksekusi yaitu:

1. `setup()` : fungsi dijalankan sekali pada awal program yang dapat menginisialisasi

pengaturan.

2. Loop () : fungsi yang dieksekusi berulang kali hingga mikrokontroler nonaktif (Arduino, 2009:6).

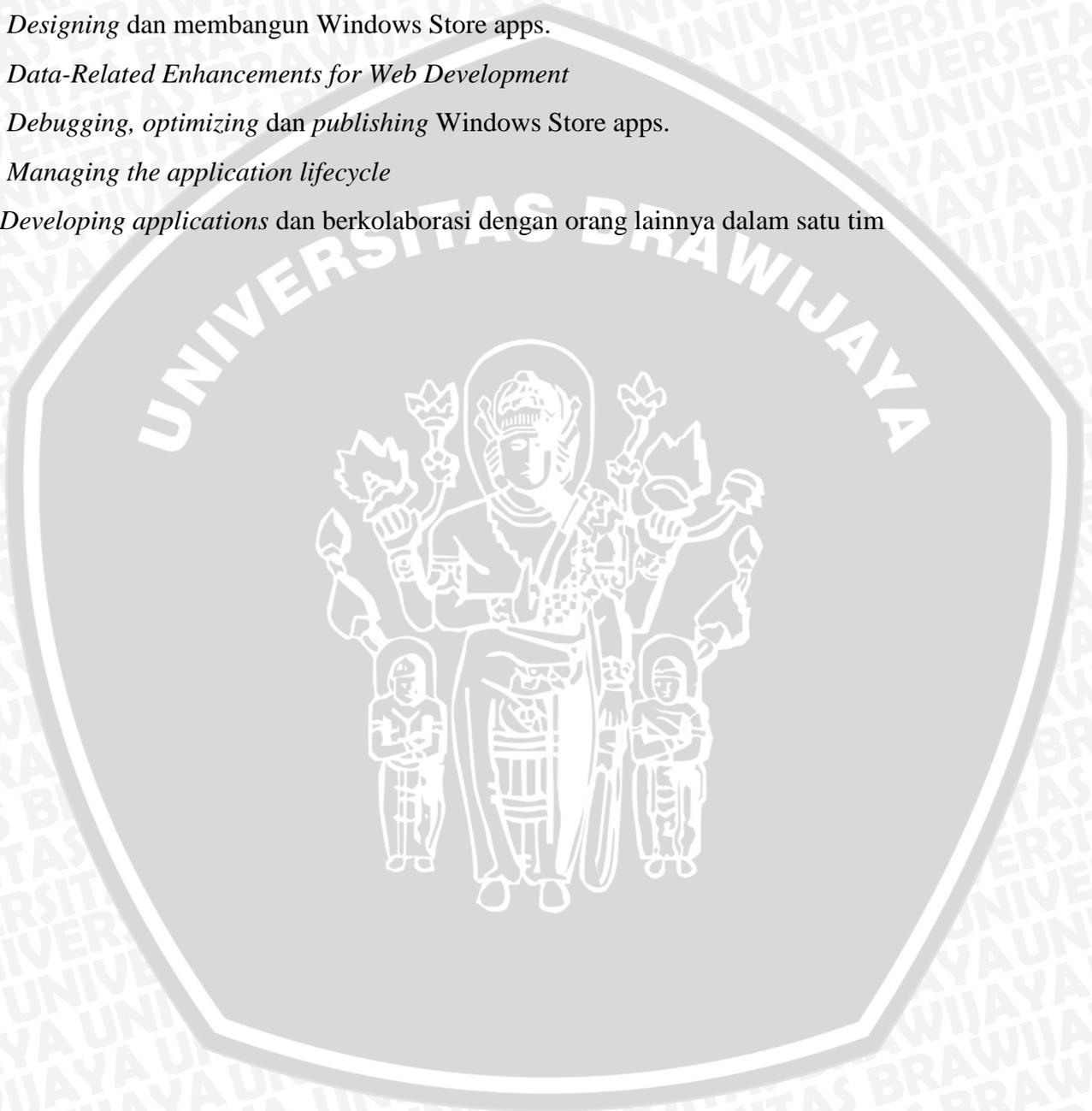
2.8 Microsoft Visual Studio

Microsoft Visual Studio merupakan sebuah perangkat lunak lengkap (*suite*) yang dapat digunakan untuk melakukan pengembangan aplikasi, baik itu aplikasi bisnis, aplikasi personal, ataupun komponen aplikasinya, dalam bentuk aplikasi *console*, aplikasi Windows, ataupun aplikasi Web. Microsoft Visual Studio mencakup kompiler, SDK, *Integrated Development Environment* (IDE), dan dokumentasi (umumnya berupa *MSDN Library*). Kompiler yang dimasukkan ke dalam paket Microsoft Visual Studio antara lain Visual C++, Visual C#, Visual Basic, Visual Basic .NET, Visual InterDev, Visual J++, Visual J#, Visual FoxPro, dan Visual SourceSafe.

Microsoft Visual Studio dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi dalam *native code* (dalam bentuk bahasa mesin yang berjalan di atas Windows) ataupun *managed code* (dalam bentuk *Microsoft Intermediate Language* di atas .NET Framework). Selain itu, Microsoft Visual Studio juga dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi Silverlight, aplikasi Windows Mobile (yang berjalan di atas .NET Compact Framework). Microsoft Visual Studio memiliki berbagai fitur di dalamnya di antaranya:

- *Projects* dan Solusinya
- *Window Management*
- *Code Editing for C++*
- *Code Editing for JavaScript*
- Visual Basic
- Visual C#
- Visual C++
- JavaScript
- Visual F#
- *Modeling applications*
- *Automating dan debugging builds*
- Microsoft Test Manager
- ASP.NET 4.5 Core Services
- ASP.NET 4.5 Web Forms

- *IIS Express for Web Development*
- *ASP.NET Web API*
- *Light Switch*
- *Data Application Development*
- *General Enhancements for Web Development*
- *Designing dan membangun Windows Store apps.*
- *Data-Related Enhancements for Web Development*
- *Debugging, optimizing dan publishing Windows Store apps.*
- *Managing the application lifecycle*
- *Developing applications dan berkolaborasi dengan orang lainnya dalam satu tim*



BAB III

METODE PENELITIAN

Penyusunan penelitian ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasi sistem agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan sistem yang dirancang meliputi penentuan spesifikasi sistem, perancangan, dan pengujian.

3.1 Penentuan Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem perlu ditentukan terlebih dahulu sebagai acuan untuk mendapatkan sistem yang sesuai dengan keinginan dan dapat bekerja dengan efektif serta efisien. Sistem yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Motor listrik yang digunakan adalah motor asinkron tiga fasa yang terdapat di Laboratorium Elektronika Daya JTE FT-UB.
2. *Tachogenerator* dan *magnetic powder brake* yang dihubungkan ke *control unit* digunakan untuk pembacaan nilai torsi dan kecepatan motor asinkron tiga fasa.
3. *Isolation amplifier* digunakan untuk pembacaan nilai tegangan dan arus listrik motor asinkron tiga fasa.
4. Arduino Uno digunakan sebagai pengolah data yang kemudian diteruskan ke *Personal Computer*.
5. Microsoft Visual Studio digunakan sebagai perangkat lunak yang berfungsi untuk menampilkan data yang diterima oleh *Personal Computer* dari Arduino Uno dalam bentuk visual secara *real time*.

3.2 Perancangan

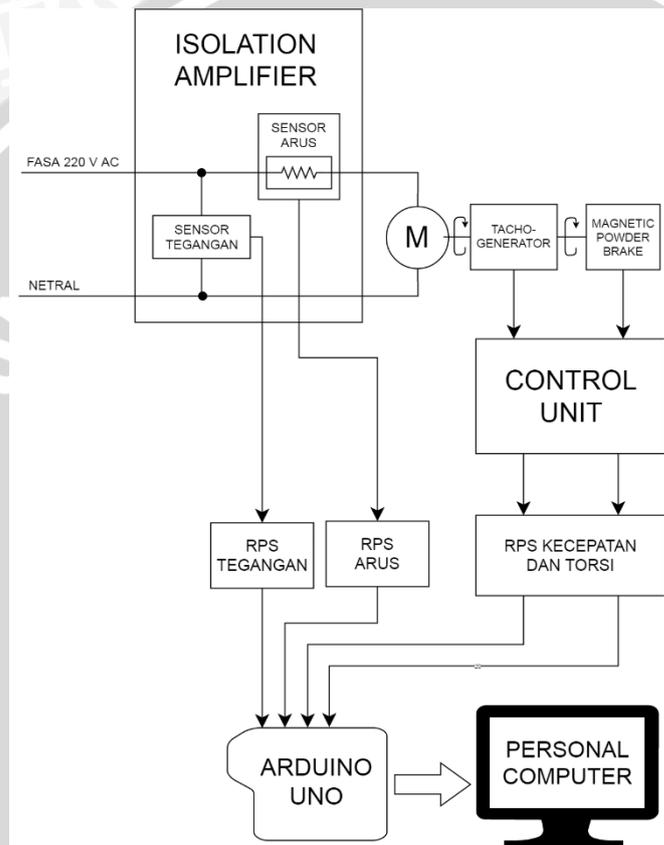
Perancangan untuk membangun sistem pencatat karakteristik motor listrik ini dibagi menjadi beberapa tahap, antara lain:

1. Perencanaan sistem secara keseluruhan yang digambarkan dalam sebuah diagram blok.
2. Perancangan perangkat keras yang terdiri dari rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*, rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor, rangkaian pengkondisi sinyal arus motor, dan rangkaian antarmuka Arduino Uno.

3. Perancangan perangkat lunak yang meliputi program pada mikrokontroler dan program aplikasi berbasis Windows pada komputer yang berfungsi untuk mengolah dan menampilkan data yang dikirim oleh mikrokontroler.
4. Perancangan *layout* tampilan pada Microsoft Visual Studio.

3.2.1 Perancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan sistem diawali dengan pembuatan diagram blok sistem secara keseluruhan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 agar perancangan berjalan secara sistematis.



