

SKRIPSI
RANCANG BANGUN TEMPAT TIDUR BERTEKNOLOGI ALARM
‘GEMPA’ MENGGUNAKAN PENGGERAK MOTOR AC BERBASIS
ARDUINO UNO

Disusun dan diajukan oleh

ACHMAD FACHRY
D041 17 1517



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**RANCANG BANGUN TEMPAT TIDUR BERTEKNOLOGI ALARM
'GEMPA' MENGGUNAKAN PENGGERAK MOTOR AC BERBASIS
ARDUINO UNO**

Disusun dan diajukan oleh:

ACHMAD FACHRY

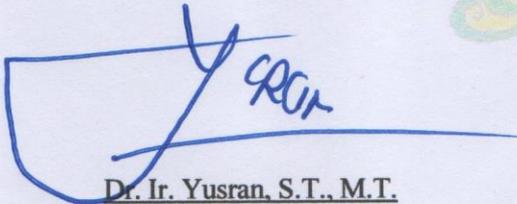
D041 17 1517

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian
Program Studi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 30 Maret 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

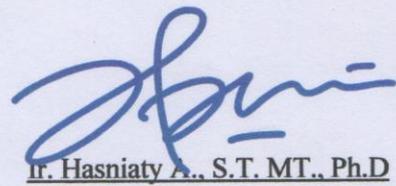
Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.

NIP. 19750404 200012 1 001



Ir. Hasniaty A., S.T. MT., Ph.D

NIP. 19741205 200012 2 001

Ketua Departemen Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.

NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Achmad Fachry
NIM : D041171517
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(RANCANG BANGUN TEMPAT TIDUR BERTEKNOLOGI ALARM
'GEMPA' MENGGUNAKAN PENGGERAK MOTOR AC BERBASIS
ARDUINO UNO)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 Maret 2022

Yang Menyatakan


Achmad Fachry

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, Salam sejahtera bagi kita semua, Syalom, Om Swastiastu, Namo Budaya, Salam Kebajikan.

Puji syukur senantiasa dipanjatkan ke hadirat Allah SWT yang dengan rahmat dan hidayah-Nya serta salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**RANCANG BANGUN TEMPAT TIDUR BERTEKNOLOGI ALARM ‘GEMPA’ MENGGUNAKAN PENGGERAK MOTOR AC BERBASIS ARDUINO UNO**”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Pada penulisan skripsi ini, penulis banyak dihadapkan dengan berbagai hambatan, akan tetapi berkat adanya bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Olehnya itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan penghargaan dan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah senantiasa memberikan kesempatan, berkat, akal budi, pengetahuan, dan segala yang tak terhitung jumlahnya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Alm. Raja Ali, S. Sos, M.Si. dan Almh. Fenti Yusuf, S. Pd, M. M. Pd. atas segala doa, jasa, motivasi dan dukungan yang telah diberikan dan yang senantiasa mengingatkan penulis untuk menyelesaikan skripsi secepatnya.
3. Bapak Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan Ibu Ir. Hasniaty A., S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing II serta Ibu Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, M.T. selaku penguji I dan Ibu Dr. Ir. Hj. Zaenab Muslimin, M.T. selaku penguji II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan tugas akhir.

4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sekaligus sebagai pembimbing dalam penyelesaian Kerja Praktik.
5. Seluruh Dosen dan Staf Akademik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang senantiasa membagi ilmu dan wawasan.
6. Ibu Salmiati selaku Staf Akademik Program Studi S1 yang tiada letih membantu mahasiswa dalam pengurusan administrasi.
7. Teman-teman Equal7zer yang menjadi kawan belajar serta berbagi ilmu selama ini.
8. Dan untuk semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Makassar, 30 Maret 2022

Hormat Saya

Penulis

ABSTRAK

ACHMAD FACHRY. Rancang Bangun Tempat Tidur Berteknologi Alarm ‘Gempa’ Menggunakan Penggerak Motor AC Berbasis Arduino Uno (dibimbing oleh Yusran, dan Hasniaty A.)

Penelitian ini bertujuan (1) Merancang prototipe ranjang tidur berteknologi alarm ‘gempa’ yang dapat dimanfaatkan untuk membangunkan penggunanya, (2) Menguji teknologi alarm ‘gempa’ yang diterapkan pada ranjang tidur yang telah dibuat. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Daya UNHAS. Tempat tidur dirancang menggunakan teknologi alarm yang menggunakan masukan dari modul pewaktu *RTC DS3231* untuk diproses mikrokontroler Arduino Uno lalu dikirim ke *buzzer* juga *relay* untuk menggerakkan Motor yang berada di bawah tempat tidur. Pengontrolan alarm menggunakan 5 buah *push button* dan sebuah *LCD* untuk menyetel alarm pada waktu yang diinginkan. Pergerakan dari motor ini dikonversi secara mekanis dari gerakan radial (berputar) menjadi linear (naik-turun) yang arahnya berubah-ubah layaknya ‘gempa’ dengan selisih kenaikan 10 cm. Hasil penelitian menunjukkan teknologi alarm yang dibuat berhasil untuk menghasilkan gerak naik-turun beserta suara yang dapat disetel sesuai dengan waktu yang kita inginkan. Teknologi alarm ini memiliki massa mati (massa rangka tempat tidur yang menjadi beban pada motor tanpa diberikan pembebanan tambahan) sebesar 5 kg diujikan pada massa 0-10 kg. Hasil pengukuran tegangan sebesar 228,5V AC, arus sebesar 32,59-65,54 mA dan putaran sebesar 125,4-82,9 rpm. Sementara perhitungan daya sebesar 10,27-20,66 W dan torsi sebesar 0,58-1,76 Nm.

Kata Kunci: Tempat Tidur, Alarm, Pergerakan Linear

ABSTRACT

AHMAD FACHRY. Design and Build a Bed with 'Earthquake' Alarm Technology Using an Arduino Uno-Based AC Motor Drive (supervised by Yusran, and Hasniaty A.)

This study aims to (1) Design a prototype of a bed with an 'earthquake' alarm technology that can be used to wake its users, (2) test the 'earthquake' alarm technology that has been applied to a sleeping bed that has been made. This research was carried out at the UNHAS Power Electronics Laboratory. The bed is designed using alarm technology that uses input from the DS3231 RTC module to manage the Arduino Uno microcontroller and then sends it to the buzzer and relay to drive the motor under the bed. Alarm control uses 5 push buttons and an LCD to set the alarm at the desired time. The movement of this motor is converted mechanically from radial (rotating) to linear (up and down) whose direction changes like an 'earthquake' with an increase of 10 cm. The results showed that the alarm technology made was successful in producing an up-and-down motion along with a sound that can be adjusted according to the time we want. This alarm technology has a dead mass (the mass of the bed frame which is a load on the motor without being given additional loading) 5 kg tested at a mass of 0-10 kg. The result of measuring voltage is 228.5V AC, a current is 32.59-65.54 mA, and rotation is 125.4-82.9 rpm. While the power calculation is 10.27-20.66 W and torque is 0.58-1.76 Nm.

Keyword: *Bed, Alarm, Linear Movement*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penelitian.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Penggunaan Ranjang/Tempat Tidur	7
2.2. Penggunaan Alarm Jam	7
2.3. Pengontrolan Arduino untuk Menggerakkan Motor dengan Setting Waktu	8
2.3.1. Arduino.....	8
2.3.2. <i>Serial RTC (Real Time Clock) DS3231</i>	11
2.3.3. <i>Relay</i>	12
2.3.4. Motor Arus Bolak Balik (AC).....	14
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1. Waktu dan Lokasi Pelaksanaan	30

3.2.	Konfigurasi Alat.....	30
3.2.1	Konfigurasi Mekanik	30
3.2.2	Konfigurasi Elektrik.....	31
3.3.	Tahap Penelitian.....	32
3.3.1	Perancangan Prototipe	33
3.3.2	Perakitan dan Pembuatan Alat.....	33
3.3.3	Penyempurnaan Alat	35
3.3.4	Pengujian Kinerja Alat	35
3.3.5	Evaluasi	35
3.3.6	Pengambilan dan Pengolahan Data.....	35
3.3.7	Komponen yang Digunakan.....	36
3.4.	Parameter Perancangan	37
3.5.	Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data	40
3.6.	Hasil Akhir Data	41
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1.	Tampilan Prototipe saat Pengujian	42
4.2.	Skenario Pengujian	42
4.3.	Hasil Pengujian	46
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1.	Kesimpulan	53
5.2.	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arduino Uno	9
Gambar 2.2 Bagian-bagian <i>RTC DS3231</i>	12
Gambar 2.3 Relay yang Tersedia di Pasaran.....	13
Gambar 2.4 Skema Relay Elektromekanik	14
Gambar 2.5 Rangkaian dan Simbol Logika Relay	14
Gambar 2.6 Proses Konversi Energi pada Motor AC	14
Gambar 2.7 Terjadinya Torsi pada Motor Sinkron (a) Tanpa Beban (b) Kondisi Berbeban (c) Kurva Karakteristik Torsi.....	17
Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Motor Sinkron 1-Fasa.....	19
Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen Alternator 3-Fasa: a) Rangkaian 3-Fasa, dan b) Analisa Perfasa Sistem 3-Fasa	20
Gambar 2.10 Karakteristik Torsi – Kecepatan	22
Gambar 2.11 Pengaruh Perubahan Beban pada Motor Sinkron.....	25
Gambar 2.12 Pengaruh Kenaikan Arus Medan pada Motor Sinkron.....	26
Gambar 2.13 Kurva V hubungan Antara Arus Jangkar I_a dengan Arus Medan I_f Untuk Satu Beban (P) yang Tetap Pada Motor Sinkron	27
Gambar 2.14 Diagram Vektor Daya Reaktif Motor Sinkron Tanpa Beban	27
Gambar 2.15 Torsi Motor Sinkron pada Kondisi Start	28
Gambar 3.1 Konfigurasi Mekanik	30
Gambar 3.2 Konfigurasi Elektrik	31
Gambar 3.3 Tahap Penelitian	32
Gambar 3.4 Motor Sinkron AC yang Digunakan.....	38
Gambar 3.5 Skematik Pengukuran Arus dan Tegangan.....	40
Gambar 4.1 Tampilan Prototipe Saat Pengujian	42
Gambar 4.2 Poros Putar Motor Penggerak (Kotak Merah)	43
Gambar 4.3 Sistem Kontrol dari Teknologi Ranjang Alarm.....	45
Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Massa dan Arus.....	47
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Massa dan Putaran	47
Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Massa dan Daya pada Motor	49

Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Massa dan Torsi Motor 51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Daftar Komponen yang Digunakan.....	36
Tabel 3.2. Spesifikasi Motor yang Digunakan	38
Tabel 3.3 Spesifikasi Arduino Uno	39
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian	46
Tabel 4.2 Data Konsumsi Daya pada Motor Penggerak	49
Tabel 4.3 Data Torsi pada Motor Penggerak	51

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tidur merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia artinya secara alamiah manusia akan membutuhkan tidur sebagai kebutuhan setiap harinya. Tidur sebagai keadaan tidak sadar yang relatif lebih responsif terhadap rangsangan internal. Pada keadaan tidur kita dianggap mengalami keadaan pasif dan keadaan dorman dari kehidupan (Arifin AR, 2010).

Pola tidur menjadi salah satu faktor risiko dari kejadian hipertensi. Pola tidur yang tidak kuat dan kualitas tidur yang buruk dapat mengakibatkan gangguan keseimbangan fisiologis dan psikologis dalam diri seseorang (Potter & Perry, 2005). Selain itu, durasi tidur pendek dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan hipertensi karena peningkatan tekanan darah 24 jam dan denyut jantung, peningkatan sistem saraf simpatik, dan peningkatan retensi garam. Selanjutnya akan menyebabkan adaptasi struktural sistem kardiovaskular sehingga tekanan darah menjadi tinggi (Gangwisch et al., 2006).

Pola tidur yang baik diperlukan untuk memberikan ketenangan dan memulihkan stamina, pemulihan fungsi otak dan tubuh, penyesuaian untuk mempertahankan kelangsungan hidup. Keadaan fisik yang sehat ditunjukkan salah satunya dengan tingkat kemampuan fungsional tubuh manusia yang dikenal sebagai kesegaran jasmani (Egi et al., 2017).

Berbagai penelitian menunjukkan prokrastinasi akademik menyebabkan lumpuhnya kemajuan akademik yang dapat dilihat dari menurunnya nilai akademik dan menurunnya rata-rata kondisi kesehatan secara keseluruhan prokrastinasi dapat menurunkan kualitas mahasiswa. Prokrastinasi akademik merupakan siklus jahat yang dapat meningkatkan tekanan waktu apabila seorang procrastinator sukses melakukan provokasi nasi maka dia akan cenderung melakukan prokrastinasi selanjutnya (Iven Kartadinata, 2008).

Dewasa ini, para mahasiswa sering menemukan masalah dalam belajar yang mungkin karena terlena oleh canggihnya teknologi (permainan dawai pada *smartphone*) (Prayitno, 2004). Akibat hal tersebut, banyak pelajar yang tidak dapat

membagi waktu dengan baik mana yang harus diprioritaskan dan mana yang tidak sehingga mereka tidak bisa memilah tugas-tugasnya. Dalam pengaturan manajemen waktu yang tidak tepat dapat terjadi suatu kelalaian dalam menyelesaikan tugas. Kondisi seperti ini menandakan adanya suatu penundaan dalam mengerjakan atau menyelesaikan tugas yang dikenal dengan Prokrastinasi akademik.

Kebiasaan prokrastinasi memunculkan pola tidur yang tidak sehat, memicu depresi, stres, dan berbagai penyimpangan psikologis lainnya. Pola tidur yang terganggu menyebabkan kurang tidur. Sebagai konsekuensi dari kurang tidur berdampak pada kesehatan fisik dan mental remaja. Studi berbasis klinik pada remaja telah menunjukkan hubungan yang kuat antara pembatasan tidur kronis dan kecemasan, depresi, dan nyeri somatik. Remaja yang tidur lebih pendek juga menunjukkan penurunan dalam kinerja akademik dan peningkatan perilaku risiko penggunaan narkoba dan mengemudi mengantuk. Gangguan tidur pada remaja meningkatkan risiko penurunan berikutnya dalam kesehatan sosial, psikologis, fisik, dan mental (Lund et al., 2010).

Kualitas tidur pada remaja yang buruk berdampak bagi kesehatan seperti hipertensi pulmonal dan penurunan fungsi pernapasan (Shakkottai et al., 2018). Kurang tidur pada remaja dapat berdampak buruk dalam aktivitas belajar di siang hari (Mah et al., 2018). Kebiasaan tidur yang buruk pada remaja juga bisa berdampak pada kinerja akademik mahasiswa (Barone, 2017). Pola tidur yang buruk pada remaja akan berdampak kepada penurunan kinerja akademik dan membuat siswa menjadi malas (Foss et al., 2019). Pola tidur yang buruk pada remaja berdampak pada aktivitas fisik yang dan mengganggu aktivitas lainnya (Verkooijen et al., 2018).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kurang tidur memiliki efek buruk terhadap kesehatan seperti gangguan kardiovaskular, kekebalan tubuh, metabolisme, dan endokrin (Jung et al., 2018). Selain itu dampak fisiologis dari kurang tidur adalah gangguan fungsi kekebalan tubuh, kesehatan, dan metabolisme glukosa (Frenda & Fenn, 2016). Kurang tidur juga mempengaruhi proses pembelajaran dan memori karena pembentukan memori tergantung pada kondisi

tidur (Chen & Chen, 2019). Kurang tidur merusak pusat memori dan belajar pada hippocampus, berbagai mekanisme termasuk rangsangan saraf, plastase sinaptik, dan penurunan neurogenesis (Cui et al., 2019). Menurunnya memori non-kontekstual dan timbulnya emosional yang tidak terkendali juga merupakan dampak dari kurang tidur (Tempesta et al., 2016). Zhong dkk mempelajari 18 orang dewasa yang sehat dan menemukan bahwa detak jantung, komponen frekuensi rendah dari variabilitas detak jantung, dan variabilitas tekanan darah semua meningkat, sementara sensitivitas baroreflex menurun (Yuan et al., 2016).

Tidur berfungsi sebagai pemulihan, konsolidasi memori, dan fungsi kognitif. Hal ini berpengaruh pada semangat ketika mahasiswa bangun pagi, sehingga mereka bermalas-malasan untuk bangun dan bangun lebih siang. McKenna dkk mengemukakan dalam buku '*Sleep Disorder Medicine*' menyatakan bahwa agar pusat tidur mendominasi pusat kewaspadaan, kita harus lelah, tenang dan santai, otak kita tidak aktif dan lingkungan yang tenang dan gelap, yang nyaman dan suhu yang tepat. Ini adalah prasyarat tidur. Stimulus eksternal seperti kebisingan, cahaya dan kekhawatiran, mengaktifkan pusat kewaspadaan otak dan mencegah untuk tidur. Menunda-nunda tugas akademik menyebabkan penyelesaian tugas dilakukan sebelum tidur. Hal ini membuat otak berpikir saat harus beristirahat. Hal ini menyebabkan otak lelah ketika waktu bangun tiba. Mahasiswa dengan prokrastinasi tinggi menjadi malas untuk bangun pagi. (Sulianti et al., 2020).

Perkembangan kasur yang biasa dipergunakan untuk tidur saat ini semakin membuat penggunaannya menjadi lebih nyaman, ini berdampak pada kemalasan penggunaannya untuk kembali bangun dari tidurnya. Padahal bangun dari tidur dengan tepat waktu tidak kalah pentingnya dengan kenyamanan serta kualitas dari tidur sendiri. Bukankah **efektifnya** kasur yang digunakan untuk tidur dapat membuat kita tidur nyaman juga dapat membuat penggunaannya bangun lebih pagi (tepat waktu) agar dapat beraktivitas kembali di hari selanjutnya dengan stamina yang telah pulih?

Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan gangguan sulit bangun pagi, maka perlu adanya suatu pengembangan teknologi berupa **tempat tidur khusus**,

yakni prototipe tempat tidur berteknologi alarm yang telah dimodifikasi dengan penambahan fitur penggerak menggunakan motor AC sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan gerakan yang serupa dengan terjadinya bencana 'gempa'. Penambahan alarm juga dirasa perlu dalam pembuatan tempat tidur ini agar nilai fungsi dari alat ini lebih efektif dengan menggunakan mikrokontroler arduino uno. Dengan demikian, masalah sulit bangun pagi dapat ditanggulangi dengan penggunaan alat ini.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan melalui penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang prototipe ranjang tidur berteknologi alarm 'gempa' menggunakan penggerak Motor AC berbasis arduino.
2. Bagaimana menguji prototipe teknologi alarm 'gempa' yang diterapkan pada ranjang tidur yang telah dibuat.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah:

1. Merancang prototipe ranjang tidur berteknologi alarm 'gempa' yang dapat dimanfaatkan untuk membangunkan penggunanya.
2. Menguji teknologi alarm 'gempa' yang diterapkan pada ranjang tidur yang telah dibuat.

