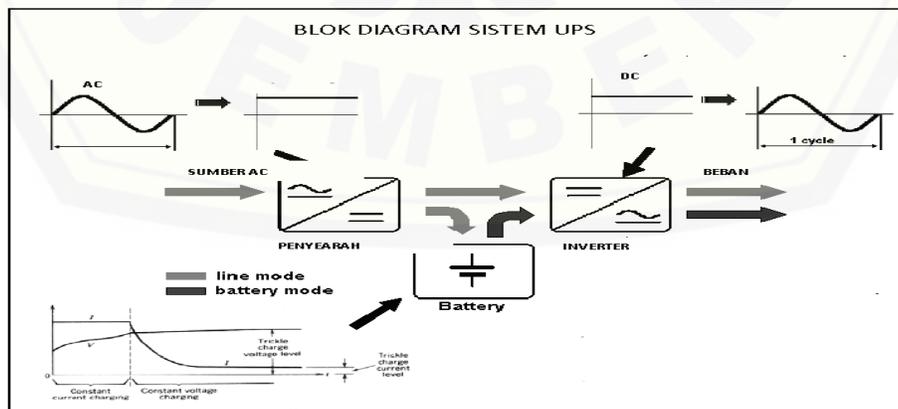


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 UPS (Uninterruptible Power Supply)

Uninterruptible Power Supply (UPS) adalah perangkat yang menggunakan baterai backup sebagai caduan daya alternatif, untuk dapat memberikan suplai daya sementara yang tidak terganggu untuk perangkat elektronik yang terpasang. UPS merupakan sistem penyedia daya listrik yang sangat penting dan diperlukan sekaligus dijadikan sebagai benteng dari kegagalan daya serta kerusakan system dan hardware

Secara umum UPS terdiri dari tiga komponen utama yaitu *rectifier* (penyearah), baterai dan *inverter*. Prinsip kerja dari UPS secara umum terdiri atas 2 mode yaitu mode normal dan mode *back up*. Dalam mode normal, *rectifier* menyearahkan tegangan AC menjadi DC yang digunakan untuk mengisi baterai dan menyuplai beban dengan melalui inverter terlebih dahulu. Sedangkan dalam mode *Back up* atau saat terjadi gangguan di suplai listrik utama, baterai menggantikan peran suplai utama untuk menyuplai beban. Pada keadaan ini, *inverter* akan mengubah tegangan DC baterai menjadi tegangan. Selanjutnya tegangan AC keluaran dari *inverter* kemudian dilewatkan filter inverter untuk mengurangi harmonisa orde tinggi sehingga didapatkan tegangan AC yang diinginkan.



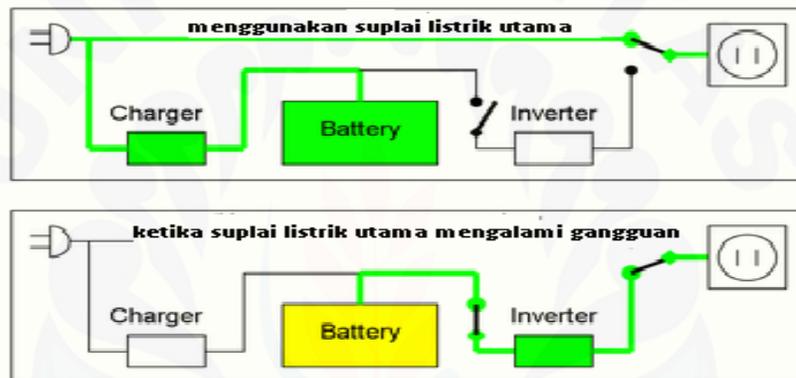
Gambar 2.1 Blok Diagram UPS

2.1.1 Macam Topologi UPS

Menurut standar IEC 62040-3 yang dikeluarkan oleh *International Electrotechnical Commission*, topologi UPS dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

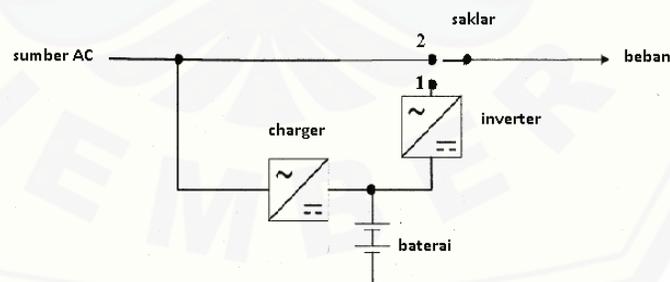
1. *Off-Line / standby*

Pada *Off-Line / standby* UPS, beban system secara langsung disuplai oleh sumber listrik utama dan baterai akan bekerja menggantikan suplai listrik utama jika suplai listrik utama mengalami kegagalan atau gangguan. Blok diagram sistem kerja standby UPS ditunjukkan pada gambar 2.2.

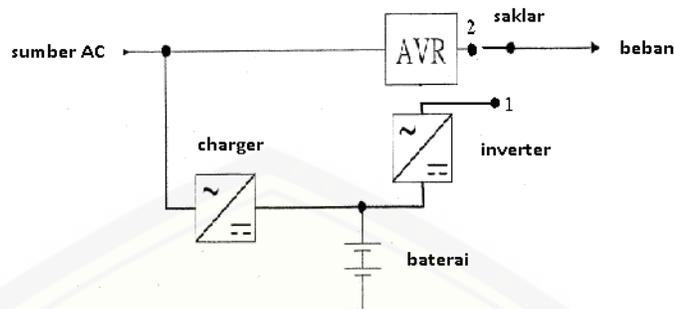


Gambar 2.2 Blok diagram sistem kerja standby UPS

Blok rangkaian Offline UPS adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3 Blok Rangkaian *Off-line* UPS