Gambar 3.1 Diagram blok sistem

Penjelasan mengenai diagram blok sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1 adalah sebagai berikut:

1. Motor asinkron tiga fasa dikopel dengan *tachogenerator* dan *magnetic powder brake*.
2. Setelah dikopel, motor asinkron tiga fasa diberi catu daya dengan cara menghubungkannya ke jaringan listrik AC 3 fasa.
3. Salah satu kabel dari terminal jaringan listrik AC 3 fasa yang akan dihubungkan ke motor asinkron tiga fasa terlebih dahulu dihubungkan ke kaki positif kanal pertama *isolation amplifier* yang telah dipasangkan resistor 1 Ω , kemudian kaki negatifnya

dihubungkan ke motor asinkron tiga fasa untuk pembacaan nilai arus motor asinkron tiga fasa.

4. Fasa dan netral jaringan listik AC 3 fasa dihubungkan ke kanal kedua *isolation amplifier* secara paralel untuk pembacaan nilai tegangan motor asinkron tiga fasa.
5. *Magnetic powder brake* dan *tachogenerator* dihubungkan ke *control unit* sesuai dengan soket masukannya masing-masing untuk pembacaan nilai torsi dan kecepatan motor asinkron tiga fasa.
6. Keluaran dari *control unit* dihubungkan ke rangkaian pengkondisi sinyal kecepatan dan torsi motor.
7. Keluaran dari kanal pertama *isolation amplifier* dihubungkan ke rangkaian pengkondisi sinyal arus motor, sedangkan keluaran dari kanal kedua dihubungkan ke rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor.
8. Keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal kecepatan dan torsi motor, rangkaian pengkondisi sinyal arus motor, dan rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor dihubungkan ke pin-pin analog Arduino Uno.
9. Arduino Uno dihubungkan ke *Personal Computer* menggunakan koneksi USB.

2.5.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dibagi menjadi beberapa bagian untuk mempermudah dalam mengamati karakter data keluaran dari setiap rangkaian agar sesuai dengan masukan rangkaian berikutnya dan membangun sistem elektrik secara keseluruhan. Perancangan perangkat keras yang akan dilakukan meliputi:

1. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*
2. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor
3. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal arus motor
4. Perancangan rangkaian antarmuka Arduino Uno

3.2.2.1 Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal untuk Control Unit

Perancangan ini bertujuan untuk membuat suatu rangkaian yang mampu menangkap sinyal tegangan dari *control unit* agar dapat diproses oleh Arduino. Keluaran dari *control unit* berupa tegangan DC yang bernilai antara 0 – 10 V dan terdiri dari dua bagian, yaitu untuk pencatatan torsi dan kecepatan rotasi, sedangkan tegangan masukan pada Arduino memiliki batas nilai antara 0 – 5 V. Maka dari itu, dibutuhkan suatu rangkaian yang berupa

dua buah pembagi tegangan agar nilai tegangan keluaran *control unit* dapat dijadikan masukan Arduino.

Rangkaian pengkondisi sinyal ini terdiri dari empat buah resistor. Besarnya nilai hambatan pada resistor ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$R_1 = R_4$$

$$R_2 = R_3$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

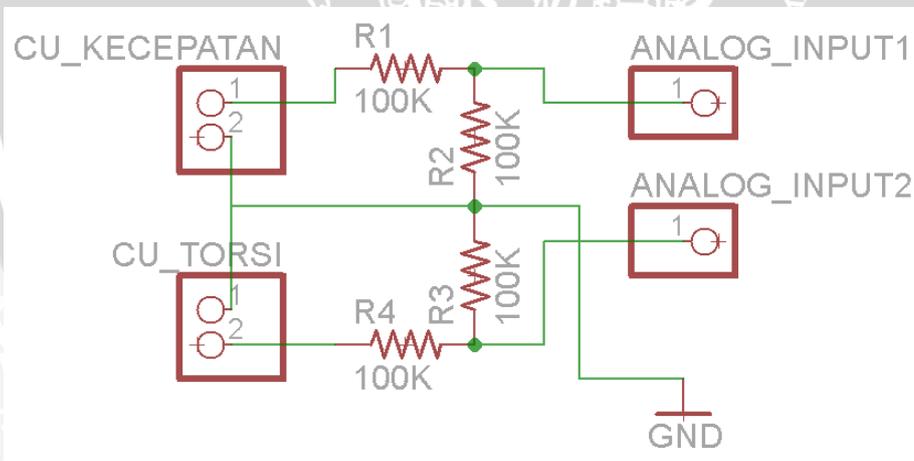
$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1 \right)$$

Rangkaian pembagi tegangan ini memberi sinyal tegangan masukan kepada Arduino dengan penguatan setengah dari tegangan masukan rangkaian pembagi tegangan. Jika tegangan masukan rangkaian pembagi tegangan 10 V, maka yang terdeteksi pada Arduino sebesar 5 V. Sebagai acuan, besarnya nilai R_2 ditentukan sebesar 100 k Ω .

$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega \cdot \left(\frac{10 \text{ V}}{5 \text{ V}} - 1 \right) = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$



Gambar 3.2 Rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*

Tegangan keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal ini selanjutnya dihubungkan ke pin A0 dan A1 Arduino untuk diolah datanya.

3.2.2.2 Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Tegangan Motor

Perancangan ini bertujuan untuk membuat suatu rangkaian yang mampu menangkap sinyal tegangan motor listrik agar dapat diproses oleh Arduino. Sebelum masuk ke Arduino, sinyal tegangan motor terlebih dahulu harus melewati *isolation amplifier* dan rangkaian

pengkondisi sinyal tegangan motor. *Isolation amplifier* digunakan untuk menurunkan level tegangan AC 220 V menjadi tegangan AC 2,2 V_{rms}, dengan nilai tegangan puncak atas senilai +3,11 V dan tegangan puncak bawah -3,11 V. Nilai tegangan keluaran dari *isolation amplifier* sebesar ini masih belum dapat dijadikan masukan Arduino sehingga perlu diperkecil lagi. Untuk itu, diperlukan sebuah rangkaian pembagi tegangan yang berfungsi untuk menurunkan level tegangan keluaran dari *isolation amplifier*. Rangkaian pembagi tegangan ini dirancang untuk menghasilkan keluaran tegangan puncak ke puncak yang sesuai dengan tegangan referensi pada Arduino dengan penghitungan sebagai berikut:

$$V_{out \text{ isolation amplifier}} = 0,01 \cdot V_{motor} = 0,01 \cdot 220 V_{rms} = 2,2 V_{rms}$$

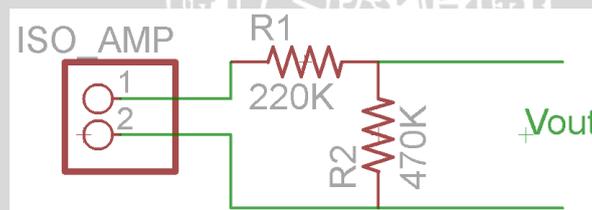
$$V_{peak \text{ isolation amplifier}} = 2,2\sqrt{2} V = 3,11 V$$

$$V_{out \text{ puncak}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{peak \text{ isolation amplifier}}$$

Nilai hambatan R₁ dan R₂ dipilih untuk menghasilkan nilai tegangan keluaran puncak sebesar ± 2 V. Untuk *isolation amplifier* dengan tegangan keluaran 2,2 V_{rms} AC, kombinasi nilai resistor yang sesuai untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran yang diinginkan adalah R₁ = 220 kΩ dan R₂ = 470 kΩ, dengan perhitungan sebagai berikut:

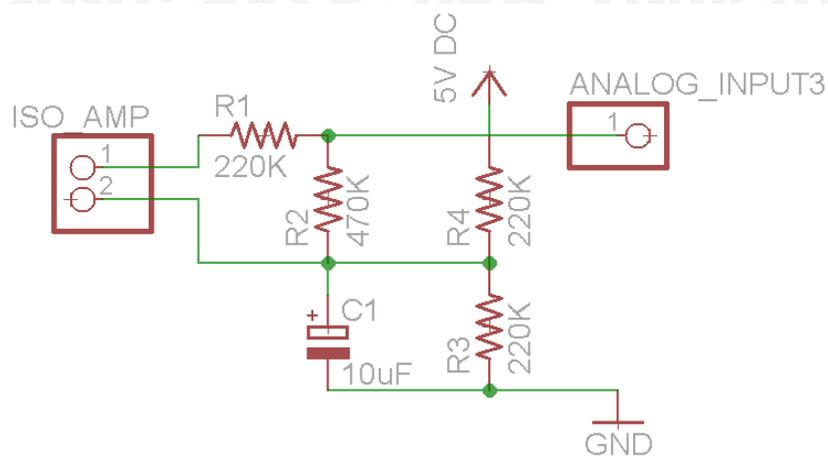
$$V_{out \text{ puncak}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{peak \text{ isolation amplifier}}$$

$$V_{out \text{ puncak}} = \frac{470 \text{ k}\Omega}{220 \text{ k}\Omega + 470 \text{ k}\Omega} \cdot 3,11 V = 2,12 V$$



Gambar 3.3 Rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor

Resistor R₁ dan R₂ yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 membentuk sebuah rangkaian pembagi tegangan yang dapat menurunkan nilai tegangan keluaran dari *isolation amplifier*. Sinyal keluaran pada rangkaian ini masih berbentuk sinusoida murni dengan nilai tegangan puncak +2,12 V dan -2,12 V. Dalam perancangan rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor diinginkan rangkaian yang mampu menaikkan titik nol sinyal sinusoida ke titik 2,5 V agar nilai puncak atas dan bawah sinyal bernilai positif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor

Tegangan bias yang dihasilkan dari rangkaian pembagi tegangan R_3 dan R_4 merupakan setengah dari nilai tegangan catu 5 V DC yang bernilai 2,5 V DC. Kapasitor di atas berguna sebagai kapasitor catu untuk mendapatkan tegangan keluaran yang stabil dari rangkaian pembagi tegangan R_3 dan R_4 . Nilai tegangan keluaran yang dihasilkan dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{out \text{ pembagi tegangan}} + V_{out \text{ DC Bias}}$$

$$V_{out \text{ puncak atas}} = 2,12 \text{ V} + 2,5 \text{ V} = 4,62 \text{ V}$$

$$V_{out \text{ puncak bawah}} = -2,12 \text{ V} + 2,5 \text{ V} = 0,38 \text{ V}$$

Jika keluaran dari catu daya sebesar 5 V DC, maka tegangan yang dihasilkan dari rangkaian ini naik sebesar 2,5 V sehingga puncak atas dan bawah gelombang menjadi bernilai positif. Nilai untuk puncak atas naik menjadi 4,62 V dan untuk puncak bawah naik menjadi 0,38 V. Nilai tegangan keluaran seperti ini dapat dijadikan masukan pada pin analog Arduino dan selanjutnya dihubungkan ke pin A2 Arduino untuk diolah datanya.