1.4. Batasan Masalah

Dari pembahasan masalah yang telah dibahas di atas, penelitian tugas akhir pembahasannya dibatasi pada:

1. Penelitian ini lebih mengutamakan aspek teknis dibandingkan dengan aspek ekonomis.
2. *Monitoring* dan *controlling* pada teknologi ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno.

3. Membuat prototipe teknologi yang menggambarkan penerapan teknologi alarm tempat tidur yang berfungsi untuk membantu manusia untuk bangun pagi (tepat waktu) dalam skala 1:3 atau disesuaikan dengan kemampuan torsi motor dalam menghasilkan efek ‘gempa’ pada rangka tempat tidur.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan:

1. Memberikan solusi berupa teknologi yang dapat diaplikasikan pada ranjang tidur yang berguna dalam membantu manusia bangun pagi.
2. Sebagai sumber referensi perkembangan teknologi alarm tepat guna.
3. Dapat dimanfaatkan bagi masyarakat luas yang menggunakan teknologi tempat tidur alarm.

1.6. Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori penunjang untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini memuat metodologi dari penelitian yang digunakan berupa tempat dan waktu penelitian. Instrumen penelitian, metode pengumpulan, jenis data, tahapan penelitian dan diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat hasil penelitian dan pembahasan dari hasil simulasi yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan permasalahan dan saran-saran untuk perbaikan dan penyempurnaan tugas akhir.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penggunaan Ranjang/Tempat Tidur

Ranjang atau tempat tidur adalah suatu mebel atau tempat yang digunakan sebagai tempat tidur atau beristirahat (Nault, 2006) (Oxford University Press, 2020). Sepanjang sejarah, ranjang telah berkembang dari jenis yang sederhana, seperti kasur yang diisi jerami sampai perlengkapan mewah yang didekorasi dengan kain-kain (Nault, 2006). Seperti berbagai jenis furnitur lain, ranjang sering kali dipandang sebagai simbol kelas sosial dan kekayaan (Nault, 2006).

Sebagian besar ranjang modern terdiri atas kerangka-kerangka besi atau kayu (*bedstead*) (Nault, 2006), kasur untuk alas tidur, seprai sebagai kain alas penutup kasur, selimut, dan bantal (Nault, 2006). Ranjang dapat pula berfungsi sebagai furnitur lain, misalnya menjadi sofa pada saat tidak digunakan (Nault, 2006). Isi dari kasur dapat berupa jerami, bulu, kapas dan pengisi buatan (Nault, 2006). Kebanyakan kasur modern menggunakan pegas, busa keras, air, atau udara.

Di sebelah bawah kasur, biasanya adalah kotak pegas (*box spring*). Kotak ini adalah kotak seukuran kasur yang terbuat dari kayu dan pegas yang memberikan dukungan tambahan dan suspensi untuk kasur. Lapisan selanjutnya biasanya adalah rangka ranjang yang menyokong kasur atau kotak per di atas di tanah.

2.2. Penggunaan Alarm Jam

Alarm secara umum dapat didefinisikan sebagai bunyi peringatan atau pemberitahuan. Sebuah jam alarm (atau kadang-kadang hanya sebuah alarm) adalah jam yang dirancang untuk memperingatkan kelompok individu atau individu pada waktu tertentu.

Secara umum, alarm berfungsi untuk memberitahukan apabila terjadi bahaya dan kerusakan ataupun kejadian yang tidak diharapkan pada jaringan melalui sinyal sehingga memberikan peringatan secara jelas agar dapat diantisipasi.

Pada alarm jam, Fungsi utamanya adalah mengeluarkan suara nyaring pada jam-jam tertentu. Gunanya untuk membangunkan orang dari tidurnya di pagi hari. Alarm jam dapat juga digunakan untuk membangunkan orang dari tidur siang dan

juga sebagai tanda pengingat sebuah jadwal, terkadang digunakan untuk pengingat lain juga. Sebagian besar menggunakan suara; beberapa menggunakan cahaya atau getaran. Beberapa memiliki sensor untuk mengidentifikasi ketika seseorang dalam tahap tidur ringan, untuk menghindari membangunkan seseorang yang tertidur lelap, yang menyebabkan kelelahan, bahkan jika orang tersebut telah tidur cukup. Untuk mematikan suara atau lampu, orang harus menekan tombol di badan jam dan alarm akan mati beberapa waktu setelahnya. Kebanyakan jam secara otomatis mematikan alarm jika dibiarkan cukup lama. Sebuah alarm jam analog klasik memiliki tambahan dial inset yang digunakan untuk menentukan waktu di mana alarm akan berdering. Jam alarm juga digunakan di ponsel, jam tangan dan komputer.

Banyak jam alarm memiliki penerima radio yang dapat diatur untuk mulai diputar pada waktu tertentu, dan dikenal sebagai radio jam . Beberapa jam alarm dapat mengatur beberapa alarm. Sebuah jam alarm progresif dapat memiliki alarm yang berbeda untuk waktu yang berbeda dan musik bermain dari pilihan pengguna. Sebagian besar televisi, komputer, ponsel, dan jam tangan digital modern memiliki fungsi alarm yang menyala atau membunyikan peringatan pada waktu tertentu.

2.3. Pengontrolan Arduino untuk Menggerakkan Motor dengan Setting Waktu

2.3.1. Arduino

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. (Kadir, 2013). Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata “platform” di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah *software* yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory microcontroller*. Ada banyak proyek dan alat-alat dikembangkan oleh

akademisi dan profesional dengan menggunakan Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) yang dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan Arduino. Arduino berevolusi menjadi sebuah platform karena ia menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi.

Salah satu yang membuat Arduino memikat hati banyak orang adalah karena sifatnya yang *open source*, baik untuk *hardware* maupun *software*-nya. Diagram rangkaian elektronik Arduino digratiskan kepada semua orang. Arduino Uno seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1** bisa bebas *download* gambarnya, membeli komponen-komponennya, membuat PCB-nya dan merangkainya sendiri tanpa harus membayar kepada para pembuat Arduino. Sama halnya dengan IDE Arduino yang bisa di-*download* dan di-*install* pada komputer secara gratis. Kita patut berterima kasih kepada tim Arduino yang sangat dermawan membagi-bagikan kemewahan hasil kerja keras mereka kepada semua orang (Setiawan et al., 2017).



Gambar 2.1 Arduino Uno (Arduino n.d., 2018)

- a. **Komunikasi.** Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan computer, Arduino Uno lain, atau mikrokontroler lain. ATmega3282 ini menyediakan UART TTL (5v) komunikasi serial, yang tersedia pada pin digital 0 (RX dan 1 (TX)).

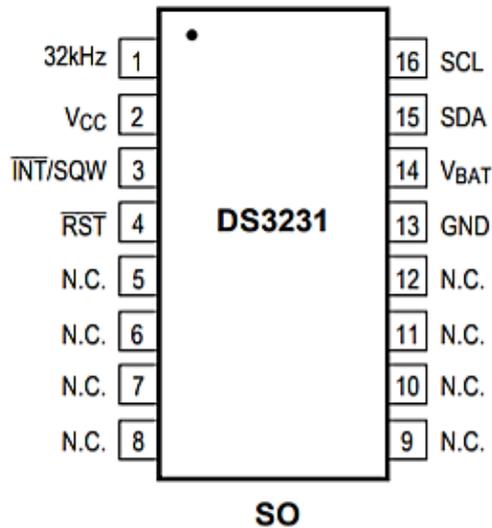
- b. **Input dan Output.** Setiap 14 pin digital pada ArduinoUno dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Input/output dioperasikan pada 5 volt. Setiap pin dapat menghasilkan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki internal pull-up resistor 20-50 Kohms.
- c. **Catu Daya.** Arduino Uno dapat beroperasi melalui koneksi USB atau power supply. Dalam penggunaan power supply dapat menggunakan adaptor DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan dengan jack adaptor pada koneksi port `inputsupply`.
- d. **Memory.** Arduino memiliki 32 KB flash memory⁴ untuk menyimpan kode, juga 2 KB yang digunakan untuk bootloader. Arduino memiliki 2 KB untuk SRAM dan 1 KB untuk EEPROM
- e. **Komunikasi Serial.** Merupakan komunikasi data dengan pengiriman data satu persatu pada satuan waktu. Transmisi data pada komunikasi serial dilakukan per bit.
- f. **Perangkat Lunak (Arduino Software).** Lingkungan open-source Arduino atau Arduino IDE⁵ memudahkan untuk menulis kode dengan meng-upload ke I/O board. Ini berjalan pada Windows, Mac OS X, dan Linux. Berdasarkan pengolahan, `avr-gcc`, dan perangkat lunak open-source lainnya
- g. **Pemrograman.** Arduino Uno dapat diprogram dengan perangkat lunak Arduino. Pilih ArduinoUno dari Tool lalu sesuaikan denganMicrocontroller yang digunakan.
- h. **Automatic Software Reset.** Tombol reset Arduino Uno dirancang dengan cara yang memungkinkan untuk mengatur ulang oleh perangkat lunak yang berjalan pada computer yang terhubung.
- i. **Arduino IDE (Ingrated Development Environment).** Diperuntukan untuk membuat perintah atau source code, melakukan pengecekan kesalahan, kompilasi, upload program, dan menguji hasil kerja arduino melalui serial monitor

