

**RANCANG BANGUN PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU
FASE DENGAN PENGONTROL *LOOP* TERTUTUP MENGGUNAKAN VCO
(*VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR*)**

SKRIPSI

Oleh:

ALFAN CHOIRUL HUDA

NIM. 09640042



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**RANCANG BANGUN PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI
SATU FASE DENGAN PENGONTROL *LOOP* TERTUTUP
MENGUNAKAN VCO (*VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR*)**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
ALFAN CHOIRUL HUDA
NIM. 09640042**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU
FASE DENGAN PENGONTROL *LOOP* TERTUTUP MENGGUNAKAN VCO
(*VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR*)

SKRIPSI

Oleh:

ALFAN CHOIRUL HUDA

NIM. 09640042

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:

Tanggal: 8 Juli 2016

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Farid Samsu Hananto, S.Si M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

Dr. Ahmad Barizi, M.A
NIP. 19731212 199803 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU
FASE DENGAN PENGONTROL *LOOP* TERTUTUP MENGGUNAKAN VCO
(*VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR*)

SKRIPSI

Oleh:

ALFAN CHOIRUL HUDA

NIM. 09640042

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal : 22 Juni 2016

Penguji Utama	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	
Ketua Penguji	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	<u>Farid Samsu Hananto, S.Si M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji	<u>Dr. Ahmad Barizi, M.A</u> NIP. 19731212 199803 1 001	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfian Choirul Huda

NIM : 09640042

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Rancang Bangun Pengatur Kecepatan Motor Induksi Satu Fase Dengan Pengontrol *Loop* Tertutup Menggunakan VCO (*Voltage Controlled Oscillator*)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 6 Juni 2016
Yang Membuat Pernyataan,

ALFAN CHOIRUL HUDA
NIM. 09640042

MOTTO

أَهْدِنَا الصِّرَاطَ الْمُسْتَقِيمَ ﴿٦﴾ صِرَاطَ الَّذِينَ أَنْعَمْتَ عَلَيْهِمْ غَيْرِ الْمَغْضُوبِ عَلَيْهِمْ وَلَا الضَّالِّينَ ﴿٧﴾

“Tunjukilah kami jalan yang lurus. (yaitu) Jalan orang-orang yang telah Engkau beri nikmat kepada mereka, bukan (jalan) mereka yang dimurkai dan bukan (pula jalan) mereka yang sesat” (Q.S. al-Fatihah 1: 6-7).

“Sesulit apapun hidup itu harus dijalani. Tetap optimis menjalani garis kehidupan. Dan semoga Allah menunjukkan jalannya seperti arti namaku”



HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan Karya Ini Untuk Keluarga K.H. Asmuni dan Kedua Orang Tua (Djamali dan Endang). Semoga Dapat Menjadikan Ilmu yang Bermanfaat dan Barokah.



KATA PENGANTAR



Assalamu' alaikum Wr. Wb

Syukur Alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Rancang Bangun Pengatur Kecepatan Motor Induksi Satu Fase dengan Pengontrol *Loop* Tertutup Menggunakan VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring doa dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Farid Samsu Hananto, S.Si M.T selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Dr. Ahmad Barizi, M.A selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al Qur'an.
6. Segenap Dosen Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah berjasa memberikan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan selama perkuliahan.
7. Keluargaku (K.H Asmuni, Endang, Djamali dan Saudara-saudaraku).

8. Winda Apriliani yang selama ini telah setia mendampingi dan memberikan semangat selama ini.
9. Adikku Nung yang selalu berbagi keberuntungan denganku.
10. Sahabat-sahabat Fisika, khususnya anggota Gerigi Instrumentasi dan Serigala Terakhir 2009 (Ason, Pak Boss, Etek, Alex, Cantos) yang menjadi teman seperjuangan.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Malang, 6 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Energi Listrik	8
2.2 Motor Listrik	8
2.3 Cara Kerja Motor Listrik	9
2.4 Jenis Motor Listrik	10
2.4.1 Motor DC	12
2.4.2 Motor AC	14
2.5 Kinerja Motor Listrik	19
2.5.1 Efisiensi Motor listrik	20
2.5.2 Beban Motor	23
2.6 Penyearah	25
2.7 Osilator	25
2.8 Inverter	27
2.9 <i>Voltage Controlled Oscillator</i> (VCO)	28
2.10 <i>Tachometer</i>	29
2.11 <i>Silicon Controlled Rectifier</i>	32
2.12 Mikrokontroler ATmega8535	33
2.12.1 Konstruksi ATmega8535	34
2.12.2 <i>Pin-pin</i> Pada Mikrokontroler ATmega8535	39
2.13 Pemanfaatan VCO Ditinjau dari Sudut Pandang Islam	43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	46
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	46
3.3 Alat dan Bahan	46
3.3.1 Alat	46
3.3.2 Bahan	46
3.4 Rancangan Penelitian	47
3.4.1 Perancangan Rangkaian Penyearah	47

3.4.2 Perancangan Rangkaian Osilator	48
3.4.3 Perancangan Rangkaian Inventer	48
3.4.4 Perancangan Rangkaian <i>Tachometer</i>	49
3.5 Alur Rangkaian	51
3.6 Rancangan Tabel Pengamatan	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pengujian Rangkaian	53
4.1.1 Hasil Pengukuran Motor Tanpa Beban	53
4.1.2 Hasil Pengukuran Motor Disertai Beban	54
4.1.3 Hasil Pengukuran Torsi Motor	54
4.1.4 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem	55
4.2 Pembahasan	56
BAB VI PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klarifikasi Jenis Utama Motor Listrik	8
Gambar 2.2	Sebuah Motor DC.....	9
Gambar 2.3	Karakteristik Motor DC <i>Shunt</i>	11
Gambar 2.4	Karakteristik Motor Seri DC	12
Gambar 2.5	Karakteristik Motor Kompon DC	12
Gambar 2.6	Motor Sinkron	13
Gambar 2.7	Motor Induksi.....	15
Gambar 2.8	Grafik Torsi Motor Induksi AC 3 Fase	17
Gambar 2.9	Kehilangan Motor	17
Gambar 2.10	Efisiensi Motor Beban Sebagian	19
Gambar 2.11	Penyearah Gelombang Penuh	21
Gambar 2.12	Osilator <i>Astable Multivibrator</i>	22
Gambar 2.13	Inverter dengan SCR	23
Gambar 2.14	Rangkaian Linear VCO	25
Gambar 2.15	VCO pada PCB	25
Gambar 2.16	<i>Tachometer</i>	26
Gambar 2.17	SCR	27
Gambar 2.18	Mikrokontroler ATmega8535.....	31
Gambar 2.19	Konfigurasi Pin ATmega8535	31
Gambar 3.1	Penyearah dengan 4 Dioda Lengkap dengan Filter.....	37
Gambar 3.2	Osilator <i>Astable Multivibrator</i> dengan Transistor PNP A1015	38
Gambar 3.3	Rangkaian Inverter dengan SCR	39
Gambar 3.4	Rancangan <i>Tachometer</i>	39
Gambar 3.5	Rangkaian Linear VCO	40
Gambar 3.6	Alur Rangkaian Alat	40
Gambar 4.1	Grafik Selisih <i>Set Point</i> Kecepatan dengan Kecepatan Motor Tanpa Beban.....	52
Gambar 4.2	Grafik Selisih <i>Set Point</i> Kecepatan dengan Kecepatan Motor Disertai Beban.....	52
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Torsi Dengan Kecepatan Motor	52
Gambar 4.4	Grafik Nilai <i>Error</i> Pada Setiap <i>Set Point</i> Kecepatan Tanpa Beban.....	53
Gambar 4.4	Grafik Nilai <i>Error</i> Pada Setiap <i>Set Point</i> Kecepatan Disertai Beban.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persentase Kehilangan Daya.....	8
Tabel 2.2 Fungsi Khusus Port B	9
Tabel 2.3 Fungsi Khusus Port C	11
Tabel 2.4 Fungsi Khusus Port D	12
Tabel 3.1 Pengamatan Kecamatan Menggunakan Tachometer	41
Tabel 3.2 Pengamatan Pengaruh Frekuensi dengan Kecepatan Putar Motor Induksi Tanpa Beban.....	41
Tabel 3.3 Pengamatan Pengaruh Frekuensi dengan Kecepatan Putar Motor Induksi Tanpa Beban.....	42



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Pemrograman Arduino
- Lampiran 2 Tabel Pengamatan
- Lampiran 3 Perhitungan
- Lampiran 4 Dokumentasi
- Lampiran 5 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Choirul Huda, Alfian. 2016. **Rancang Bangun Pengatur Kecepatan Motor Induksi Satu Fase dengan Pengontrol *Loop* Tertutup Menggunakan VCO (*Voltage Controlled Oscillator*)**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: Farid Samsu Hananto, S.Si M.T dan Dr. Ahmad Barizi, M.A

Kata kunci : Kecepatan, Kestabilan, Motor, *Voltage Controlled Oscillator*, *Data Logger*, *Arduino uno*, Pemrograman, *set point*

Pada penelitian ini rancangan dibuat mampu mengatur kecepatan serta kestabilan kecepatan motor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik spesifikasi rancang bangun pengatur kecepatan motor satu fase loop tertutup dengan menggunakan *Voltage Controlled Oscillator* yang stabil. Rancangan alat ini dilengkapi *Data Logger* sebagai penyimpan data hasil deteksi sensor pada rangkaian, sensor kecepatan untuk mendeteksi kecepatan motor, sensor tegangan untuk mendeteksi tegangan listrik, *Arduino uno* sebagai *device* pengolahan data yang akan ditampilkan ke PC sekaligus sebagai pemrograman pengendali kecepatan motor. Uji sistem alat dilakukan dengan 2 perlakuan berbeda. Perlakuan pertama motor induksi diuji tanpa disertai beban. Perlakuan kedua motor diuji dengan disertai beban. Kedua perlakuan tersebut masing-masing dilakukan pada *set point* kecepatan 1000 rpm, 1100 rpm, 1200 rpm, 1300 rpm, 1400 rpm, 1500 rpm, 1600 rpm, 1700 rpm, 1800 rpm, 1900 rpm, 2000 rpm. Hasil uji alat ternyata didapat tingkat kestabilan yang cukup tinggi dengan persentase *error* rata-rata 0.92 %, baik motor induksi yang disertai beban maupun yang tanpa disertai beban.

ABSTRACT

Choirul Huda, Alfian. 2016. **The Design of Induction Motor Speed Regulator One Phase with Closed Loop Controller By Using VCO (Voltage Controlled Oscillator)**. Essay. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang.

Advisor: Farid Samsu Hananto, S.Si M.T and Dr. Ahmad Barizi, M.A

Keywords: Speed, Stability, Motor, Voltage Controlled Oscillator (VCO), Data Logger, Arduino Uno, Programming, Set point

In this research, the design was created to adjust the speed and to control the stability of the motor's speed. This research aims understand the characteristic of motor speed control design specification-one phase closed loop by using a stable Voltage Controlled Oscillator. The design of these tools were included Data Logger as data storage sensor detection results in the circuit, speed sensors to detect the motor's speed, voltage sensor to detect voltage, Arduino uno as a data processing device. These were displayed through the PC and they are programmed to control the motor's speed. Testing the instrument system was carried out by using two different treatments. The first treatment; motor induction was tested by using treatment without any load. The second treatment; motor induction was tested by using treatment with load. Both the treatments were carried out by setting the speed point; 1000 rpm, 1100 rpm, 1200 rpm, 1300 rpm, 1400 rpm, 1500 rpm, 1600 rpm, 1700 rpm, 1800 rpm, 1900 rpm, 2000 rpm. The fairly high stability of error percentage (0.92%) for both of induction motor with load and induction motor without load was found.

ملخص

خير الهدى، الفن. تصميم ٢٠١٦. لسرعة موتور حثي واحد المرحلة مع التحكم بالحلقة المغلقة باستخدام
فقه (الجهد تسيطر المذبذب). مقال. الفيزياء الإدارة، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مالانغ مولانا مالك
إبراهيم الدولة الإسلامية. مستشار: فريد شمس هانانتو، S.Si M.T والدكتور أحمد برزي، الماجستير

الكلمات الرئيسية: السرعة، الاستقرار، موتور، مذبذب تسيطر الجهد (فقه)، ومسجل بيانات، أونو اردوينو،
البرمجة، تعيين نقطة.

في هذا البحث، تم إنشاء التصميم لضبط السرعة ومراقبة استقرار السرعة المحرك. هذا البحث يهدف
فهم خاصة سرعة موتور تحكم تصميم واحد ومواصفات المرحلة مغلقة حلقة باستخدام "مذبذب تسيطر الجهد"
مستقرة. تم تصميم هذه الأدوات المضمنة بسرعة "مسجل بيانات" كنتائج الكشف عن جهاز استشعار تخزين
البيانات في الدائرة، أجهزة استشعار للكشف عن السرعة السيارات، مجس الجهد الكهربائي للكشف عن التيار
الكهربائي، أونو اردوينو كجهاز معالجة البيانات. هذه تم عرضها من خلال جهاز الكمبيوتر، وأنها مبرمجة للتحكم
في السرعة في المحرك. اختبار النظام صك أجريت باستخدام اثنين من العلاجات المختلفة. المعالجة الأولى؛ تم
اختبار المحرك التعريفي باستخدام العلاج بدون أي حمل. العلاج الثاني؛ تم اختبار المحرك التعريفي باستخدام
العلاج مع التحميل. كل العلاجات أجريت من قبل تعيين نقطة السرعة؛ ١٠٠٠ لفة في الدقيقة، ١١٠٠ لفة في
الدقيقة، ١٢٠٠ لفة في الدقيقة، ١٣٠٠ دورة في الدقيقة، ١٤٠٠ لفة في الدقيقة، ١٥٠٠ لفة في الدقيقة، ١٦٠٠
دورة في الدقيقة، ١٧٠٠ دورة في الدقيقة، ١٨٠٠ لفة في الدقيقة، ١٩٠٠ لفة في الدقيقة، ٢٠٠٠ دورة في
الدقيقة. تم العثور على استقرار النسبة المئوية للخطأ (٠,٠٠٠٩٢) لكل من المحرك التعريفي مع التحميل والتعريفي
للسيارات دون تحميل عالية إلى حد ما.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat, sedangkan suplai akan kebutuhan energi listrik semakin menipis dan dikhawatirkan akan menghambat laju produksi dalam dunia industri.

Krisis suplai energi listrik dan masalah ekonomi yang terjadi membuat manusia berusaha mencari teknologi yang tepat guna untuk mengoptimalkan hasil produksi. Pengoptimalan mesin produksi dalam dunia industri merupakan salah satu upaya meningkatkan hasil produksi dengan keterbatasan suplai energi listrik yang ada. Selain itu pengoptimalan mesin produksi sesuai dengan prinsip ekonomi. Oleh karena itu pengoptimalan mesin produksi dalam industri perlu mendapat perhatian untuk diteliti dan dikembangkan untuk memperoleh hasil produksi yang seimbang dengan energi listrik yang dibutuhkan.

Motor listrik merupakan salah satu mesin yang banyak digunakan dalam dunia industri. Hampir dari 75% dari mesin produksi dalam industri merupakan motor listrik sebagai penggerakannya. Kondisi ini menjadikan motor listrik sebagai obyek yang penting untuk diteliti karena motor listrik merupakan bagian utama dari sebagian besar mesin produksi sebuah pabrik. Bahkan dalam skala kecil motor listrik digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti blender, kipas angin, mesin cuci dan pompa air. Hal ini menunjukkan bahwa sumber energi listrik merupakan sebuah sumber harapan untuk menggerakkan motor listrik.

Dalam al Qur'an, Allah Swt telah menjelaskan ayat tentang sumber energi listrik, yaitu:

هُوَ الَّذِي يُرِيكُمْ الْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنشِئُ السَّحَابَ الثِّقَالَ ﴿١٢﴾

“Dia-lah Tuhan yang memperlihatkan kilat kepadamu untuk menimbulkan ketakutan dan harapan, dan Dia mengadakan awan mendung” (Q.S. ar Ra'd 13: 12).

