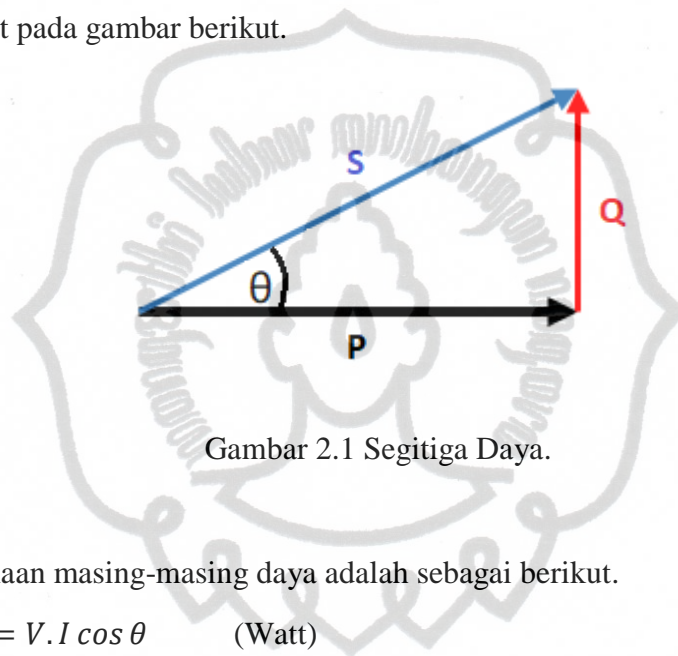


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daya Listrik

Daya listrik merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan suatu usaha [1]. Daya listrik dikategorikan menjadi 3 jenis yaitu daya aktif (P) dalam satuan Watt, daya reaktif (Q) dalam satuan volt ampere reaktif (VAR), dan daya semu (S) dalam satuan volt ampere (VA). Hubungan dari ketiga daya tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Segitiga Daya.

Persamaan masing-masing daya adalah sebagai berikut.

$$P = V.I \cos \theta \quad (\text{Watt}) \quad (2.1)$$

$$S = V.I \quad (\text{VA}) \quad (2.2)$$

$$Q = V.I \sin \theta \quad (\text{VAR}) \quad (2.3)$$

Daya aktif adalah daya yang dipakai untuk menghasilkan energi sebenarnya. Daya aktif dihasilkan dari beban resistif murni dimana beban tersebut adalah peralatan yang mengkonsumsi energi untuk dirubah menjadi energi lain. Daya reaktif adalah daya yang terpakai sebagai bentuk pembangkitan flux magnet sehingga timbul magnetisasi. Sedangkan daya semu adalah kapasitas peralatan listrik seperti yang tertera dalam *name plate* peralatan listrik seperti generator, transformer, dan di kWh meter.

2.1.1 Faktor Daya

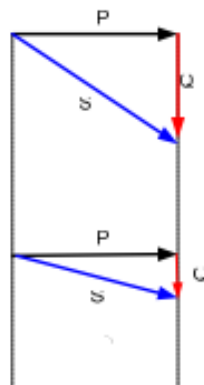
Pada sistem listrik ac dimana tegangan dan arus berbentuk sinusoidal, perkalian tegangan dan arus akan menghasilkan daya yang memiliki dua buah bagian [1]. Bagian pertama adalah daya yang dimanfaatkan konsumen, seperti panas pada elemen pemanas, pergerakan pada motor dan sebagainya. Daya ini disebut juga daya aktif yang mengalir dari sisi sumber menuju sisi beban. Bagian kedua adalah daya yang tidak dapat dimanfaatkan oleh konsumen, namun hanya ada di jaringan. Daya ini disebut daya reaktif.

Daya reaktif dibutuhkan untuk mengoperasikan beban induktif, seperti motor induksi, dan lampu *fluorescent*. Besarnya daya reaktif pada beban ditentukan berdasarkan faktor daya ($\cos \theta$) pada beban. Daya reaktif pada beban harus diupayakan sekecil mungkin untuk memperkecil daya yang digunakan pada suatu beban. Kompensasi daya reaktif dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitor.

2.1.2 Perbaikan Faktor Daya

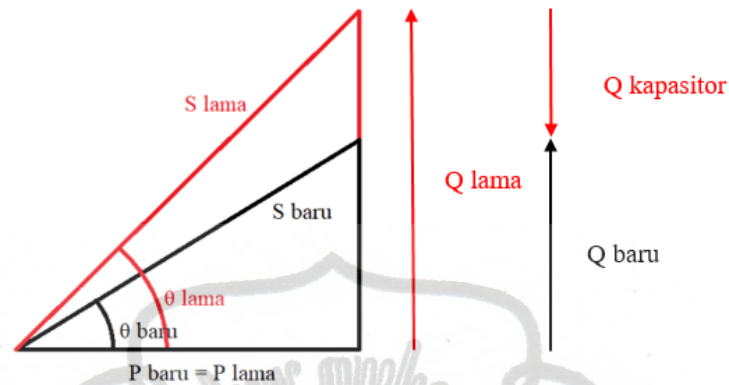
Faktor daya digambarkan dengan sudut antara daya aktif dan daya semu pada segitiga daya. Semakin besar sudut tersebut maka semakin kecil faktor daya yang dihasilkan. Ini disebabkan besarnya daya reaktif pada suatu beban. Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya adalah mengurangi daya reaktif dengan cara memasang kapasitor. Dalam menentukan nilai kapasitor, konsumsi daya reaktif harus diperhitungkan sehingga dapat diketahui kebutuhan kapasitornya [3].

Apabila daya Q diperkecil, maka sudut θ akan semakin kecil juga. Sehingga daya S juga semakin kecil.



Gambar 2.2 Perbandingan vektor diagram daya [1].

Segitiga daya sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Dengan adanya kapasitor maka daya Q senilai dengan Q_{baru} .



Gambar 2.3 Segitiga daya setelah pemasangan kapasitor.