2.3.2. Serial RTC (Real Time Clock) DS3231

RTC merupakan alat yang digunakan untuk mengakses data waktu dan kalender. *RTC* yang digunakan adalah DS3231 yang merupakan pengganti dari serial *RTC* tipe DS1307 dan DS1302. *RTC* mampu mengakses informasi data waktu mulai dari detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan dan tahun. Akhir tanggal pada setiap bulan akan disesuaikan secara otomatis dengan kurang dari 31 hari dan juga mampu mengoreksi tahun kabisat. Pada DS3231 Operasi jam bisa diformat dalam 24 jam atau 12 jam (AM/ PM). Untuk tatap muka dengan suatu mikroprosesor dapat disederhanakan dengan menggunakan sinkronisasi komunikasi serial I2C dengan kecepatan clock 400Khz. Hanya membutuhkan 2 saluran untuk komunikasi dengan *clock*/RAM: *SCL* (*serial clock*), *SDA* (*Serial I/O data*), dan juga dilengkapi dengan keluaran *SQW/Out* yang dapat diprogram 15 untuk mengetahui perubahan data waktu pada *RTC* dan pin RST. DS3231 didesain untuk mengoperasikan pada power yang sangat rendah dan mempertahankan data dan informasi waktu ± 1 microwatt. Adapun karakteristik dari *RTC* tipe DS3231 yaitu:

- a. *RTC* menghitung detik, menit, jam, tanggal, bulan, hari setiap minggu dan tahun dengan benar sampai tahun 2100
- b. *Serial I2C* untuk pin minimum proses komunikasi *RTC* – 2.0 – 5.5 Volt *full operation*
- c. Mempunyai kemasan 16 pin SOICs
- d. *3 simple wire interface* (*I2C* dan *SQW/Out*)
- e. *Square wave output* yang dapat diprogram
- f. Mempunyai sensor temperatur dengan akurasi $\pm 3^\circ$ Celcius.

Adapun konfigurasi pin dari *RTC* DS3231 ditunjukkan sebagaimana **Gambar 2.2** di bawah ini:



Gambar 2.2 Bagian-bagian *RTC* DS3231 (DS3231 *Datasheet*)

2.3.3. *Relay*

Dalam dunia elektronika, *relay* dikenal sebagai komponen yang dapat mengimplementasikan logika switching. Sebelum tahun 70an, *relay* merupakan “otak” dari rangkaian pengendali. Baru setelah itu muncul PLC yang mulai menggantikan posisi *relay*. *Relay* yang paling sederhana ialah *relay* elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik. Secara sederhana *relay* elektromekanis ini didefinisikan sebagai berikut :

- a. Alat yang menggunakan gaya elektromagnetik untuk menutup (atau membuka) kontak saklar.
- b. Saklar yang digerakkan (secara mekanis) oleh daya/energi listrik.

Secara umum, *relay* digunakan untuk memenuhi fungsi – fungsi berikut :

- a. Remote control : dapat menyalakan atau mematikan alat dari jarak jauh
- b. Penguatan daya : menguatkan arus atau tegangan. Contoh : *starting relay* pada mesin mobil
- c. Pengatur logika kontrol suatu sistem

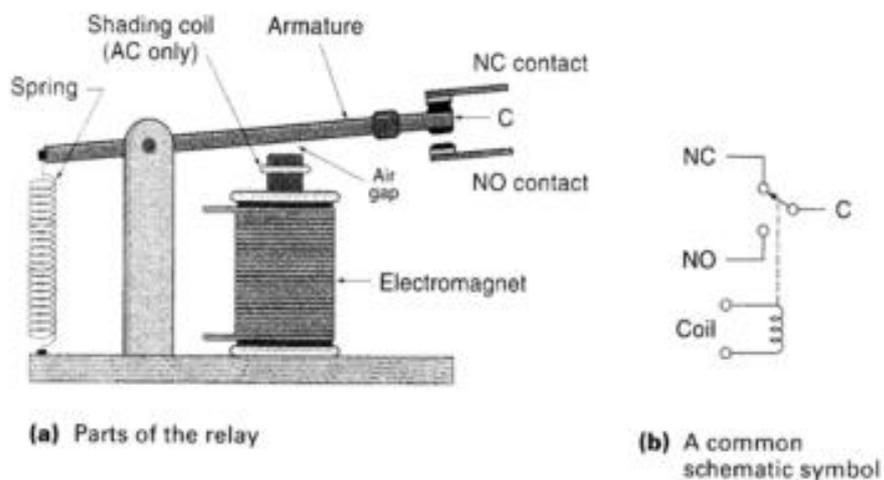


Gambar 2.3 Relay yang Tersedia di Pasaran (pintarelektro.com, diakses Maret 2022)

Prinsip Kerja dan Simbol

Relay terdiri dari *coil* dan *contact*. Perhatikan **Gambar 2.3**, *coil* adalah gulungan kawat yang mendapat arus listrik, sedang *contact* adalah sejenis saklar yang pergerakannya tergantung dari ada tidaknya arus listrik di *coil*. Contact ada 2 jenis: *Normally Open* (kondisi awal sebelum diaktifkan open), dan *Normally Closed* (kondisi awal sebelum diaktifkan close).

Secara sederhana berikut ini prinsip kerja dari *relay*: ketika *Coil* mendapat energi listrik (*energized*), akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik armature yang berpegas, dan *contact* akan menutup.

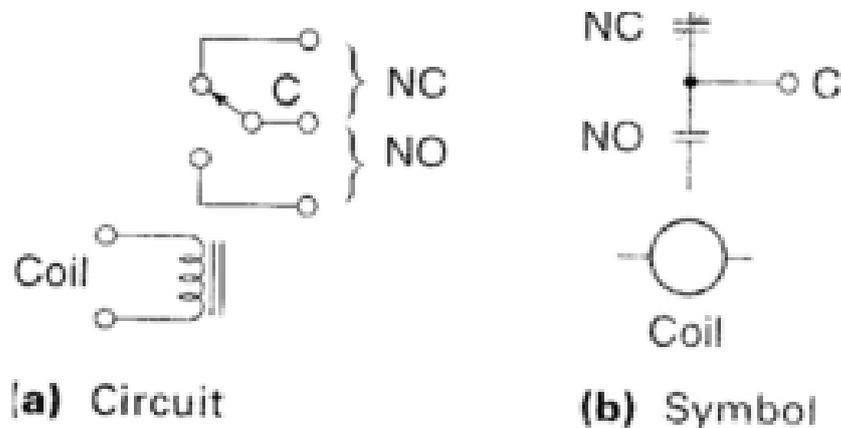


Gambar 2.4 Skema Relay Elektromekanik (pintarelektro.com, diakses Maret 2022)

Selain berfungsi sebagai komponen elektronik, *relay* juga mempunyai fungsi sebagai pengendali sistem. Sehingga *relay* mempunyai 2 macam simbol yang digunakan pada:

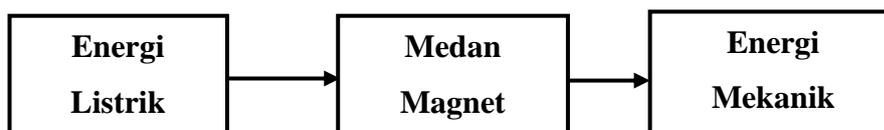
- a. Rangkaian listrik (hardware)
- b. Program (*software*) (Handy Wicaksono, 2019)

Berikut ini simbol yang digunakan:



Gambar 2.5 Rangkaian dan Simbol Logika Relay (pintarelektro.com, diakses Maret 2022)

2.3.4. Motor Arus Bolak Balik (AC)



Gambar 2.6 Proses Konversi Energi pada Motor AC

Sebuah motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Kebanyakan motor listrik beroperasi melalui interaksi medan magnet dan konduktor pembawa arus untuk menghasilkan kekuatan, meskipun motor elektrostatik menggunakan gaya elektrostatik. Proses sebaliknya, menghasilkan energi listrik dari energi mekanik, yang dilakukan oleh generator seperti alternator, atau dinamo. Banyak jenis motor listrik dapat

dijalankan sebagai generator, dan sebaliknya. Motor listrik dan generator yang sering disebut sebagai mesin-mesin listrik.

Motor arus bolak balik (motor AC) ialah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik arus bolak balik (AC) menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik, di mana tenaga gerak itu berupa putaran dari pada rotor. Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Motor induksi memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator-nya oleh celah udara yang sempit dengan jarak antara 0,4 mm sampai 4 mm tergantung pada kekuatan pada motor. Tipe dari motor induksi berdasarkan lilitan pada rotornya dibagi menjadi dua macam yaitu *squirrel-cage* rotor dan *wound rotor*.

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 frekwensi 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).

Sebagai alat penggerak, motor – motor listrik lebih unggul dibanding alat-alat penggerak jenis lain karena motor – motor listrik dapat dikonstruksi sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik penggerak, antara lain:

- a. Bisa dibuat dalam berbagai ukuran tegangan,
- b. Mempunyai batas-batas kecepatan (*speed range*) yang luas,
- c. Pelayanan operasi mudah, dan pemeliharannya sederhana,
- d. Bisa dikendalikan secara manual, atau secara otomatis dan bahkan kalau diinginkan bisa dilayani dari jarak jauh (*remote control*).

Berdasarkan Hubungan putaran motor dengan frekuensi-nya Motor AC dibedakan atas beberapa jenis:

1. Motor Asinkron (Motor Induksi)

Disebut Motor asinkron karena putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara pada rotor dan fluks magnet stator terdapat selisih perputaran yang disebut dengan slip (s).