3.2.2.3 Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus Motor

Perancangan ini bertujuan untuk membuat suatu rangkaian yang mampu menangkap sinyal arus motor listrik dan mengubahnya ke dalam bentuk sinyal tegangan agar dapat diproses oleh Arduino. Sebelum masuk ke Arduino, sinyal arus motor terlebih dahulu harus melewati *isolation amplifier* dan rangkaian pengkondisi sinyal arus motor. *Isolation amplifier* digunakan untuk mengkonversi sinyal arus motor menjadi sinyal tegangan dengan menambahkan resistor 1 Ω pada *isolation amplifier*. Nilai tegangan keluaran dari *isolation amplifier* masih perlu diperkecil lagi agar dapat dijadikan masukan Arduino. Untuk itu, diperlukan sebuah rangkaian pembagi tegangan yang berfungsi untuk menurunkan level tegangan keluaran dari *isolation amplifier*. Rangkaian pembagi tegangan ini dirancang

untuk menghasilkan keluaran tegangan puncak ke puncak yang sesuai dengan tegangan referensi pada Arduino dengan penghitungan sebagai berikut:

$$V_{out \text{ isolation amplifier}} = R \cdot I_{max \text{ motor}} = 1 \Omega \cdot 4 A = 4 V_{rms}$$

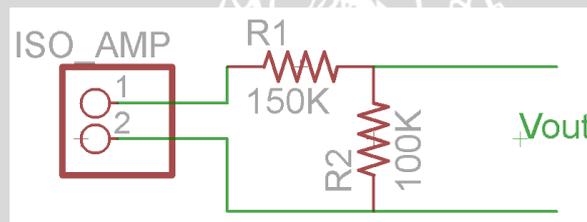
$$V_{peak \text{ isolation amplifier}} = 4\sqrt{2} V = 5,66 V$$

$$V_{out \text{ puncak}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{peak \text{ isolation amplifier}}$$

Nilai hambatan R_1 dan R_2 dipilih untuk menghasilkan nilai tegangan keluaran puncak sebesar $\pm 2 V$. Untuk *isolation amplifier* dengan tegangan keluaran $4 V_{rms}$ AC, kombinasi nilai resistor yang sesuai untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran yang diinginkan adalah $R_1 = 150 k\Omega$ dan $R_2 = 100 k\Omega$, dengan perhitungan sebagai berikut:

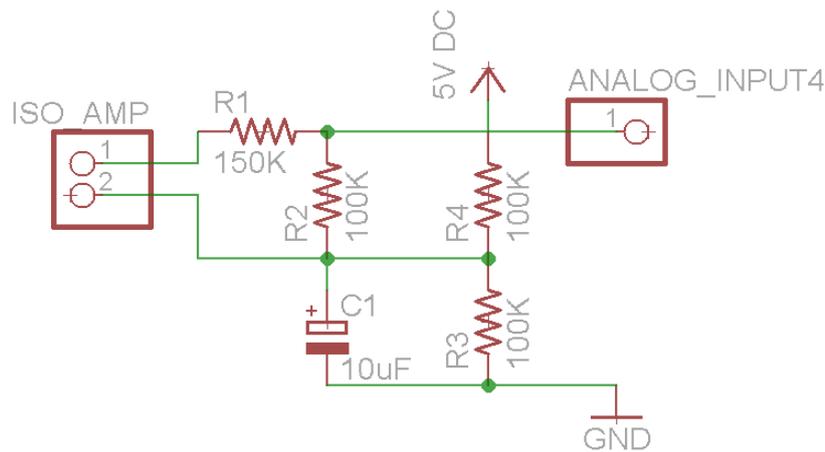
$$V_{out \text{ puncak}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{peak \text{ isolation amplifier}}$$

$$V_{out \text{ puncak}} = \frac{100 k\Omega}{150 k\Omega + 100 k\Omega} \cdot 5,66 V = 2,26 V$$



Gambar 3.5 Rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal arus motor

Resistor R_1 dan R_2 yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 membentuk sebuah rangkaian pembagi tegangan yang dapat menurunkan nilai tegangan keluaran dari *isolation amplifier*. Sinyal keluaran pada rangkaian ini masih berbentuk sinusoida murni dengan nilai tegangan puncak $+2,26 V$ dan $-2,26 V$. Dalam perancangan rangkaian pengkondisi sinyal arus motor diinginkan rangkaian yang mampu menaikkan titik nol sinyal sinusoida ke titik $2,5 V$ agar nilai puncak atas dan bawah sinyal bernilai positif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian pengkondisi sinyal arus motor

Tegangan bias yang dihasilkan dari rangkaian pembagi tegangan R_3 dan R_4 merupakan setengah dari nilai tegangan catu 5 V DC yang bernilai 2,5 V DC. Kapasitor di atas berguna sebagai kapasitor catu untuk mendapatkan tegangan keluaran yang stabil dari rangkaian pembagi tegangan R_3 dan R_4 . Nilai tegangan keluaran yang dihasilkan dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{out \text{ pembagi tegangan}} + V_{out \text{ DC Bias}}$$

$$V_{out \text{ puncak atas}} = 2,26 \text{ V} + 2,5 \text{ V} = 4,76 \text{ V}$$

$$V_{out \text{ puncak bawah}} = -2,26 \text{ V} + 2,5 \text{ V} = 0,24 \text{ V}$$

Jika keluaran dari catu daya sebesar 5 V DC, maka tegangan yang dihasilkan dari rangkaian ini naik sebesar 2,5 V sehingga puncak atas dan bawah gelombang menjadi bernilai positif. Nilai untuk puncak atas naik menjadi 4,76 V dan untuk puncak bawah naik menjadi 0,24 V. Nilai tegangan keluaran seperti ini dapat dijadikan masukan pada pin analog Arduino dan selanjutnya dihubungkan ke pin A3 Arduino untuk diolah datanya.

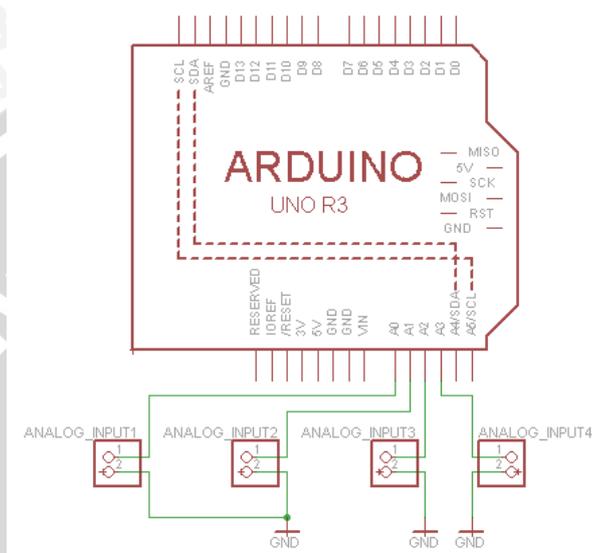
3.2.2.4 Perancangan Rangkaian Antarmuka Arduino

Perancangan ini bertujuan untuk membuat suatu skematik hubungan antara keluaran-keluaran rangkaian akuisisi data karakteristik motor dengan mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan pada perancangan ini adalah Arduino Uno. Arduino Uno menyediakan 20 pin *input/output*, yang terdiri dari 6 pin *input* analog dan 14 pin *input/output* digital. Alokasi pin yang digunakan untuk perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Pin A0 digunakan sebagai masukan data kecepatan rotasi motor listrik dari rangkaian pembagi tegangan untuk *control unit*.
2. Pin A1 digunakan sebagai masukan data torsi motor listrik dari rangkaian pembagi tegangan untuk *control unit*.

3. Pin A2 digunakan sebagai masukan data tegangan motor listrik dari rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor.
4. Pin A3 digunakan sebagai masukan data arus motor listrik dari rangkaian pengkondisi sinyal arus motor.

Dari total 20 pin yang tersedia pada Arduino Uno, hanya empat pin yang digunakan pada perancangan ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



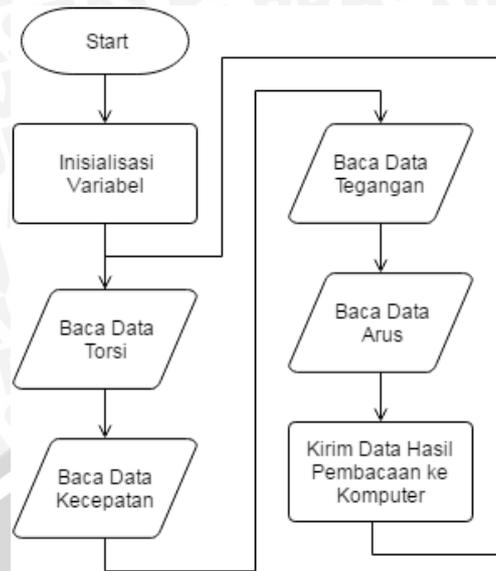
Gambar 3.7 Rangkaian antarmuka Arduino

2.5.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dibagi menjadi dua bagian, yaitu perancangan perangkat lunak mikrokontroler dan perancangan perangkat lunak aplikasi berbasis Windows.

