

TUGAS AKHIR

**ANALISA PENYALURAN DAYA LISTRIK DAYA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO
DI DESA TALAWAAN**



Oleh

Philep Runtupalit

NIM : 12 023 027

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI MANADO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
2016**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam situasi sekarang ini dunia kebutuhan dalam faktor penggunaan listrik berperan penting dalam kebutuhan setiap golongan masyarakat, maka dari itu Dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada pada daerah yang akan menjadi lokasi sebagai pembuatan tugas akhir, penulis ingin membuat suatu pembangkit tenaga listrik ,dengan menggunakan saluran irigasi (energi air), karena melihat sumber daya air yang dimiliki daerah tersebut sangat baik dan sangat efisien untuk pembuatan pembangkit listrik tenaga mikro hidro sebagai sarana alternatif untuk penerangan dilokasi yang menjadi penelitian dan bermanfaat untuk masyarakat sekitar pada saat malam hari, serta adanya lokasi objek wisata yang dapat diberikan penerangan pada saat malam hari.

Dalam pembuatan pembangkit tenaga listrik ini dibagikan dalam beberapa bagian tugas, yang terdapat dalam Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ,terlebih khusus pada penyaluran daya listrik daya yang bangkitkan oleh generator.

Melalui perancangan ini diharapkan mendapatkan hasil Pembangkit Listrik Mikro Hidro yang mempunyai efisiensi yang optimal. Berdasarkan Perencanaan Pembangkit Listrik Mikro Hidro penulis mengangkat judul **“Analisa Penyaluran Daya Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Desa Talawaan ”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara merancang penyaluran tenaga listrik yang dihasilkan oleh generator?
2. Bagaimana pengujian yang akan dilakukan untuk penyaluran daya listrik ?
3. Bagaimana menganalisa efisiensi daya listrik generator pada saat tanpa beban dan berbeban ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut : .

1. Merancang penyaluran daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit (generator)
2. Menghitung jumlah nilai tegangan dan frekuensi yang dihasilkan generator sesuai dengan kemampuan daya air yang ada.
3. Menghitung efisiensi daya yang dibangkit generator

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari analisa penyaluran daya listrik mikro hidro ini adalah :

1. Dapat mengetahui seberapa besar kemampuan daya yang dimiliki pembangkit listrik mikro hidro sebagai fasilitas alternatif untuk masyarakat dilokasi penelitian..

2. menjadi acuan untuk pengembangan pembuatan pembangkit berikutnya.
3. Dapat mengetahui efisiensi dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro

1.5 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah yaitu:

1. Perancangan penyaluran tenaga listrik pada PLTMH
2. Analisa penyaluran daya listrik pada PLTMH pada saat tak berbeban dan berbeban.
3. Menghitung efisiensi daya yang dihasilkan dan kemampuan untuk dilakukannya pengisian pada baterai.

1.6 Metodologi Penulisan

Agar lebih memudahkan dalam menyelesaikan penelitian ini, maka digunakan beberapa metode sehingga kajian yang dilakukan akan mencapai hasil yang lebih baik, yaitu :

1. Observasi lapangan dan lama waktu penelitian.
2. Studi pustaka sebagai dasar referensi pada pengolahan data.
3. Diskusi dilakukan agar dapat bertukar pikiran dan mengambil langkah yang benar dalam kelompok penelitian.
4. Merancang penyaluran daya yang akan digunakan untuk analisa .
5. Pengujian terhadap penyaluran daya listrik pada PLTMH.

6. Menganalisa dan mengambil kesimpulan.

1.7 Sistemstika Penulisan

Penelitian ini terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab I

Merupakan bagian pendahuluan. Bab ini menjelaskan latar belakang yang mendasari munculnya permasalahan dalam penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan metodologi penelitian,

Bab II

Merupakan bagian tinjauan pustaka, berisi teori-teori yang melandasi penelitian ini dan menjadi dasar acuan teori, penelitian terdahulu, kerangka pemikiran dan pengembangan hipotesis.

Bab III

pembahas mengenai metode penelitian yang menjelaskan tentang variabel penelitian dan definisi operasional, metode penelitian, metode pengambilan sampel, jenis data yang digunakan beserta sumbernya, teknik pengambilan data, dan metode analisis yang digunakan untuk menganalisis hasil pengujian sampel.

Bab IV

Merupakan bagian pembahasan, yang berisi tentang pengujian atas hipotesis yang dibuat dan penyajian hasil dari pengujian tersebut, serta pembahasan tentang hasil analisis yang dikaitkan dengan teori yang berlaku.