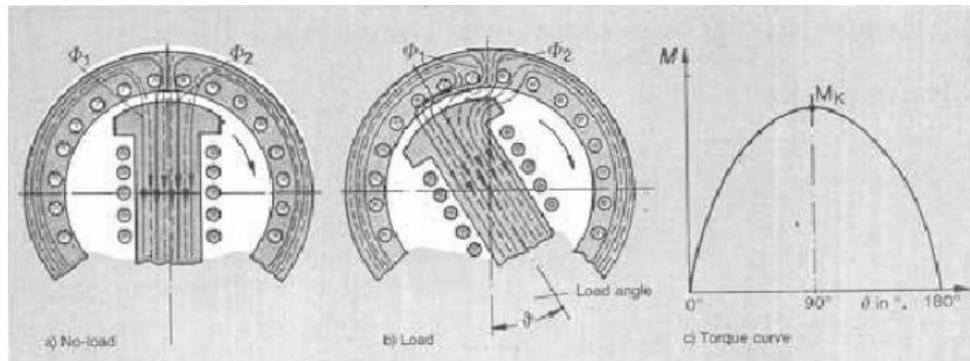
Motor induksi satu fasa merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang berfungsi sebagai penggerak. Secara struktural jenis yang paling umum dari motor induksi satu fasa adalah motor sangkar tupai. Motor induksi satu fasa sebenarnya tidak mempunyai torsi awal saat dihidupkan, tetapi bila lilitan stator satu fasa dieksitasi dan rotor diputar dengan alat pembantu, konduktor rotor akan memotong medan stator dan menyebabkan dibangkitkannya ggl dalam rotor tersebut. Alat pembantu yang digunakan untuk memutar rotor motor induksi satu fasa disesuaikan dengan torsi pada saat dihidupkan dan torsi pada saat bekerja yang diperlukan oleh beban.

2. Motor Sinkron (Motor Serempak)

Disebut motor sinkron karena putaran motor sama dengan putaran fluks magnet stator. Mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkarnya berbentuk sama dengan mesin induksi, sedangkan kumparan medan mesin sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Arus searah (DC) untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin dan sikat. Jadi konstruksi motor sinkron ini adalah sama dengan generator sinkron, bedanya hanya bahwa generator sinkron rotornya diputar untuk menghasilkan tegangan, sedangkan motor sinkron statornya diberi tegangan agar rotornya berputar.

Pada motor sinkron, motor tidak dapat berputar sendiri walaupun lilitan-lilitan stator telah dihubungkan dengan tegangan luar (dialiri arus). Agar motor sinkron dapat berputar, diperlukan penggerak permulaan. Sebagai penggerak permulaan umumnya dikerjakan oleh mesin lain.

Prinsip Kerja Motor Sinkron



Gambar 2.7 Terjadinya Torsi pada Motor Sinkron (a) Tanpa Beban (b) Kondisi Berbeban (c) Kurva Karakteristik Torsi (mercubuana.ac.id, diakses Maret 2022)

Gambar 2.7 memperlihatkan keadaan terjadinya torsi pada motor sinkron. Keadaan ini dapat dijelaskan sebagai berikut: apabila kumparan jangkar (pada stator) dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa maka akan mengalir arus tiga fasa pada kumparan. Arus tiga fasa pada kumparan jangkar ini menghasilkan medan putar homogen (B_s). Berbeda dengan motor induksi, motor sinkron mendapat eksitasi dari sumber DC eksternal yang dihubungkan ke rangkaian rotor melalui slip ring dan sikat. Arus DC pada rotor ini menghasilkan medan magnet rotor (B_R) yang tetap. Kutub medan rotor mendapat tarikan dari kutub medan putar stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama (sinkron). Torsi yang dihasilkan motor sinkron merupakan fungsi sudut torsi (δ). Semakin besar sudut antara kedua medan magnet, maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar seperti persamaan di bawah ini.

$$T = k \cdot B_R \cdot B_{\text{net}} \sin \delta \quad (2.1)$$

Pada beban nol, sumbu kutub medan putar berimpit dengan sumbu kumparan medan ($\delta = 0$). Setiap penambahan beban membuat medan motor “tertinggal” dari medan stator, berbentuk sudut kopel (δ); untuk kemudian berputar dengan kecepatan yang sama lagi. Beban maksimum tercapai ketika $\delta = 90^\circ$. Penambahan beban lebih lanjut mengakibatkan hilangnya kekuatan torsi dan motor disebut kehilangan sinkronisasi. Oleh karena pada motor

sinkron terdapat dua sumber pembangkit fluks yaitu arus bolak-balik (AC) pada stator dan arus searah (DC) pada rotor, maka ketika arus medan pada rotor cukup untuk membangkitkan fluks (ggm) yang diperlukan motor, maka stator tidak perlu memberikan arus magnetisasi atau daya reaktif dan motor bekerja pada faktor daya = 1,0. Ketika arus medan pada rotor kurang (penguat berkurang), stator akan menarik arus magnetisasi dari jala-jala, sehingga motor bekerja pada faktor daya terbelakang (*lagging*). Sebaliknya bila arus pada medan rotor berlebih (penguat berlebih), kelebihan fluks (ggm) ini harus diimbangi, dan stator akan menarik arus yang bersifat kapasitif dari jala-jala, dan karenanya motor bekerja pada faktor daya mendahului (*leading*). Dengan demikian, faktor daya motor sinkron dapat diatur dengan mengubah-ubah harga arus medan (I_F)

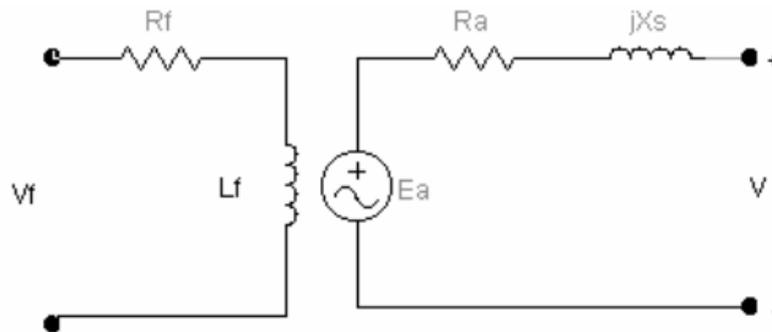
Pemodelan Mesin Sinkron

Mesin sinkron dapat dimodelkan dengan menggunakan rangkaian ekuivalennya. Dari rangkaian ekuivalen ini mesin sinkron dapat dianalisis dengan berbagai kondisi dengan cara yang mudah dan cepat tanpa harus mengoperasikan langsung mesin ini pada sistem tenaga. Dari rangkaian ekuivalen ini dapat dianalisis kondisi dinamis atas statis suatu mesin. Motor sinkron pada dasarnya adalah sama dengan generator sinkron karena mempunyai bentuk konstruksi yang sama, kecuali arah aliran daya pada motor sinkron merupakan kebalikan dari generator sinkron. Oleh karena arah aliran daya pada motor sinkron dibalik, maka arah aliran arus pada stator motor sinkron juga dapat dianggap dibalik jika dibandingkan dengan generator sinkron.

Motor Sinkron 1-Fasa

Untuk menganalisis kondisi motor sinkron dengan mudah, harus diketahui terlebih dahulu bentuk model rangkaian ekuivalennya. Rangkaian ekuivalen motor sinkron ini mirip dengan rangkaian ekuivalen generator sinkron, kecuali arah arus jangkar (I_a) yang dibalik. Oleh karena itu bentuk rangkaian ekuivalen motor sinkron 1-fasa mirip dengan rangkaian ekuivalen

alternator 1-fasa, tetapi dengan arah arus jangkar yang terbalik. Bentuk rangkaian ekuivalen motor sinkron 1-fasa ini diperlihatkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Motor Sinkron 1-Fasa (mercubuana.ac.id, diakses Maret 2022)

Dari **Gambar 2.8** dapat dibuatkan persamaan-persamaan yang memenuhi pada rangkaian ekuivalen motor sinkron 1-fasa sebagai berikut.

$$V = E_a + I_a \cdot R_a + j \cdot I_a \cdot X_S \quad (2.2)$$

atau:

$$E_a = V - I_a \cdot R_a - j \cdot I_a \cdot X_S \quad (2.3)$$

dan:

$$P_{in} = V \times I_a \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

$$P_{cu} = (I_a)^2 \times R_a \quad (2.5)$$

$$P_{ind} = P_{in} - P_{cu} \quad (2.6)$$

$$P_{out} = P_{ind} - P_{rot} \quad (2.7)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dengan:

E_a = GGL induksi lawan pada kumparan motor sinkron (V)

V = tegangan terminal motor sinkron (V)

I_a = arus jangkar motor sinkron (A)