3.2.3.1 Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler

Perancangan ini bertujuan untuk membuat suatu perangkat lunak yang mampu membaca data karakteristik motor listrik lalu mengirim data tersebut ke *Personal Computer*. Perangkat lunak dirancang melalui pembuatan diagram alir (*flowchart*) algoritme program pada mikrokontroler. Desain dan parameter yang telah dirancang kemudian diterapkan pada Arduino Uno menggunakan bahasa C melalui perangkat lunak *compiler* program Arduino IDE. Diagram alir algoritme program perangkat lunak mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Diagram alir perangkat lunak mikrokontroler

3.2.3.2 Perancangan Perangkat Lunak Aplikasi Berbasis Windows

Perancangan perangkat lunak aplikasi berbasis Windows pada komputer bertujuan agar data dari sistem yang dikirim oleh Arduino Uno dapat diolah dengan cara mengkonversi nilai ADC yang dibaca oleh mikrokontroler lalu ditampilkan dalam bentuk grafik secara *real time*. Konversi nilai ADC digunakan untuk mengubah nilai ADC menjadi nilai torsi, kecepatan rotasi, tegangan, dan arus listrik. Hal ini dikarenakan data yang dikirim oleh Arduino Uno masih berupa nilai ADC, sedangkan data yang ditampilkan pada komputer berupa nilai torsi, kecepatan rotasi, tegangan, dan arus listrik. ADC yang digunakan adalah ADC 10 bit sehingga hasil konversi tegangan masukan maksimum dapat dihitung adalah sebagai berikut:

$$V_{in(max)} ADC = \frac{2^n - 1}{2^n} \cdot V_{ref(max)} = \frac{2^{10} - 1}{2^{10}} \cdot 5 V$$

$$V_{in(max)} ADC = \frac{1024 - 1}{1024} \cdot 5 V = 4,995 V$$

dengan:

$V_{in(max)} ADC$ = tegangan masukan maksimum ADC (V)

$V_{ref(max)}$ = tegangan referensi maksimum (V)

n = jumlah bit ADC

Resolusi tegangan pada masukan ADC dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta V ADC = 2^{-n} \cdot V_{ref} = 2^{-10} \cdot 5 V$$

$$\Delta V_{ADC} = \frac{1}{1024} \cdot 5 V = 4,88 mV$$

dengan:

$$\Delta V_{ADC} = \text{resolusi tegangan ADC (V)}$$

Besarnya nilai karakteristik motor asinkron tiga fasa yang dibaca oleh aplikasi berbasis Windows dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan} = N \cdot \frac{\text{Kecepatan}_{(max)}}{1024} \text{ (rpm)}$$

$$\text{Torsi} = N \cdot \frac{\text{Torsi}_{(max)}}{1024} \text{ (Nm)}$$

$$\text{Tegangan} = \frac{(N - 512) \cdot \text{Tegangan}_{(max)}}{512} \text{ (V)}$$

$$\text{Arus} = \frac{(N - 512) \cdot \text{Arus}_{(max)}}{512} \text{ (A)}$$

dengan:

N = nilai desimal keluaran ADC

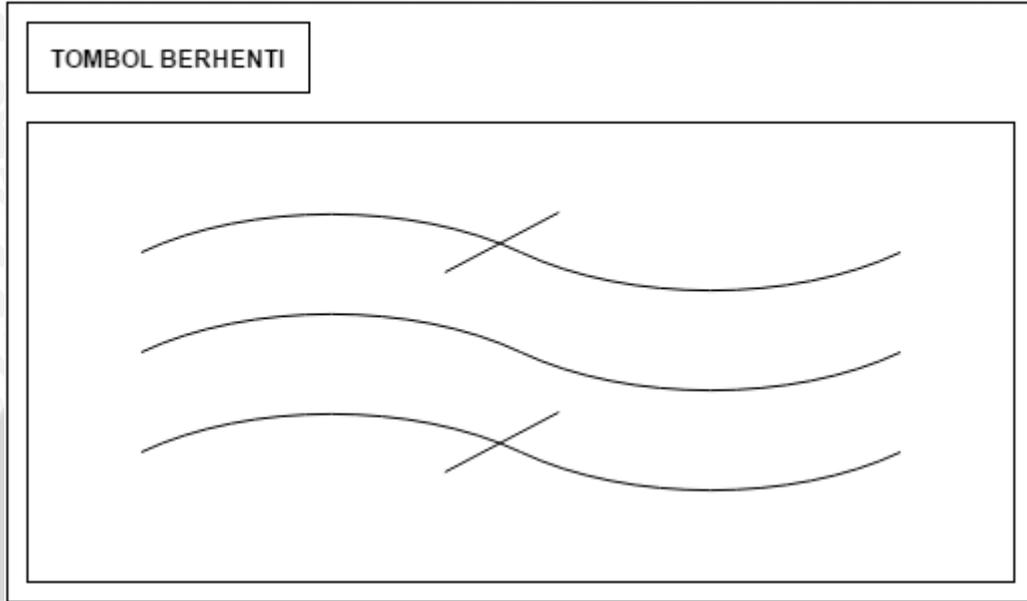
3.2.3.3 Perancangan Layout Tampilan

Perancangan ini bertujuan untuk membuat suatu desain *layout* tampilan untuk menampilkan data hasil pembacaan data dalam bentuk grafik. Pada perancangan *layout* tampilan dibuat dua buah form untuk memudahkan dalam pengamatan grafik data nilai torsi, kecepatan rotasi, tegangan, dan arus motor listrik. *Layout* tampilan form pertama menunjukkan pengaturan *port* dan tombol “Mulai” dari program aplikasi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.9.

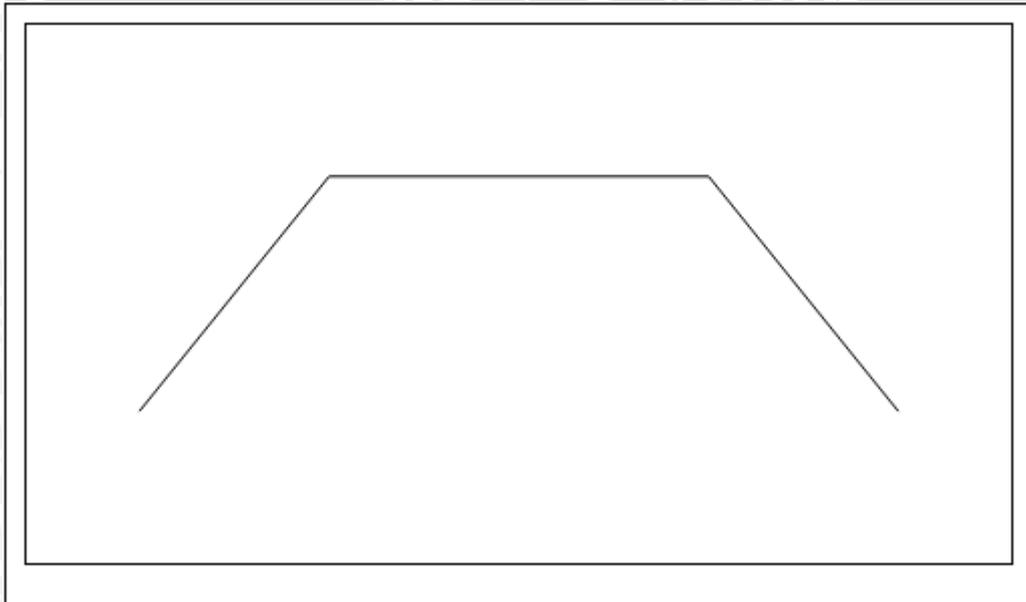


Gambar 3.9 Desain tampilan form 1

Layout tampilan form kedua terdiri dari tiga tab. Tab pertama menunjukkan grafik data karakteristik motor listrik secara keseluruhan dan tombol “Berhenti” dari program aplikasi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.10, sedangkan tab kedua dan ketiga menunjukkan grafik data karakteristik motor listrik yang dibagi menjadi parameter mekanik dan elektrik tanpa penambahan tombol seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.11.



Gambar 3.10 Desain tampilan tab 1



Gambar 3.11 Desain tampilan tab 2 dan 3

3.3 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok pada perancangan perangkat keras serta keseluruhan sistem untuk mengetahui apakah program perangkat lunak dapat bekerja dengan baik atau tidak.

3.3.1 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal untuk Control Unit

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah besar tegangan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan berubah secara linier terhadap tegangan masukannya sesuai dengan teori. Pengujian dilakukan dengan melihat perubahan tegangan menggunakan multimeter.

3.3.2 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Tegangan Motor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan yang keluar dari rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor dan dari rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor secara keseluruhan beserta bentuk sinyalnya. Pengujian dilakukan dengan mengamati bentuk sinyal keluaran masing-masing rangkaian menggunakan osiloskop.

3.3.3 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus Motor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan yang keluar dari rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal arus motor dan dari rangkaian pengkondisi sinyal arus motor secara keseluruhan beserta bentuk sinyalnya. Pengujian dilakukan dengan mengamati bentuk sinyal keluaran masing-masing rangkaian menggunakan osiloskop.

3.3.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan semua perangkat keras sesuai dengan diagram blok dan memasukkan program perangkat lunak pada Arduino Uno dan Microsoft Visual Studio. Sistem bekerja dengan baik jika dapat berjalan sesuai dengan diagram alir yang telah direncanakan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok kemudian secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian rangkaian pembagi tegangan untuk *control unit*
2. Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal tegangan
3. Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal arus
4. Pengujian keseluruhan sistem

4.1 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal untuk Control Unit

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah besar tegangan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan berubah secara linier terhadap tegangan masukannya sesuai dengan teori. Pengujian dilakukan dengan melihat perubahan tegangan menggunakan multimeter.

4.1.1 Peralatan Pengujian

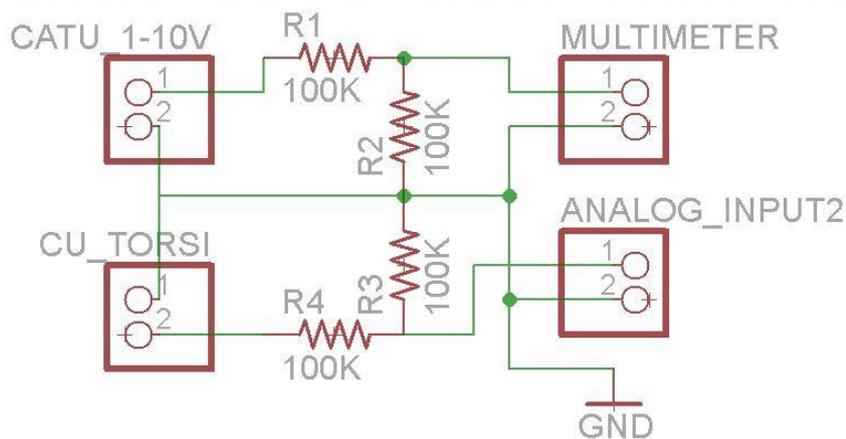
Alat-alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit* adalah sebagai berikut:

1. Catu tegangan 1 – 10 V DC
2. Rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*
3. Multimeter

4.1.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit* adalah sebagai berikut:

1. Rangkai peralatan pengujian seperti pada Gambar 4.1.
2. Beri catu tegangan DC dengan nilai 1 – 10 volt pada sisi masukan salah satu rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*.
3. Ukur nilai tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit* tersebut menggunakan multimeter.
4. Catat hasilnya, kemudian bandingkan hasil pengujian dengan teori.
5. Ulangi langkah 1-4 hingga pengujian selesai.