Surat ar Ra'd ayat 12 menjelaskan tentang kebesaran Allah yang telah menciptakan kilat sebagai gambaran bahwasanya di dalam kilat tidak hanya terdapat bahaya namun terdapat pula pelajaran yang bisa diambil manfaatnya. Kilat dapat diartikan simbol dari energi listrik yang dapat menggerakkan motor dan alat elektronik lainnya.

Sesungguhnya semua di alam semesta ini bergerak untuk Allah Swt, dalam artian lain semua bergerak berdasarkan kehendak Allah. Dan hal tersebut dapat menjadi acuan mempelajari pergerakan motor supaya lebih mengenal ciptaan Allah sehingga bertambahnya rasa syukur.

Selain itu pengukuran terhadap takaran yang tepat juga dianjurkan oleh agama Islam. Dengan pengukuran diperoleh sebuah nilai sebagai tolak ukur sebuah takaran yang tepat sehingga diharapkan tidak ada yang terbuang sia-sia. Seperti yang tercantum dalam surat al Israa' ayat 35:

وَأَوْفُوا الْكَيْلَ إِذَا كِلْتُمْ وَزِنُوا بِالْقِسْطَاسِ الْمُسْتَقِيمِ ۚ ذَٰلِكَ خَيْرٌ وَأَحْسَنُ تَأْوِيلًا ﴿٣٥﴾

“Dan sempurnakanlah takaran apabila kamu menakar, dan timbanglah dengan neraca yang benar. Itulah yang lebih utama (bagimu) dan lebih baik akibatnya” (Q.S. al Israa’ 17: 35).

Salah satu jenis motor listrik adalah motor induksi. Motor induksi ada yang satu fase dan tiga fase. Motor induksi satu fase biasa digunakan dalam peralatan rumah tangga, sedangkan motor induksi tiga fase biasa digunakan dalam mesin produksi pabrik karena memang terkait motor induksi tiga fase memiliki daya yang besar, berbeda dengan motor induksi satu fase yang memiliki daya relatif kecil. Motor induksi sering dijadikan sebagai pilihan utama dalam berbagai penerapan dunia industri karena memang mudah perawatannya, mudah didapat di pasaran dan harganya yang relatif lebih ekonomis. Namun motor induksi memiliki kelemahan slip pada rotor serta sulit diatur kecepatannya.

Pengatur kecepatan motor induksi adalah salah satu bentuk pengoptimalan kecepatan motor induksi yang dihasilkan. Pengatur kecepatan ini selain digunakan untuk memilih kecepatan motor yang diinginkan juga digunakan untuk mengurangi masalah slip pada rotor. Pengatur kecepatan motor induksi ini sendiri ada yang menggunakan *loop* tertutup maupun terbuka.

Dalam pembuatan pengatur kecepatan motor induksi, penstabil kecepatan motor merupakan bagian utama untuk mengatasi slip pada rotor, sebuah pengkonversi energi, inverter, pengolah sinyal serta program komputer yang memudahkan pengendalian alat.

Sejumlah penelitian terus dilakukan untuk menghasilkan rancang bangun yang efisien. Penelitian yang dilakukan oleh Yadi Yunus dan Suyamto (2008) tentang rancang bangun alat pengatur kecepatan motor induksi dengan cara

mengatur frekuensi dengan hasil bahwasanya peralatan yang dibuat dapat berfungsi cukup baik, arus ke motor cukup stabil meskipun kecepatan putar diubah-ubah. Abdullah Reza (2009) juga melakukan penelitian tentang rancang bangun pengatur kecepatan induksi menggunakan sistem pengendalian *zero crossing* dengan hasil diperoleh hasil yang kurang stabil dalam proses signal *trigger* dikarenakan *delay proses* yang terdapat pada komponen *triac*. Serta ada pula penelitian yang dilakukan oleh Isrendi Putra (2010) tentang rancang bangun sistem proteksi motor induksi tiga fase terhadap arus tak seimbang.

Alat yang akan dirancang bangun diharapkan memiliki keunggulan-keunggulan yang dapat menanggulangi permasalahan-permasalahan di dunia industri, diantaranya: mudah untuk dibuat dan biaya pembuatannya tidak terlalu mahal, bahan yang digunakan banyak terdapat di pasaran. Alat pengatur kecepatan motor induksi ini menggunakan penstabil terhadap slip motor maupun pengurangan kecepatan sehingga membantu efisiensi kerja dari mesin produksi. Meskipun penelitian ini menggunakan motor induksi satu fase, namun diharapkan bisa memberikan gambaran terhadap motor induksi tiga fase yang memiliki daya lebih besar.

Dibalik rancangan alat yang akan dibuat dengan tidak meninggalkan keunggulan-keunggulan di atas, penelitian ini sedikit akan difokuskan pada penstabilan kecepatan motor induksi satu fase, hal ini bertujuan untuk memaksimalkan kerja yang dihasilkan oleh putaran motor satu fase tersebut, maka dari itu judul dalam penelitian ini adalah Rancang Bangun Pengatur Kecepatan

Motor Induksi Satu Fase dengan Pengontrol *Loop* Tertutup Menggunakan VCO (*Voltage Controlled Oscillator*).

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahannya adalah bagaimana karakteristik spesifikasi rancang bangun pengatur kecepatan motor induksi dengan pengontrol *loop* tertutup menggunakan VCO (*Voltage Controlled Oscillator*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah penelitian di atas, maka tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik spesifikasi rancang bangun pengatur kecepatan motor induksi satu fase dengan pengontrol *loop* tertutup menggunakan VCO (*Voltage Controlled Oscillator*).

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil alat ini dapat membantu pihak terkait untuk memudahkan mengatasi slip rotor pada motor induksi, serta dapat sebagai acuan pembuatan rancang pengatur kecepatan pada motor induksi satu fase untuk berbagai keperluan pengembangan teknologi pengatur kecepatan motor listrik.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diambil batasan-batasan untuk memperjelas ruang lingkup permasalahan, antara lain:

1. Motor yang diuji adalah motor berkecepatan maksimal 2500 rpm.
2. Pemrograman motor menggunakan arduino.
3. Pengujian hanya sebatas mengetahui tingkat kestabilan kecepatan motor.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini dibagi dalam beberapa bab dan sub bab seperti dijelaskan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Menjelaskan tentang teori penunjang yang berhubungan dengan motor listrik dan VCO.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian, diantaranya adalah prosedur perancangan alat, pengujian alat, serta analisis data.

BAB IV PEMBAHASAN

Menjelaskan hasil dari penelitian dan pembahasan dari permasalahan pokok penelitian yang meliputi hasil uji alat ketika sudah selesai dirakit.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran-saran dari penulis.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Energi Listrik

Listrik merupakan sumber energi untuk menggerakkan motor dan barang elektronik lain. Energi listrik merupakan sumber energi yang paling mudah dikonversi ke bentuk sumber energi lain. Salah satu sumber energi listrik adalah kilat. Bahkan sebelum jauh ditemukannya listrik, al Qur'an lebih dahulu menjelaskan terkait listrik. Salah satu ayat yang menjelaskan tentang energi listrik yaitu:

هُوَ الَّذِي يُرِيكُمْ الْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنشِئُ السَّحَابَ الثِّقَالَ

“Dia-lah Tuhan yang memperlihatkan kilat kepadamu untuk menimbulkan ketakutan dan harapan, dan Dia mengadakan awan mendung” (Q.S. Ar Ra’d 13: 12).

2.2 Motor Listrik

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *pump impeller*, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah tangga (*mixer*, bor listrik, kipas angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut kuda-kerjanya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri (UNEP, 2006).

Dalam al Qur'an dijelaskan segala sesuatu bergerak untuk Allah Swt, Hal ini berarti segala sesuatu bergerak berdasarkan kehendak Allah. Seperti yang dijelaskan dalam surat al Hadiid ayat 1:

سَبَّحَ لِلَّهِ مَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَهُوَ الْعَزِيزُ الْحَكِيمُ

“Semua yang berada di langit dan yang berada di bumi bertasbih kepada Allah. Dan Dialah Yang Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana” (Q.S. al Hadiid 57: 1).

Bertasbih dalam ayat di atas secara bahasa dapat diartikan sebagai gerak atau putaran. Dan terbukti secara ilmu sains setiap yang ada di langit maupun di bumi semua bergerak, apapun itu, baik cahaya di langit maupun batu di bumi. Cahaya memiliki gelombang yang berbentuk putaran melengkung, Batu yang kelihatan diam pun memiliki atom-atom penyusun yang bergerak melingkar.

2.3 Cara Kerja Motor Listrik

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama, yaitu (UNEP, 2006):

- a. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- b. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi gulungan, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- c. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/torsi untuk memutar kumparan.

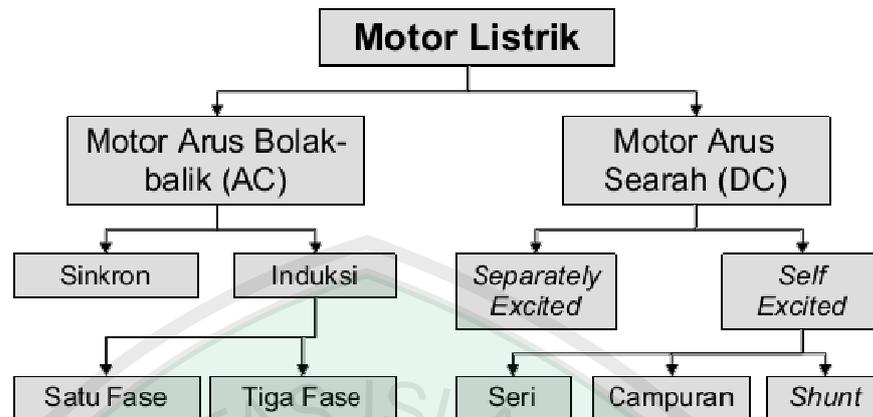
- d. Motor-motor memiliki beberapa gulungan pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok (BEE India, 2004):

- a. Beban torsi konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun torsinya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah *conveyors*, *rotary kills*, dan *constan displacement pump*.
Beban dengan variasi torsi adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi yang bervariasi adalah pompa sentrifugal dan kipas angin (torsi bervariasi sebagai kuadrat kecepatan).
- b. Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

2.4 Jenis Motor Listrik

Jenis-jenis motor listrik secara garis besar dapat dikatagorikan berdasarkan pasokan input, konstruksi, dan mekanisme operasi. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 2.1:



Gambar 2.1 Klarifikasi Jenis Utama Motor Listrik (Parekh, 2003).

2.4.1 Motor DC

Motor DC (*Direct Current*) digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Gambar 2.2 memperlihatkan sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama (UNEP, 2006):

- 1) Kutub medan. Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang di antara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

- 2) Dinamo. Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.
- 3) *Commutator*. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



Gambar 2.2 Sebuah motor DC (UNEP, 2006).

Keuntungan utama motor DC sebagai pengendali kecepatan yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur (UNEP, 2006):

- 1) Tegangan dinamo berfungsi meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan.
- 2) Arus medan berfungsi menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan *rolling mills*, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC (UNEP, 2006).

Hubungan antara kecepatan, fluk medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut (UNEP, 2006):

Gaya elektromagnetik:

$$E = K\phi N \quad (2.1)$$

Torsi:

$$T = K\phi I_a \quad (2.2)$$

Dimana:

E = Gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

Φ = Fluk medan yang berbanding lurus dengan arus medan

N = Kecepatan dalam rpm (putaran per menit)

T = Torsi elektromagnetik

I_a = Arus dinamo

K = Konstanta persamaan

Jenis-jenis motor DC dibagi menjadi sebagai berikut (UNEP, 2006):

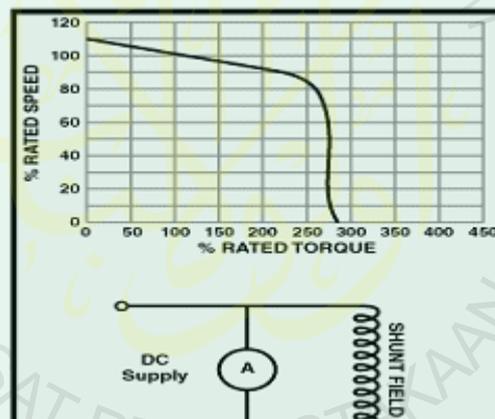
1) Motor DC Sumber Daya Terpisah/*Separately Excited*

Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/*separately excited*.

2) Motor DC Sumber Daya Sendiri/*Self Excited: Motor Shunt*

Pada *motor shunt*, gulungan medan (medan *shunt*) disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo (A) seperti diperlihatkan dalam gambar 2.3.

Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.



Gambar 2.3 Karakteristik *Motor DC Shunt* (E.T.E, 1997).

Berikut tentang kecepatan *motor shunt* (E.T.E, 1997):

- a. Kecepatan pada prakteknya konstan tidak tergantung pada beban (hingga torsi tertentu setelah kecepatannya berkurang, lihat gambar 2.3) dan oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.

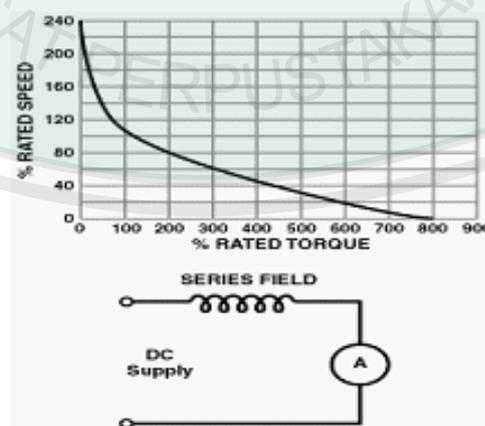
- b. Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan dinamo (kecepatan berkurang) atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

3) Motor Seri

Dalam motor seri, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara seri dengan gulungan dinamo (A) seperti ditunjukkan dalam gambar 2.4. Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus dinamo. Berikut tentang kecepatan motor seri (Rodwell International Corporation, 1997; L.M. Photonics Ltd, 2002):

- Kecepatan dibatasi pada 5000 rpm.
- Harus dihindarkan menjalankan motor seri tanpa ada beban sebab motor akan mempercepat tanpa terkendali.

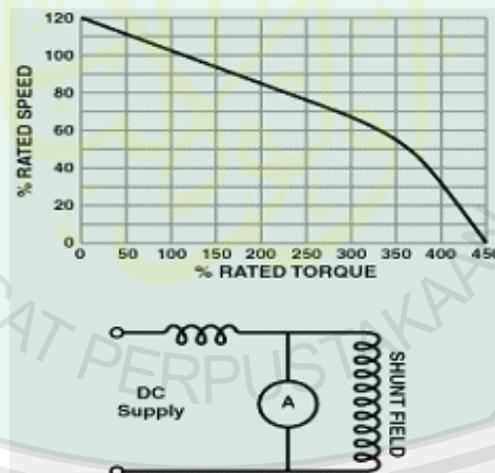
Motor-motor seri cocok untuk penggunaan yang memerlukan torsi penyalan awal yang tinggi, seperti derek dan alat pengangkat *hoist* (lihat gambar 2.4).



Gambar 2.4 Karakteristik Motor Seri DC (Parekh, 2003).

4) Motor DC Kompon/ Gabungan

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan *shunt*. Pada motor kompon, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dinamo seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.5 sehingga motor kompon memiliki torsi penyalan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula torsi penyalan awal yang dapat ditangani oleh motor ini. Contoh penggabungan 40-50% menjadikan motor ini cocok untuk alat pengangkat *hoist* dan derek, sedangkan motor kompon yang standar (12%) tidak cocok (myElectrical, 2005).



Gambar 2.5 Karakteristik Motor Kompon DC (Parekh, 2003).

2.4.2 Motor AC

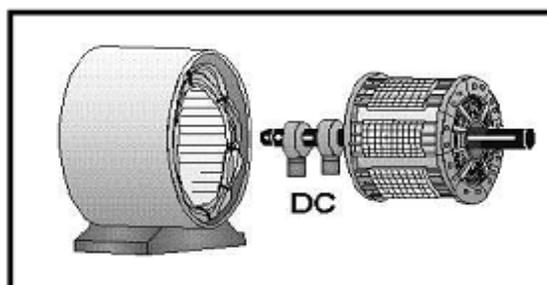
Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik: "strator" dan "rotor" seperti ditunjukkan dalam gambar

2.6. Strator merupakan komponen listrik statis. Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor (Parekh, 2003).

Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC).