Persamaan daya Q sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor adalah sebagai berikut:

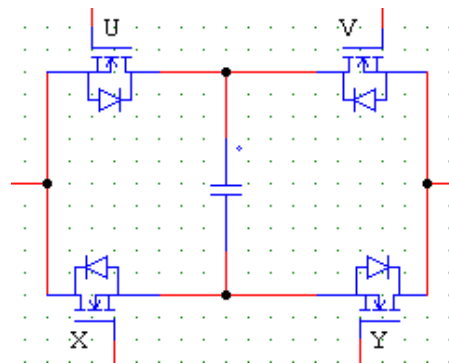
$$Q_{lama} = P \tan \theta_{lama} \quad (2.4)$$

$$Q_{kapasitor} = Q_{lama} - Q_{baru}$$

$$Q_{kapasitor} = 2\pi f C (V^2) \quad (2.5)$$

2.2 Magnetic Energy Recovery Switch (MERS)

Magnetic Energy Recovery Switch atau saklar pemulih energi magnetik, memiliki prinsip kerja menyerap dan melepaskan kembali energi magnetik. Saklar dalam hal ini yaitu MOSFET atau IGBT yang dapat mengontrol pengisian kapasitor dengan cara menyalakan dan mematikan pada sudut tertentu [4]. Sehingga, pengisian kapasitor juga dapat diatur.



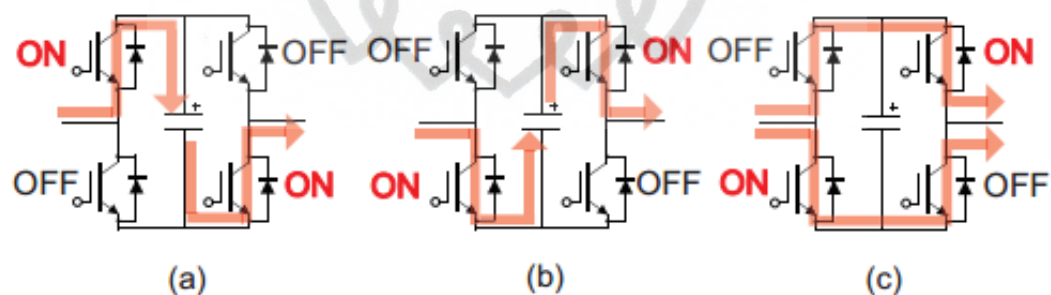
Gambar 2.4 Konfigurasi dasar MERS

Konfigurasi MERS juga memanfaatkan frekuensi saluran sebagai penyalakannya. Yang berarti bahwa tiap saklar dinyalakan (*turned-on*) dan dimatikan (*turned-off*) hanya pada saat siklus *switching*. Keuntungannya adalah dapat mengurangi rugi-rugi penyalakan (*switching losses*), yang berperan penting pada aplikasi-aplikasi daya tinggi [2].

2.2.1 Prinsip Kerja MERS

Rangkaian MERS berada diantara tegangan ac dan beban. Saklar dinyalakan (*turn-on*) dan dimatikan (*turn-off*) sekaligus dalam satu siklus berdasarkan frekuensi sumber tegangan ac dan dikendalikan secara serentak [5].

Pada konfigurasi gelombang penuh, dua buah saklar dalam keadaan hidup dan mati secara berpasangan sehingga U-Y selalu berlawanan dengan V-X. Gambar 2.5 menunjukkan keadaan pada saat MERS beroperasi. Pada keadaan (a), arus yang mengalir mengisi kapasitor melalui diode *freewheeling*. Pada keadaan (b), kapasitor melepaskan muatannya melalui penyalakan saklar dan mengakibatkan arus meningkat. Kemudian pada keadaan (c), tegangan pada kapasitor bernilai nol sehingga arus mengalir secara paralel. Pada keadaan ini kapasitor tidak terhubung dengan rangkaian.

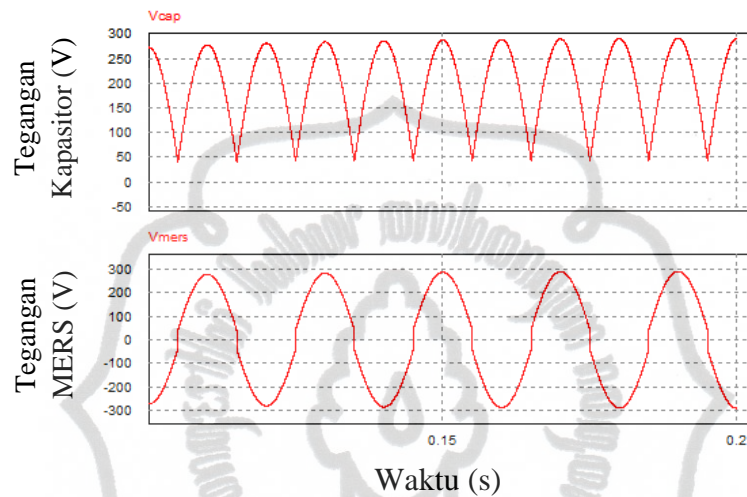


Gambar 2.5 Operasi MERS. (a) Pengisian kapasitor. (b) Pengosongan kapasitor. (c) Kapasitor tidak bermuatan [2].

2.2.2 Mode Operasi pada Kapasitor

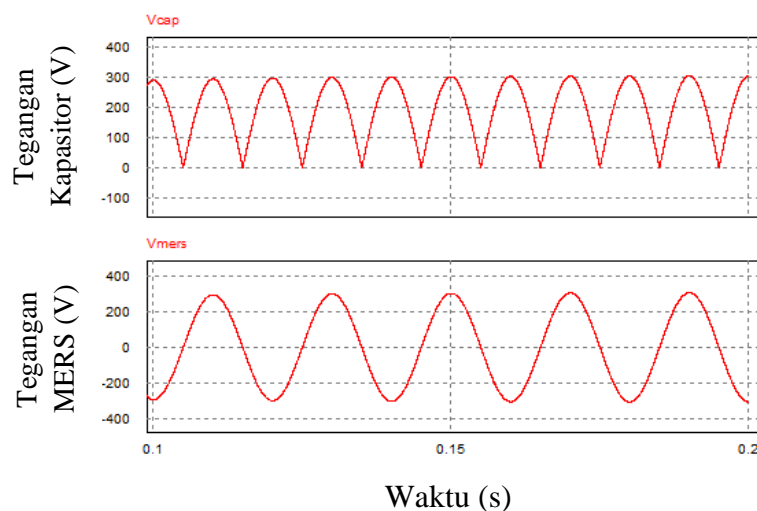
Daya reaktif dapat dikompensasi dengan melakukan pergeseran fase sinyal-sinyal gate terhadap fase tegangan saluran. Melalui metode ini, dapat diperoleh tiga mode operasi yaitu mode operasi *dc-offset*, *balance* dan *discontinuous*. Tiap mode operasi dapat diketahui dengan melihat gelombang tegangan antar ujung kapasitor [5].