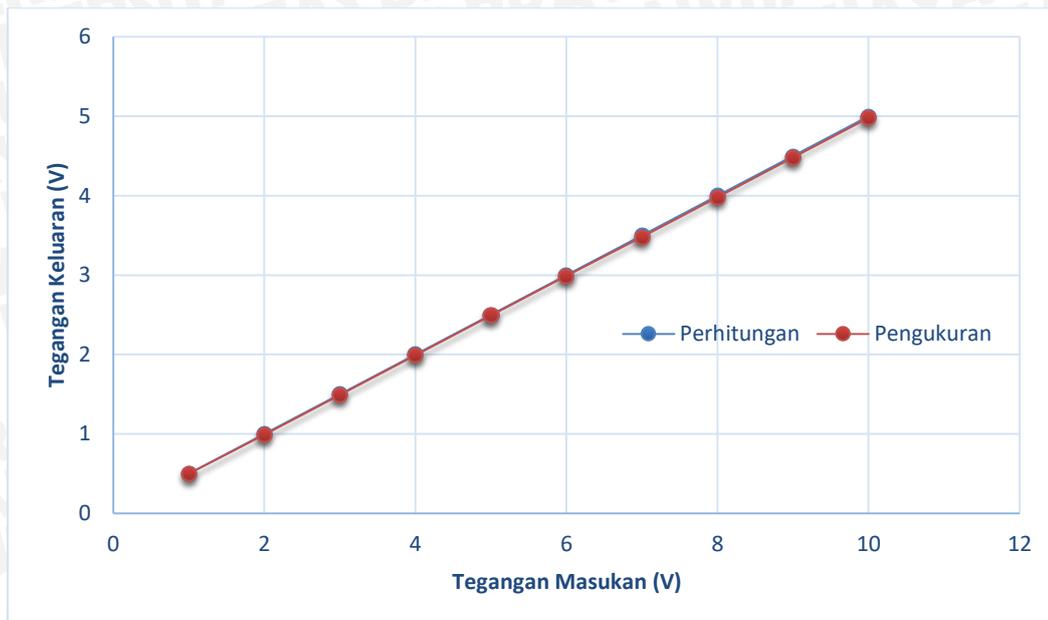
Gambar 4.1 Rangkaian pengujian pengkondisi sinyal untuk *control unit*

4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Data hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data tegangan keluaran rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*

V_{in} (V)	V_{out} Pengukuran (V)	V_{out} Perhitungan (V)	Kesalahan (%)
1	0.5	0.5	0
2	0.99	1	1
3	1.49	1.5	0.67
4	1.99	2	0.5
5	2.49	2.5	0.4
6	2.99	3	0.33
7	3.48	3.5	0.57
8	3.98	4	0.5
9	4.48	4.5	0.44
10	4.98	5	0.4



Gambar 4.2 Grafik tegangan keluaran rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*

Dari data hasil pengujian di atas, terlihat bahwa nilai tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan naik secara linier seiring dengan kenaikan nilai tegangan masukannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Rangkaian ini memiliki keakuratan yang cukup memadai dengan kesalahan rata-rata sebesar 0,48 %.

4.2 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Tegangan Motor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan yang keluar dari rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor dan dari rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor secara keseluruhan beserta bentuk sinyalnya. Pengujian dilakukan dengan mengamati bentuk sinyal keluaran masing-masing rangkaian menggunakan osiloskop.

4.2.1 Peralatan Pengujian

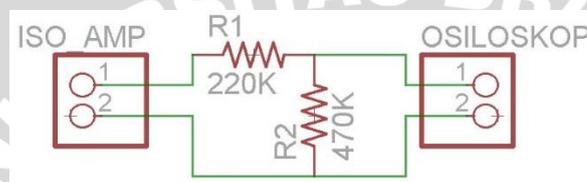
Alat-alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor adalah sebagai berikut:

1. Motor induksi
2. *Isolation Amplifier*
3. Rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor
4. Catu tegangan 5 V DC
5. Osiloskop

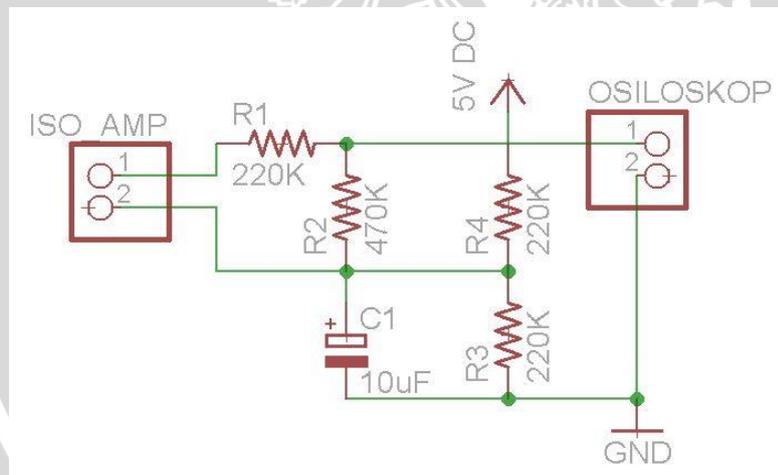
4.2.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor adalah sebagai berikut:

1. Rangkai peralatan pengujian seperti pada Gambar 4.3.
2. Atur pengali di *isolation amplifier* ke angka 0,01 kemudian nyalakan motor.
3. Amati bentuk sinyal keluaran rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor yang ditampilkan oleh osiloskop.
4. Rangkai peralatan pengujian seperti pada Gambar 4.4.
5. Amati bentuk sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor yang ditampilkan oleh osiloskop.



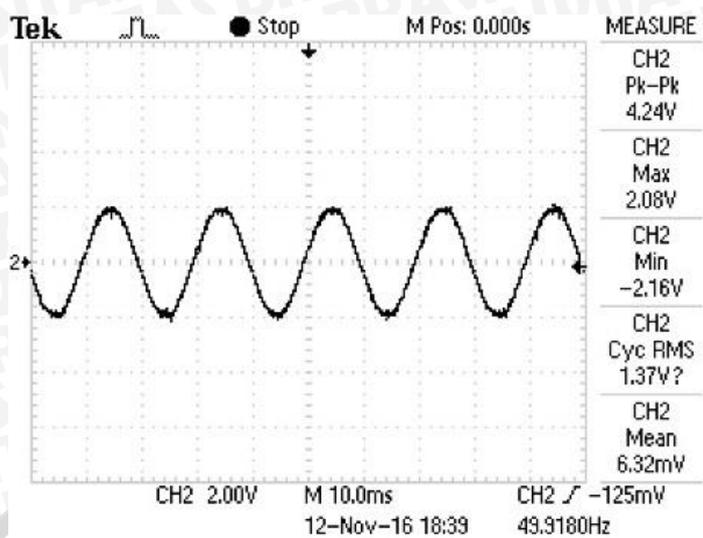
Gambar 4.3 Rangkaian pengujian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor



Gambar 4.4 Rangkaian pengujian pengkondisi sinyal tegangan motor

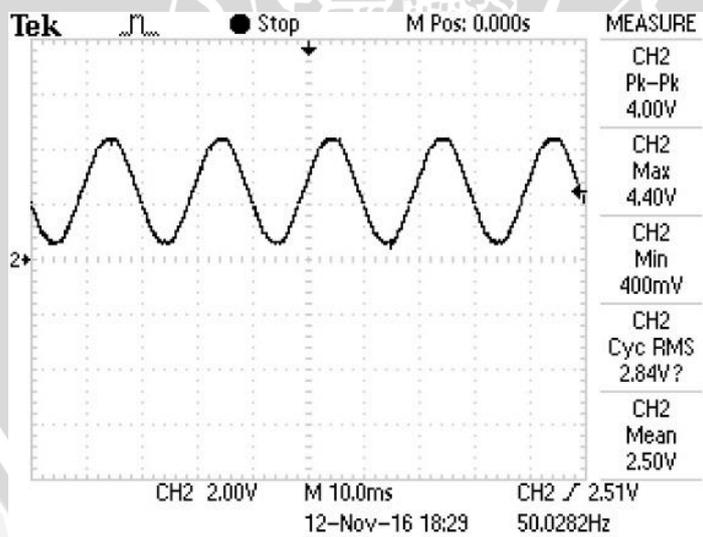
4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Bentuk sinyal keluaran rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Sinyal keluaran rangkaian pembagi tegangan pada pengkondisi sinyal tegangan motor

Dari data hasil pengujian di atas, terlihat bahwa sinyal keluaran yang dihasilkan berbentuk sinusoida murni dengan nilai tegangan keluaran sebesar 1,37 V_{rms} dan titik tengah sinyal berada pada titik 6,32 mV. Nilai tegangan keluaran puncak ke puncak yang dihasilkan sebesar 4,24 V dengan nilai tegangan puncak atas sebesar +2,08 V dan tegangan puncak bawah -2,16 V. Sinyal ini kemudian diteruskan ke rangkaian DC bias agar tegangan puncak bawah bernilai positif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor

Dari data hasil pengujian di atas, terlihat bahwa sinyal tegangan keluaran yang dihasilkan bernilai 2,84 V_{rms} dan titik tengah sinyal berada pada titik 2,5 V. Nilai tegangan keluaran puncak ke puncak yang dihasilkan sebesar 4 V dengan nilai tegangan puncak atas sebesar +4,4 V dan tegangan puncak bawah +0,4 V.

4.3 Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus Motor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan yang keluar dari rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal arus motor dan dari rangkaian pengkondisi sinyal arus motor secara keseluruhan beserta bentuk sinyalnya. Pengujian dilakukan dengan mengamati bentuk sinyal keluaran masing-masing rangkaian menggunakan osiloskop.