Gambar 2.4 Blok Rangkaian *Off-line* UPS dengan AVR

Inverter dihubungkan paralel terhadap beban dan bekerja secara sederhana untuk menyalurkan daya pada beban. Mode operasi dari *Off-line* UPS ini dibagi menjadi 2 mode sesuai dengan posisi *switch* yaitu :

a. Normal mode

Pada mode ini, *switch* berada pada posisi 2, sehingga tegangan pada beban disuplai secara langsung oleh sumber AC dari PLN. Pada umumnya sebelum sampai pada beban terdapat peralatan tambahan seperti AVR yang berfungsi sebagai stabilisator tegangan. Pada saat mode ini juga baterai mengalami *charge* atau pengisian energi listrik.

b. *Back Up / Stored Energy* mode

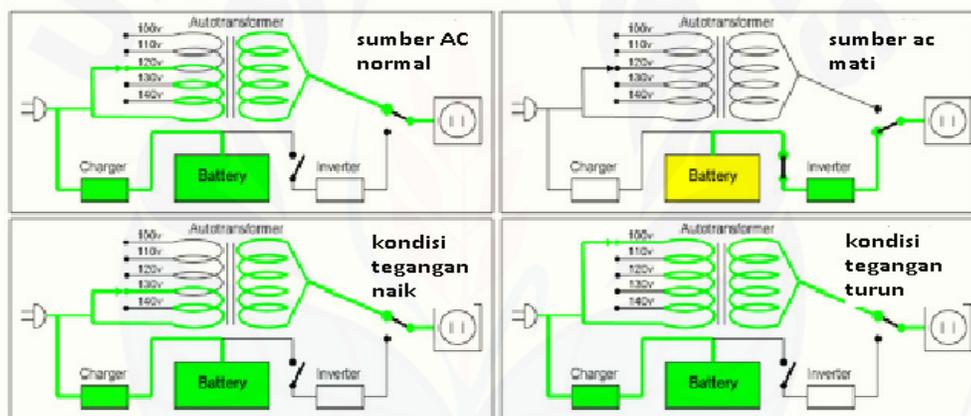
Ketika tegangan AC pada input UPS diluar spesifikasi tegangan yang diperbolehkan, *switch* akan berpindah dari posisi 2 ke posisi 1. Pada saat ini, tegangan pada beban disuplai oleh baterai yang sebelumnya telah dilakukan konversi tegangan DC pada baterai menjadi AC oleh *inverter*. Pergantian mode dari normal menuju *back up* mengakibatkan adanya waktu tunda *switching* dari posisi 2 ke posisi 1. UPS ini beroperasi sampai tegangan pada sisi input kembali pada keadaan normal.

UPS jenis ini mempunyai beberapa kelebihan seperti desain yang sederhana, biaya yang rendah, dan bentuk fisik yang relatif kecil. Kekurangan yang terdapat pada sistem ini yaitu kurangnya perlindungan atau sistem proteksi beban terhadap regulasi tegangan output, adanya waktu tunda *inverter* menyuplai tegangan pada beban. Waktu *switching* pergantian mode normal menuju mode

back up hanya dapat diijinkan untuk peralatan tertentu. Peralatan listrik lain yang sangat sensitif dan membutuhkan kekontinuitasan daya yang sempurna kurang sesuai menggunakan UPS jenis ini.

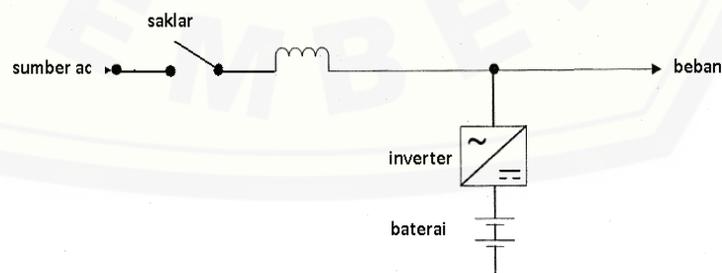
2. *Line-Interactive*

Pada *line-interactive* UPS, prinsip operasinya hampir sama dengan *offline/standby* UPS tetapi dengan penambahan multi-tap variable-voltage autotransformer. Ini adalah tipe khusus dari transformer elektronik yang dapat menambah atau mengurangi lilitan kawat sehingga menambah atau mengurangi medan magnet dan tegangan keluaran dari transformer. Blok diagram sistem kerja *line interactive* UPS ditunjukkan pada gambar 2.5.

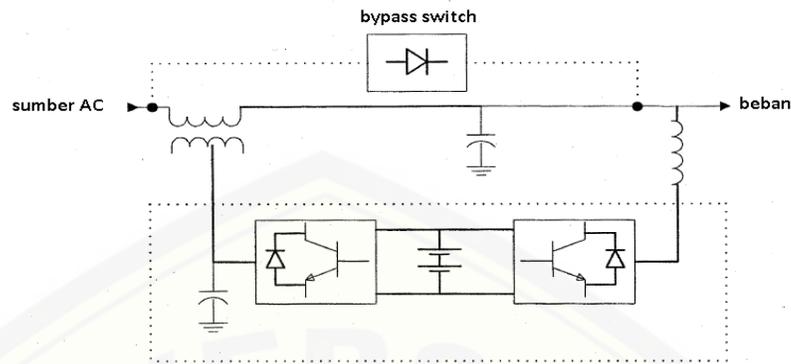


Gambar 2.5 Blok diagram sistem kerja line interactive UPS

Rangkaian UPS jenis ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.