Pada mode *dc-offset* tegangan dc antar ujung kapasitor memiliki nilai offset. Hal ini disebabkan waktu pengisian dan pengosongan kapasitor lebih lama dari periode *switching* atau periode setengah gelombang tegangan fundamental, sehingga saat muatan yang terdapat pada kapasitor belum kosong sepenuhnya, kapasitor sudah mulai melakukan pengisian muatan lagi. Akibatnya kapasitor masih menyimpan energi dalam bentuk tegangan *dc-offset* tersebut.



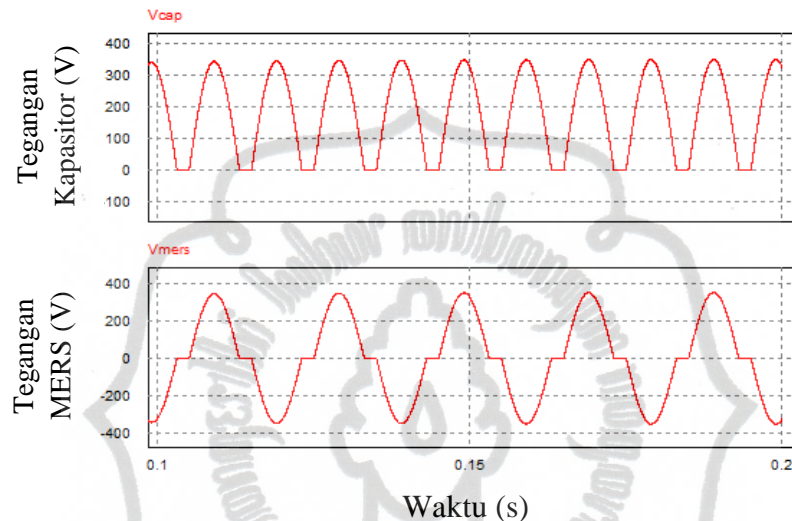
Gambar 2.6 Mode operasi *dc-offset*

Mode operasi yang kedua adalah mode operasi *balance*. Mode *balance* terjadi pada saat waktu pengisian dan pengosongan kapasitor sama dengan periode *switching* atau periode setengah gelombang. Pada mode ini, energi yang disimpan kapasitor dalam bentuk tegangan akan tersalurkan seluruhnya sesuai dengan batas maksimum berdasarkan nilai kapasitansinya.



Gambar 2.7 Mode operasi *balance*

Mode yang ketiga adalah mode *discontinuous*. Mode ini terjadi apabila pengisian dan pengosongan kapasitor lebih cepat dari periode penyaklaran atau periode setengah gelombang tegangan fundamental. Pada mode *discontinuous*, kapasitor sempat tidak bermuatan untuk sesaat, sehingga energi dalam bentuk tegangan yang disimpan oleh kapasitor berkurang dari batas maksimum yang mampu ditampung oleh kapasitor.



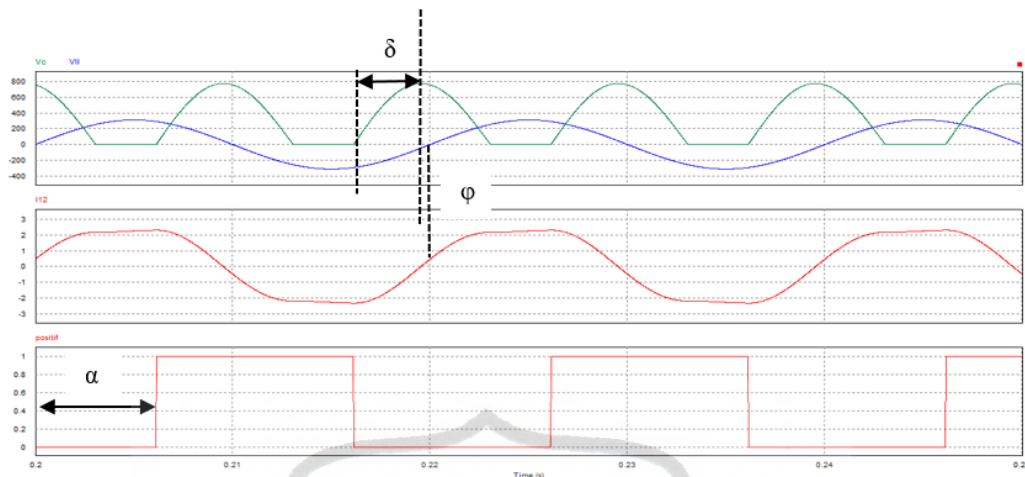
Gambar 2.8 Mode operasi *discontinuous*

2.2.3 Dasar Teori MERS

MERS yang terhubung seri berfungsi sebagai pengatur tegangan dengan mengatur waktu pengisian dan pengosongan kapasitor. Hal ini dilakukan dengan mengatur sudut pergeseran waktu penyalaan atau penyulutan dua pasang MOSFET. Hubungan antara sudut pergeseran waktu penyulutan MOSFET (α), sudut pergeseran fase *zero-cross* arus terhadap fase *zero-cross* tegangan fundamental (ϕ) dan waktu (dalam sudut) pengisian kapasitor hingga penuh (δ) diberikan pada persamaan 2.6

$$\phi = 180 - \alpha - \delta \quad (2.6)$$

ϕ bernilai negatif apabila fase arus tertinggal (*lagging*) terhadap fase tegangan. Berikut adalah gambar yang menunjukkan hubungan antara selisih fase sinyal tegangan terhadap sinyal arus (ϕ) dengan waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk terisi penuh (δ) dan sudut geser saklar (α).



Gambar 2.9 Hubungan antara selisih fase sinyal tegangan terhadap sinyal arus (ϕ) dengan waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk terisi penuh (δ) dan sudut geser saklar (α).

Perubahan sudut geser (α) mengakibatkan beda *zero-cross* fase arus dan *zero-cross* fase tegangan serta tegangan antar ujung MERS juga berubah. Semakin besar sudut geser (α) mendekati fase setengah gelombang tegangan fundamental, waktu pengisian muatan kapasitor (δ) semakin sempit sehingga tegangan antar ujung MERS menjadi semakin kecil. Daya reaktif yang dikompensasikan oleh MERS juga semakin berkurang karena daya reaktif (Q) sebanding dengan kuadrat tegangan [6].

$$Q_{MERS} = \frac{V_{MERS}^2}{X_C} \quad (2.7)$$

$$I_{MERS} = \frac{E}{X_{MERS}} \quad (2.8)$$

Maka ketiga mode operasi rangkaian MERS yaitu, mode *DC offset*, mode *balance*, dan mode *discontinuous* dapat dicapai dengan kondisi tertentu. Mode *DC offset* akan terjadi apabila nilai reaktans $X_{mers} > X_c$, mode *balance* akan terjadi apabila $X_{mers} = X_c$, sedangkan mode *discontinuous* akan terjadi jika $X_{mers} < X_c$.