1) Motor Sinkron

Motor sinkron adalah motor AC, bekerja pada kecepatan tetap pada sistem frekuensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki torsi awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekuensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistem, sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak listrik (Parekh, 2003).



Gambar 2.6 Motor Sinkron (Parekh, 2003).

Komponen utama motor sinkron adalah:

- Rotor. Perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa rotor mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet. Hal ini memungkinkan sebab medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arus *DC-excited*, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu bila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.
- Strator. Strator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekuensi yang dipasok.

Motor ini berputar pada kecepatan sinkron, yang diberikan oleh persamaan berikut (Parekh, 2003):

$$N_s = 120 f/P \quad (2.3)$$

Dimana:

f = Frekuensi dari pasokan frekuensi

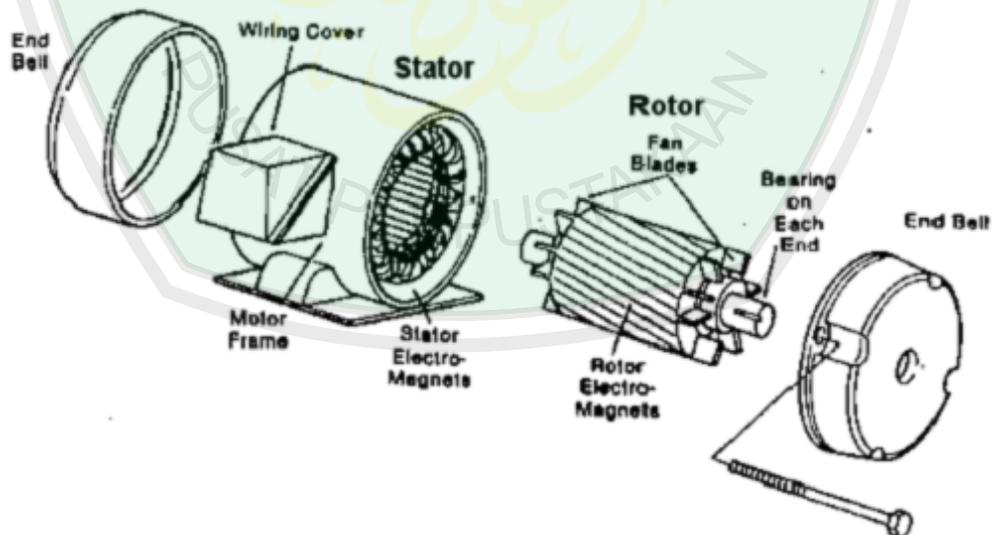
P= Jumlah kutub

2) Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC (UNEP, 2006).

Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama:

- Rotor. Motor induksi menggunakan dua jenis rotor:
 - a. Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak celah paralel. Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.
 - b. Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub strator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung yang lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.
- Strator. Strator dibuat dari sejumlah *stampings* dengan *slot* untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120°



Gambar 2.7 Motor Induksi *Automated Buildings* (Parekh, 2003).

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama (Parekh, 2003):

- 1) Motor induksi satu fase. Motor ini hanya memiliki satu gulungan strator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 HP.
- 2) Motor induksi tiga fase. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan dan *grinder*. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan HP.

Motor induksi bekerja dengan cara listrik dipasok ke strator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet strator, yang menyebabkan rotor berputar (Parekh, 2003).

Walaupun begitu, didalam prakteknya motor tidak pernah bekerja pada kecepatan sinkron namun pada “kecepatan dasar” yang lebih rendah. Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan tersebut disebabkan adanya “slip/geseran” yang

meningkat dengan meningkatnya beban. Slip hanya terjadi pada motor induksi. Untuk menghindari slip dapat dipasang sebuah cincin geser/*slip ring*, dan motor tersebut dinamakan “motor cincin geser/*slip ring motor*”. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung persentase slip/geseran (Parekh, 2003):

$$\% \text{Slip} = \frac{N_s - N_b}{N_s} \times 100 \quad (2.4)$$

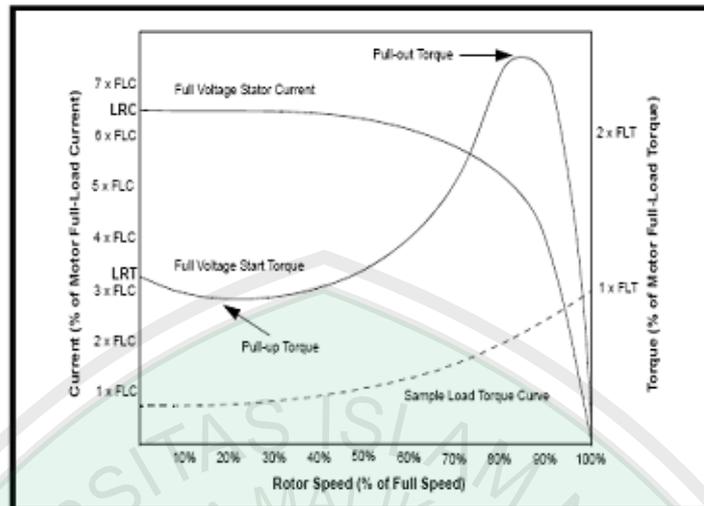
Dimana:

N_s = kecepatan sinkron dalam rpm

N_b = kecepatan dasar dalam rpm

Gambar 2.8 menunjukkan grafik torsi -kecepatan motor induksi AC tiga fase dengan arus yang sudah ditetapkan bila motor (Parekh, 2003):

- a. Mulai menyala ternyata terdapat arus nyala awal yang tinggi dan torsi yang rendah (“*pull-up torque*”).
- b. Mencapai 80% kecepatan penuh, torsi berada pada tingkat tertinggi (“*pull-out torque*”) dan arus mulai turun.
- c. Pada kecepatan penuh, atau kecepatan sinkron, arus torsi dan strator turun ke 0.



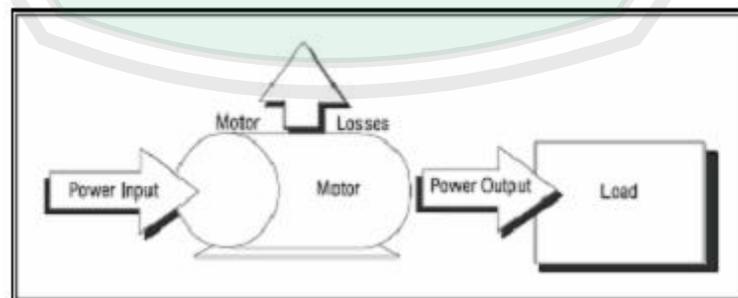
Gambar 2.8 Grafik *Torque* -Kecepatan Motor Induksi AC 3-Fase (Parekh, 2003).

2.5 Kinerja Motor Listrik

Bagian ini menjelaskan tentang bagaimana mengkaji kinerja motor listrik (UNEP, 2006).

2.5.1 Efisiensi Motor Listrik

Motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu. Pada proses ini, kehilangan energi ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kehilangan Motor (Parekh, 2003).

Efisiensi motor ditentukan oleh kehilangan dasar yang dapat dikurangi hanya oleh perubahan pada rancangan motor dan kondisi operasi. Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih 2% hingga 20%. Tabel 2.1 memperlihatkan jenis kehilangan untuk motor induksi.

Tabel 2.1 Persentase Kehilangan Daya

Jenis kehilangan	persentase kehilangan total (100%)
Kehilangan tetap atau inti	25
Kehilangan variabel: kehilangan strator I^2R	34
Kehilangan variabel: kehilangan rotor I^2R	21
Kehilangan gesekan & penggulangan ulang	15
Kehilangan beban yang menyimpang	5

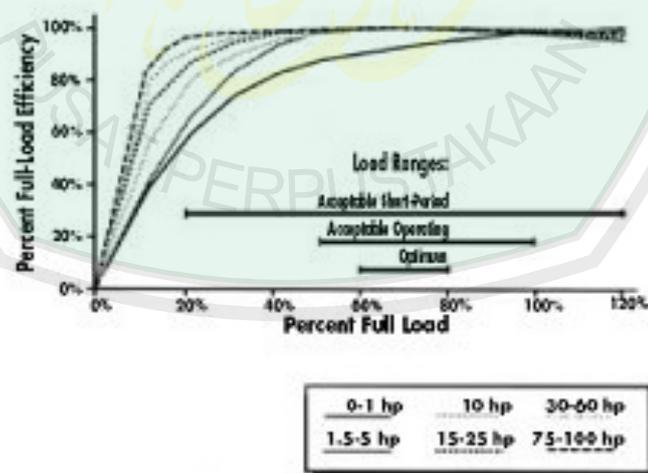
Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan keluaran daya motor yang digunakan terhadap keluaran daya totalnya.”

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

- a. Usia. Motor baru lebih efisien.
- b. Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- c. Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- d. Jenis. Sebagai contoh motor kandang tupai biasanya lebih efisien daripada motor cincin-geser .

- e. Suhu. Motor yang didinginkan oleh *fan* dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor *screen protected drip-proof* (SPDP).
- f. Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.
- g. Beban.

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%, tetapi jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada gambar 2.10. Mengoperasikan motor di bawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor.



Gambar 2.10 Efisiensi Motor Beban Sebagian (US DOE, 2003).

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab pelat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat.

Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Hasil dari uji tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik kinerja standar yang diberikan oleh pembuatnya.

Jika tidak memungkinkan untuk memutuskan sambungan motor dari beban, perkiraan nilai efisiensi didapat dari tabel khusus untuk nilai efisiensi motor. Lembar fakta dari US DOE memberikan tabel dengan nilai efisiensi motor untuk motor standar yang dapat digunakan jika pabrik pembuatnya tidak menyediakan data ini. Nilai efisiensi disediakan untuk:

- a. Motor dengan efisiensi standar 900, 1200, 1800 dan 3600 rpm.
- b. Motor yang berukuran antara 10 hingga 300 HP.
- c. Dua jenis motor: *motor open drip-proof* (ODP) dan motor yang didinginkan oleh *fan* dan tertutup total/*enclosed fan-cooled motor* (TEFC).
- d. Tingkat beban 25%, 50%, 75% dan 100%.

Lembar fakta juga menjelaskan tiga kategori metode yang lebih canggih untuk mengkaji efisiensi motor: peralatan khusus, metode perangkat lunak, dan

metode analisis. Dengan kata lain, survei terhadap motor dapat dilakukan untuk menentukan beban, yang juga memberi indikasi kinerja motor.

2.5.2 Beban Motor

Karena sulit untuk mengkaji efisiensi motor pada kondisi operasi yang normal, beban motor dapat diukur sebagai indikator efisiensi motor. Dengan meningkatnya beban, faktor daya dan efisiensi motor bertambah sampai nilai optimumnya pada sekitar beban penuh.

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan beban:

$$\text{Beban} = \frac{P_i \times \eta}{H_p \times 0,7457} \quad (2.5)$$

Dimana,

H = Efisiensi operasi motor dalam %

HP = *Nameplate* untuk HP

Beban = Daya yang keluar sebagai % laju daya

Pi = Daya tiga fase dalam kW

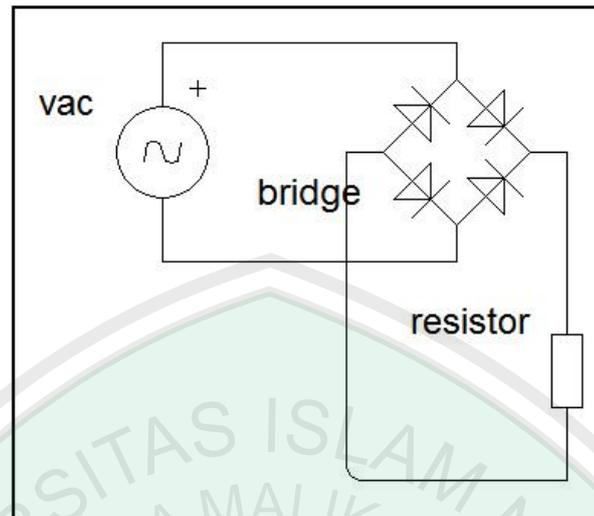
Survei beban motor dilakukan untuk mengukur beban operasi berbagai motor di seluruh pabrik. Hasilnya digunakan untuk mengidentifikasi motor yang terlalu kecil. (mengakibatkan motor terbakar) atau terlalu besar (mengakibatkan ketidak efisiensi). US DOE merekomendasikan untuk melakukan survei beban motor yang beroperasi lebih dari 1000 jam per tahun.

Terdapat tiga metode untuk menentukan beban motor bagi motor yang beroperasi secara individu:

- a. Pengukuran daya masuk. Metode ini menghitung beban sebagai perbandingan antara daya masuk (diukur dengan alat analisis daya) dan nilai daya pada pembebanan 100%.
- b. Pengukuran jalur arus. Beban ditentukan dengan membandingkan amper terukur (diukur dengan alat analisis daya) dengan laju amper. Metode ini digunakan bila faktor daya tidak diketahui dan hanya nilai amper yang tersedia. Juga direkomendasikan untuk menggunakan metode ini bila persen pembebanan kurang dari 50%
- c. Metode Slip. Beban ditentukan dengan membandingkan slip yang terukur bila motor beroperasi dengan slip untuk motor dengan beban penuh. Ketelitian metode ini terbatas namun dapat dilakukan dengan hanya penggunaan *tachometer* (tidak diperlukan alat analisis daya).

2.6 Penyearah

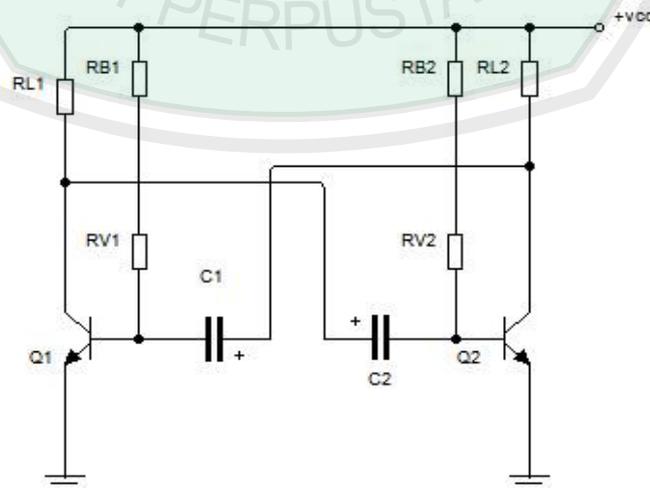
Penyearah adalah alat pengubah sumber listrik dari AC menjadi DC. Alat tersebut berupa rangkaian elektronik dengan komponen utama dioda. Dalam penyearahan tegangan bolak-balik digunakan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan sebuah diode jembatan/*bridge* atau empat buah dioda (Kristiono, 2003). Gelombang keluarannya lebih baik bila dibandingkan dengan penyearah setengah gelombang, lihat gambar 2.11.



Gambar 2.11 Penyearah Gelombang Penuh (Kristono, 2003).

2.7 Osilator

Osilator adalah rangkaian elektronik yang bekerja sebagai pembangkit gelombang denyut. Berdasarkan cara kerjanya terdapat berbagai macam osilator yang salah satu diantaranya adalah *multivibrator* tak stabil. Gambar 2.12 ditunjukkan rangkaian pembangkit sinyal dan disebut sebagai rangkaian osilator dari jenis multivibrator tak stabil (Loveday, 1994).



Gambar 2.12 Osilator *Astable Multivibrator* (Haryadi, 1985).

Proses kerjanya transistor dan Q2 bekerja *on* (saturasi) dan *off* (*cut off*) secara bergantian. Proses tersebut terjadi terus hingga terbentuk suatu sinyal tegangan denyut pada kolektor pada kedua transistor tersebut. Selang waktu pergantian antar *on* dan *off* dari kedua transistor disebut sebagai konstanta waktu dari osilator yang besarnya adalah (Haryadi, 1985):

$$T1 = 0,69 \times RB1 \times C1 \quad (2.6)$$

dengan:

T1 = waktu V_i dari periode *on* ke *off* kembali ke *on* lagi dari transistor

RB1 = $R_w + R_v$ adalah tahanan rangkaian basis transistor (Q).

C1 = kapasitansi kondensator rangkaian basis (F).