Gambar 2.6 *Line-Interactive* UPS dengan *Bidirectional* Inverter



Gambar 2.7 *Line-Interactive* UPS dengan Dua Konverter

Pada gambar 2.6, UPS jenis ini memerlukan induktor yang dipasang secara seri pada input dan bilateral inverter yang dipasang secara paralel dengan beban. Sedangkan pada Gambar 2.7 menggunakan dua konverter. Untuk konverter yang pertama dihubungkan secara seri dengan input, dan yang kedua dihubungkan secara paralel dengan beban. Pengoperasian dari UPS ini dibagi menjadi :

a. Normal mode

Pada mode ini, beban disuplai oleh sumber AC dari PLN. Pada saat ini juga baterai mengalami charge atau pengisian energi listrik melalui inverter bidirectional.

b. *Back Up / Stored Energy* mode

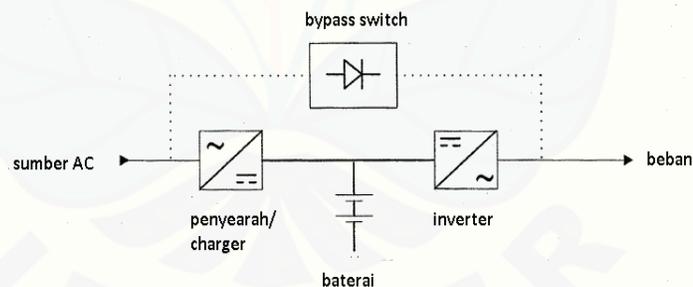
Ketika tegangan AC pada input UPS diluar spesifikasi tegangan yang diperbolehkan, tegangan DC pada baterai akan menggantikan sebagai penyuplai daya pada beban dengan diubah menjadi tegangan AC oleh inverter. Pada mode ini switch pada input akan open sehingga arus listrik tidak akan mengalir ke sumber PLN. Pergantian switch dari normal mode ke back up mode seolah-olah tidak terputus sehingga hampir tidak ada waktu switching.

UPS jenis ini mempunyai beberapa kelebihan seperti regulator tegangan yang lebih baik dari pada konvensional UPS, menyuplai tegangan pada beban dengan tanpa waktu tunda saat terjadi gangguan, mempunyai kemampuan untuk mereduksi harmonisa dengan berfungsi sebagai filter aktif. Kekurangannya adalah biayanya yang relatif lebih mahal dari pada konvensional, dan memerlukan algoritma kontrol yang kompleks.

3. *Double Conversion (On-Line)*

Prinsip dasar dari *Double Conversion (On-Line)* UPS juga hampir sama dengan *Off-Line / standby* UPS dan *Line-Interactive* UPS tetapi dengan biaya pembuatan yang lebih mahal dengan adanya rectifier / charger AC-ke-DC yang lebih baik dan inverter yang bekerja terus menerus tanpa adanya waktu tunda (switching) dengan system pendingin yang lebih baik.

On-line UPS secara kontinyu menyuplai daya pada beban melalui rectifier dan inverter baik pada saat normal mode maupun keadaan gangguan pada sumber PLN sehingga pada UPS jenis ini ada atau tidak ada gangguan akan mengalami dua proses konversi. Ketika terjadi gangguan, energi pada baterai melalui inverter akan menggantikan peran sumber utama untuk memberi daya pada beban. Dapat dikatakan pula bahwa UPS ini memberikan sistem proteksi pada beban secara kontinyu ketika sumber PLN mengalami perubahan tegangan. UPS ini memiliki performa yang paling baik dari pada jenis UPS yang lain, tetapi biaya pembuatannya paling besar diantara yang lainnya. Gambar 2.8 menunjukkan rangkaian dari On-Line UPS.



Gambar 2.8 Blok Rangkaian *On Line* UPS

2.2 Komponen-Komponen Dalam UPS

Komponen-komponen dasar penyusun UPS terdiri atas 3 komponen utama yaitu :

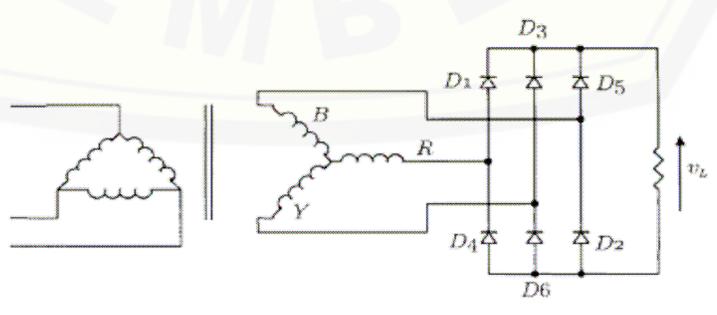
1. Rectifier, yang berfungsi sebagai penyearah tegangan bolak-balik(ac) dari sumber utama yang nantinya akan digunakan untuk pengisian baterai. Rectifier yang digunakan adalah penyearah jembatan tiga fasa
2. Baterai, yang berfungsi sebagai cadangan energi listrik jika suplai listrik utama mengalami gangguan.
3. Inverter, yang berfungsi sebagai pengubah tegangan searah (DC) yang berasal dari baterai menjadi tegangan bolak-balik (AC) untuk menyuplai tegangan pada beban. Inverter yang digunakan adalah inverter tiga fasa

Selain ketiga komponen dasar tersebut, memungkinkan terdapat juga komponen-komponen lain yang digunakan seperti switch, induktor, AVR, filter, DC-DC konverter dan lain-lain yang penggunaannya tergantung sesuai dengan topologi masing-masing UPS.