2.2.4 Penelitian Sebelumnya

F. D. Wijaya, T. Isobe, K. Usuki, J. A. Wiik dan R. Shimada telah melakukan pengujian untuk menghasilkan suplai daya reaktif variabel dengan menggunakan SVC-MERS (static variabel compensator - magnetic energy recovery switch) pada sebuah generator induksi stand-alone 1,5 kW yang dihubungkan ke beban. Hasil

yang diperoleh adalah tegangan terminal generator induksi mampu dijaga tetap di tegangan rated meskipun beban semakin bertambah [7].

M. M. Ceng, D. Shiojima, T. Isobe dan R. Shimada sudah melakukan penelitian sistem distribusi yang mendapat pasokan daya dari generator induksi tipe sangkar tupai. Permasalahan pada generator tipe sangkar tupai adalah ketidakstabilan tegangan yang disebabkan oleh perubahan beban ketika tereksitasi dengan menggunakan kapasitor *bank* jenis *fixed*. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan penelitian mengenai *static var compensation* MERS (SVC-MERS). SVC-MERS menyediakan daya reaktif variabel secara terus-menerus. Pengendalian tegangan pada generator induksi dengan menggunakan SVC-MERS terbukti mampu menjaga kestabilan pada saat terjadi perubahan beban dengan respon yang cepat [8].

T. Takaku, G. Homma, T. Isobe, S. Igarashi, Y. Uchida dan R. Shimada telah melakukan pengujian terhadap generator sinkron tipe eksitasi dc (DCSG) dengan menggunakan kompensator seri MERS. Tegangan kapasitor akan mengompensasi drop tegangan di reaktans sehingga tegangan output generator bisa meningkat. Selain itu juga diketahui bahwa sistem DCSG yang menggunakan MERS membutuhkan daya eksitasi yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem tanpa MERS [9].

H. Prabowo sudah mengaplikasikan kompensator seri MERS sebagai pengendali intensitas cahaya. Pengujian dilakukan dengan merangkai MERS pada lampu *fluorescent* dan *ballast* magnetik. MERS mampu memberikan injeksi tegangan secara variabel dengan cara mengatur sudut penyulutannya. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa MERS dengan kapasitor mampu beroperasi sebagai pengendali intensitas cahaya pada dua buah lampu *fluorescent* 36 W dengan *range* pengendalian sebesar 34,4%-106,2%. Penurunan maksimum efikasi lampu adalah sebesar 8,1% sedangkan penambahan maksimumnya adalah 3% [5].

K. Hasto, Margono and M. Amiruddin sudah melakukan penelitian menjalankan motor menggunakan rangkaian kompensator seri, kontrol tegangan *input* dan faktor daya dengan menggunakan MERS. Simulasi MERS diaplikasikan untuk menjalankan motor induksi tipe sangkar tupai 2 HP. Metode yang dipakai adalah pengaturan sudut picuan MERS untuk meningkatkan faktor daya dan

mengatur lebar pulsa picuan untuk mengatur tegangan *output* untai MERS. Penelitian tersebut mampu memberikan V_{rms} sebesar 0,44V berangsur membesar sampai 220,46V dan I_{rms} sebesar 0,0008 A berangsur membesar sampai 6,68A dan dapat memperbaiki unjuk kerja motor dengan meningkatkan faktor daya menjadi mendekati 1 [10].

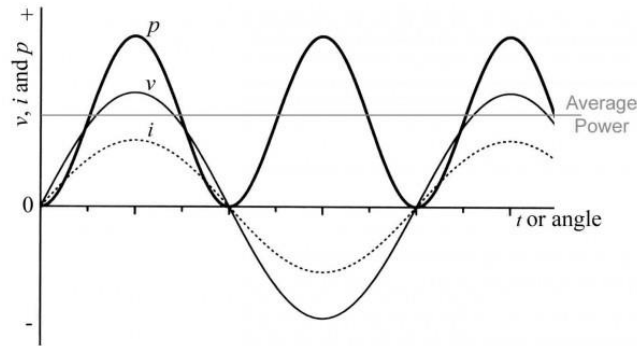
T. Isobe and R. Shimada melakukan penelitian mengenai topologi baru *power supply* dengan kemampuan tinggi dalam pemanasan induksi dengan menggunakan MERS. MERS digunakan untuk kompensasi daya reaktif yang diterapkan bersama dengan inverter dan metode *fundamental frequency switching* (FFS). Selain itu, MERS mampu mengendalikan frekuensi dan arus [11].

2.3 Beban-Beban Listrik

Beban listrik adalah suatu alat yang dapat bekerja atau berfungsi apabila dialiri arus listrik yang memiliki potensial atau dapat bekerja dengan memanfaatkan energi listrik. Contoh dari beban listrik adalah lampu, motor listrik, alat-alat elektronik, selain itu alat-alat yang digunakan untuk merubah energi listrik menjadi energi lain seperti gerak dan panas [12]. Jaringan pada listrik AC memiliki tiga jenis beban listrik yang harus ditopang oleh pembangkit listrik. Ketiga beban tersebut yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif.

2.3.1 Beban Resistif

Beban resistif dihasilkan oleh alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor) seperti pemanas dan lampu pijar. Beban resistif ini memiliki sifat yang "pasif", dimana ia tidak mampu memproduksi energi listrik, dan justru menjadi konsumen energi listrik. Resistor bersifat menghalangi aliran elektron yang melewatinya (dengan cara menurunkan tegangan listrik yang mengalir), sehingga mengakibatkan terkonversinya energi listrik menjadi panas. Dengan sifat demikian, resistor tidak akan merubah sifat-sifat listrik AC yang mengalirinya [12]. Gelombang arus dan tegangan listrik yang melewati resistor akan selalu bersamaan membentuk bukit dan lembah. Dengan kata lain, beban resistif tidak akan menggeser posisi gelombang arus maupun tegangan listrik AC.