T2 dapat diperoleh menggunakan persamaan (2.6) dengan nilai tahanan dan kondensator adalah RB2 dan C2. Jadi : $T1 + T2 = T = 0,69 \times RB1 \times C1 + RB2 \times C2$). Jika ditentukan $RB1 = RB2 = RB$ dan $C1 = C2 = C$, maka diperoleh

$$T = 0,69 \times 2 \times RB \times C$$

$$T = 1,38 \times RB \times C$$

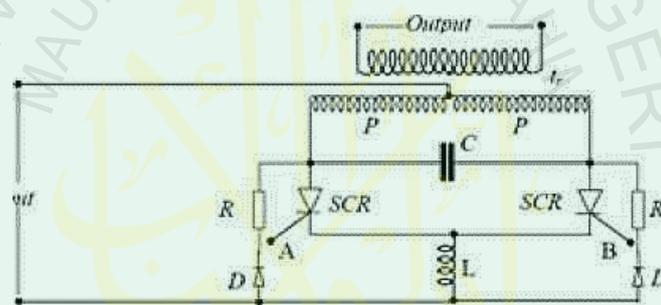
Sehingga frekuensi osilasi $f = \frac{1}{T}$ (Hz) adalah

$$f = \frac{1}{1,38 \times RB \times C} \quad (2.7)$$

Dari persamaan (2.7) di atas diperoleh besarnya frekuensi osilasi tergantung RB dan atau C. Secara teknis lebih mudah dilakukan dengan mengubah tahanan RB.

2.8 Inverter

Rangkaian elektronika yang bisa digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi AC disebut inverter. Rangkaian inverter bisa menggunakan komponen transistor maupun *thyristor* SCR sebagai komponen utama. Bila digunakan transistor daya terbatas tetapi frekuensi tinggi serta tidak perlu rangkaian komutasi. Bila menggunakan SCR daya besar frekuensi rendah dan perlu rangkaian komutasi sebagai pemutus SCR. Gambar 2.13 adalah contoh rangkaian inverter dengan SCR (Chute, 1981).



Gambar 2.13 Rangkaian *Inverter* dengan SCR

Pada gambar 2.13 SCR1 dan SCR2 disulut bergantian melalui titik A dan titik B oleh sinyal yang dihasilkan osilator *astable multivibrator*, sedang pemutusan SCR dilakukan oleh rangkaian komutator berupa kapasitor C yang dipasang pada lilitan primer dari transformator.

Dengan SCR *on* dan *off* saling bergantian maka arus dari sumber + (positif) melewati tap tengah (*centertap*) trafo ke primer P1 dan P2 saling bergantian. Arus yang mengalir pada sisi primer transformator selalu bergantian atau bolak-balik sehingga dihasilkan tegangan induksi bolak-balik (AC) pada sisi

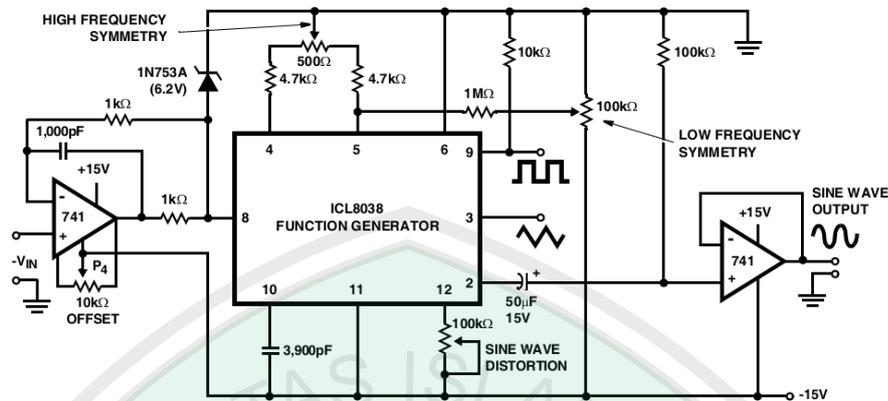
sekunder. Frekuensi dari tegangan induksi tersebut dapat diatur oleh osilator sebagai penyulut dua SCR tersebut (Chute, 1981).

2.9 Voltage Controlled Oscillator (VCO)

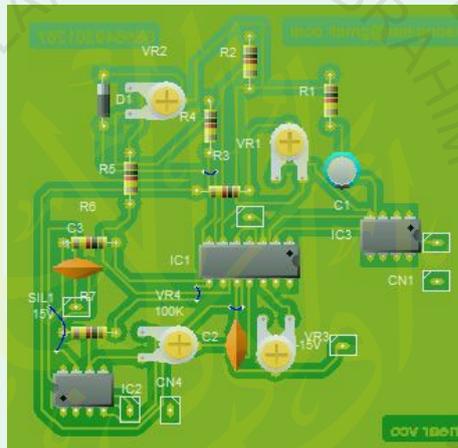
Sebuah *Voltage Controlled Oscillator* (VCO) adalah sebuah *oscillator* elektronik yang didesain untuk mengontrol frekuensi osilasi dengan sebuah tegangan input. Frekuensi dari osilasi bervariasi sesuai dengan tegangan DC yang diberikan ketika sinyal dimodulasi juga diumpankan ke dalam VCO yang menyebabkan Modulasi Frekuensi (FM) atau Modulasi Fase (PM). Sebuah VCO dengan keluaran pulsa digital sama dengan modulasi lebar pulsa (Prasetyo, 2011).

Osilator adalah sebuah rangkaian yang sangat penting dalam sistem komunikasi radio. Sebab gelombang elektromagnetik hanya bisa terpancar bila ada arus listrik yang berubah, dan cara termudah untuk mendapatkannya adalah dari osilator. Jadi fungsi utama osilator adalah sebagai pembangkit gelombang pembawa. Fungsi penting lain dari osilator adalah ketika gelombang pembawa itu harus digeser frekuensinya ke frekuensi lain yang dikehendaki. Jelas bahwa penggeseran frekuensi membutuhkan osilator. Syarat penting bagi sebuah osilator adalah stabil, dalam arti frekuensinya tidak mudah berubah. Akan tetapi pada prakteknya justru lebih banyak dibutuhkan osilator yang frekuensinya mudah diubah-ubah (variabel). Dua kondisi ini terlihat saling bertentangan. Stabil artinya frekuensinya harus tetap, tapi di sisi lain frekuensi ini harus mudah diubah-ubah (Prasetyo, 2011).

Skema perakitan VCO dapat dilihat pada gambar 2.14, sedangkan tampilan pada PCB dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.14 Rangkaian *Linear Voltage Controlled Oscillator* (Prasetyo, 2011).



Gambar 2.15 VCO pada PCB (Prasetyo, 2011)

2.10 Tachometer

Tachometer adalah sebuah instrumen atau alat yang mampu untuk mengukur kecepatan putaran dari poros engkol atau piringan, seperti yang terdapat pada sebuah motor atau mesin lainnya. Alat ini biasanya menampilkan *revolutions per minute* (rpm) pada sebuah pengukur skala analog, namun yang versi tampilan digital juga sudah semakin populer (Ogata, 1997).

Sensor kecepatan adalah berupa piranti elektronik yang menghasilkan frekuensi pulsa keluaran sebanding dengan besar kecepatan sudut poros motor.

Sensor yang digunakan adalah *tachometer* yang prinsip kerjanya terjadi proses konversi langsung antara kecepatan dan tegangan (Ogata, 1997).

Tachometer yang terdapat pada mobil, pesawat terbang dan kendaraan-kendaraan lainnya biasanya menunjukkan tingkat rotasi/perputaran pada poros engkol mesin, dan secara tipikal sudah menandakan indikasi jangkauan keselamatan dari perputaran mesin. Hal ini mampu menolong pengemudi dalam menyeleksi akselerasi yang pas dan pengaturan rotasi mesin untuk segala macam kondisi pengendalian (Ogata, 1997).

Tachometer akan memberikan peringatan kepada pengemudi apabila tingkat putaran mesin sudah pada tahap "maksimum". *Tachometer* dikendalikan oleh putaran kabel dari sebuah unit pengendali yang dimasukkan ke dalam mesin (biasanya pada poros engkol) juga ada pada sistem mesin diesel sederhana yang menggunakan basis sistem elektris ataupun tanpa sistem elektrik. Pada sistem manajemen mesin yang umumnya terdapat pada kendaraan-kendaraan modern, sinyal untuk *tachometer* biasanya dihasilkan dari sebuah mesin ECU yang menghantarkan informasi baik dari sensor kecepatan putaran yang terdapat pada poros engkol (Ogata, 1997).



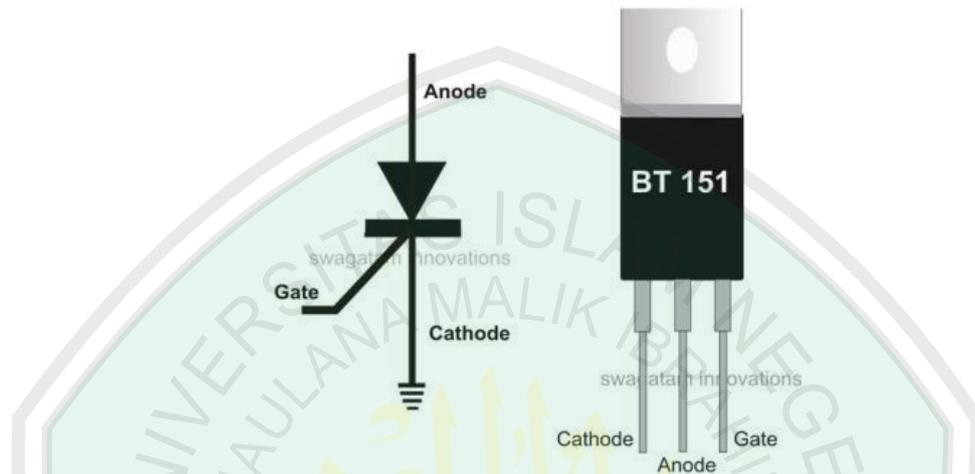
Gambar 2.16 *Tachometer* (Ogata, 1997).

Sensor kecepatan untuk menggerakkan *belt*, berupa piranti elektronik yang menghasilkan frekuensi pulsa keluaran sebanding dengan besar kecepatan sudut poros motor. Prinsip kerjanya adalah terjadinya proses konversi langsung antara kecepatan dan tegangan. Keunggulan dari *tachometer* adalah untuk menjaga inersia turun dapat diatasi dengan penggunaan sikat, sedangkan kelemahannya adalah penggunaan sikat untuk menjaga inersia dapat aus (Ogata, 1997).

2.11 SCR (*Silicon Controlled Rectifier*)

SCR atau aktuator adalah sebuah peralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme atau sistem. Aktuator (yang juga disebut sebagai elemen kontrol akhir [*final control element*]) diaktifkan dengan menggunakan lengan mekanis yang biasanya digerakkan oleh motor listrik, yang dikendalikan oleh media pengontrol otomatis yang terprogram diantaranya mikrokontroler (Ogata, 1997).

Untuk tampilan bentuk SCR dapat dilihat pada gambar 2.17 yang merupakan SCR tipe BT 151.



Gambar 2.17 SCR (Ogata, 1997).

2.12 Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler adalah IC yang dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus (Agus Bejo, 2007). Biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika.

Beberapa tahun terakhir, mikrokontroler sangat banyak digunakan terutama dalam pengontrolan robot. Seiring perkembangan elektronika, mikrokontroler dibuat semakin kompak dengan bahasa pemrograman yang juga ikut berubah. Salah satunya adalah mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) ATmega8535 yang menggunakan teknologi RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) dimana program berjalan lebih cepat karena hanya membutuhkan satu siklus *clock* untuk mengeksekusi satu instruksi program. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu kelas ATtiny, keluarga AT90Sxx,

keluarga ATmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, *peripheral*, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan hampir sama.

Mikrokontroler AVR ATmega8535 memiliki fitur yang cukup lengkap. Mikrokontroler AVR ATmega8535 telah dilengkapi dengan ADC *internal*, *EEPROM internal*, *Timer/Counter*, *PWM*, *analog comparator*, dll (M.Ary Heryanto, 2008). Sehingga dengan fasilitas yang lengkap ini memungkinkan kita belajar mikrokontroler keluarga AVR dengan lebih mudah dan efisien, serta dapat mengembangkan kreativitas penggunaan mikrokontroler ATmega8535.

Fitur-fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler ATmega8535 adalah sebagai berikut:

- a. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *port A*, *port B*, *port C*, dan *port D*.
- b. ADC internal sebanyak 8 saluran.
- c. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan.
- d. CPU yang terdiri atas 32 buah *register*.
- e. SRAM sebesar 512 *byte*.
- f. Memori Flash sebesar 8 kb dengan kemampuan *Read While Write*.
- g. *Port* antarmuka SPI
- h. EEPROM sebesar 512 *byte* yang dapat diprogram saat operasi.
- i. Antarmuka komparator analog.
- j. *Port* USART untuk komunikasi serial.
- k. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.

1. Dan lain-lainnya.

2.12.1 Konstruksi ATmega8535

Mikrokontroler ATmega8535 memiliki 3 jenis memori, yaitu memori program, memori data dan memori EEPROM. Ketiganya memiliki ruang sendiri dan terpisah.

- a. Memori program

ATmega8535 memiliki kapasitas memori program sebesar 8 Kb yang terpetakan dari alamat 0000h–0FFFh dimana masing-masing alamat memiliki lebar data 16 bit. Memori program ini terbagi menjadi 2 bagian yaitu bagian program *boot* dan bagian program aplikasi.

- b. Memori data

ATmega8535 memiliki kapasitas memori data sebesar 608 *byte* yang terbagi menjadi 3 bagian yaitu *register* serba guna, *register* I/O dan SRAM. ATmega8535 memiliki 32 *byte register* serba guna, 64 *byte register* I/O yang dapat diakses sebagai bagian dari memori RAM (menggunakan instuksi LD atau ST) atau dapat juga diakses sebagai I/O (menggunakan instruksi *in* atau *out*), dan 512 *byte* digunakan untuk memori data SRAM.

- c. Memori EEPROM

ATmega8535 memiliki memori EEPROM sebesar 512 *byte* yang terpisah dari memori program maupun memori data. Memori EEPROM ini hanya dapat diakses dengan menggunakan *register* I/O yaitu register EEPROM *Address*, *register* EEPROM *Data*, dan *register* EEPROM *Control*. Untuk mengakses memori EEPROM ini diperlakukan seperti mengakses data eksternal,

sehingga waktu eksekusinya relatif lebih lama bila dibandingkan dengan mengakses data dari SRAM.

ATmega8535 merupakan tipe AVR yang telah dilengkapi dengan 8 saluran ADC internal dengan fidelitas 10 bit. Dalam mode operasinya, ADC ATmega8535 dapat dikonfigurasi, baik secara *single ended input* maupun *differential input*. Selain itu, ADC ATmega8535 memiliki konfigurasi pewaktuan, tegangan referensi, mode operasi, dan kemampuan filter derau yang amat fleksibel, sehingga dengan mudah disesuaikan dengan kebutuhan ADC itu sendiri.

ATmega8535 memiliki 3 modul timer yang terdiri dari 2 buah *timer/counter* 8 bit dan 1 buah *timer/counter* 16 bit. Ketiga modul *timer/counter* ini dapat diatur dalam mode yang berbeda secara individu dan tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Selain itu, semua *timer/counter* juga dapat difungsikan sebagai sumber interupsi. Masing-masing *timer/counter* ini memiliki *register* tertentu yang digunakan untuk mengatur mode dan cara kerjanya.

Serial Peripheral Interface (SPI) merupakan salah satu mode komunikasi serial *synchronous* kecepatan tinggi yang dimiliki oleh ATmega8535. *Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter* (USART) juga merupakan salah satu mode komunikasi serial yang dimiliki oleh ATmega8535. USART merupakan komunikasi yang memiliki fleksibilitas tinggi, yang dapat digunakan untuk melakukan transfer data baik antar mikrokontroler, maupun dengan modul-modul eksternal termasuk PC yang memiliki fitur UART.