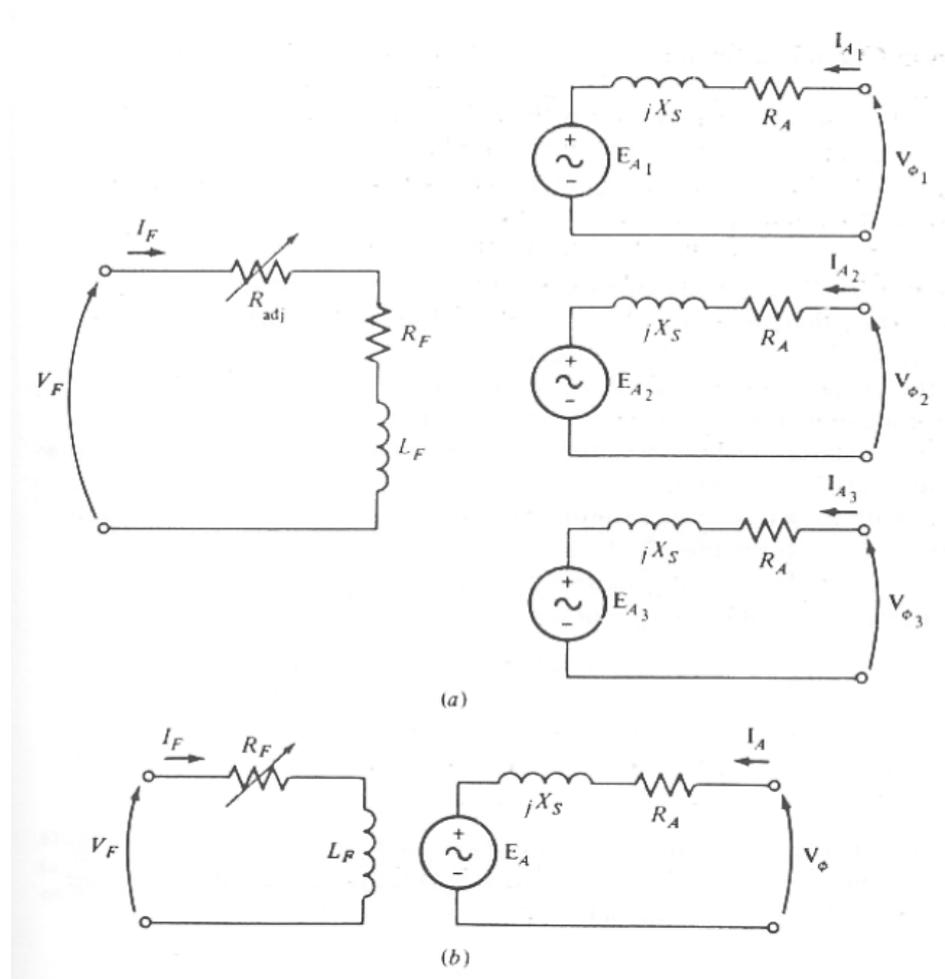
$\cos \varphi$ = faktor daya

R_a = tahanan jangkar motor sinkron (ohm)

X_S = reaktansi sinkron motor sinkron (ohm)

- P_{out} = daya keluaran motor sinkron (W)
- P_{in} = daya masukan motor sinkron (W)
- P_{cu} = rugi-rugi tembaga pada motor sinkron (W)
- P_{ind} = daya mekanik yang dibangkitkan pada rotor motor sinkron (W)
- η = efisiensi motor sinkron

Motor Sinkron 3-Fasa



Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen Alternator 3-Fasa: a) Rangkaian 3-Fasa, dan b) Analisa Perfasa Sistem 3-Fasa (mercubuana.ac.id, diakses Maret 2022)

Konstruksi motor sinkron 3-fasa sama dengan konstruksi generator sinkron 3- fasa (alternator 3-fasa). Oleh karena itu, kumparan motor sinkron ini juga dapat dibuat dalam bentuk hubungan bintang (Y) dan delta seperti

halnya pada alternator 3fasa. Motor ini dapat dianalisis dengan menggunakan rangkaian ekuivalen yang sama dengan alternator, tetapi dengan arah arus yang berbeda. Dengan menggunakan **Gambar 2.9** maka dapat dibuatkan rumus untuk motor sinkron 3-fasa sebagai berikut.

a. Untuk hubungan bintang (Y)

$$\mathbf{E}_{A(\text{fasa-R})} = \mathbf{V}_{RN} - \mathbf{I}_{A(R)} \cdot (\mathbf{R}_{A(R)} + \mathbf{jX}_{S(R)}) \quad (2.9)$$

dengan:

$$\mathbf{V}_{RN} = \mathbf{V}_{LN} \angle \theta^\circ \quad (2.10)$$

$$\mathbf{E}_{A(\text{fasa-S})} = \mathbf{V}_{SN} - \mathbf{I}_{A(S)} \cdot (\mathbf{R}_{A(S)} + \mathbf{jX}_{S(S)}) \quad (2.11)$$

dengan:

$$\mathbf{V}_{SN} = \mathbf{V}_{LN} \angle (\theta + 240)^\circ \quad (2.12)$$

$$\mathbf{E}_{A(\text{fasa-T})} = \mathbf{V}_{TN} - \mathbf{I}_{A(T)} \cdot (\mathbf{R}_{A(T)} + \mathbf{jX}_{S(T)}) \quad (2.13)$$

dengan:

$$\mathbf{V}_{TN} = \mathbf{V}_{LN} \angle (\theta + 120)^\circ \quad (2.14)$$

dengan:

$$\mathbf{V}_{LN} = \frac{\mathbf{V}_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (2.15)$$

$$\mathbf{V}_{LL} = \mathbf{V}_{RS} = \mathbf{V}_{ST} = \mathbf{V}_{TR} \quad (2.16)$$

b. Untuk hubungan delta

$$\mathbf{E}_{A(\text{fasa-RS})} = \mathbf{V}_{RS} - \mathbf{I}_{A(RS)} \cdot (\mathbf{R}_{A(RS)} + \mathbf{jX}_{S(RS)}) \quad (2.17)$$

$$\text{dengan: } \mathbf{V}_{RS} = \mathbf{V}_{LL} \angle \theta^\circ$$

$$\mathbf{E}_{A(\text{fasa-S})} = \mathbf{V}_{ST} - \mathbf{I}_{A(ST)} \cdot (\mathbf{R}_{A(ST)} + \mathbf{jX}_{S(ST)}) \quad (2.18)$$

$$\text{dengan: } \mathbf{V}_{ST} = \mathbf{V}_{LL} \angle (\theta + 240)^\circ$$

$$\mathbf{E}_{A(\text{fasa-TR})} = \mathbf{V}_{TR} - \mathbf{I}_{A(TR)} \cdot (\mathbf{R}_{A(TR)} + \mathbf{jX}_{S(TR)}) \quad (2.19)$$

$$\text{dengan: } \mathbf{V}_{TR} = \mathbf{V}_{LL} \angle (\theta + 120)^\circ$$

$$\text{dengan: } \mathbf{I}_A = \frac{\mathbf{I}_{LL}}{\sqrt{3}}$$

dengan:

$$\mathbf{V}_{TN} = \mathbf{V}_{LN} \angle (\theta + 120)^\circ \quad (2.20)$$

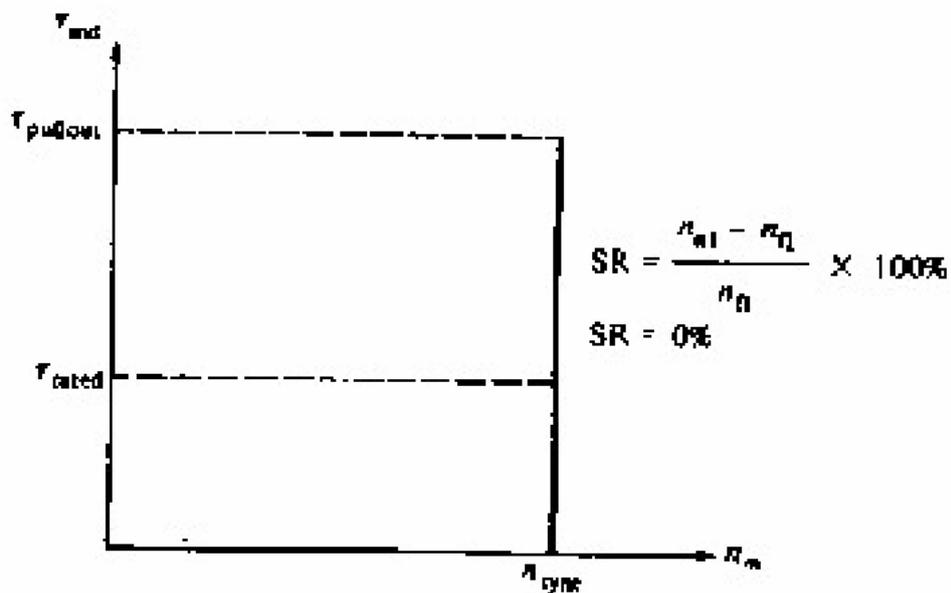
dengan:

$$V_{LN} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (2.21)$$

$$V_{LL} = V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} \quad (2.22)$$

Untuk menghitung efisiensi motor sinkron 3-fasa dapat digunakan Persamaan (2.8) dengan cara mengalikan dengan 3 (tiga) semua hasil pada Persamaan (2.4) sampai dengan Persamaan (2.7).