2.2.1 Penyearah (*Rectifier*) Jembatan Tiga Fasa

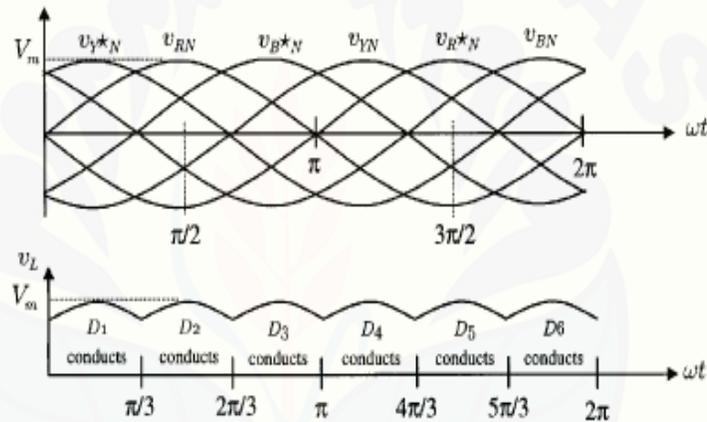
Rangkaian penyearah merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Rangkaian penyearah atau rectifier terdiri atas berbagai jenis, namun yang digunakan pada UPS adalah rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa dan jenis penyearah jembatan tiga fasa.

Penyearah Jembatan tiga fasa biasanya digunakan pada aplikasi dengan menggunakan daya tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut ini :



Gambar 2.9 Penyearah Jembatan Tiga Fasa

Rangkaian penyearah ini merupakan penyearah gelombang penuh yang dapat dioperasikan dengan atau tanpa trafo yang memberikan 6 pulsa ripple pada tegangan keluaran dioda, seperti yang ditunjukkan gambar 2.10. Dioda dapat diberi nomor berdasarkan urutan konduksi pada setiap sudut, untuk tiap konduksinya adalah 120° . Pasangan dioda yang dihubungkan diantara pasangan jalur sumber memiliki jumlah tegangan line to line instaneous tertinggi akan konduksi. Tegangan line to line sebesar $\sqrt{3}$ kali tegangan jala sumber tiga fasa yang terhubung wye.



Gambar 2.10 Bentuk Gelombang Tegangan Penyearah Jembatan Tiga Fasa

Bentuk tegangan keluaran rata-rata ditentukan dari :

$$\begin{aligned}
 V_{dc} &= \frac{1}{2\pi} \times 6 \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{3} V_m \sin \omega t d(\omega t) & (2.1) \\
 &= \frac{3}{2\pi} \times \sqrt{3} V_m \sin \omega t d(\omega t) \\
 &= \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \times V_m (\cos \omega t) \Big|_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \\
 &= 1.654 V_m & (2.2)
 \end{aligned}$$

Untuk tegangan keluaran rms (V_{rms}) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= \left\{ \frac{1}{2\pi} \times 6 \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{3} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right\}^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left\{ \frac{3}{\pi} \times 3 V_m^2 \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \sin^2 \omega t d(\omega t) \right\}^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left\{ \frac{9 V_m^2}{\pi} \times \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \sin^2 \omega t d(\omega t) \right\}^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left\{ \frac{9 V_m^2}{\pi} \times \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \frac{(1 - \cos 2\omega t)}{2} d(\omega t) \right\}^{\frac{1}{2}} \\
 &= 1.6554 V_m \tag{2.3}
 \end{aligned}$$

Bila beban resistif murni, arus puncak yang melalui dioda adalah

$$I_m = \frac{\sqrt{3} V_m}{R} \tag{2.4}$$

Nilai rms arus (I_{rms}) dioda adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{rms} &= \left\{ \frac{2}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{6}} I_m^2 \cos^2 \omega t d(\omega t) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad I_{rms} = I_m \left\{ \frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{6} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \\
 &= 0.55181 I_m \tag{2.5}
 \end{aligned}$$

Sedangkan nilai arus sekunder maksimum trafo adalah :

$$I_s = \left\{ \frac{8}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{6}} I_m^2 \cos^2 \omega t d(\omega t) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$I_s = \left\{ \frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{6} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.7804 I_m \quad (2.6)$$

dimana I_m adalah arus puncak line sekunder.

2.2.2 Baterai

Baterai tersusun atas satu atau lebih sel volta yang digunakan untuk menyimpan energy kimiawi yang nantinya akan diubah ke energy listrik. Masing-masing sel volta pada baterai tersusun atas 2 elektroda yang dihubungkan seri oleh elektrolit. Setiap sel memiliki terminal positif dan negatif. Arus dapat mengalir antara 2 elektroda karena adanya elektrolit yang memungkinkan ion-ion berpindah antar elektroda. Energi listrik yang dihasilkan dari reaksi kimiawi pada sel baterai adalah *emf* (*electro motive force*), besarnya *emf* berbeda-beda bergantung pada jenis elektroda dan elektrolit yang digunakan. Tegangan terminal baterai saat *open circuit* bernilai sama dengan *emf*-nya. Saat kondisi *discharge* tegangan terminal baterai lebih kecil dari *emf*, dan saat kondisi *charge* tegangan terminalnya lebih besar dari *emf*.

Semakin banyak bahan elektrolit dan elektroda di dalam sel baterai, maka semakin besar pula kapasitas dari sel tersebut. Oleh karena itu, sebuah sel berukuran kecil mempunyai kapasitas yang lebih kecil bila dibandingkan dengan sel yang lebih besar. Walaupun keduanya bergantung pada reaksi kimia yang sama yang akan menghasilkan tegangan terminal yang sama pula, namun kapasitas baterai juga bergantung pada kondisi *discharge*-nya seperti besar arus, lamanya penggunaan, batas-batas tegangan yang diijinkan, suhu, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi.