4.3.1 Peralatan Pengujian

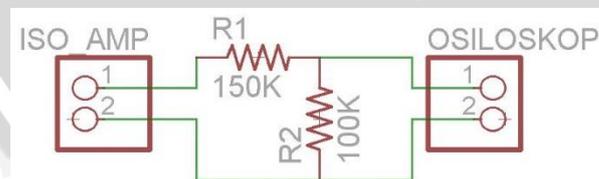
Alat-alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian pengkondisi sinyal arus motor adalah sebagai berikut:

1. Motor induksi
2. *Isolation Amplifier*
3. Rangkaian pengkondisi sinyal arus motor
4. Catu tegangan 5 V DC
5. Osiloskop

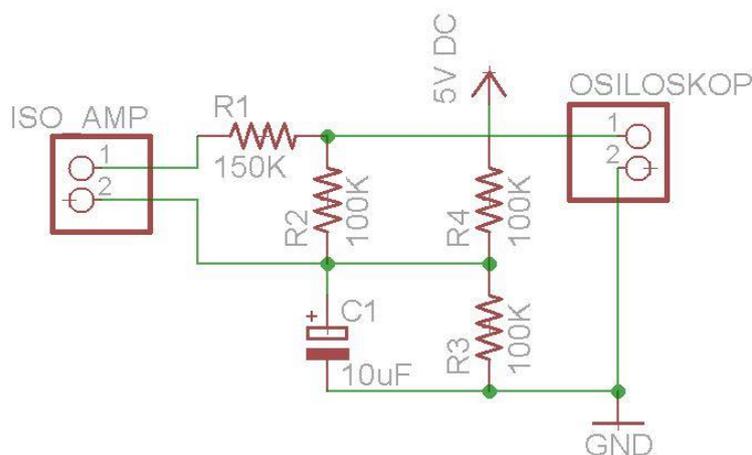
4.3.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian pengkondisi sinyal arus motor adalah sebagai berikut:

1. Rangkai peralatan pengujian seperti pada Gambar 4.7.
2. Atur pengali di *isolation amplifier* ke angka 1 kemudian nyalakan motor.
3. Amati bentuk sinyal keluaran rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal arus motor yang ditampilkan oleh osiloskop.
4. Rangkai peralatan pengujian seperti pada Gambar 4.8.
5. Amati bentuk sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal arus motor yang ditampilkan oleh osiloskop.



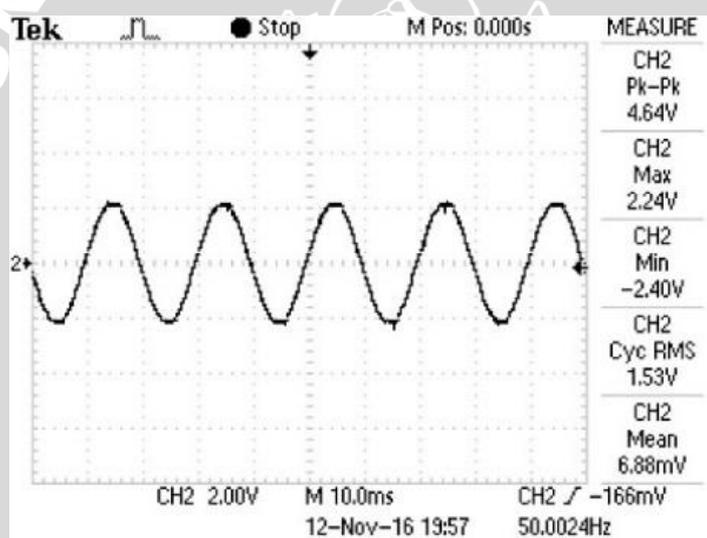
Gambar 4.7 Rangkaian pengujian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal arus motor



Gambar 4.8 Rangkaian pengujian pengkondisi sinyal arus motor

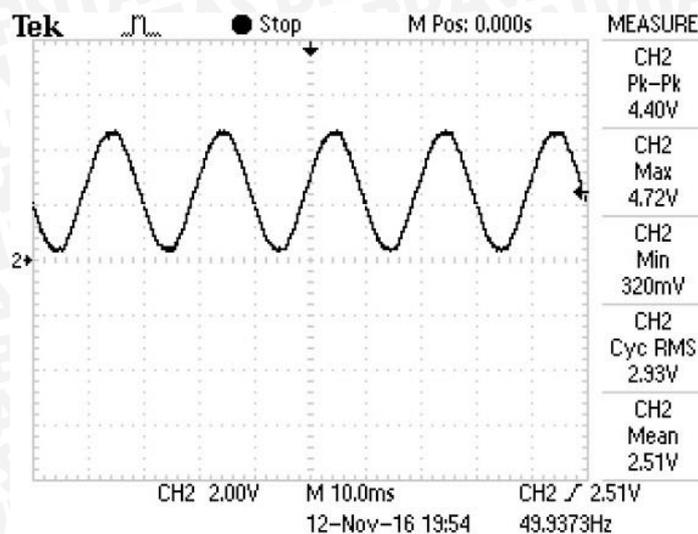
4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Bentuk sinyal keluaran rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian pengkondisi sinyal arus motor ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Sinyal keluaran rangkaian pembagi tegangan pada rangkaian akuisi data arus motor

Dari data hasil pengujian di atas, terlihat bahwa sinyal keluaran yang dihasilkan berbentuk sinusoida murni dengan nilai tegangan keluaran sebesar 1,53 V_{rms} dan titik tengah sinyal berada pada titik 6,88 mV. Nilai tegangan keluaran puncak ke puncak yang dihasilkan sebesar 4,64 V dengan nilai tegangan puncak atas sebesar +2,24 V dan tegangan puncak bawah -2,4 V. Sinyal ini kemudian diteruskan ke rangkaian DC bias agar tegangan puncak bawah bernilai positif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal arus motor

Dari data hasil pengujian di atas, terlihat bahwa sinyal tegangan keluaran yang dihasilkan bernilai $2,93 V_{rms}$ dan titik tengah sinyal berada pada titik $2,51 V$. Nilai tegangan keluaran puncak ke puncak yang dihasilkan sebesar $4,4 V$ dengan nilai tegangan puncak atas sebesar $+4,72 V$ dan tegangan puncak bawah $+0,32 V$.

4.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan semua perangkat keras sesuai dengan diagram blok dan memasukkan program perangkat lunak pada Arduino Uno dan Microsoft Visual Studio. Sistem bekerja dengan baik jika dapat berjalan sesuai dengan diagram alir yang telah direncanakan.

4.4.1 Peralatan Pengujian

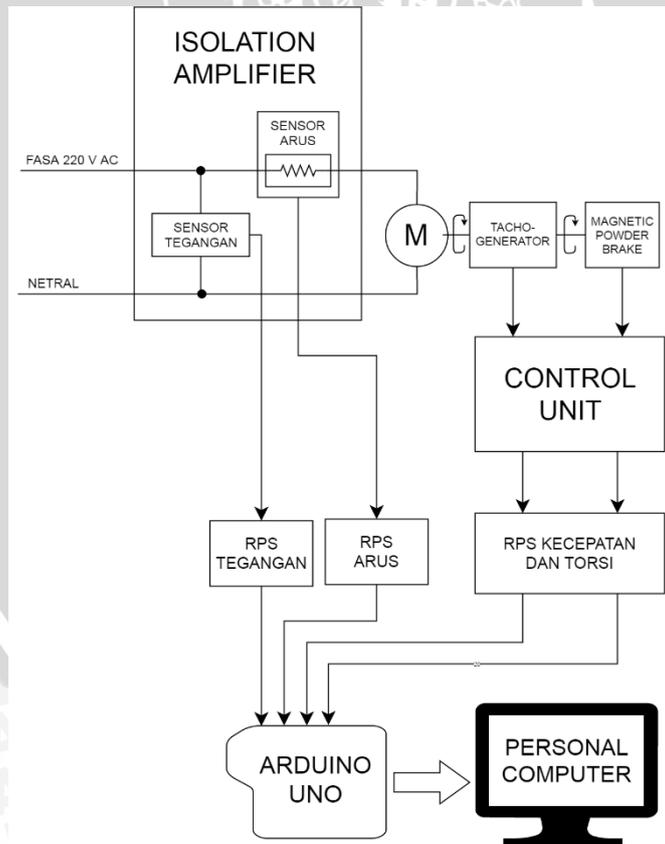
Alat-alat yang digunakan dalam pengujian keseluruhan sistem adalah sebagai berikut:

1. Motor induksi
2. *Tachogenerator*
3. *Magnetic powder brake*
4. *Control unit*
5. Rangkaian pembagi tegangan untuk *control unit*
6. *Isolation Amplifier*
7. Rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor
8. Rangkaian pengkondisi sinyal arus motor
9. Arduino Uno
10. *Personal Computer*

4.4.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian keseluruhan sistem adalah sebagai berikut:

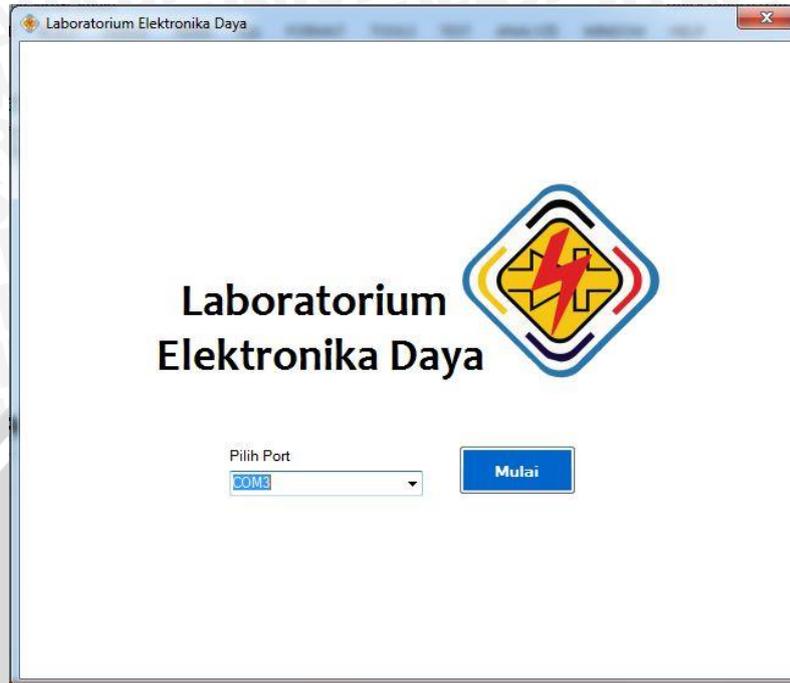
1. Rangkai peralatan pengujian seperti pada Gambar 4.11.
2. Atur pengali di *isolation amplifier* ke angka 1 pada kanal pertama dan ke angka 0,01 pada kanal kedua, kemudian nyalakan motor.
3. Buka program aplikasi “Laboratorium Elektronika Daya” pada *Personal Computer*.
4. Pilih *port* yang terdapat di menu pembuka aplikasi “Laboratorium Elektronika Daya”.
5. Tekan tombol “START” pada *control unit* dan tombol “Mulai” pada menu pembuka aplikasi “Laboratorium Elektronika Daya” secara bersamaan.
6. Amati bentuk sinyal karakteristik motor listrik yang ditampilkan oleh grafik pada tab 1 di *Personal Computer*.
7. Jika motor sudah kembali berputar dengan kecepatan normal, tekan tombol “Berhenti” pada aplikasi “Laboratorium Elektronika Daya”.
8. Amati bentuk sinyal karakteristik motor listrik yang ditampilkan oleh grafik pada tab 2 dan 3 di *Personal Computer*.