Karakteristik Torsi Motor Sinkron



Gambar 2.10 Karakteristik Torsi – Kecepatan (mercubuana.ac.id, diakses Maret 2022)

Motor sinkron pada dasarnya merupakan alat yang menyuplai tenaga ke beban pada kecepatan konstan. Kecepatan putaran motor adalah terkunci pada frekuensi listrik yang diterapkan, oleh karena itu kecepatan motor adalah konstan pada beban bagaimanapun. Kecepatan motor yang tetap ini dari kondisi tanpa beban sampai torsi maksimum yang bisa disuplai motor disebut torsi *pullout*. Bentuk karakteristik torsi terhadap kecepatan ini diperlihatkan pada **Gambar 2.10**

Dengan mengacu kembali ke Persamaan (2.2) dan (2.5) dapat dibuatkan persamaan torsi motor sinkron 3-fasa sebagai berikut.

$$T_{\text{ind}} = \frac{3 \cdot V_{\phi} \cdot E_a \cdot \sin \delta}{\omega_m \cdot X_S} \quad (2.23)$$

Torsi maksimum motor terjadi ketika $\delta = 90^\circ$. Umumnya torsi maksimum motor sinkron adalah tiga kali torsi beban penuhnya. Ketika torsi pada motor sinkron melebihi torsi maksimum maka motor akan kehilangan sinkronisasi. Dengan mengacu kembali ke Persamaan (2.2), (2.4) dan (2.7), maka persamaan Torsi maksimum (*pullout*) motor sinkron dapat dibuatkan sebagai berikut.

$$T_{\text{ind}} = k \cdot B_R \cdot B_{\text{net}} \quad (2.24)$$

$$T_{\text{ind}} = \frac{(3 \cdot V_{\phi} \cdot E_a)}{(\omega_m \cdot X_S)} \quad (2.25)$$

Dari persamaan di atas menunjukkan bahwa semakin besar arus medan, maka torsi maksimum motor akan semakin besar.

Torsi adalah kekuatan yang menghasilkan rotasi. Hal ini menyebabkan objek untuk berputar. Torsi terdiri dari gaya yang bekerja pada jarak. Torsi, seperti bekerja, diukur adalah pound-feet (lb-ft). Apabila satuan T diubah menjadi satuan lb ft maka :

$$\begin{aligned} 1 \text{ lb} &= 4,447 \text{ N} & 1 \text{ lb-ft} &= 1,356 \text{ Nm} \\ 1 \text{ ft} &= 0,3048 \text{ m} & 1 \text{ Nm} &= 0,737 \text{ lb-ft} \end{aligned}$$

Dan untuk menghitung torsi motor pada saat beban penuh, kita dapat menerapkan rumus:

$$\tau = \frac{5252 \cdot P \text{ (hp)}}{n} \quad (2.26)$$

$$T_M = \frac{P_m}{\omega} \quad (2.27)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_s}{60} \quad (2.28)$$

Dimana:

τ = Torsi

T_M = Torsi Mekanik

$P \text{ (hp)}$ = Daya kuda

5252 = Konstanta

n = Kecepatan Motor pada medan stator

P_m = Daya Motor

ω = Kecepatan sudut putar motor

Hubungan Antara Daya (P), Torsi (τ), dan kecepatan sudut (ω) ditunjukkan pada rumus berikut:

$$P = F \cdot v \quad (2.29)$$

Untuk mengetahui asal kemunculan konstanta 5252 kita dapat menguraikan besaran fisis yang berlaku pada rumus daya, torsi dan kecepatan. Peralnya, satuan termasuk dalam besaran fisis. Dalam sistem SI yang umum digunakan dalam fisika, daya dalam Watt, torsi dalam Newton-meter, dan kecepatan sudut adalah radian per detik. Ini berarti bahwa 1 Watt = 1 Newton.meter/detik. Jadi dalam hal ini, kita hanya mengalikan torsi dengan kecepatan sudut untuk mendapatkan daya. Tetapi, Jika kita menginginkan cara cepat untuk mengetahui jumlah hp yang diberikan torsi dalam ft-lbs dan rpm. Pertama mari kita mengalikan turunan dari rumus gaya dan kecepatan terhadap daya pada gerak melingkar.

$$\tau = F \cdot \text{rad}, F = \frac{\tau}{\text{rad}} \quad (2.30)$$

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{rad} \cdot \text{rpm}}{60} \quad (2.31)$$

$$P = \left(\frac{\tau}{\text{rad}} \right) \left(2 \cdot \pi \cdot \text{rad} \cdot \frac{\text{rpm}}{60} \right) \quad (2.32)$$

Untuk mengonversikan daya dalam satuan hp dan waktu dalam satuan menit kita perlu memasukkan persamaan berikut pada Persamaan 2.34.

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ ft} - \text{lbs/sec} \quad (2.33)$$

Sehingga,

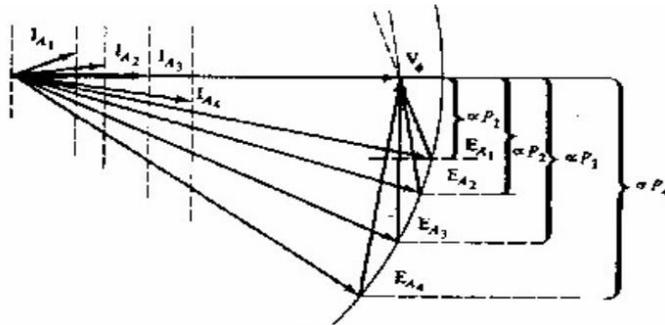
$$hp = (2\pi) \left(\frac{\tau}{550 \text{ ft} - \text{lb}} \right) \left(\frac{\text{rpm}}{60} \right) \quad (2.34)$$

$$\frac{550 \cdot 60}{2\pi} = 5252, 11412203255 \sim 5252$$

$$P \text{ (hp)} = \frac{\tau \cdot \text{rpm}}{5252} \quad (2.35)$$

$$\tau = \frac{5252 \cdot \text{hp}}{\text{rpm}} \quad (2.36)$$

Pengaruh perubahan beban pada motor sinkron



Gambar 2.11 Pengaruh Perubahan Beban pada Motor Sinkron

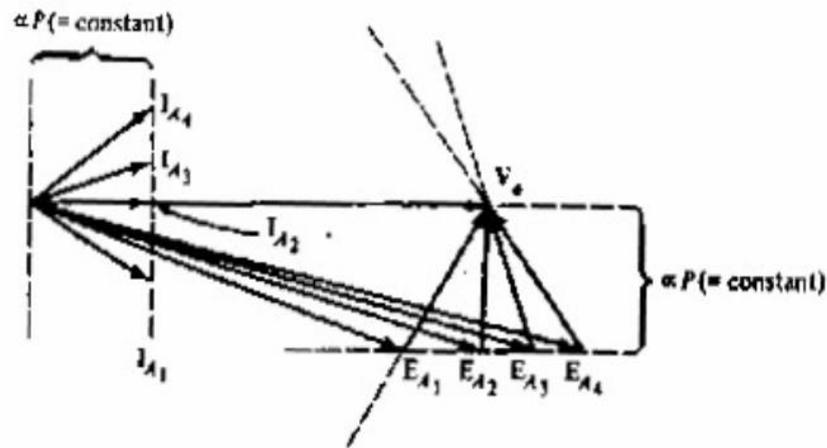
(mercubuana.ac.id, diakses Maret 2022)

Gambar 2.11 memberikan gambaran bentuk pengaruh perubahan beban pada motor sinkron. Jika beban dihubungkan pada motor sinkron, maka motor akan membangkitkan torsi yang cukup untuk menjaga motor dan bebannya berputar pada kecepatan sinkron. Misal mula-mula motor sinkron beroperasi pada faktor daya mendahului (*leading*). Jika beban pada motor dinaikkan, putaran rotor pada asalnya akan melambat. Ketika hal ini terjadi, maka sudut torsi δ menjadi lebih besar dan torsi induksi akan naik. Kenaikan torsi induksi akan menambah kecepatan rotor, dan motor akan kembali berputar pada kecepatan sinkron tapi dengan sudut torsi δ yang lebih besar.

Pengaruh pengubahan arus medan pada motor sinkron

Kenaikan arus medan I_F menyebabkan kenaikan besar E_a tetapi tidak mempengaruhi daya real yang disuplai motor. Daya yang disuplai motor berubah hanya ketika torsi beban berubah. Oleh karena perubahan arus medan tidak mempengaruhi kecepatan dan beban yang dipasang pada motor, maka daya real yang disuplai motor juga tidak berubah. Oleh karena tegangan fasa sumber tegangan juga konstan, maka jarak daya pada diagram fasor ($E_a \cdot \sin \delta$

dan $I_a \cos \theta$ pada **Gambar 2.12**) juga harus konstan. Ketika arus medan dinaikkan, maka E_a naik, tetapi ia hanya bergeser di sepanjang garis dengan daya konstan. Gambaran hubungan pengaruh kenaikan arus medan pada motor sinkron ini diperlihatkan pada **Gambar 2.12**.