Kapasitas yang tersedia pada baterai bergantung pada rating *discharge*. Jika baterai *discharge* pada rating yang cukup tinggi, maka kapasitas tersedianya akan lebih rendah dari yang diharapkan. Karenanya, sebuah baterai dengan rating 100 A.h (ampere x jam) akan menghantarkan arus sebesar 20 ampere selama 5 jam. Tetapi bila dioperasikan untuk menghantarkan arus sebesar 50 ampere, maka baterai hanya akan beroperasi selama 2 jam. Saat dioperasikan pada rating rendah, baterai akan menghantarkan energi lebih efisien dibandingkan dengan pengoperasian pada rating yang lebih tinggi. Contoh baterai yang digunakan pada UPS adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Contoh Baterai pada UPS

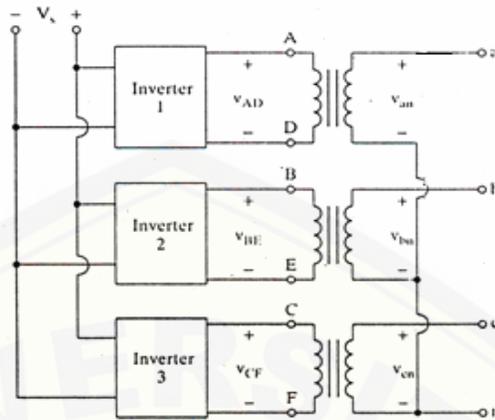
2.2.3 Inverter Tiga Fasa

Inverter adalah peralatan elektronik yang mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC dengan besar magnitudo dan frekuensi yang diinginkan. Inverter menjalankan tugasnya dengan melakukan 2 fungsi utama yaitu menkonversi DC menjadi AC lalu menaikkan keluaran AC tersebut dengan transformator. Tegangan output bisa dibuat tetap atau variabel pada frekuensi tetap atau frekuensi yang bisa diubah. Besarnya output tegangan yang diinginkan dapat dicapai dengan 2 cara yaitu cara pertama dengan merubah besarnya tegangan input DC sedangkan gain dari inverter dijaga konstan, dan cara kedua adalah jika tegangan input DC tetap, gain dari inverter yang diubah-ubah. *Inverter gain* didefinisikan sebagai ratio antara tegangan output AC dengan tegangan input DC. Untuk inverter yang ideal bentuk sinyal outputnya berupa *sinusoidal*. Namun pada praktiknya, output dari inverter berbentuk *nonsinusoidal* dan mengandung

harmonisa. Untuk pemakaian dengan peralatan semikonduktor kecepatan tinggi kandungan harmonisanya bisa dikurangi dengan teknik switching tertentu.

Secara umum inverter dibagi menjadi dua bagian yaitu: inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Sedangkan berdasarkan konfigurasi rangkaian inverter dikelompokkan menjadi: *full bridge inverter* dan *half bridge inverter*. Peralatan elektronika daya yang dipakai untuk inverter, antara lain: *bipolar junction transistors* (BJT_s), *metal oxide semiconductor field-effect transistors* (MOSFET), *insulated-gate bipolar transistor* (IGBT), *metal oxide semiconductor-controlled thyristors* (MCT_s), *static induction transistors* (SIT_s), *gate-turn-off thyristors* (GTO_s). Pemakaian peralatan tersebut dipilih didasarkan pada jenis penerapannya. Inverter biasanya memakai sinyal kontrol PWM untuk menghasilkan tegangan output AC. Inverter dikatakan sumber tegangan (*Voltage fed Inverter*) jika tegangan inputnya dibuat konstan, dan dikatakan sumber arus (*Current Fed Inverter*) jika arus inputnya dijaga konstan. Jika tegangan inputnya merupakan tegangan terkendali atau tegangan inputnya merupakan tegangan yang bisa diatur, maka inverter ini bisa disebut *variable DC linked inverter*.

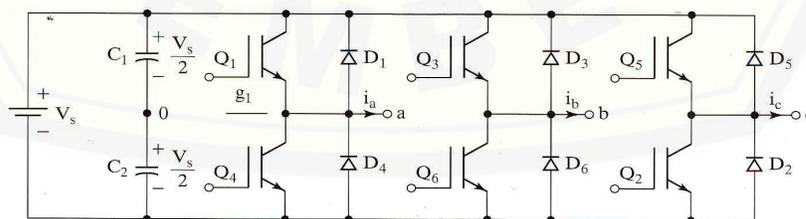
Inverter sumber tegangan tiga fasa adalah peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC) 3 fasa. *Inverter* tiga fasa dapat dibuat dari menggabungkan tiga buah *inverter* satu fasa yang dihubungkan secara paralel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, namun sinyal gate setiap *inverter* satu fasa harus berjarak 120° satu sama lainnya. Hal ini dilakukan agar didapatkan tegangan tiga fasa yang seimbang. Jumlah switch yang dibutuhkan dalam rangkaian ini adalah sebanyak 12 buah. Jika tegangan output dari inverter satu fasa tidak seimbang dalam magnitudenya dan fasanya, maka dapat mengakibatkan tegangan output tiga fasa juga tidak seimbang.



Gambar 2.12 Skematik Inverter Tiga Fasa

Dengan konfigurasi inverter tiga fasa yang tersusun dari tiga buah inverter satu fasa juga mengakibatkan bentuk inverter yang lebih besar, karena satu buah inverter satu fasa memerlukan 4 buah switch, maka untuk inverter 3 fasa yang dibuat dengan cara menyusun tiga buah inverter satu fasa maka akan membutuhkan switch hingga 12 buah. Hal ini juga akan berdampak pada biaya pembuatannya yang tentu akan sangat besar.

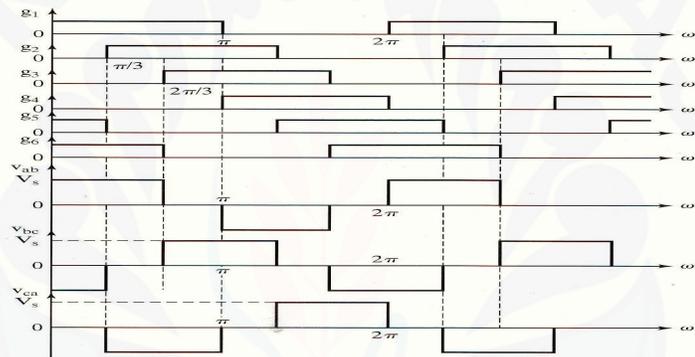
Dengan konfigurasi yang lebih ringkas, sebuah inverter tiga fasa dapat dibuat dengan konfigurasi yang hanya memerlukan 6 buah switch, sebagaimana rangkaian yang terlihat pada gambar 2.13. Jika dibandingkan dengan konfigurasi sebelumnya maka dapat diketahui bahwa jumlah switch yang diperlukan adalah lebih sedikit, yakni sebanyak enam buah. Sehingga dalam hal biaya pembuatan adalah lebih rendah daripada konfigurasi sebelumnya.