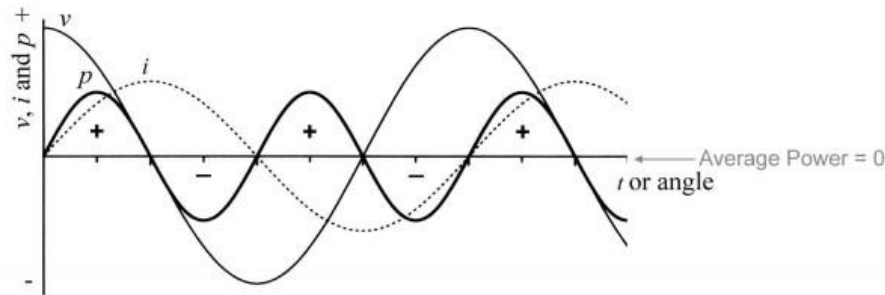
Gambar 2.10 Gelombang sinusoidal beban resistif [12]

Terlihat pada gambar 2.10 gelombang tegangan dan arus berada pada tegangan yang sama maka nilai dari daya listrik yg dihasilkan selalu positif. Oleh sebab itulah beban resistif murni ditopang oleh daya nyata.

2.3.2 Beban Induktif

Beban induktif diciptakan oleh lolotan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik dengan motor, trafo, dan relay. Kumparan dibutuhkan oleh alat-alat listrik tersebut untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Pembangkitan medan magnet pada kumparan inilah yang menjadi beban induktif pada rangkaian arus listrik AC. Sebagai contoh motor induksi bekerja dengan mengandalkan medan magnet yang dibangkitkan pada sisi stator untuk menginduksi rotor, sehingga pada rotor tercipta medan magnet lawan yang akan mengikuti medan magnet berputar pada sisi stator. Beban untuk membangkitkan medan magnet putar pada stator motor induksi tersebut, tentu membutuhkan energi listrik khusus. Beban induktif pada motor induksi inilah yang ditanggung oleh daya reaktif sumber listrik AC [12]. Sedangkan daya listrik yang dibutuhkan motor induksi tersebut untuk memutar beban yang terhubung pada porosnya, disebut dengan daya nyata. Jumlah resultan daya reaktif dan daya nyata disebut sebagai daya semu.

Kumparan memiliki sifat untuk menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik. Listrik AC memiliki nilai arus yang naik turun membentuk gelombang sinusoidal. Perubahan arus listrik yang naik turun inilah yang dihalangi oleh komponen kumparan di dalam sebuah rangkaian listrik AC. Terhalangnya perubahan arus listrik ini mengakibatkan arus listrik menjadi tertinggal beberapa derajat oleh tegangan listrik pada grafik sinusoidal arus dan tegangan listrik AC.

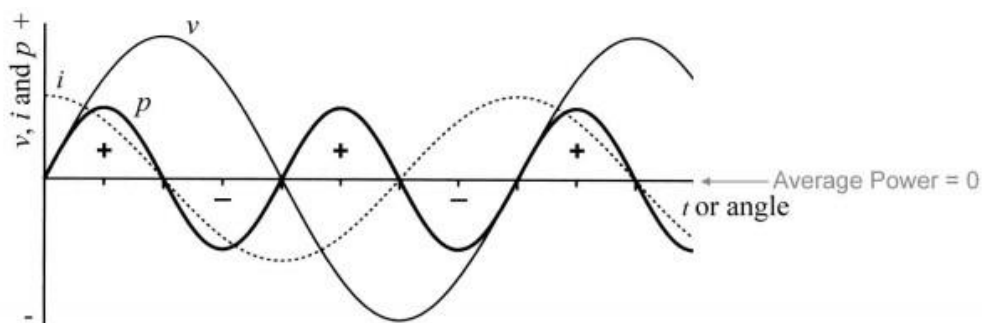


Gambar 2.11 Gelombang sinusoidal beban induktif [12]

Terlihat pada gambar 2.11 sebuah sumber listrik AC diberi beban induktif murni, maka gelombang arus listrik akan tertinggal sejauh 90° oleh gelombang tegangan. Atas dasar inilah beban induktif dikenal dengan istilah beban lagging (arus tertinggal tegangan). Dikarenakan pergeseran gelombang arus listrik di atas, maka nilai daya listrik menjadi bergelombang sinusoidal dengan rata-rata 0. Hal ini menunjukkan beban induktif murni tidak menggunakan daya nyata sedikit pun, dan hanya menggunakan daya reaktif saja.

2.3.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik AC, maka beban kapasitif bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik. Sifat ini menunjukkan bahwa kapasitor bersifat seakan-akan menyimpan tegangan listrik sesaat.



Gambar 2.12 Gelombang sinusoidal beban kapasitif [12]

2.4 Motor Induksi

Motor pada dasarnya digunakan sebagai sumber beban untuk menjalankan alat-alat tertentu atau membantu manusia dalam menjalankan pekerjaan sehari-hari, terutama dalam bidang perindustrian [13].

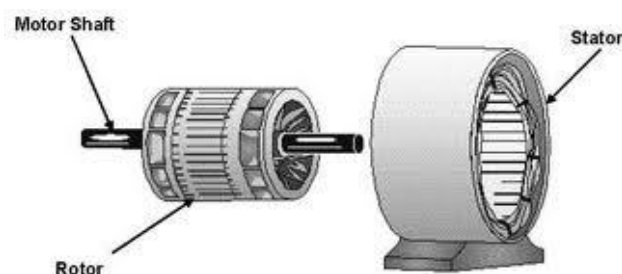
Motor AC memiliki beberapa karakteristik perawatan dan perbaikan sangat minim, pada daya yang sama ukuran fisik lebih kecil daripada motor DC, lebih murah dibandingkan dengan motor DC, mampu bekerja pada kecepatan diatas kecepatan yang tertera pada spesifikasi, dan konstruksinya kuat meskipun sederhana.

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu:

1. Motor induksi satu fasa. Motor ini hanya memiliki satu gelombang stator beroperasi dengan daya satu fasa, memiliki sebuah rotor sangkar tupai dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling sering digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cci dan pengering pakaian dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.
2. Motor induksi tiga fasa. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya tinggi. Jenis rotor sangkar tupai atau rotor lilitan dan penyalaan sendiri, diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industry menggunakan jenis ini sebagai contoh, pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik dan grinder. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan Hp.

2.4.1 Konstruksi

Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara (gap) yang jaraknya sangat kecil. Konstruksi motor induksi dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Konstruksi motor induksi [13]

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri dari susunan laminasi inti

yang memiliki alur (slot) yang menjadi tempat duduk kumparan yang dililitkan dan berbentuk silindris.