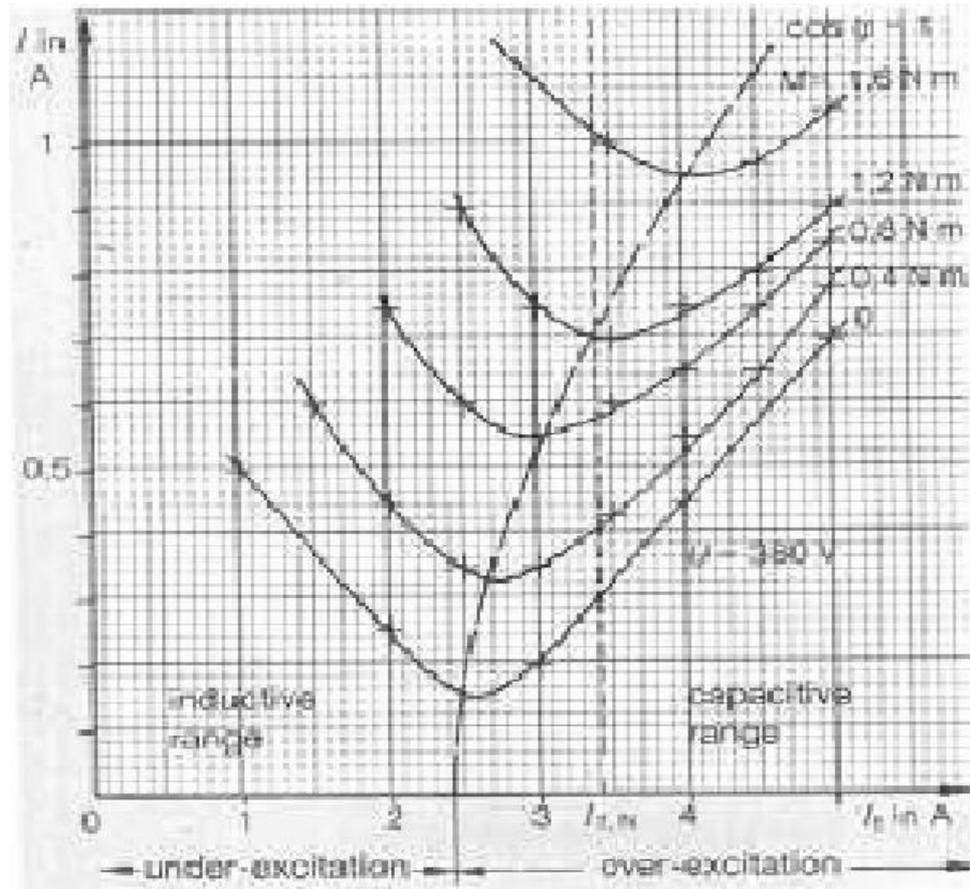


Gambar 2.12 Pengaruh Kenaikan Arus Medan pada Motor Sinkron
(mercubuana.ac.id, diakses Maret 2022)

Ketika nilai E_a naik, besar arus I_a mula-mula turun dan kemudian naik lagi. Pada nilai E_a rendah, arus jangkar I_a adalah *lagging* dan motor bersifat induktif. I_a bertindak seperti kombinasi resistor-induktor dan menyerap daya reaktif Q . Ketika arus medan dinaikkan, arus jangkar menjadi kecil dan pada akhirnya menjadi sefasa (sefasa) dengan tegangan. Pada kondisi ini motor bersifat resistif murni. Ketika arus medan dinaikkan lebih jauh, maka arus jangkar akan menjadi mendahului (*leading*) dan motor menjadi beban kapasitif. I_a bertindak seperti kombinasi resistor-kapasitor menyerap daya reaktif negatif $-Q$ (menyuplai daya reaktif Q ke sistem). Hubungan antara arus jangkar I_a dengan arus medan I_f untuk satu beban (P) yang tetap akan merupakan kurva yang berbentuk V seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 2.13**.

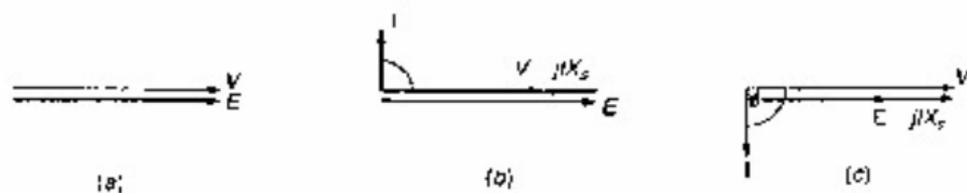
Beberapa kurva V digambarkan untuk level daya yang berbeda. Arus jangkar minimum terjadi pada faktor daya satu dimana hanya daya real yang disuplai ke motor. Pada titik lain, daya reaktif disuplai ke atau dari motor. Untuk arus medan lebih rendah dari nilai yang menyebabkan I_a minimum,

maka arus jangkar akan tertinggal (*lagging*) dan menyerap Q. Oleh karena arus medan pada kondisi ini adalah kecil, dan motor dikatakan *under excitation*. Untuk arus medan lebih besar dari nilai yang menyebabkan I_a minimum, maka arus jangkar akan mendahului (*leading*) dan menyuplai Q. Kondisi ini disebut *over excitation*.



Gambar 2.13 Kurva V hubungan Antara Arus Jangkar I_a dengan Arus Medan I_f Untuk Satu Beban (P) yang Tetap Pada Motor Sinkron (mercubuana.ac.id, diakses Maret 2022)

Daya Reaktif

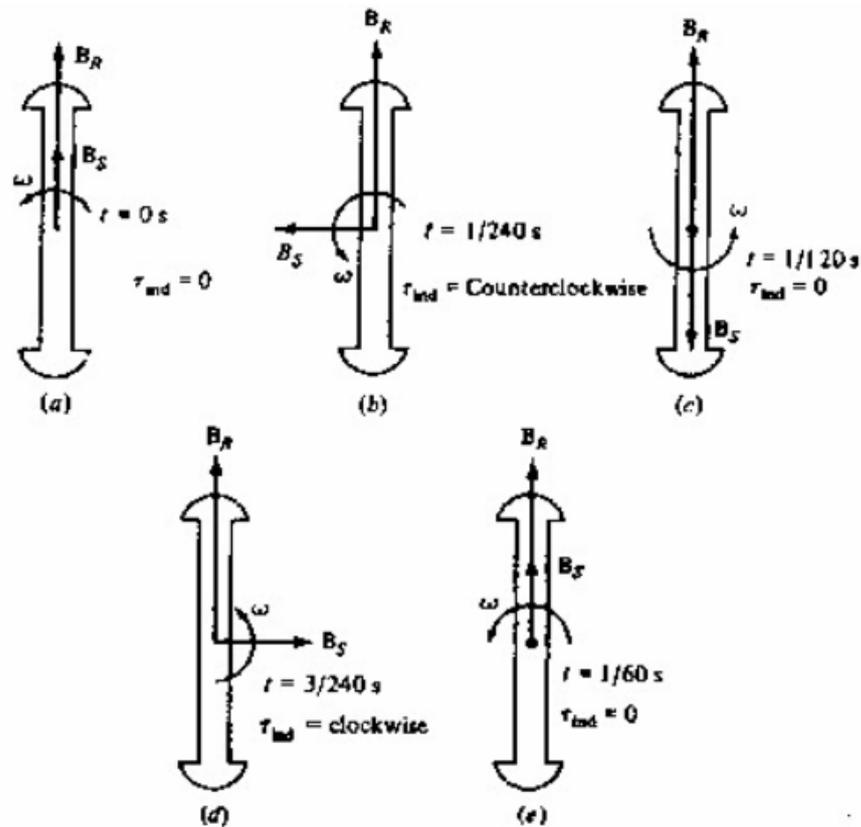


Gambar 2.14 Diagram Vektor Daya Reaktif Motor Sinkron Tanpa Beban

Motor sinkron tanpa beban dalam keadaan penguatan tertentu dapat menimbulkan daya reaktif. Perhatikan diagram vektor motor sinkron tanpa beban pada **Gambar 2.14**.

Pada gambar (a), penguatan normal, sehingga $V = E$. Motor dalam keadaan mengambang karena tidak memberikan ataupun menarik arus. V berimpit dengan E karena dalam keadaan tanpa beban sudut daya $\delta = 0$. Pada gambar (b), penguatan berlebih, sehingga $E > V$. Arus kapasitif (*leading current*) ditarik dari jala-jala. Daya aktif $P = VI \cos \theta = 0$. Jadi, motor berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif yang bersifat kapasitif (kapasitor). Pada gambar (c), penguatan berkurang, sehingga $E < V$. Arus magnetisasi (*lagging current*) ditarik dari jala-jala. Jadi, motor berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif yang bersifat induktif (induktor).

Starting Motor Sinkron



Gambar 2.15 Torsi Motor Sinkron pada Kondisi Start (mercubuana.ac.id, diakses Maret 2022)

Pada saat start (tegangan dihubungkan ke kumparan stator) kondisi motor adalah diam dan medan rotor B_R juga stasioner, medan magnet stator mulai berputar pada kecepatan sinkron. Saat $t = 0$, B_R dan B_S adalah segaris, maka torsi induksi pada rotor adalah nol. Kemudian saat $t = \frac{1}{4}$ siklus rotor belum bergerak dan medan magnet stator ke arah kiri menghasilkan torsi induksi pada rotor berlawanan arah jarum jam. Selanjutnya pada $t = \frac{1}{2}$ siklus B_R dan B_S berlawanan arah dan torsi induksi pada kondisi ini adalah nol. Pada $t = \frac{3}{4}$ siklus medan magnet stator ke arah kanan menghasilkan torsi searah jarum jam. Demikian seterusnya pada $t = 1$ siklus medan magnet stator kembali segaris dengan medan magnet rotor. Bentuk hubungan Torsi motor sinkron pada kondisi start ini diperlihatkan pada **Gambar 2.15**.

Selama satu siklus elektrik dihasilkan torsi pertama berlawanan jarum jam kemudian searah jarum jam, sehingga torsi rata-rata pada satu siklus adalah nol. Ini menyebabkan motor bergetar pada setiap siklus dan mengalami pemanasan lebih. Tiga pendekatan dasar yang dapat digunakan untuk men-*start* motor sinkron dengan aman adalah.

1. Mengurangi kecepatan medan magnet stator pada nilai yang rendah sehingga rotor dapat mengikuti dan menguncinya pada setengah siklus putaran medan magnet. Hal ini dapat dilakukan dengan mengurangi frekuensi tegangan yang diterapkan.
2. Menggunakan penggerak mula eksternal untuk mengakselerasikan motor sinkron hingga mencapai kecepatan sinkron, kemudian penggerak mula dimatikan (dilepaskan).
3. Menggunakan kumparan peredam (*dampers winding*) atau dengan membuat kumparan rotor motor sinkron seperti kumparan rotor belitan pada motor induksi (hanya saat *start*).