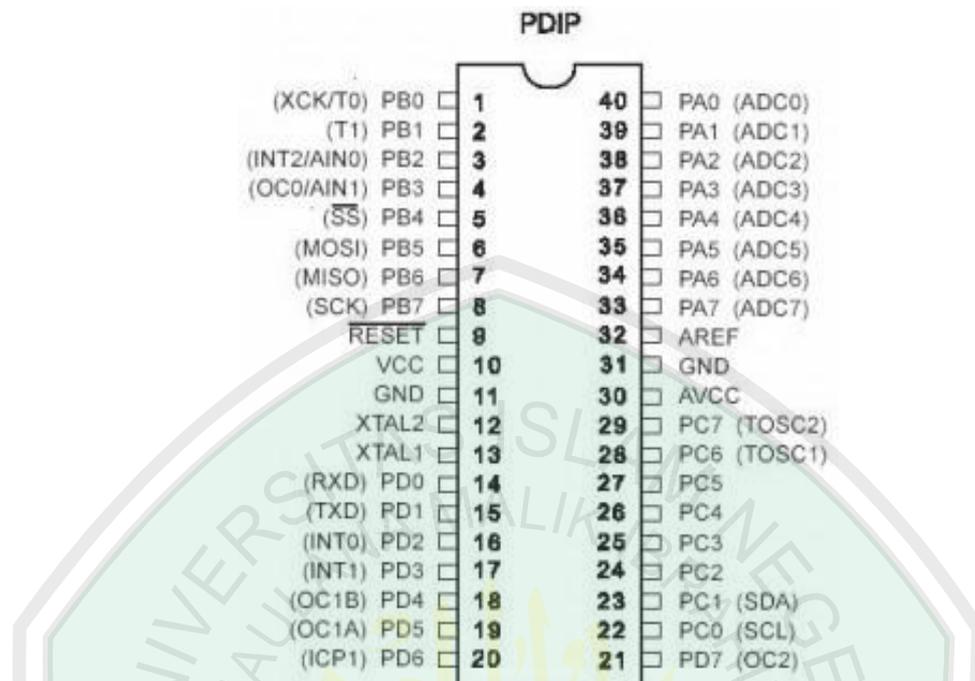
USART memungkinkan transmisi data baik secara *synchronous* maupun *asynchronous*, sehingga dengan memiliki USART pasti kompatibel dengan

UART. Pada ATmega8535, secara umum pengaturan mode *synchronous* maupun *asynchronous* adalah sama. Perbedaannya hanyalah terletak pada sumber *clock* saja. Jika pada mode *asynchronous* masing-masing *peripheral* memiliki sumber *clock* sendiri, maka pada mode *synchronous* hanya ada satu sumber *clock* yang digunakan secara bersama-sama. Dengan demikian, secara *hardware* untuk mode *asynchronous* hanya membutuhkan 2 *pin* yaitu TXD dan RXD, sedangkan untuk mode *synchronous* harus 3 *pin* yaitu TXD, RXD dan XCK.

2.12.2 Pin-pin pada Mikrokontroler ATmega8535



Gambar 2.18 Mikrokontroler ATmega8535 (*Data Sheet AVR*)



Gambar 2.19 Konfigurasi *pin* ATmega8535 (*Data Sheet AVR*)

Konfigurasi *pin* ATmega8535 dengan kemasan 40 *pin* DIP (*Dual Inline Package*) dapat dilihat pada gambar 2.19. Dari gambar di atas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing *pin* ATmega8535 sebagai berikut:

- a. VCC merupakan *pin* yang berfungsi sebagai masukan catu daya.
- b. GND merukan *pin* *Ground*.
- c. *Port* A (*Port*A0...*Port*A7) merupakan *pin* *input/output* dua arah dan *pin* masukan ADC.
- d. *Port* B (*Port*B0...*Port*B7) merupakan *pin* *input/output* dua arah dan *pin* fungsi khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Fungsi Khusus *Port B*

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PB7	SCK (<i>SPI Bus Serial Clock</i>)
PB6	MISO (<i>SPI Bus Master Input/ Slave Output</i>)
PB5	MOSI (<i>SPI Bus Master Output/ Slave Input</i>)
PB4	SS (<i>SPI Slave Select Input</i>)
PB3	AIN1 (<i>Analog Comparator Negative Input</i>) OC0 (<i>Timer/Counter0 Output Compare Match Output</i>)
PB2	AIN0 (<i>Analog Comparator Positive Input</i>) INT2 (<i>External Interrupt 2 Input</i>)
PB1	T1 (<i>Timer/ Counter1 External Counter Input</i>)
PB0	T0 T1 (<i>Timer/Counter External Counter Input</i>) XCK (<i>USART External Clock Input/Output</i>)

- e. *Port C (PortC0...PortC7)* merupakan *pin input/output* dua arah dan *pin* fungsi khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Fungsi Khusus *Port C*

<i>Pin</i>	Fungsi khusus
PC7	TOSC2 (<i>Timer Oscillator Pin2</i>)
PC6	TOSC1 (<i>Timer Oscillator Pin1</i>)
PC5	<i>Input/Output</i>
PC4	<i>Input/Output</i>
PC3	<i>Input/Output</i>

PC2	<i>Input/Output</i>
PC1	<i>SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)</i>
PC0	<i>SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)</i>

- f. *Port D (PortD0...PortD7)* merupakan *pin input/output* dua arah dan *pin* fungsi khusus, seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.4 Fungsi Khusus *Port D*

<i>Pin</i>	Fungsi khusus
PD7	<i>OC2 (Timer/Counter Output Compare Match Output)</i>
PD6	<i>ICP (Timer/Counter1 Input Capture Pin)</i>
PD5	<i>OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output)</i>
PD4	<i>OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output)</i>
PD3	<i>INT1 (External Interrupt 1 Input)</i>
PD2	<i>INT0 (External Interrupt 0 Input)</i>
PD1	<i>TXD (USART Output Pin)</i>
PD0	<i>RXD (USART Input Pin)</i>

- g. *RESET* merupakan *pin* yang digunakan untuk mengatur ulang mikrokontroler.
- h. *XTAL1* dan *XTAL2* merupakan *pin* masukan *clock* eksternal.
- i. *AVCC* merupakan *pin* masukan tegangan untuk *ADC*.
- j. *AREFF* merupakan *pin* masukan tegangan referensi *ADC*.

2.13 Pemanfaatan VCO Ditinjau Dari Sudut Pandang Islam

VCO banyak digunakan dalam elektronika komunikasi. VCO dimanfaatkan untuk komponen elektronik alat komunikasi. Banyaknya kebutuhan akan alat komunikasi mengakibatkan VCO jarang dikembangkan diluar kebutuhan komunikasi. Dalam Islam, menyalakan dan tidak memanfaatkan barang itu dilarang. Allah Swt tidak menyukai hambanya yang tidak memanfaatkan barang dengan sebaik-baiknya. Dalam al Qur'an surat al Israa' ayat 26-27:

وَأْتِ ذَا الْقُرْبَىٰ حَقَّهُ وَالْمِسْكِينَ وَابْنَ السَّبِيلِ وَلَا تَبْذِرْ أَمْوَالَكَ مَبْذُورًا ۚ إِنَّ الْمُبْذِرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيْطَانِ ۖ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا ۖ

“(26) Dan Berikanlah kepada keluarga-keluarga yang dekat akan haknya, kepada orang miskin dan orang yang ada dalam perjalanan; dan janganlah kamu menghamburkan (hartamu) dengan boros. (27) Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudaranya setan dan sesungguhnya setan itu sangat ingkar kepada tuhan nya” (Q.S. al Israa’ 17: 26-27).

Inti kandungan dari dua ayat di atas adalah agar kita mengatur dan membelanjakan harta kita secara tepat, yaitu dengan membelanjakan di jalan Allah Swt, memberikan bagian harta kita kepada yang berhak dan tidak menghamburkan harta kita atau boros. Yang dibahas dalam kajian diatas adalah bagian “dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros. Sesungguhnya orang-orang yang pemboros itu adalah saudara setan dan setan itu sangat ingkar kepada Tuhannya”. Bagian itu menerangkan tentang peringatan dari Allah Swt agar kita tidak melakukan pemborosan, menghambur-hamburkan, dan

menyia-nyiakan harta yang kita miliki. Dan juga disarankan untuk memanfaatkan harta dan barang dengan sebaik-baiknya (Yusuf. 1998).

Pada surat al Israa' ayat 26, secara jelas Allah Swt melarang untuk melakukan pemborosan, yaitu pada "Janganlah kamu". Artinya berbuat boros adalah termasuk perbuatan yang dilarang oleh Allah Swt. Perbuatan yang dilarang Allah Swt berarti sesuatu yang tidak baik dan tidak membawa manfaat, terlebih lagi bila dilakukan kita akan mendapatkan dosa. Secara umum, segala bentuk pemborosan dan penghambur-hamburan harta adalah perbuatan yang dilarang dalam Islam.

Pada ayat selanjutnya yaitu di surat al Israa' ayat 27, kita diberitahu oleh Allah bahwa orang-orang yang melakukan pemborosan dan berbuat mubadzir adalah saudara setan. Padahal setan itu sangat ingkar kepada Tuhannya yaitu Allah. kalau para pelaku pemborosan dan mubadzir itu adalah saudara setan, berarti mereka bersaudara dengan makhluk yang ingkar atau mengkafiri Allah. Mereka sama saja melakukan perbuatan ingkar kepada Allah dengan melakukan perbuatan mubadzir.

Dari surat al Israa' ayat 26 dan 27 dapat disimpulkan bahwa Allah tidak menyukai orang-orang yang melakukan pemborosan dan tidak memanfaatkan harta dan barang dengan sebaik-baiknya. Karena pelaku mubadzir dan pemborosan termasuk golongan setan, karena setan sangat ingkar kepada Tuhannya yaitu Allah. Untuk menghindari sifat kemubadziran, penelitian ini mengembangkan VCO untuk keperluan lain yaitu sebagai pengontrol kecepatan motor induksi

Islam juga mengajarkan kaumnya untuk mengembangkan dirinya ke arah yang positif. Allah menyukai kaum yang kreatif dan inovasi dengan mengembangkan dan memanfaatkan barang yang tidak terpakai agar bermanfaat. Firman Allah dalam surat ar Ra'd ayat 11:

إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ

“*Sesungguhnya Allah Swt tidak mengubah keadaan suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri*” (Q.S. ar Ra'd 13: 11).

Ayat di atas menerangkan bahwasannya Allah tidak akan merubah nasib atau keadaan suatu kaum atau bangsa, sehingga bangsa atau kaum itu sendiri yang berusaha membuat perubahan untuk dirinya sendiri. Oleh karena itu pendidikan memiliki peran yang sangat maju dan bangkit dari ketidaktahuan.

Islam memberikan perhatian yang sangat besar terhadap ilmu pengetahuan. Banyak al Qur'an dan Hadits yang menyatakan pentingnya mencari ilmu. Salah satu Hadist tentang inovasi dengan belajar yaitu “Tuntutlah ilmu walau ke negeri China, sesungguhnya mencari ilmu itu wajib bagi setiap muslim, sesungguhnya para malaikat meletakkan sayapnya kepada para pencari ilmu karena mereka (para malaikat) ridho dengan apa yang mereka cari (H.R. Ibnu Abdi Akbar) (al Hasyimi, hal: 26).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian tentang Rancang Bangun Pengatur Kecepatan Motor Induksi Satu Fase Dengan Pengontrol *Loop* Tertutup Menggunakan *Voltage Controlled Oscillator* merupakan penelitian eksperimental berskala laboratorium.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini, akan dilaksanakan dalam pada bulan Mei 2016 di Laboratorium Instalation Research Elektronika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan rancang bangun ini:

1. Komputer PC
2. Solder
3. Kabel penghubung
4. Kabel data
5. Multimeter
6. Trafo (*Transformator*)

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam perancangan alat ini:

1. Komponen Elektronik

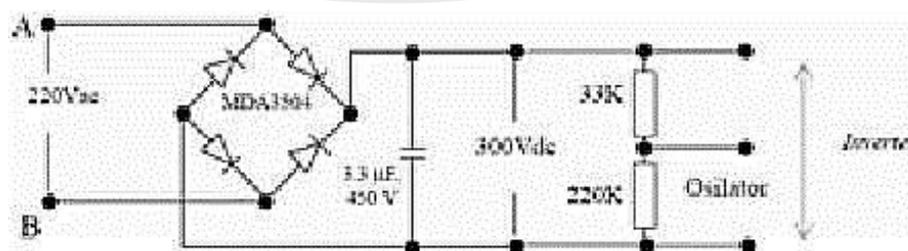
2. Papan PCB
3. Konektor
4. Timah
5. Kabel
6. Triplek (*plywood*)
7. Baut (*Blot*)

3.4 Rancangan Penelitian

Perancangan meliputi perencanaan penyearah, osilator, inverter, transformator, sampai dengan pembuatan casing untuk pengaturan kecepatan putar motor induksi satu fase jenis *runing capacitor* dengan daya 120 watt, tegangan 220 VAC, arus 0,7 A, frekuensi 50 Hz dan putaran 2900 rpm.

3.4.1 Perancangan Rangkaian Penyearah

Penyearah direncanakan memakai satu buah *diode bridge*. Penyearah berfungsi mengubah sinyal tegangan AC menjadi sinyal tegangan DC. Keluaran dari penyearah dipakai untuk input ke inverter dan osilator seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



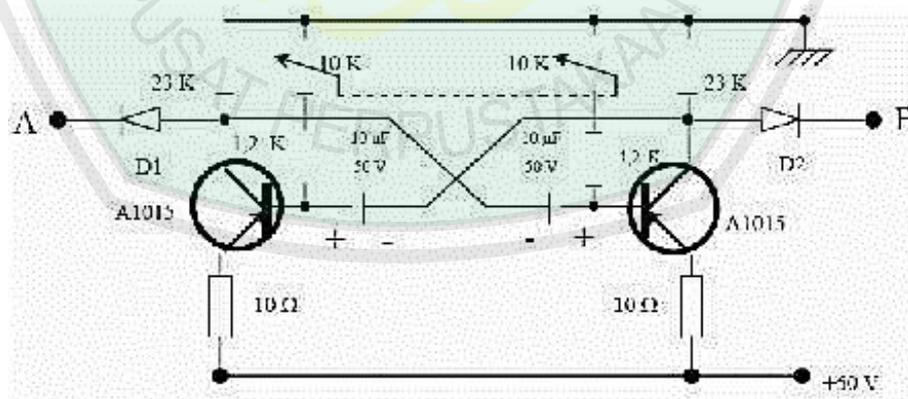
Gambar 3.1 Penyearah dengan 4 dioda Lengkap dengan Filter dan Pembagi Tegangan

Sebagai penyearah digunakan *diode bridge* MDA 3504 dengan kapasitas arus 5 A dan tegangan 400 V, filter dengan kondensator 33 μ F, 450 V. Tahanan 220 Ω dan 33 K Ω dimaksudkan untuk memperoleh tegangan keluaran sebesar 50 V diumpankan ke rangkaian osilator dan untuk arus triger SCR \pm 5 mA.

3.4.2 Perancangan Rangkaian Osilator

Rangkaian osilator menggunakan rangkaian *astable multivibrator*, dengan transistor PNP A1015, diharapkan mampu mencacah, memerlukan tegangan 2V, arus \pm 5 mA. Pada titik untuk penyulutan dipasang D1 dan D2 rating 1 A, sebagai penahan tegangan balik induksi dari SO₂, agar transistor terhindar dari kerusakan.

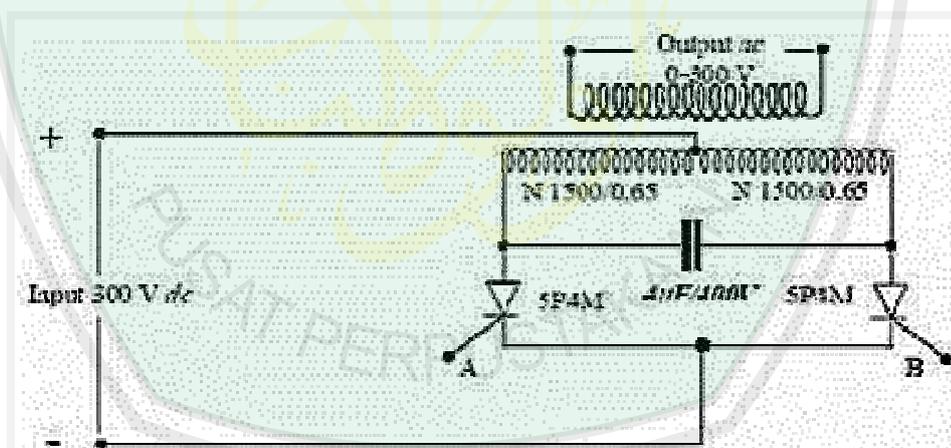
Kondensator 48 Ω variabel C2 disesuaikan dengan tahanan RB1 dan RB3 untuk memperoleh frekuensi yang diinginkan. Tahanan RB terdiri dari tahanan tetap RB sebesar 1,2 K Ω dan tahanan 48 Ω variable 0 sampai dengan 10 K Ω sebagai pengubah frekuensi, sedangkan kapasitor dipilih 10 μ F dengan jangkau frekuensi osilator dari 6 Hz sampai dengan 60 Hz.