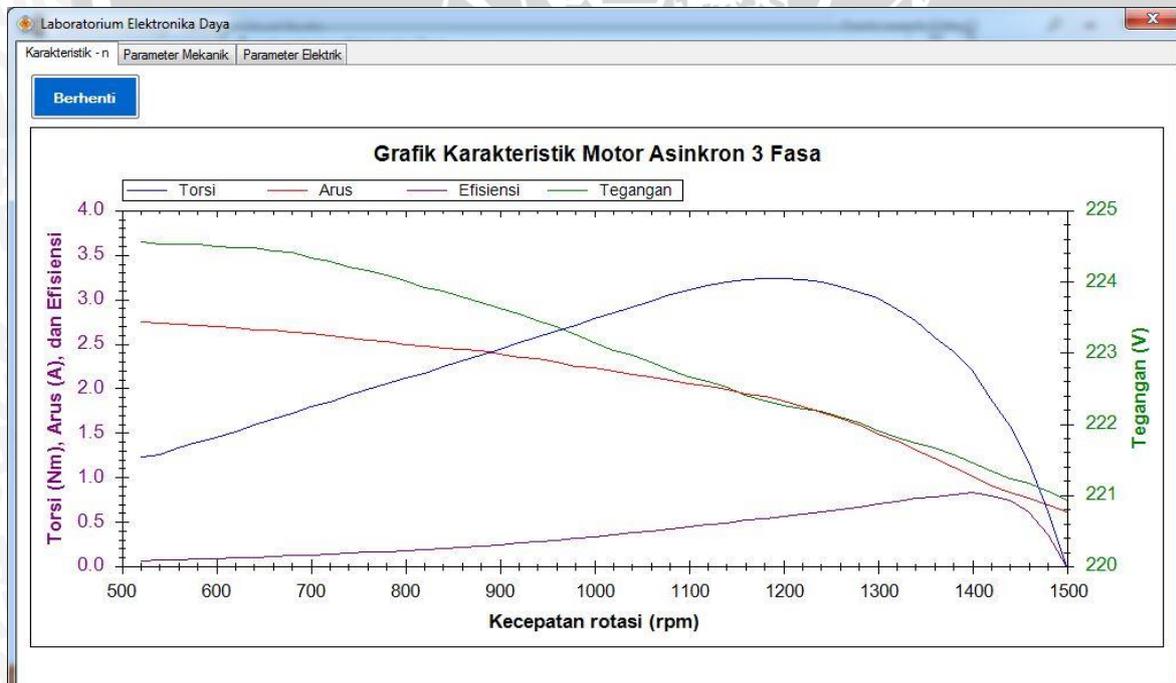
Gambar 4.11 Rangkaian pengujian keseluruhan sistem

4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Bentuk sinyal karakteristik motor listrik yang ditampilkan oleh grafik pada tab 1 di *Personal Computer* ditunjukkan pada Gambar 4.13.

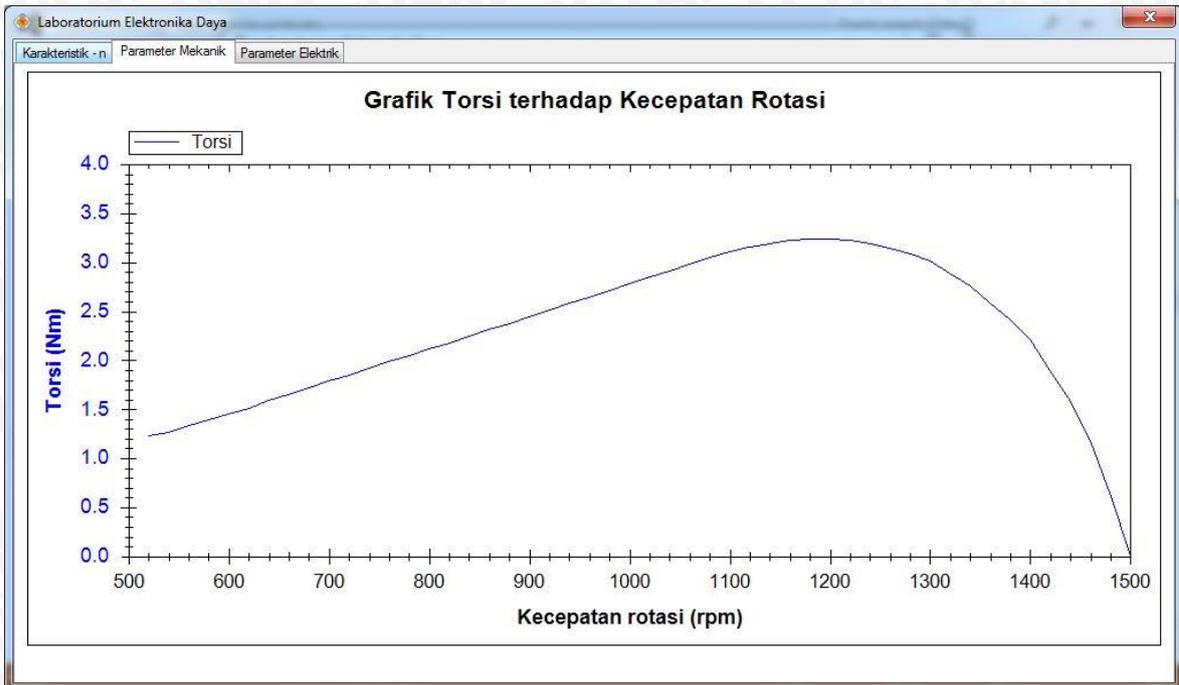


Gambar 4.12 Tampilan menu utama program aplikasi Laboratorium Elektronika Daya



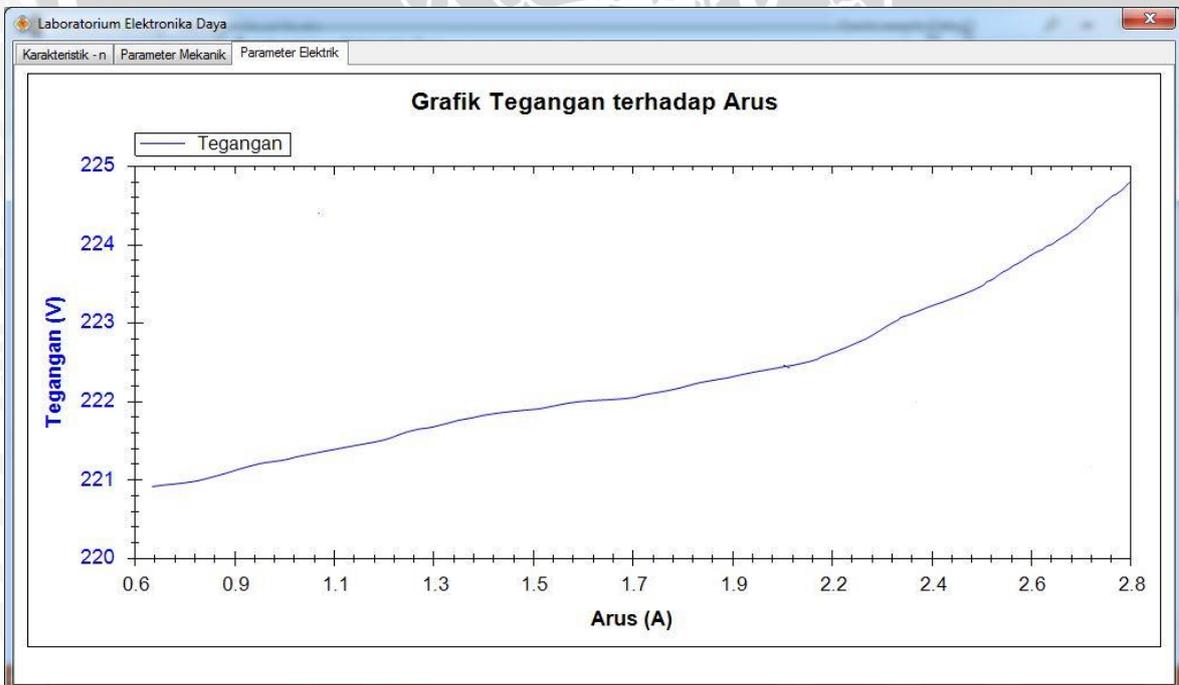
Gambar 4.13 Tampilan tab pertama program aplikasi Laboratorium Elektronika Daya

Bentuk sinyal torsi terhadap kecepatan yang ditampilkan oleh grafik pada tab 2 di *Personal Computer* ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Tampilan tab kedua program aplikasi Laboratorium Elektronika Daya

Bentuk sinyal karakteristik motor listrik yang ditampilkan oleh grafik pada tab 3 di *Personal Computer* ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Tampilan tab ketiga program aplikasi Laboratorium Elektronika Daya

Dari hasil pengujian didapatkan sensitivitas dari sistem yang digunakan adalah 4,88 mV per bit. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 50 titik.