Gambar 2.13 Rangkaian Inverter Tiga Fasa dengan 6 Switch

Untuk mengontrol signal *switch* pada transistor dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain adalah dengan menggunakan konduksi 180° , ataupun

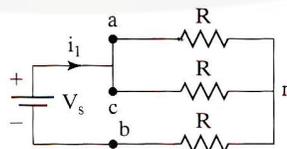
gelombang konduksi 120° . Metode konduksi 180° banyak ditemukan dari aplikasi yang telah ada pada umumnya. Tiap transistor dikonduksi 180° , dalam satu *cycle* terdapat enam mode operasi sehingga durasi tiap mode operasi disetting sebesar 30° . Jika transistor Q_1 aktif (on) maka terminal a akan terhubung dengan positif sumber dc. Ketika transistor Q_4 aktif (on) maka terminal a akan terhubung dengan negatif sumber dc. Gambar 2.14 menunjukkan gelombang konduksi 180° . Sedangkan gambar 2.15, 2.16 dan 2.17 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari setiap mode konduksi. Dan gambar 2.18 menunjukkan gelombang tegangan output inverter 3 fasa yang menggunakan gelombang konduksi 180° .



Gambar 2.14 Gelombang Konduksi 180°

Bentuk tegangan fasa netral tergantung dari konfigurasi beban yang terhubung, yaitu terhubung bintang atau terhubung delta. Untuk lebih mudahnya dapat dilihat bentuk dan harga tegangan fasa-netral untuk beban terhubung bintang. Sebagai contoh, berikut akan ditentukan besarnya tegangan fasa-netral untuk tiga mode pertama.

- Mode 1 ($0 \leq \alpha \leq \pi/3$, transistor Q_1 , Q_5 , dan Q_6 aktif)



Gambar 2.15 Rangkaian Ekuivalen Beban Hubungan Bintang saat Mode 1

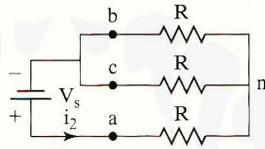
$$R_{eq} = R + \frac{R}{2} = \frac{3R}{2} \quad (2.7)$$

$$i_1 = \frac{V_s}{R_{eq}} = \frac{2V_s}{3R} \quad (2.8)$$

$$v_{an} = v_{cn} = \frac{i_1 R}{2} = \frac{V_s}{3} \quad (2.9)$$

$$v_{bn} = -i_1 R = -\frac{2V_s}{3} \quad (2.10)$$

- Mode 2 ($\pi/3 \leq \omega t \leq 2\pi/3$, transistor Q₁, Q₂, dan Q₆ aktif)



Gambar 2.16 Rangkaian Ekivalen Beban Hubungan Bintang saat Mode 2

$$R_{eq} = R + \frac{R}{2} = \frac{3R}{2} \quad (2.11)$$

$$i_2 = \frac{V_s}{R_{eq}} = \frac{2V_s}{3R} \quad (2.12)$$

$$v_{an} = i_2 R = \frac{2V_s}{3} \quad (2.13)$$

$$v_{bn} = v_{cn} = \frac{-i_2 R}{2} = \frac{-V_s}{3} \quad (2.14)$$

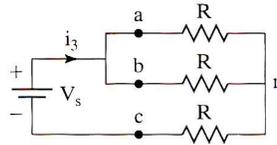
- Mode 3 ($2\pi/3 \leq \omega t \leq \pi$, transistor Q₁, Q₂, dan Q₃ aktif)

$$R_{eq} = R + \frac{R}{2} = \frac{3R}{2} \quad (2.15)$$

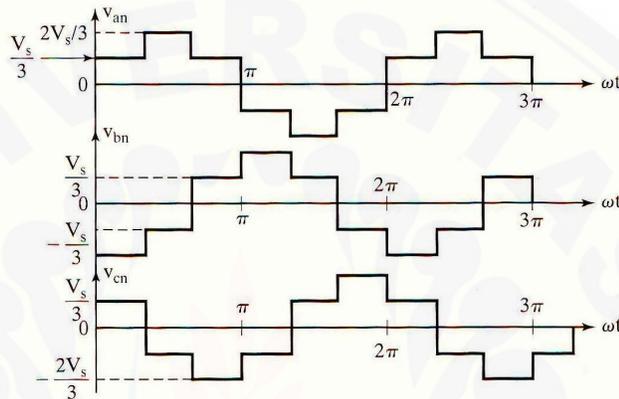
$$i_3 = \frac{V_s}{R_{eq}} = \frac{2V_s}{3R} \quad (2.16)$$

$$v_{an} = v_{bn} = \frac{i_3 R}{2} = \frac{V_s}{3} \quad (2.17)$$

$$v_{cn} = -i_3 R = -\frac{2V_s}{3} \quad (2.18)$$



Gambar 2.17 Rangkaian Ekivalen Beban Hubungan Bintang saat Mode 3



Gambar 2.18 Tegangan Fasa untuk Konduksi 180⁰

Tegangan line to line rms-nya ditunjukkan pada persamaan 2.19

$$V_o = \left(\frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi/3} V_s^2 d(\omega t) \right)^{1/2} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_s = 0,8165 V_s \quad (2.19)$$