Gambar 3.2 Osilator *Astable Multivibrator* dengan Transistor PNP A1015

3.4.3 Perancangan Rangkaian Inverter

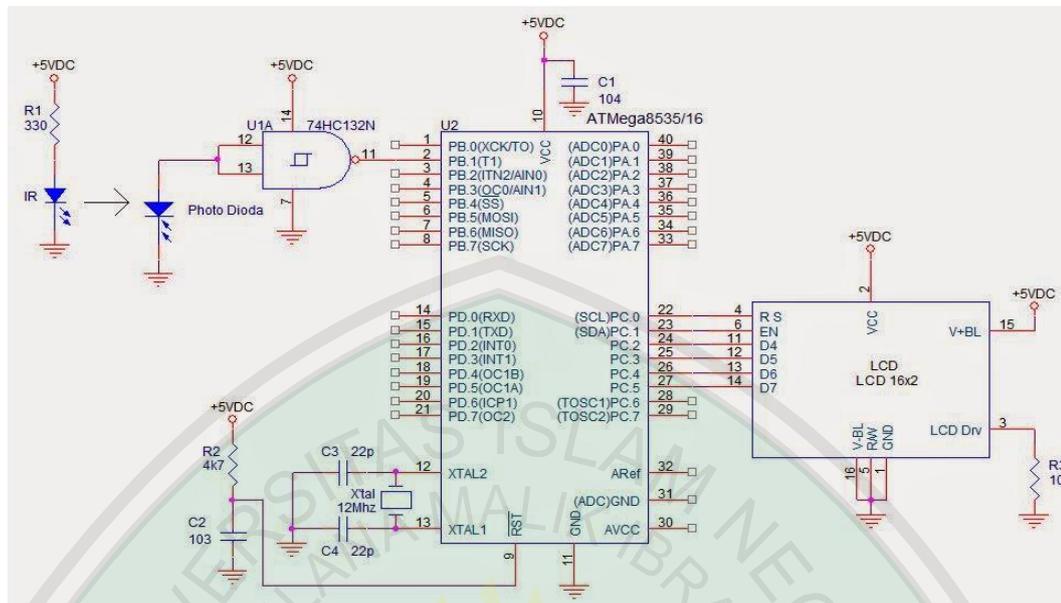
Inverter dengan komponen utama CR5P4M rating arus 5 A, tegangan 400 V. Transformator dengan luas inti 22 cm^2 daya trafo $\pm 500 \text{ W}$, nilai aman untuk mensuplai motor 120 W. Setelah dihitung dengan asumsi tegangan primer 300 V maka lilitan tiap kumparan adalah 750 lilit sehingga jumlah lilitan kumparan primer dan skunder 3×750 . Bila daya 500 W berarti arus maksimum 1.600 mA, dengan padat arus diambil 5 A/mm^2 , maka kumparan digunakan kawat email diameter 0,65 mm. Untuk komutasi dipasang kondensator *non polar* 4 $\mu\text{F}/400 \text{ V}$ agar 2 SCR bekerja *on* dan *off* secara bergantian sebagai inverter dengan penyulutan di titik A dan B.



Gambar 3.3 Rangkaian Inverter dengan SCR 5P4M

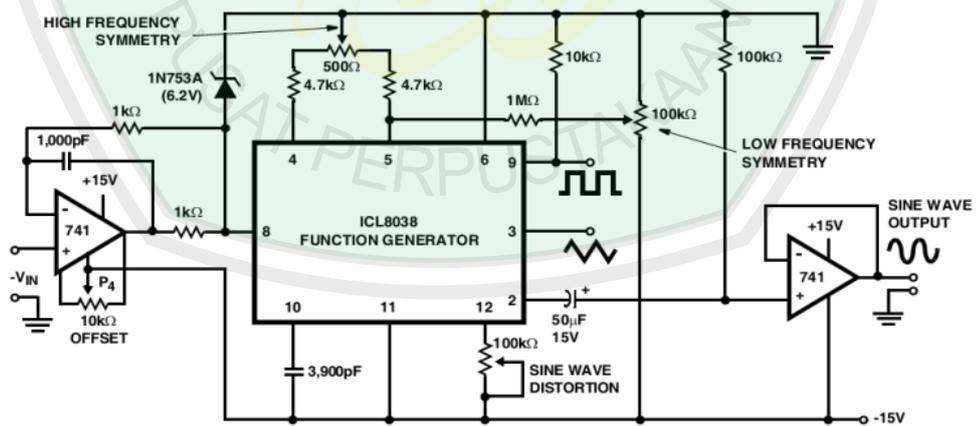
3.4.4 Perancangan Rangkaian Tachometer

Perancangan *Tachometer* menggunakan IC ATmega8535 dengan *criztal* 12 Mhz menggunakan tampilan LCD 16x2 dapat dilihat pada gambar 3.4

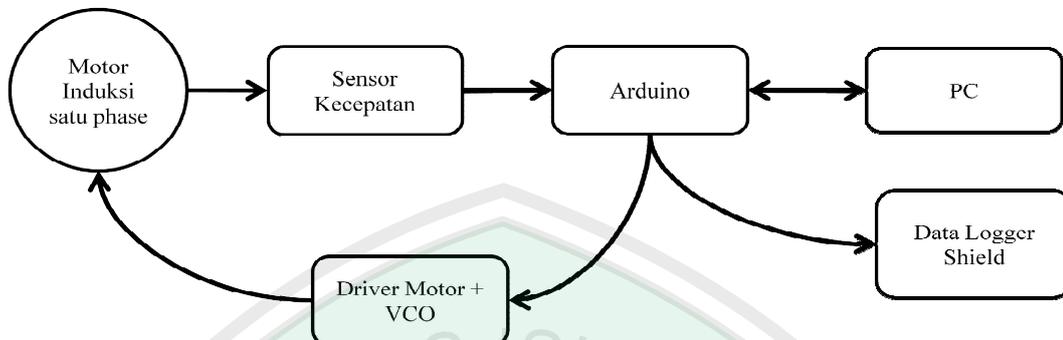
Gambar 3.4 Rancangan *Tachometer*

3.4.5 Perancangan VCO

VCO dirancang menggunakan ICL8038 serta IC 741 ditambahkan 3 variabel resistor sebagai *setting* pengaturan.

Gambar 3.5 Rancangan *Linear VCO*

3.5 Alur Rangkaian



Gambar 3.6 Alur Rangkaian Alat

3.6 Rancangan Tabel Pengamatan

Tabel 3.1 Pengamatan Pengukuran Motor Tanpa Beban

No	n pada <i>Set Point</i> (rpm)	n Rata-rata pada Motor (rpm)	τ Rata-rata pada Motor (lb ft)
1	1000		
2	1100		
3	1200		
4	1300		
5	1400		
6	1500		
7	1600		
8	1700		
9	1800		
10	1900		
11	2000		

Tabel 3.2 Pengamatan Pengukuran Motor Disertai Beban

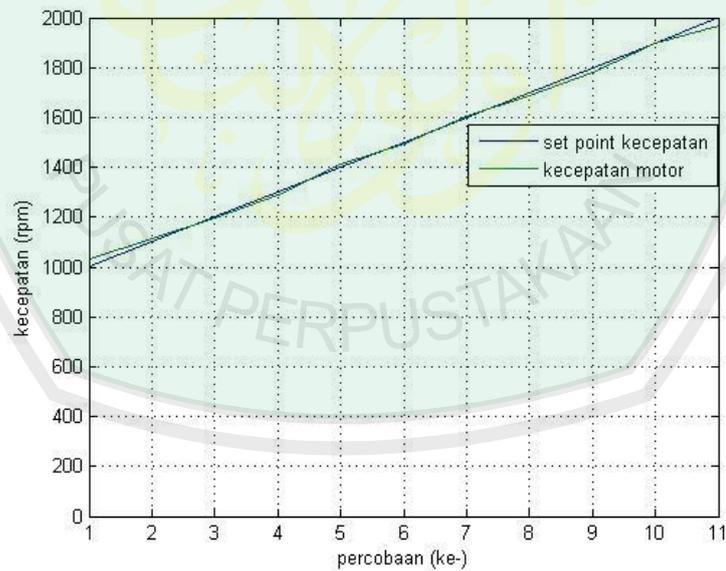
No	n pada <i>Set Point</i> (rpm)	n Rata-rata pada Motor (rpm)	τ Rata-rata pada Motor (lb ft)
1	1000		
2	1100		
3	1200		
4	1300		
5	1400		
6	1500		
7	1600		
8	1700		
9	1800		
10	1900		
11	2000		

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Rangkaian

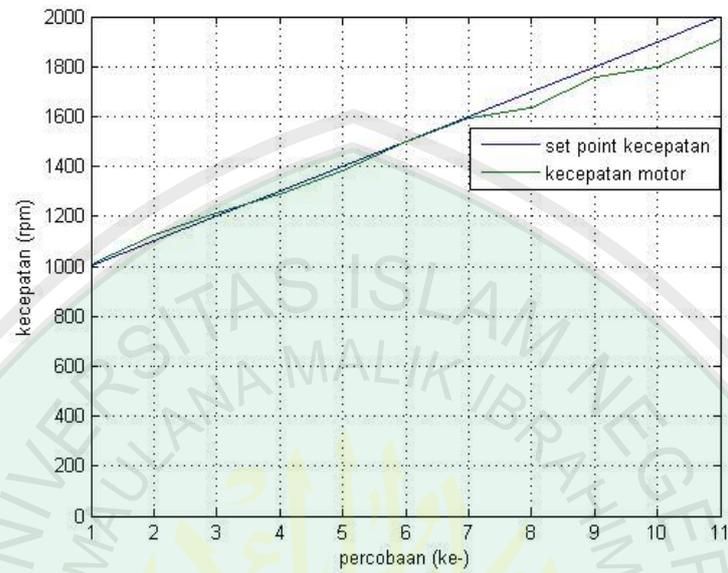
Pengujian sistem rangkaian yaitu dengan cara mengamati kestabilan pada kecepatan 1000 rpm sampai dengan 2000 rpm. Dalam melakukan pengamatan, hasil yang diperoleh akan berbeda-beda. Pengambilan data dilakukan dua kali. Perlakuan pertama tanpa beban dan perlakuan kedua dengan beban berupa pengereman.

4.1.1 Hasil Pengukuran Kecepatan Motor Tanpa Beban



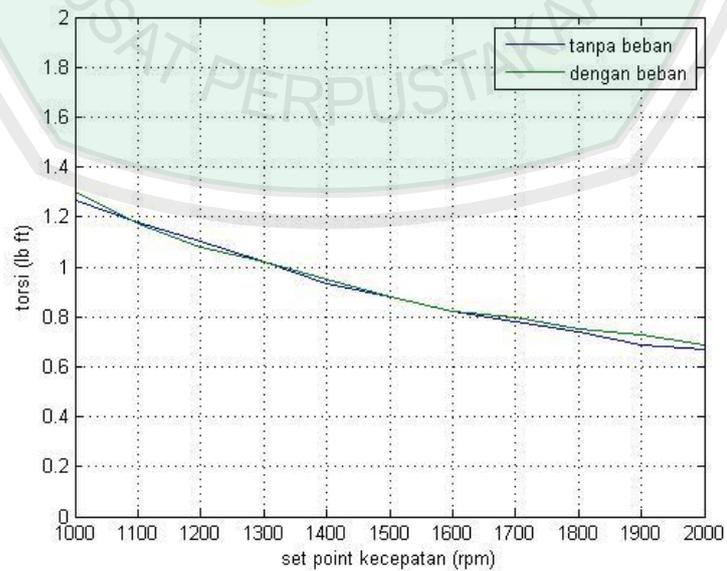
Gambar 4.1 Grafik Selisih *Set Point* Kecepatan dengan Kecepatan Motor Tanpa Beban

4.1.2 Hasil Pengukuran Kecepatan Motor Disertai Beban



Gambar 4.2 Grafik Selisih *Set Point* Kecepatan Dengan Kecepatan Motor Disertai Beban

4.1.3 Hasil Pengukuran Torsi Motor



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Torsi Dengan Kecepatan Motor

4.1.4 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

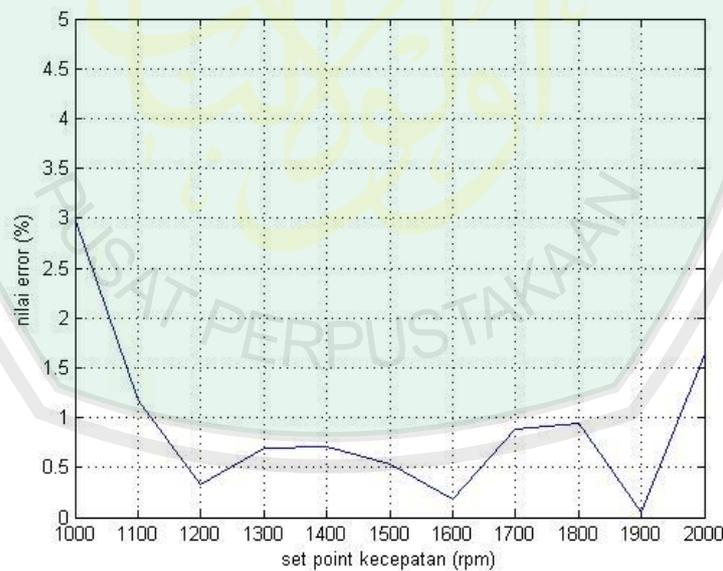
Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan pengambilan data dari hasil tiap perhitungan alat, dari data tersebut didapatkan nilai rata-rata dengan menjumlah data keseluruhan kemudian dibagi dengan jumlah sampel yang diujikan pada alat. Setelah mendapatkan data dari hasil pengukuran, didapatkan nilai rata-rata dengan analisa rumus:

$$\text{Nilai error (\%)} = |n \text{ set point} - n \text{ motor}| / n \text{ set point} \quad (4.1)$$

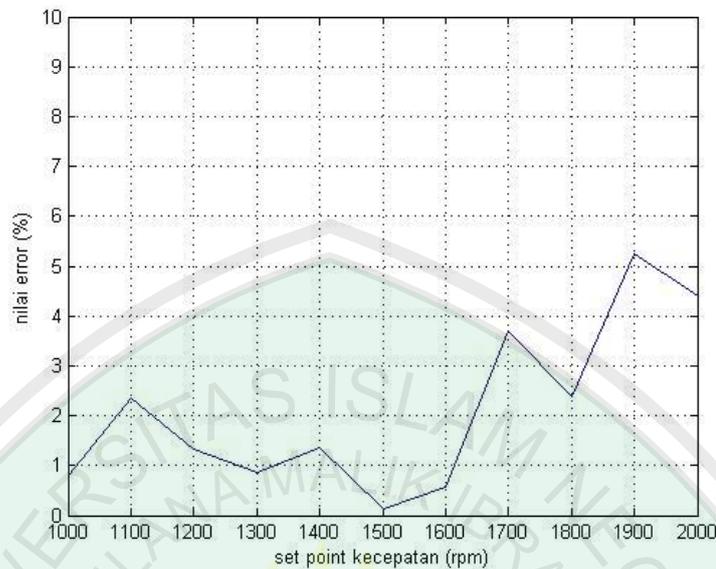
Keterangan: $n \text{ set point}$ = Kecepatan *setting*

$n \text{ motor}$ = kecepatan yang terbaca *decoder*

Diperoleh data dari pengukuran keduanya:



Gambar 4.4 Grafik Nilai *Error* Pada Setiap *Set Point* Kecepatan Tanpa Beban



Gambar 4.5 Grafik Nilai *Error* Pada Setiap *Set Point* Kecepatan Disertai Beban

4.2 Pembahasan

Besaran yang dapat diukur pada motor induksi satu fase ini ini adalah berupa kecepatan motor. Kecepatan motor ini dapat terdeteksi oleh sensor kecepatan yang kemudian dibaca oleh Arduino uno dan kemudian ditampilkan di PC. Tidak hanya kecepatan saja namun tingkat ketidakstabilan kecepatan motor juga bisa dipantau melalui program Arduino. Selain itu rangkaian ini juga dilengkapi dengan rangkaian *logger* sehingga memudahkan penyimpanan data yang tercacah oleh sensor pada rangkaian.