Inti stator terbuat dari lapis-lapis plat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau plat baja yang di pabrikasi. Lilitan-lilitan sama halnya dengan lilitan stator dari generator sinkron, diletakan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat [13]. Lilitan fasa ini bisa tersambung delta ataupun bintang.



Gambar 2.14 Konstruksi stator motor induksi [13]

Rotor dari motor sangkar tupai adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasang parallel dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktornya dipasang parallel dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil yaitu konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubungkan singkat dengan ujung cincin, konduktor rotor dan cincin ujung serupa dengan sangkar tupai yang berputar sehingga dinamakan demikian.



Gambar 2.15 Konstruksi rotor motor induksi [13]

2.4.2 Prinsip kerja

Bekerjanya motor induksi bergantung pada medan magnet putar yang ditimbulkan dalam celah udara motor oleh arus stator.

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi :

1. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
2. Akibat dari medan putar pada lilitan rotor timbul gaya gerak listrik (ggl).
3. Karena lilitan rotor merupakan rangkaian yang cukup tertutup, ggl akan menghasilkan arus.
4. Adanya arus dalam medan magnet menimbulkan gaya pada rotor.
5. Bila torka mulai yang dihasilkan oleh gaya pada rotor cukup besar untuk memulai torka beban, rotor akan berputar searah dengan medan stator.
6. Agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relative antara kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan berputar rotor.
7. Perbedaan kecepatan antara (N_s) dan (N_r) disebut slip, dinyatakan dengan rumus

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \quad (2.9)$$

8. Bila (N_s) = (N_r), tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada lilitan rotor, dengan demikian tidak dihasilkan torka. Torka motor akan timbul apabila (N_r) lebih kecil dari (N_s).
9. Dilihat dari cara kerjanya motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2.4.3 Frekuensi rotor

Jika motor induksi 60 Hz dua kutub (kecepatan sinkron = 3600 rpm) bekerja pada slip 5%, slip dalam putaran setiap menitnya $3600 \times 0,05$ atau 180 rpm. Ini berarti bahwa sepasang kutub stator melewati konduktor rotor tertentu 180 kali setiap menit, atau tiga kali setiap detik. Jika sepasang kutub bergerak melewati konduktor, satu siklus ggl diinduksikan dalam konduktor. Jadi konduktor yang dikemukakan diatas akan menginduksikan ggl didalamnya dengan frekuensi rotor menjadi 60 Hz. Maka jelaslah bahwa frekuensi rotor bergantung pada slip. Makin besar slip makin besar frekuensi rotor [13]. Untuk setiap harga slip, frekuensi rotor

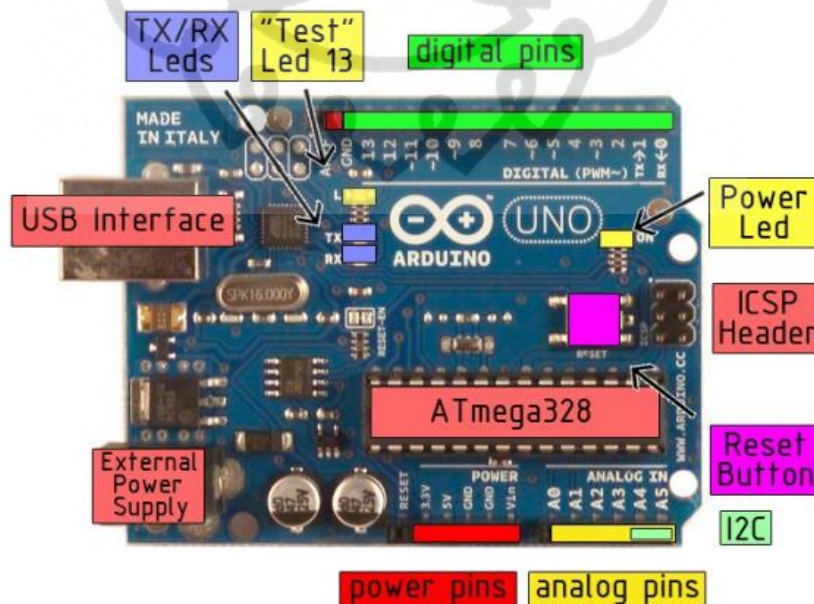
(f_r) sama dengan frekuensi stator (f_s) dikalikan dengan slip (S) yang dinyatakan dengan desimal.

Frekuensi rotor sangat berarti, karena jika saja berubah maka reaktansi rotor juga berubah, berarti mempengaruhi karakteristik start maupun karakteristik jalan motor.

2.5 Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang menggunakan IC ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin masukan atau keluaran digital (6 diantaranya dapat digunakan untuk PWM), 6 masukan analog, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP, *external interrupt* dan tombol reset. *External interrupt* merupakan fitur yang digunakan dalam penelitian ini. Arduino Uno berbeda dengan papan sebelumnya karena tidak menggunakan *driver* FTDI USB ke serial. Sebaliknya, fitur ATmega8U2 diprogram sebagai konverter USB ke serial [14].

Mikrokontroler arduino memiliki beberapa kemasan, salah satunya ada arduino uno. Konfigurasi pin tersebut dapat dilihat pada gambar 2.16



Gambar 2.16 Konfigurasi pin Arduino Uno

2.5.1 Pin power

Pin power pada arduino uno memiliki fungsi pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Fungsi pin power arduino uno [14]

PIN	Fungsi
VIN	Tegangan input ke papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (hamper sama dengan 5 volt dari koneksi USB atau sumber daya teregulasi lainnya). Dapat menyuplai tegangan melalui pin ini.
5V	Catu daya yang diatur digunakan untuk menyalakan mikrokontroler dan komponen lain di papan. Ini dapat berasal dari VIN melalui regulator on-board, atau dipasok oleh USB atau pasokan 5V lainnya yang diatur.
3V3	Suplai 3,3 volt yang dihasilkan oleh regulator pada papan arduino uno. Daya tarik arus maksimum adalah 50 mA.
GND	Pin <i>ground</i> .

2.5.2 Pin Digital

Pin digital pada arduino uno digunakan sebagai masukan dan keluaran, menggunakan pinMode(), digitalWrite(), dan digitalRead(). Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40mA. Selain itu, ada beberapa pin yang memiliki fungsi khusus, yaitu:

Tabel 2.2 Fungsi khusus pada pin digital [14]

Pin	Fungsi
Serial : 0 (RX) dan 1 (TX)	Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data serial TTL.
<i>External Interrupts</i> : 2 dan 3	Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai rendah, tepi naik atau turun, atau perubahan nilai. Lihat fungsi attachInterrupt()
PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11	Menyediakan output PWM 8-bit dengan fungsi analogWrite().