Nilai tegangan line rms untuk komponen ke-n, ditunjukkan pada persamaan 2.20

$$V_{Ln} = \frac{4V_s}{\sqrt{2n\pi}} \sin \frac{n\pi}{3} \quad (2.20)$$

dan untuk $n = 1$, maka nilai rms untuk tegangan line adalah

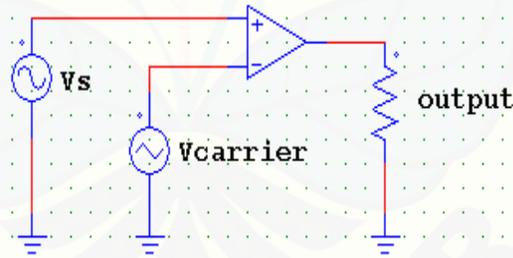
$$V_{L1} = \frac{4V_s \sin 60^\circ}{\sqrt{2\pi}} = 0.7797 V_s \quad (2.21)$$

Sedangkan nilai tegangan line to netral rms, dapat diperoleh dari nilai tegangan line to line, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.22

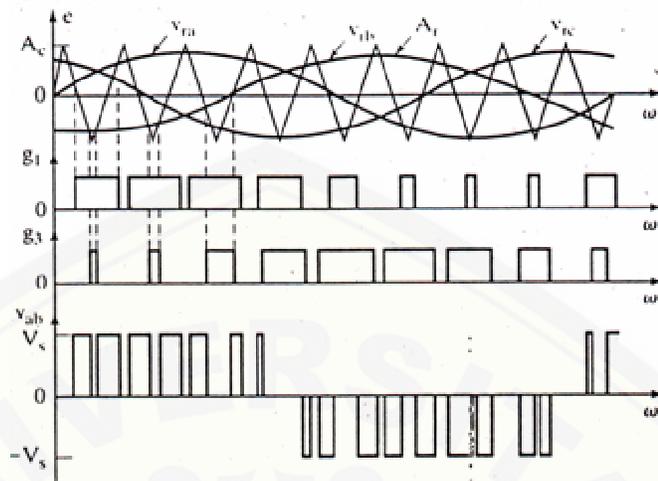
$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}V_s}{3} = 0,4714V_s \quad (2.22)$$

2.3 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

Proses modulasi pada SPWM dilakukan oleh sebuah komparator yang akan membandingkan sinyal referensi dan sinyal carrier. Input dari komparator terdiri atas dua input yang dilambangkan dengan kutub positif dan kutub negatif. Sinyal referensi yang akan dimodulasi dimasukkan ke input kutub positif dan sinyal carrier ke input kutub negatif. Hasil output dari komparator adalah berupa pulsa on dan pulsa off. Pulsa on akan dihasilkan oleh komparator jika sinyal referensi lebih besar daripada sinyal carrier, dan begitu sebaliknya jika sinyal referensi lebih kecil dari sinyal carrier maka komparator akan menghasilkan pulsa off.



Gambar 2.19 Rangkaian SPWM



Gambar 2.20 SPWM untuk Inverter Tiga Fasa

Pengontrolan sinyal gate dengan menggunakan SPWM ditunjukkan pada Gambar 2.20. Pada Gambar 2.20 di atas dapat dilihat bahwa ada tiga gelombang sinusoidal yang berbeda fase 120° yang akan digunakan sebagai sinyal referensi. Sinyal referensi v_{ra} , v_{rb} , v_{rc} tersebut akan dibandingkan dengan sinyal carrier yang berupa sinyal segitiga sehingga akan dihasilkan g_1 , g_2 , g_3 yang merupakan pulsa-pulsa untuk menyalakan switch. Namun yang terpenting adalah bahwa kondisi dua buah switch dalam satu line, misalnya switch 1 dan 4, adalah tidak boleh on secara bersamaan, karena akan dapat merusak switch tersebut.

2.4 Parameter Listrik dalam Keadaan *Steady State*

Parameter listrik dalam keadaan *steady state* yang diterima oleh konsumen adalah:

1. Variasi tegangan

Dalam sistem penyediaan tenaga listrik secara umum, variasi tegangan di titik suplai yang diijinkan adalah +5% dan -10% (standar PLN) sedangkan dalam ANSI C.84-1 diijinkan -10% dan +4% dalam kondisi normal, sedang dalam kondisi tertentu diijinkan -13% dan +6%.

2. Variasi Frekuensi

Merupakan deviasi frekuensi dasar sistem tenaga dari harga nominalnya. Variasi frekuensi tidak diatur dalam bentuk standar tetapi lebih banyak diatur dalam bentuk petunjuk operasi.

Untuk sistem tenaga listrik interkoneksi Jawa-Madura-Bali diusahakan variasi frekuensi $\pm 0,5\%$, sedangkan daerah lainnya diusahakan tidak lebih dari $\pm 1,5\%$. (standard PLN).

3. Ketidakseimbangan tegangan (*Unbalance*)

Penyebab dari ketidakseimbangan dari tegangan antara lain adalah impedansi yang tidak sama dari transmisi tiga fasa, distribusi beban satu fasa yang tidak sama, adanya *phase to phase load* dan beban tiga fasa tidak seimbang. Ketika beban tiga fasa terhubung dengan suplai yang tidak seimbang, maka akan mengakibatkan arus yang mengalir ke beban juga menjadi tidak seimbang. Karena sangat sulit untuk membuat suplai dalam keadaan seimbang sempurna, maka untuk meminimalisir ketidakseimbangan tegangan adalah dengan mengatur pembebanan. Level dari ketidakseimbangan tegangan direpresentasikan melalui beberapa macam definisi seperti IEC, NEMA dan IEEE.