Dalam penelitian ini, menggunakan sistem yang menghasilkan *output* berupa sinyal-sinyal. Pada awal sistem bekerja, sinyal yang dihasilkan yaitu sinyal analog. Sinyal analog diubah menjadi sinyal digital dengan bantuan mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan berfungsi sebagai alat perubah sinyal dari sinyal analog menjadi sinyal digital yang digunakan untuk

menampilkan *output* yang ada apa PC. Untuk dapat dibaca oleh sistem dalam PC, menggunakan *hardwere* Arduino uno yang menggunakan port usb sebagai *interface* komunikasinya

Port yang dibutuhkan untuk menyambungkan sistem yang bekerja di dalam alat menuju PC agar dapat dikenal oleh *software* yaitu dengan memanfaatkan port usb. Port usb merupakan port yang kebanyakan dimiliki oleh PC maupun laptop, sehingga tidak sulit untuk mendapatkannya.

Di dalam pemrograman Arduino ditanam sebuah algoritma untuk mendapatkan kestabilan kecepatan motor. Logika tersebut sangat sederhana yaitu pertama tentukan *set point* kecepatan yang diinginkan, kemudian motor akan bergerak dan dideteksi oleh sensor kecepatan, dari sensor kecepatan akan dibaca oleh Arduino. Apabila kecepatan motor kurang dari *set point* kecepatan yang diinginkan maka driver motor akan menambah tenaga putar motor begitu pula sebaliknya apabila kecepatan putar motor lebih *set point* kecepatan yang diinginkan maka driver motor akan mengurangi tenaga putar motor.

Percobaan ini menggunakan 22 percobaan. 11 percobaan pertama menggunakan motor induksi satu fase dengan kecepatan 1000 rpm sampai dengan 2000 rpm tanpa pengereman sedangkan 11 percobaan kedua menggunakan motor induksi satu fase dengan kecepatan 1000 rpm sampai dengan 2000 rpm disertai pengereman. Dilakukan pengujian keduanya dan didapatkan nilai dari kedua perlakuan, dibandingkan dan didapatkan hasil untuk menentukan tingkat kestabilan pada alat yang dibuat.

Perlakuan pertama, motor tanpa beban memiliki tingkat kestabilan tinggi dengan nilai *error* paling rendah 0,05% pada *set point* kecepatan 1900 rpm dengan penyimpangan kecepatan sekitar 1 rpm serta nilai *error* paling tinggi 1,65% pada *set point* kecepatan 2000 rpm dengan penyimpangan kecepatan sekitar 33 rpm.

Perlakuan kedua, motor disertai beban memiliki tingkat kestabilan tinggi, namun lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan pertama, dengan nilai *error* paling rendah 0,13% pada *set point* kecepatan 1500 rpm dengan penyimpangan kecepatan sekitar 2 rpm serta nilai *error* paling tinggi 5,26% pada *set point* kecepatan 1900 rpm dengan penyimpangan kecepatan sekitar 100 rpm. Untuk *rise point* pada *set point* kecepatan 1000 rpm sampai dengan 1600 rpm memiliki tingkat *rise point* (titik capai) yang bagus, dalam artian kecepatan motor mampu mencapai titik *set point* kecepatan. Namun pada *set point* di atas kecepatan 1600 rpm, kecepatan motor bekerja sedikit di bawah *set point* yang diinginkan.

Setelah dilakukan perhitungan, alat yang dibuat ternyata memiliki nilai *error* rata-rata kecil yaitu sekitar 0,92% , baik yang tanpa pengereman maupun yang disertai pengereman. Untuk kestabilan memang alat ini relatif stabil namun untuk mencapai keadaan set awal diperlukan waktu sekitar 0,5 menit sampai dengan 1 menit. Jika dibandingkan rancang bangun ini memiliki tingkat kestabilan yang lebih bagus daripada penelitian sebelumnya yang menggunakan pengontrol tanpa disertai *Voltage Controlled Oscillator* yang dilakukan oleh Tirta Wisesa dengan nilai *error* sekitar 5% sampai 10%.

Untuk efisiensi kecepatan motor tanpa beban adalah 98,35% dengan nilai slip motor 33 rpm sedangkan untuk kecepatan motor disertai beban adalah 95,6% dengan nilai slip motor sekitar 88 rpm. Slip ini terjadi karena pada waktu percobaan suplai tegangan AC mengalami penurunan pada *set point* kecepatan maksimal.

Dalam penelitian ini, yang berjudul “rancang bangun pengatur kecepatan motor induksi satu phase dengan pengontrol *loop* tertutup menggunakan VCO (*Voltage Controlled Oscillator*)” bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja motor listrik. Memanfaatkan barang seoptimal mungkin dapat mencegah kemubadziran. Dalam Islam, mubadzir atau tidak memanfaatkan barang dengan sebaik-baiknya termasuk golongan setan. Perbuatan yang dilarang oleh Allah berarti sesuatu yang tidak baik dan tidak memiliki manfaat, baik untuk diri sendiri ataupun orang lain. Apalagi jika kita menjalankannya, akan mendapatkan dosa.

Dalam al Qur’an dijelaskan pada surat al Israa’ ayat 26-27, bahwa orang yang melakukan memboroskan, menyia-nyaiakan dan tidak memanfaatkan dengan baik barang termasuk golongan setan. Para pelaku perbuatan mubadzir itu sama saja dengan bersekutu dengan setan, yaitu orang-orang yang ingkar dengan Allah. Karena sesungguhnya orang-orang ingkar dibenci dan dijauhi oleh Allah.

Al Qur’an sendiri mengajarkan bahwa setiap perubahan yang diinginkan harus disertai dengan usaha, seperti dalam surat ar Ra’d ayat 11:

إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ

“*Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri*” (Q.S. ar Ra’d 13: 11).

Ayat di atas bercerita bahwa Tuhan tidak akan merubah keadaan mereka, selama mereka tidak merubah sebab-sebab kemunduran mereka. Tanpa usaha dan kerja keras, tentu perubahan atau sesuatu yang ingin dicapai hanya mimpi kosong tiada makna. Tetapi dengan semangat untuk berusaha merubah diri dengan optimisme akan adanya pertolongan Allah Swt sehingga keinginan yang ada pada diri, perlahan tapi pasti menjadi sebuah kenyataan. Jadi dengan tekad yang kuat, berawal dari sebuah atau beberapa buah mimpi, kemudian ditindaklanjuti dengan ikhtiar dan kerja nyata, dihiasi dengan do'a dan kesabaran serta keikhlasan, maka insyaAllah apapun hasilnya, kita akan selalu dalam posisi sebagai seorang mukmin yang sukses di dunia pula sukses diakhirat.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil karakteristik spesifikasi rancang bangun pengatur kecepatan motor induksi satu fase, motor tanpa beban memiliki tingkat kestabilan tinggi dengan nilai *error* paling rendah 0,05% pada *set point* kecepatan 1900 rpm dengan penyimpangan kecepatan sekitar 1 rpm serta nilai *error* paling tinggi 1,65% pada *set point* kecepatan 2000 rpm dengan penyimpangan kecepatan sekitar 33 rpm. motor disertai beban memiliki tingkat kestabilan tinggi dengan nilai *error* paling rendah 0,13% pada *set point* kecepatan 1500 rpm dengan penyimpangan kecepatan sekitar 2 rpm serta nilai *error* paling tinggi 5,26% pada *set point* kecepatan 1900 rpm dengan penyimpangan kecepatan sekitar 100 rpm, sedangkan nilai *error* rata-rata semua sistem kecepatan sekitar 0,92%, baik yang tanpa pengereman maupun yang disertai pengereman. Jika dibandingkan, rancang bangun ini memiliki tingkat kestabilan yang lebih bagus daripada penelitian sebelumnya yang menggunakan pengontrol tanpa disertai *Voltage Controlled Oscillator* yang dilakukan oleh Tirta Wisesa dengan nilai *error* sekitar 5% sampai 10%. Sedangkan untuk efisiensi kecepatan motor tanpa beban adalah 98,35% dengan nilai slip motor 33 rpm sedangkan untuk kecepatan motor disertai beban adalah 95,6% dengan nilai slip motor sekitar 88 rpm.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dari skripsi simulasi ini maka diberikan beberapa saran berikut:

1. Penambahan *device* seperti keyboard, LCD serta komunikator jarak jauh.
2. Menggunakan penstabil tegangan agar kinerja suplai power lebih stabil.
3. Perbaiki desain yang lebih kokoh dan *modern*.



DAFTAR PUSTAKA

- A.E. Fitzgerald, Pantur Silaban. 1984. *Dasar-Dasar Elektro Teknik*. Jakarta: Erlangga
- Barry G. Woollard, H. Kristiono. 2003. *Elektronika Praktis*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power. 2004. *Energy Efficiency in Electrical Utilities*. India: BEE
- Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power. 2005. *Components of an Electric Motor*. India: BEE
- Ete.1997. *Motor Characteristics*: www.electoolbox.com/motorchar.html
- George M.Chute, Robert D. Chute. 1981.*Electronics in Industri*, Kogakusha: McGraw-Hill
- G.Loveday. 1994. *Pengujian Elektronik Dan Diagnosa Kesalahan*. Jakarta: Elex Media Komputindo
- Ichwan Haryadi. 1985. *Televisi Transistor*. Surabaya: Bina Ilmu
- Parekh, R. 2003. *AC Induction Motors Fundamentals, AN887*. India: Microchip Technology Inc.
- Reza Abdullah. 2010. *Rancang Bangun Pengendali Kecepatan Motor Induksi Satu Phase*. Depok: Universitas Indonesia
- Rodwel international corporation. 1999. *Basic Motor Theory on Reliance Electric Motor*. Technical reference home page. www.reliance.com/mtr/mtrhr.html
- Sumanto. 1993. *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*. Yogyakarta: Andi Offset



LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemrograman Arduino

```
//PWM control on AC wave (AC Phase Control Method)

//used in many heater and motor power control circuits

// A simple data logger for the Arduino analog pins

#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include "RTClib.h"
#include <Wire.h>

// how many milliseconds between grabbing data and logging it. 1000 ms is once
a second

#define LOG_INTERVAL 200 // mills between entries (reduce to take
more/faster data)

// how many milliseconds before writing the logged data permanently to disk

// set it to the LOG_INTERVAL to write each time (safest)

// set it to 10*LOG_INTERVAL to write all data every 10 datareads, you could
lose up to

// the last 10 reads if power is lost but it uses less power and is much faster!

#define SYNC_INTERVAL 1000 // mills between calls to flush() - to write data
to the card

uint32_t syncTime = 0; // time of last sync()
```

```
#define ECHO_TO_SERIAL 1 // echo data to serial port

#define WAIT_TO_START 0 // Wait for serial input in setup()

// The analog pins that connect to the sensors

#define sensor_voltage A0 // analog 0 for ac voltage sensor

//variabel
unsigned long avgValue;
int buf[20],temp;
float avg_buf_adcValue;
const int del=10;
const int looping=1;
float aref_voltage=4910; // we tie 5V to ARef and value relative to
measurement result using a multimeter!

unsigned int i,fl_buzzer=0,fl_serialin=0;
unsigned char y,k,h,r,data;
const int shift_delay=10;

unsigned int tampilVoltage;

//setting RTC
RTC_DS1307 RTC; // define the Real Time Clock object
```

```
// for the data logging shield, we use digital pin 10 for the SD cs line
const int chipSelect = 10;

// the logging file
File logfile;

void error(char *str)
{
  Serial.print("error: ");
  Serial.println(str);

  // red LED indicates error

  while(1);
}

#define AC_LOAD 6 // connect pin 6 arduino to input terminal of driver
motor

#define led 13 // system running indicator

//logika

#define on 1

#define off 0

//variabel
```

```
int output;

int dimming = 128; // Dimming level (0-128) 0 = ON, 128 = OFF

unsigned int revolutions;

float rpm_calibration=3.5;

unsigned int rpm,tampilRpm,tachoState,fl_tacho=0;

unsigned int pb_upState=0,pb_downState=0,pb_enterState=0;

unsigned char delay_pb=80,delay_shift=500;

unsigned int delta_rpm_xma=50;

unsigned int x_rpm,j=0;

unsigned long int hasil_rpm=0,sma;

unsigned int xma,loops=40;

float d_xma=0,simpan_xma=0,simpan_rpm=0,x_xma;

unsigned int process_value,set_value=1500,set_nameplate_rpm=2500;

unsigned long timeold;

unsigned int kp=1,ki=0,kd=0,pid,pwm,pwm_control;

unsigned int
map_pwm_control,map_percentage_pwm_control,map_percentage_errors;

int P,I=0,D,errors;

int eInteg = 0; //Integral accumulator

int ePrev = 0; //Previous Error
```

```
void setup()
{

  Serial.begin(9600); //serial TX0-RX0

  Serial.println();

  pinMode(AC_LOAD, OUTPUT); // Set AC Load pin as output

  attachInterrupt(0, zero_cross_int, FALLING); // connect pin 2 arduino to output
terminal of driver motor

  attachInterrupt(1, tachometer_int, FALLING); // connect pin 3 arduino to tacho
sensor

  pinMode(led,OUTPUT);
  digitalWrite(led,HIGH);

  revolutions = 0;
  rpm = 0;
  timeold = 0;

  #if WAIT_TO_START
    Serial.println("Type any character to start");
    while (!Serial.available());
  #endif //WAIT_TO_START

  // initialize the SD card

  Serial.print("Initializing SD card...");

  // make sure that the default chip select pin is set to
```

```
// output, even if you don't use it:
pinMode(10, OUTPUT);

// see if the card is present and can be initialized:
if (!SD.begin(chipSelect)) {
    error("Card failed, or not present");
}

Serial.println("card initialized.");

// create a new file
char filename[] = "LOGGER00.CSV";
for (uint8_t i = 0; i < 100; i++) {
    filename[6] = i/10 + '0';
    filename[7] = i%10 + '0';
    if (!SD.exists(filename)) {
        // only open a new file if it doesn't exist
        logfile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
        break; // leave the loop!
    }
}

if (!logfile)
{
    error("couldnt create file");
}
```

```
}
```

```
Serial.print("Logging to: ");
```

```
Serial.println(filename);
```

```
// connect to RTC
```

```
Wire.begin();
```

```
RTC.begin();
```

```
// following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
```

```
// uncomment it & upload to set the time, date and start run the RTC!
```

```
//RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
```

```
if (! RTC.isrunning()) {
```

```
    Serial.println("RTC is NOT running!");
```

```
    // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
```

```
    // uncomment it & upload to set the time, date and start run the RTC!
```

```
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
```

```
}
```

```
if (!RTC.begin())
```

```
{
```

```
    logfile.println("RTC failed");
```

```
#if ECHO_TO_SERIAL
```

```
Serial.println("RTC failed");
#endif //ECHO_TO_SERIAL
}

logfile.println("Date_Time, RPM, Voltage, Error[%], Power[%]");

#if ECHO_TO_SERIAL
Serial.println("Date_Time, RPM, Voltage, Error[%], Power[%]");
#endif //ECHO_TO_SERIAL

// If you want to set the Aref to external voltage reference
analogReference(EXTERNAL);
}

void zero_cross_int() //function to be fired at the zero crossing
{
// Firing angle calculation : 1 full 50Hz wave =1/50=20ms
// Every zerocrossing thus: (50Hz)-> 10ms (1/2 Cycle)
// 10ms=10000us
// (10000us - 10us) / 128 = 70 (Approx)

if(output==on)
{
digitalWrite(AC_LOAD, LOW);
```

```

int dimtime = (70*dimming);

delayMicroseconds(dimtime); // Wait till firing the driver motor

digitalWrite(AC_LOAD, HIGH); // Fire the driver motor

}

else{digitalWrite(AC_LOAD, LOW);} // Stop the driver motor

}

void tachometer_int(){revolutions++;}

//////////////////////////////////////main

void loop()
{
  output=on;

  DateTime now;

  // delay for the amount of time we want between readings
  delay((LOG_INTERVAL -1) - (millis() % LOG_INTERVAL));

  // log milliseconds since starting
  uint32_t m = millis();

  //baca voltage