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK)	Pin ini mendukung komunikasi SPI, yang meskipun disediakan oleh perangkat keras yang mendasarinya, saat ini tidak termasuk dalam bahasa Arduino.
LED: 13	Ada built in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin adalah nilai TINGGI, LED menyala, ketika pin RENDAH, itu mati.

2.5.3 Pin Analog

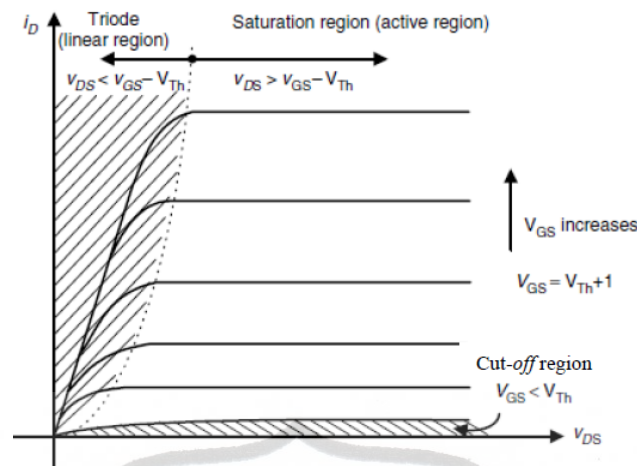
Arduino uno memiliki 6 pin input analog, masing-masing menyediakan 10 bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default, mereka mengukur dari tanah ke 5 volt, untuk mengubah jangkauan mereka menggunakan pin AREF dan fungsi `analogReference()`. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

Tabel 2.3 Fungsi khusus pada pin analog [14]

Pin	Fungsi
I ² C: 4 (SDA) dan 5 (SCL)	Mendukung komunikasi I ² C (TWI) menggunakan <i>Wire library</i> .
AREF	Tegangan referensi untuk input analog. Digunakan dengan <code>analogReference()</code> .
Reset	Beri masukan <i>LOW</i> untuk me-reset mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset.

2.6 MOSFET

Metal oxide semiconductor field effect transistor (MOSFET) merupakan salah satu jenis saklar semikonduktor yang sering digunakan karena memiliki karakteristik kecepatan penyaklaran yang paling tinggi [15]. MOSFET merupakan saklar yang dikendalikan oleh tegangan.

Gambar 2.17 Karakteristik I_D vs V_{DS} [15]

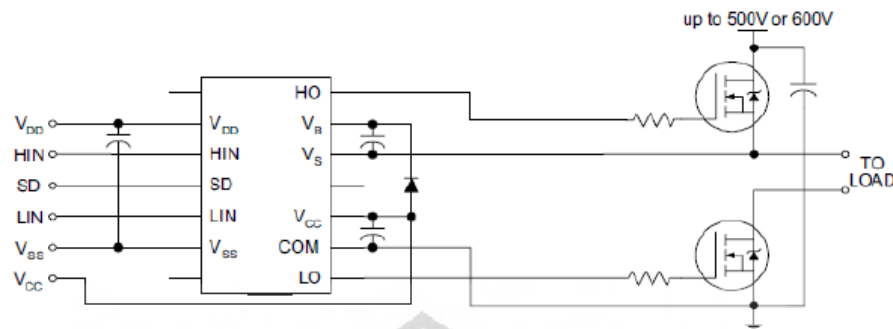
Wilayah kerja MOSFET dapat dibagi 3 yaitu, *triode region*, *saturation region*, dan *cut-off region*. Pada saat melakukan fungsinya sebagai saklar, MOSFET hanya bekerja pada dua daerah yaitu *triode region* dan *cut-off region*. Saat digunakan sebagai saklar, MOSFET hanya bekerja pada dua daerah yaitu *triode region* dan *cut-off region*. MOSFET bekerja pada *cut-off region* saat tegangan antara MOSFET dan *source* kurang dari tegangan *threshold*. Pada kondisi ini dapat dikatakan bahwa MOSFET dalam keadaan *off* dan tidak mengalirkan arus. Jika tegangan antara MOSFET dan *source* melebihi tegangan *threshold*, MOSFET bekerja pada *saturation region* (kanal mengalami *pinched-off* dimana tegangan *threshold* sama dengan tegangan antara MOSFET dan *source*, arus *drain* bernilai konstan) dan *triode region* (kanal tidak mengalami *pinched-off* sama sekali, arus *drain* sebanding dengan hambatan kanal).

Pada penelitian ini MOSFET yang digunakan adalah MOSFET kanal N IRF840. IRF840 dapat mengalirkan arus secara berkelanjutan sampai 8A dengan nilai R_{DS} sebesar 0.85Ω dan dapat bekerja pada tegangan antara *drain* dan *source* maksimal 500 V.

2.7 Rangkaian Penggerak

Rangkaian dengan topologi *full-bridge* memiliki permasalahan pada saat penyaklaran, khususnya untuk saklar sisi atas. Permasalahan yang terjadi adalah tegangan *source* MOSFET sisi atas akan sama dengan tegangan di rel atau *DC link* apabila saklar sisi atas aktif. Oleh karena itu diperlukan *floating supply* pada *source* MOSFET sisi atas untuk mempertahankan nilai beda tegangan antara *gate* dan

source agar tetap pada 10 V – 20 V. Beda tegangan ini harus dipertahankan agar MOSFET tetap aktif [15].



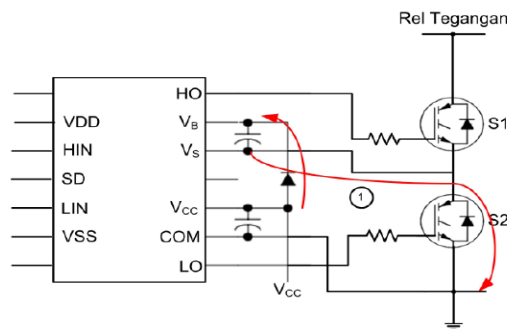
Gambar 2.18 Konfigurasi IR2110 secara umum.

Terdapat beberapa metode untuk menyediakan *floating supply* untuk masukan *source* MOSFET sisi atas yaitu dengan menggunakan *pulse transformer*, *optocoupler* dan IC penggerak untuk menyediakan *floating supply* untuk MOSFET sisi atas. IC yang digunakan adalah IR2110. Teknik *bootstrap* digunakan IC ini untuk menyediakan *floating supply*.