Pada tugas akhir ini digunakan perhitungan yang didasarkan pada ANSI/IEEE Std 241-1990. Dalam standar ini, ketidakseimbangan tegangan didefinisikan sebagai berikut :

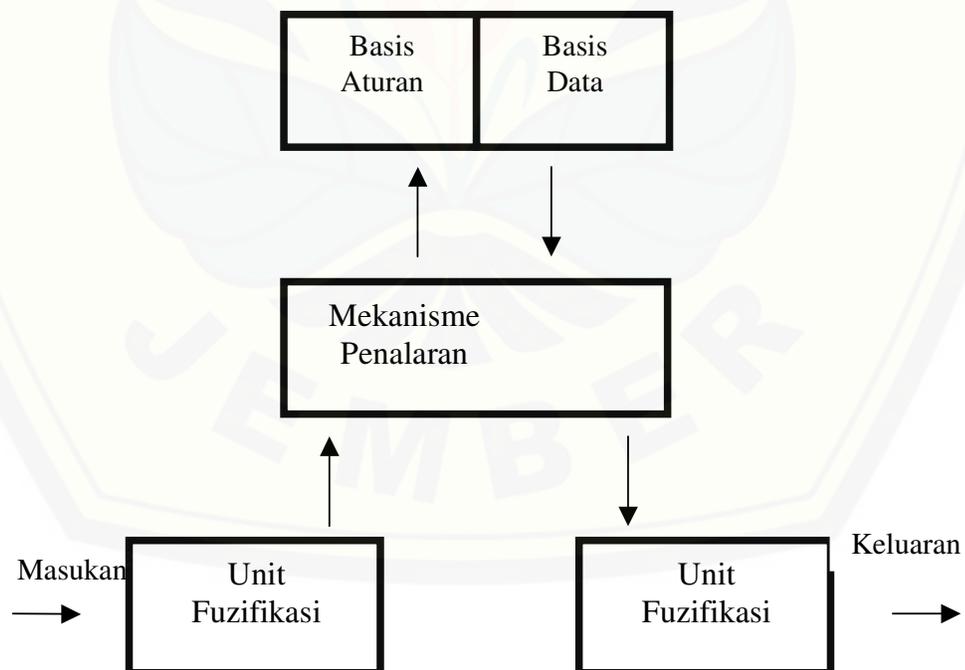
$$\begin{aligned} \% \text{ ketidakseimbangan} &= 100 \times \frac{\text{deviasi maksimum tegangan fasa}}{\text{rata-rata tegangan fasa}} \\ &= 100 \times \frac{3 \cdot (V_{abc \text{ maks}} - V_{abc \text{ min}})}{V_a + V_b + V_c} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Dengan $V_{abc \text{ maks}}$ adalah nilai RMS maksimum tegangan fasa, dan $V_{abc \text{ min}}$ adalah nilai RMS minimum tegangan fasa.

2.5 Fuzzy logic controller

Fuzzy logic adalah peningkatan dari logika Boolean yang berhadapan dengan konsep *kebenaran sebagian*. Di mana logika klasik menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah binary (0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak), logika fuzzy menggantikan kebenaran boolean dengan tingkat kebenaran. Fuzzy logic memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat". Dia berhubungan dengan set fuzzy dan teori kemungkinan. Dasar teori fuzzy membahas tentang konsep dasar himpunan fuzzy, yang mencakup pembahasan himpunan fuzzy, Operasi logika pada fuzzy dan Hukum-hukum pada himpunan fuzzy.

Struktur dasar sistem berbasis fuzzy adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.21.



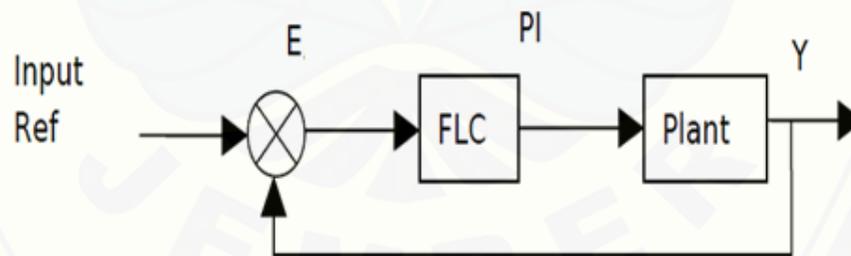
Gambar 2.21 Struktur Dasar Sistem Berbasis Fuzzy

1. Basis aturan yang berisi sejumlah aturan fuzzy yang memetakan nilai masukan fuzzy ke nilai keluaran fuzzy. Aturan ini sering dinyatakan dengan format IF – THEN
2. Basis data yang berisi fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy yang digunakan sebagai nilai bagi setiap variable sistem.
3. Mekanisme penalaran fuzzy yang melakukan prosedur inferensi.
4. Unit fuzifikasi melakukan proses fuzifikasi dari data masukan tegas (crisp) ke himpunan variable fuzzy.
5. Unit defuzifikasi melakukan pemetaan hasil inferensi fuzzy ke nilai tegas.

Mekanisme penalaran fuzzy(model intervensi) yang umum digunakan yaitu :

1. Mamdani
2. Sugeno

Pengendali logika fuzzy (*fuzzy logic controller*) atau FLC dapat digabungkan dengan sistem kendali kalang tertutup seperti pada gambar 2.22 berikut :



Gambar 2.22 FLC pada Sistem Kalang Tertutup

FLC merupakan sistem inferensi fuzzy yang terdiri atas :

- Unit fuzifikasi yang mengkonversi masukan tegas menjadi masukan Fuzzy
- Unit penalaran logika fuzzy yang melakukan prosedur inferensi.
- Basis pengetahuan yang terdiri atas basis aturan dan basis data

- Unit defuzifikasi yang mengkonversi keluaran fuzzy menjadi keluaran tegas.

Mekanisme kerja sistem, yaitu keluaran plant yang diinginkan (input ref) dibandingkan dengan keluaran actual (Y). Galat yang muncul (Error, E) merupakan masukan bagi FLC. Keluaran FLC merupakan masukan plant, atau masukan proses (process input, PI).