BAB V

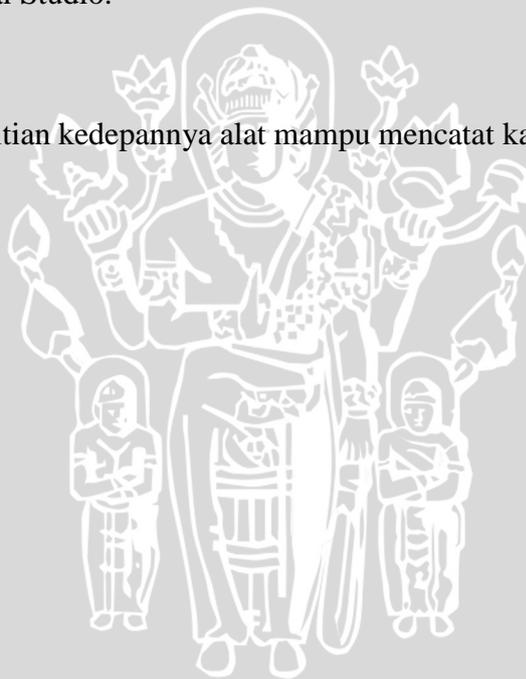
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Sistem pencatat karakteristik motor asinkron tiga fasa berbasis mikrokontroler terdiri dari rangkaian pengkondisi sinyal untuk *control unit*, rangkaian pengkondisi sinyal tegangan motor, rangkaian pengkondisi sinyal arus motor, Arduino Uno, serta aplikasi berbasis Windows sebagai penampil hasil.
2. Semua data karakteristik motor listrik hasil pengakusisian yang berupa sinyal analog kemudian diterima oleh Arduino Uno untuk dikonversi menjadi data digital dan selanjutnya dikirim ke *Personal Computer* melalui koneksi USB. Data-data tersebut kemudian diolah lebih lanjut dan ditampilkan dalam bentuk visual menggunakan aplikasi Microsoft Visual Studio.

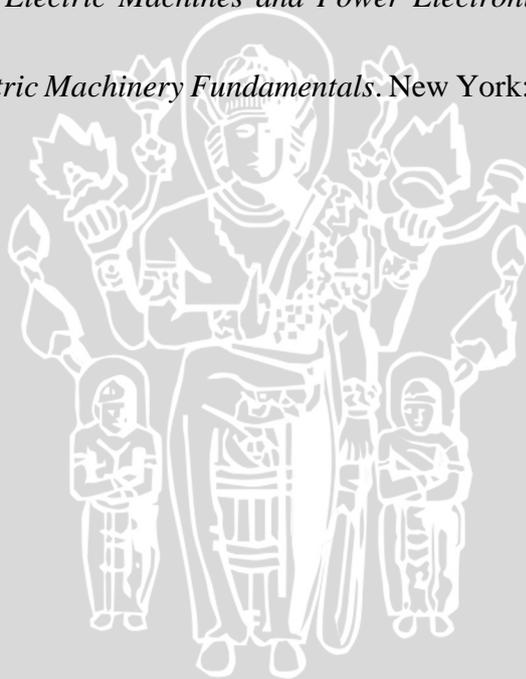
5.2 Saran

Diharapkan untuk penelitian kedepannya alat mampu mencatat karakteristik dari mesin listrik lainnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Arduino. 2009. *Arduino Uno*. <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>. (diakses pada tanggal 22 Juni 2015).
- Eddens, Gerrald R.1976. *Magnetic Particle Brake*. United States Patent 3.962.595.
- LD Didactic. 2007. *Instruction Sheet Machine Test System 0.3 kW*. Germany: LD Didactic GmbH.
- Leybold Didactic. 1995. *Instruction Sheet Isolation Amplifier, four-channel*. Germany: Leybold Didactic GmbH.
- Leybold Didactic. 1996. *Instruction Sheet Control Unit for the Magnetic Powder Brake*. Germany: Leybold Didactic GmbH.
- Moyo, Sukmo. 2013. *Microsoft Visual Studio Ultimate 2012*. <http://soekmo.blogspot.co.id/2013/08/microsoft-visual-studio-ultimate-2012.html>. (diakses pada tanggal 3 Agustus 2015).
- Sen, P. C. 1997. *Principles of Electric Machines and Power Electronics*. John Wiley & Sons, Inc.: New York.
- Stephen J, Chapman.2005. *Electric Machinery Fundamentals*. New York: The McGraw-Hill Companies.



LAMPIRAN 1

PERANGKAT KERAS

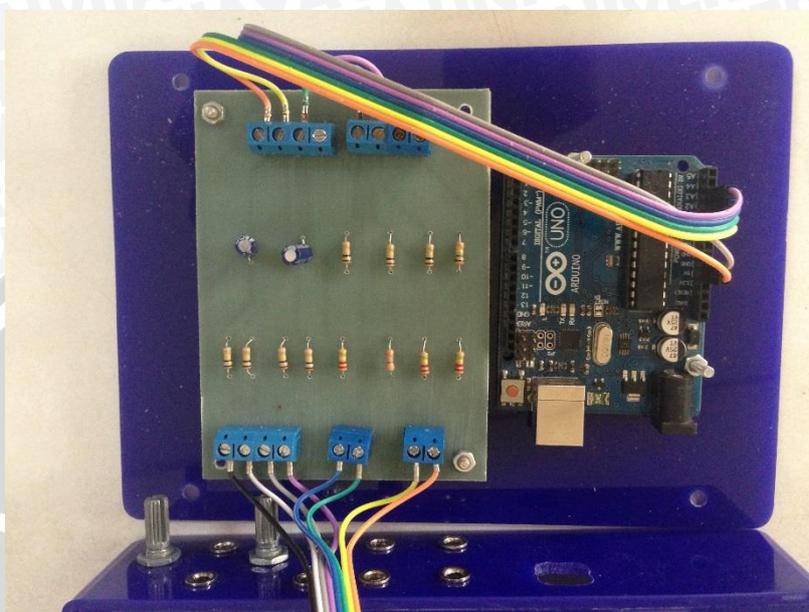
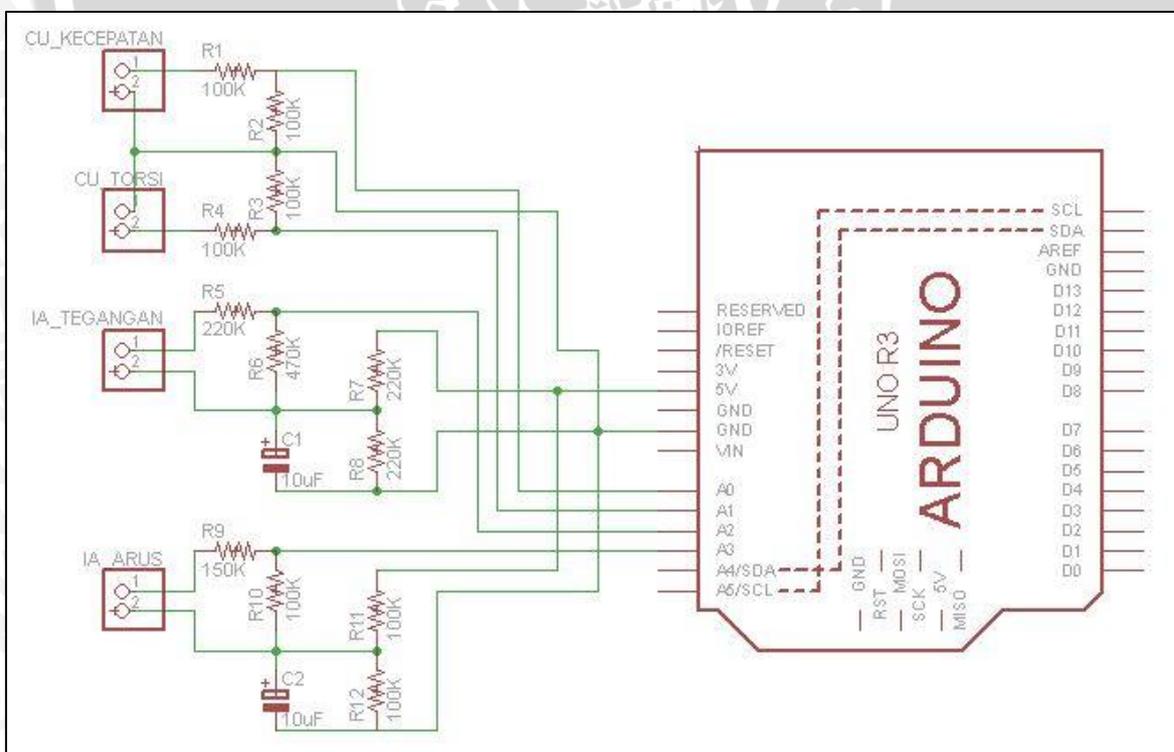


Foto Perangkat Keras



Skematik Rangkaian Perangkat Keras Keseluruhan



LAMPIRAN 2

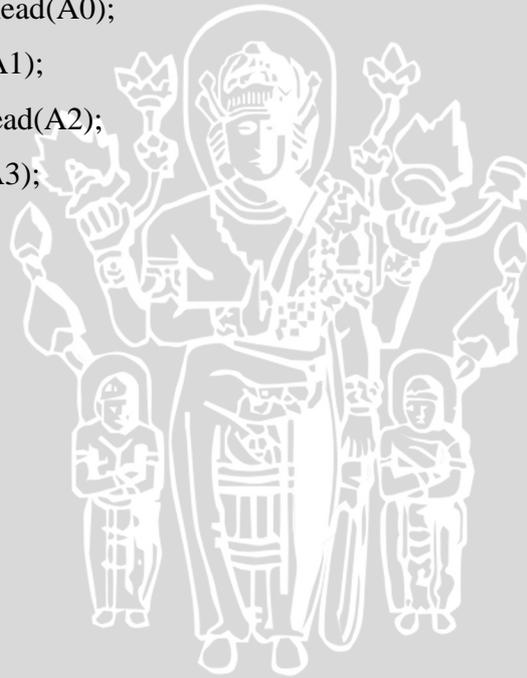
LISTING PROGRAM ARDUINO

```
unsigned long time;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  time = millis();
  int kecepatan = analogRead(A0);
  int torsi = analogRead(A1);
  int tegangan = analogRead(A2);
  int arus = analogRead(A3);

  Serial.print("@");
  Serial.print(time);
  Serial.print("#");
  Serial.print(kecepatan);
  Serial.print("|");
  Serial.print(torsi);
  Serial.print("|");
  Serial.print(tegangan);
  Serial.print("|");
  Serial.print(arus);
  Serial.println("$");
}
```



LAMPIRAN 3

LISTING PROGRAM MICROSOFT VISUAL STUDIO









LAMPIRAN 4

DATASHEET