```

```
    baca_sensor(sensor_voltage);

    float
    sensorReadingVoltage=(map(avg_buf_adcValue,0,1022,0,aref_voltage))/1000.0;

    unsigned int VoltageToAC=(map(sensorReadingVoltage,0,3.50,0,215));

    //int sensor1ReadingVoltage=avg_buf_adcValue;

    tampilVoltage = VoltageToAC;

    if(tampilVoltage <= 0.0){tampilVoltage = 0.0;}

//baca rpm dan kontrol
pwm_decision();

// fetch the time

now = RTC.now();

// log time
logfile.print("");
logfile.print(now.year(), DEC);
logfile.print("/");
logfile.print(now.month(), DEC);
logfile.print("/");
logfile.print(now.day(), DEC);
logfile.print(" ");
logfile.print(now.hour(), DEC);
logfile.print(":");
logfile.print(now.minute(), DEC);
```

```
logfile.print(":");  
logfile.print(now.second(), DEC);  
logfile.print("");  
  
#if ECHO_TO_SERIAL  
Serial.print("");  
Serial.print(now.year(), DEC);  
Serial.print("/");  
Serial.print(now.month(), DEC);  
Serial.print("/");  
Serial.print(now.day(), DEC);  
Serial.print(" ");  
Serial.print(now.hour(), DEC);  
Serial.print(":");  
Serial.print(now.minute(), DEC);  
Serial.print(":");  
Serial.print(now.second(), DEC);  
Serial.print("");  
  
#endif //ECHO_TO_SERIAL  
  
/*  
logfile.print(", ");  
logfile.print(process_value);  
logfile.print(", ");  
logfile.print(tampilVoltage);
```

```
*/
```

```
logfile.print(", ");
```

```
logfile.print("RPM: ");
```

```
logfile.print(process_value);
```

```
logfile.print(", ");
```

```
logfile.print("VAC: ");
```

```
logfile.print(tampilVoltage);
```

```
logfile.print(", ");
```

```
logfile.print("error[%]: ");
```

```
logfile.print(map_percentage_errors);
```

```
logfile.print(", ");
```

```
logfile.print("power[%]: ");
```

```
logfile.print(map_percentage_pwm_control);
```

```
#if ECHO_TO_SERIAL
```

```
Serial.print(", ");
```

```
Serial.print("RPM: ");
```

```
Serial.print(process_value);
```

```
Serial.print(", ");
```

```
Serial.print("VAC: ");
```

```
Serial.print(tampilVoltage);
```

```
Serial.print(", ");
```

```
Serial.print("error[%]: ");
```

```
Serial.print(map_percentage_errors);

Serial.print(", ");

Serial.print("power[%]: ");

Serial.print(map_percentage_pwm_control);

#endif //ECHO_TO_SERIAL

logfile.println();

#if ECHO_TO_SERIAL
Serial.println();
#endif // ECHO_TO_SERIAL

// Now we write data to disk! Don't sync too often - requires 2048 bytes of I/O to
SD card

// which uses a bunch of power and takes time
if ((millis() - syncTime) < SYNC_INTERVAL) return;
syncTime = millis();

// blink LED to show we are syncing data to the card & updating FAT!
logfile.flush();

}

////////////////////////////////////sub
```

```

unsigned int readTachoSensor()
{
    rpm = (1000/(millis() - timeold)*(revolutions))/rpm_calibration;
    timeold = millis();
    revolutions = 0;

    return rpm;
}

void pwm_decision()
{
    //ReadSensors
    process_value=readTachoSensor();

    //Implements PID control
    errors = set_value - process_value;
    pid = (kp * errors) + (ki * eInteg) + (kd * (errors - ePrev));
    P = kp * errors;
    I = ki * eInteg;
    D = kd * (errors - ePrev);

    eInteg += errors;           // integral is simply a summation over time
    ePrev = errors;           // save previous for derivative

    if(pwm<set_nameplate_rpm*10)

```

```

{
    pwm=pwm+pid;

    pwm_control=pwm/(set_nameplate_rpm*10/128);    // konvert MAX PWM
into 128. Jadi rpm motor max 2500 rpm x multiplier 10 = 25000. Nilai kp,ki,kd
max @10
}

//Limit the control
if(pwm_control>=128){pwm_control=128;}
if(pwm_control<=1){pwm_control=1;}

map_pwm_control=map(pwm_control,1,128,128,1);
map_percentage_pwm_control=map(pwm_control,1,128,0,100);
map_percentage_errors=map(abs(errors),0,set_value,0,100);

dimming=map_pwm_control;
}

void baca_sensor(int sensorPin)
{

    float buf_adcValue=0.0;
    for(int m=0;m<looping;m++)
    {

        for(int i=0;i<20;i++)
        {

```

```

buf[i]=analogRead(sensorPin);

delay(del);
}
for(int i=0;i<19;i++) //sort the analog from small to large
{
for(int j=i+1;j<20;j++)
{
if(buf[i]>buf[j])
{
temp=buf[i];
buf[i]=buf[j];
buf[j]=temp;
}
}
}
avgValue=0.0;
for(int i=2;i<18;i++) //take the average value of center sample
avgValue+=buf[i];
float adcValue=avgValue/16;

buf_adcValue+=adcValue;

}

avg_buf_adcValue=buf_adcValue/looping;
}

```

Lampiran 2. Tabel Pengamatan

Tabel Hasil Pengukuran Kecepatan Motor Tanpa Beban

No	n pada set point (rpm)	n rata-rata pada motor (rpm)	τ rata-rata pada motor (lb ft)
1	1000	1030	1,27
2	1100	1113	1,18
3	1200	1196	1,10
4	1300	1291	1,02
5	1400	1410	0,93
6	1500	1492	0,88
7	1600	1603	0,82
8	1700	1685	0,78
9	1800	1783	0,74
10	1900	1899	0,69
11	2000	1967	0,67

Tabel Hasil Pengukuran Kecepatan Motor Disertai Beban

No	n pada <i>Set Point</i> (rpm)	n Rata-rata pada Motor (rpm)	τ Rata-rata pada Motor (lb ft)
1	1000	1008	1,30
2	1100	1126	1,17
3	1200	1216	1,08
4	1300	1289	1,02
5	1400	1381	0,95
6	1500	1498	0,88
7	1600	1591	0,82
8	1700	1637	0,80
9	1800	1757	0,75
10	1900	1800	0,73
11	2000	1912	0,69

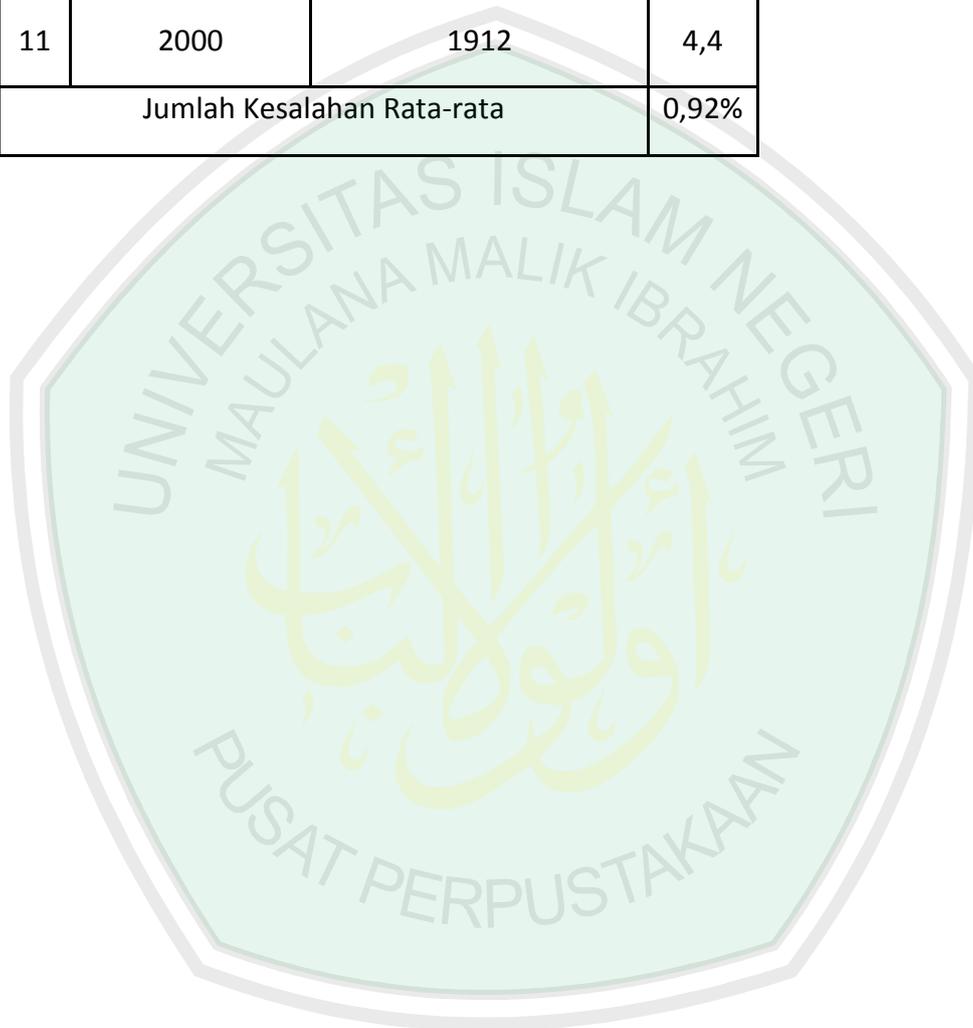
Tabel Nilai *Error* pada *Set Point* kecepatan Tanpa Beban

NO	n pada <i>Set Point</i> (rpm)	n Rata-rata pada Motor (rpm)	Error (%)
1	1000	1030	3
2	1100	1113	1,18
3	1200	1196	0,33
4	1300	1291	0,69
5	1400	1410	0,71
6	1500	1492	0,53
7	1600	1603	0,19
8	1700	1685	0,88
9	1800	1783	0,94
10	1900	1899	0,05
11	2000	1967	1,65
Jumlah Kesalahan Rata-rata			0,92%

Tabel Nilai *Error* pada *Set Point* Kecepatan Disertai Beban

NO	n pada <i>Set Point</i> (rpm)	n Rata-rata pada Motor (rpm)	Error (%)
1	1000	1008	0,8
2	1100	1126	2,36
3	1200	1216	1.33
4	1300	1289	0.85
5	1400	1381	1,36
6	1500	1498	0,13

7	1600	1591	0,56
8	1700	1637	3,71
9	1800	1757	2,39
10	1900	1800	5,26
11	2000	1912	4,4
Jumlah Kesalahan Rata-rata			0,92%



Lampiran 3. Perhitungan

Nilai *error* (%) = $(|n \text{ set point} - n \text{ motor}| / n \text{ set point}) \times 100\%$

Nilai *Error* pada *Set Point* Kecepatan Tanpa Beban

- No 1.
 $(|1000 - 1030| / 1000) \times 100\% = 3\%$
- No 2.
 $(|1100 - 1113| / 1100) \times 100\% = 1,18\%$
- No 3.
 $(|1200 - 1196| / 1200) \times 100\% = 0,33\%$
- No 4.
 $(|1300 - 1291| / 1300) \times 100\% = 0,69\%$
- No 5.
 $(|1400 - 1410| / 1400) \times 100\% = 0,71\%$
- No 6.
 $(|1500 - 1498| / 1500) \times 100\% = 0,53\%$
- No 7.
 $(|1600 - 1603| / 1600) \times 100\% = 0,19\%$
- No 8.
 $(|1700 - 1685| / 1700) \times 100\% = 0,88\%$
- No 9.
 $(|1800 - 1783| / 1800) \times 100\% = 0,94\%$
- No 10.
 $(|1900 - 1899| / 1900) \times 100\% = 0,05\%$
- No 11.
 $(|2000 - 1967| / 2000) \times 100\% = 1,65\%$

Nilai *Error* pada *Set Point* Kecepatan Disertai Beban

No 1.
 $(|1000 - 1008| / 1000) \times 100\% = 0,8\%$

No 2.
 $(|1100 - 1126| / 1100) \times 100\% = 2,36\%$

No 3.
 $(|1200 - 1216| / 1200) \times 100\% = 1,33\%$

No 4.
 $(|1300 - 1289| / 1300) \times 100\% = 0,85\%$

No 5.
 $(|1400 - 1381| / 1400) \times 100\% = 1,36\%$

No 6.
 $(|1500 - 1498| / 1500) \times 100\% = 0,13\%$

No 7.
 $(|1600 - 1591| / 1600) \times 100\% = 0,56\%$

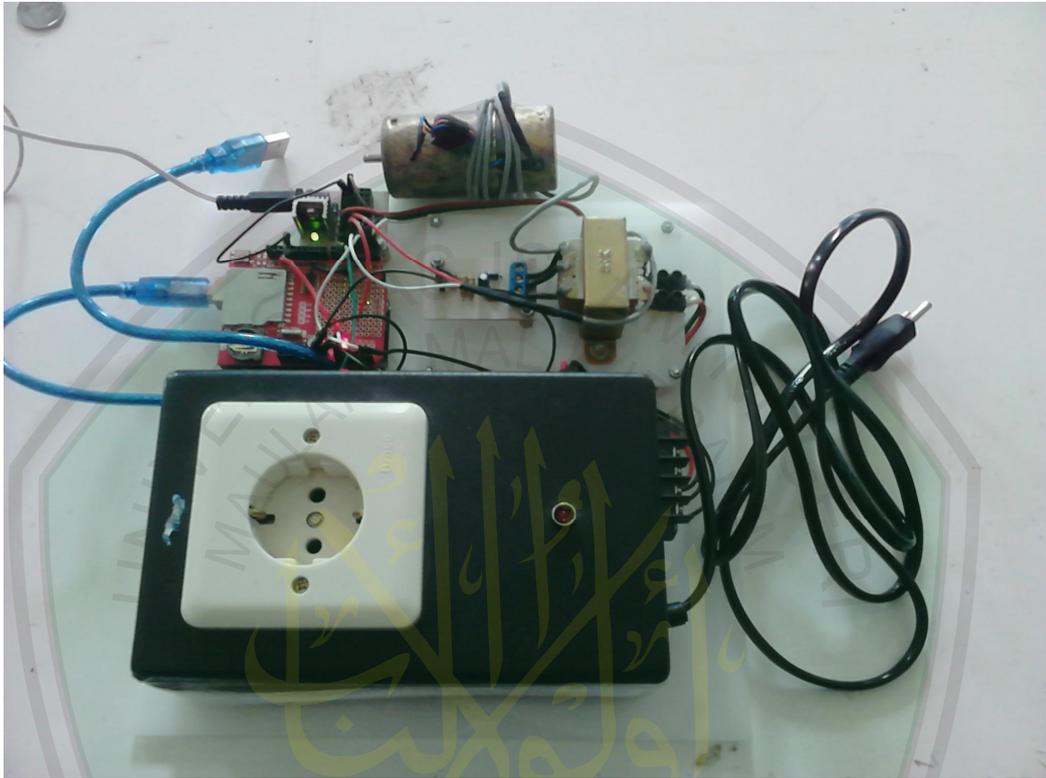
No 8.
 $(|1700 - 1639| / 1700) \times 100\% = 3,71\%$

No 9.
 $(|1800 - 1757| / 1800) \times 100\% = 2,39\%$

No 10.
 $(|1900 - 1800| / 1900) \times 100\% = 5,26\%$

No 11.
 $(|2000 - 1912| / 2000) \times 100\% = 4,4\%$

Lampiran 4. Dokumentasi



Gambar Hasil Rancangan Alat