IR2110 memiliki rating tegangan sebesar 500 V dengan arus maksimumnya sebesar 2 A. Untuk system dengan topologi *full-bridge* dibutuhkan dua buah IC IR2110, karena satu IC IR2110 dapat menyalakan dua buah MOSFET. Fungsi masing-masing pin IR2110 dijelaskan oleh Tabel 2.

Tabel 2.4 Fungsi masing-masing pin IR2110

Pin	Fungsi
V _{DD}	<i>Logic supply</i> . Sebagai suplai tegangan bagi rangkaian logika IR2110.
HIN	Masukan logika untuk keluaran <i>gate-drive</i> sisi atas (HO).
SD	Masukan logika untuk mematikan keluaran IR2110.
LIN	Masukan logika untuk keluaran <i>gate-drive</i> sisi bawah (LO).
V _{SS}	<i>Logic ground</i> . Titik referensi (<i>ground</i>) bagi rangkaian logika.
V _B	<i>Floating supply</i> untuk sisi atas, terhubung ke kapasitor <i>bootstrap</i> .
HO	Keluaran <i>gate-drive</i> sisi atas.
V _S	Suplai untuk sisi bawah.
V _{CC}	Suplai untuk sisi bawah.
LO	Keluaran <i>gate-drive</i> sisi bawah.
COM	<i>Ground</i> atau titik referensi bagi sisi bawah.



Gambar 2.19 Prinsip kerja *floating supply* pada IR2110

Rangkaian dan arah arus IR2110 saat mengisi kapasitor *bootstrap* untuk menyediakan *floating supply* saklar sisi atas ditunjukkan pada gambar 2. Ketika saklar sisi bawah (S2) *on*, diode dalam keadaan bias maju dan mengisi kapasitor *bootstrap* sampai mencapai V_{CC} . Ketika S1 *on* dan S2 *off*, maka diode dalam keadaan bias mundur dan rangkaian sisi atas disuplai oleh kapasitor *bootstrap*. Namun, terdapat batasan pada frekuensi penyaklaran tinggi karena *duty cycle* dan waktu in dari isyarat penyaklaran akan dibatasi oleh kebutuhan pengisian kapasitor *bootstrap* tidak boleh terlalu kecil atau terlalu besar karena akan berpengaruh pada besar tegangan kapasitor yang tidak mencapai nilai nominalnya.

2.8 Monitoring Daya

Monitoring daya listrik adalah alat yang digunakan untuk melihat pemakaian daya yang sudah digunakan, hal ini diperlukan untuk mengetahui besaran listrik terhadap waktu, sehingga dapat diketahui kualitas pasokan energi listrik pada sistem, terjadi tidaknya gangguan dan besar konsumsi listrik secara berkala [16].

Besaran yang diukur pada monitoring daya adalah

1. Arus listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan yang mengalir pada sebuah penghantar dalam waktu satu detik (*coulombs per second*) yang diukur dalam satuan ampere (A) [16].

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.10)$$

Dimana,

I : Arus listrik dalam satuan ampere (A)

Q : Muatan listrik dalam satuan coulomb (C)

t : Waktu dalam satuan detik (s)

2. Tegangan listrik

Tegangan listrik adalah besarnya beda energi potensial antara dua buah titik yang diukur dalam satuan volt (V). Tegangan dapat juga diartikan sebagai *joule per coulomb*. Misalkan sebuah baterai memiliki tegangan sebesar 12,6 V, itu berarti setiap muatan 1 *coulomb* menyediakan energi 12,6 joule. Jika sebuah lampu dihubungkan ke baterai tersebut maka setiap muatan 1 coulomb yang mengalir melalui lampu akan mengkonversi energi sebesar 12,6 joule menjadi energi panas dan energi cahaya [16].

$$V = \frac{E}{Q} \quad (2.11)$$

Dimana,

V : Tegangan dalam satuan volt (V)

E : Energi dalam satuan joule (J)

Q : Muatan dalam satuan coulomb (C)

3. Daya listrik

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir setiap detik atau *joule per second* yang diukur dalam satuan watt (W) [16]. Daya listrik dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$E = P \times t$$
$$P = \frac{E}{t} \quad (2.12)$$

Dimana,

P = Daya dalam satuan watt (W)

E = Energi dalam satuan joule (J)

t = Waktu dalam satuan detik (s)

Energi listrik dapat juga didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan waktu selama waktu tersebut. Satuan SI untuk energi listrik adalah Joule (J), namun dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal dengan kiloWatt-hour (kWh).

4. Faktor daya

Sudut fasa θ muncul akibat adanya selisih fasa antara fasa tegangan dan fasa arus, jika rangkaian bersifat induktif maka fasa arus akan tertinggal dari fasa tegangan, jika rangkaian bersifat kapasitif maka fasa arus akan mendahului fasa tegangan, sedangkan jika rangkaian bersifat resistif maka arus akan sefasa dengan tegangan sehingga sudut fasa $\theta = 0$. Dengan adanya sudut fasa θ maka akan muncul sebuah besaran yang disebut Faktor daya atau *power factor* (p.f) yang merupakan nilai cosinus dari besar sudut fasa θ [16].

Faktor daya sering digunakan sebagai indikator baik atau buruknya pasokan daya pada sebuah sistem. Nilai pf tidak akan lebih besar dari satu (1), jika nilai pf semakin mendekati 1 maka akan semakin baik bagi sistem.

2.9 Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah struktur dimana objek, orang disediakan dengan identitas eksklusif dan kemampuan untuk pindah data melalui jaringan tanpa memerlukan dua arah antara manusia ke manusia yaitu sumber ke tujuan atau interaksi manusia ke komputer [17].

Menurut beberapa penelitian Internet of Things sudah banyak diterapkan di beberapa bidang keilmuan dan industri, seperti dalam bidang ilmu kesehatan, informatika, geografis dan beberapa bidang ilmu lain.

Semakin berkembang teknologi internet serta berkembangannya keperluan komunikasi data dan manusia maka akan terus muncul berbagai macam teknologi, dalam tulisan ini penulis memaparkan sejarah, teknologi dan penerapan internet of things. Dalam perkembangannya IoT menjadi topik penelitian yang terus bisa dilanjutkan dalam berbagai bidang [17].

Pada penelitian ini, IoT digunakan untuk menampilkan monitoring daya dari beban MERS.