Bab V

Merupakan bagian penutup, yang berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis pada bab sebelumnya, keterbatasan penelitian serta saran bagi penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

2.1.1. Pengertian dan Kalasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Penggunaan energi air sebagai sumber energi sudah dilakukan sejak lama, salah satunya dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air yang dikonversikan menjadi daya angular oleh turbin air. Sederhananya air yang bergerak menggerakkan turbin, turbin memutar generator dan energi listrik dihasilkan. Banyak komponen lain terdapat dalam sistem tetapi semuanya dimulai dengan energi pada air tersebut.

Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga air diklasifikasikan menurut besarnya kapasitas daya yang dihasilkan. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air mengikuti sebagai berikut (Penche & Minas, 1998) :

Tabel 2.1 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe	Kapasitas
Mikro Hidro	1-100 Kw
Mini Hidro	100-1000 Kw
Small Hidro	1-15 Kw
Medium Hidro	15-100 Mw
Large Hidro	>100 Mw

Berdasarkan tabel 2.1 klasifikasi pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat fungsi dan keunggulan kapasitas dari beberapa hidro. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) merupakan pembangkit air yang memiliki kapasitas 1 KW sampai 100 KW, pembangkit ini merupakan tipe pembangkit tenaga air yang sesuai untuk diterapkan di lokasi-lokasi yang memiliki tinggi jatuh rendah dan aliran air yang tidak terlalu banyak.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin atau kincir sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) mempunyai kelebihan dalam hal biaya operasi yang rendah jika dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga yang lain, karena mikro hidro memanfaatkan energi sumber daya alam yang dapat diperbarui, yaitu sumber daya air (Endardjo, et, all 1998). Dengan ukurannya yang kecil penerapan mikro hidro relative mudah dan tidak merusak lingkungan. Rentang penggunaannya cukup luas, terutama untuk menggerakkan peralatan atau mesin-mesin yang tidak memerlukan persyaratan stabilitas tegangan yang akurat (Endardjo, et, all 1998).

2.1.2. Kriteria Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Dalam mencapai tujuan pembangunan PLTMH harus dapat memenuhi beberapa kriteria yang dipandang sangat penting untuk di perhatikan. Dengan begitu kriteria yang harus diperhatikan yaitu :

1. Relatif harus dapat dibangun di banyak tempat, oleh sebab itu harus memenuhi persyaratan teknis agar dapat dibangun dengan jangkauan jatuh yang rendah sehingga dapat dibangun dengan jangkauan lokasi lebih luas.
2. Biaya pembangunan serendah mungkin dan cepat pelaksanaan pembuatannya, oleh sebab itu harus dapat dibuat dalam negeri sendiri oleh tenaga-tenaga ahli dalam negeri., sehingga tidak memerlukan waktu impor yang cukup lama.
3. Proses pembuatannya harus dapat dibuat dimana-mana dan mudah dioperasikan, oleh karena itu konstruksinya harus muda dan sederhana dengan penggunaan teknologi tepat guna sehingga bengkel-bengkel dalam negeri mampu membuatnya.
4. Peralatan harus cukup andal karena pengoperasiannya berada di daerah yang terisolir seperti daerah pegunungan dan berbukit untuk mendapatkan kecepatan aliran air.

2.1.3. Energi dari Tenaga Air (Hydropower)

Energi air merupakan kombinasi antara tinggi jatuh dan debit air. Besarnya energi air yang tersedia dari suatu sumber air tergantung pada besarnya tinggi

jatuh dan debit air. Keduanya diperlukan untuk bisa menghasilkan listrik. Tinggi jatuh merupakan tekanan air yang dihasilkan oleh perbedaan ketinggian antara muka air pada reservoir dan muka air keluar dari turbin. Sedangkan debit merupakan jumlah aliran (Volume per satuan waktu) yang melewati turbin. Tinggi jatuh dan debit merupakan dua hal yang sangat penting yang perlu diketahui dalam membangun suatu lokasi untuk pembangkitan listrik tenaga air.

2.1.4. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit listrik dari air bergantung pada ketersediaan tinggi jatuh dan debit. Keduanya harus tersedia untuk menghasilkan listrik. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang ada pada saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air yang bertekanan (dihasilkan oleh tinggi jatuh) menciptakan gaya yang memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya akan memutar generator yang menghasilkan listrik. Semakin tinggi jatuh atau semakin banyak debit air akan menghasilkan listrik yang lebih banyak.

2.1.5. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Komponen utama PLTMH adalah sebagai berikut (IMIDAP,2008)

1. Saluran Pengambilan (*intake*) dan Bendungan (*weir*)
2. Bak Pengendap
3. Saluran Pembawa (*tinggi jatuh*)
4. Saluran Pelimpah (*spillway*)

5. Bak Penenang (*forebay*)
6. Pipa Pesat (*penstock*)
7. Rumah Pembangkit (*power house*)
8. Turbin Air / Kincir Air
9. Generator atau alternator
10. Battery
11. Kontrol Distribusi
12. Sistem jaringan

2.2 Generator AC

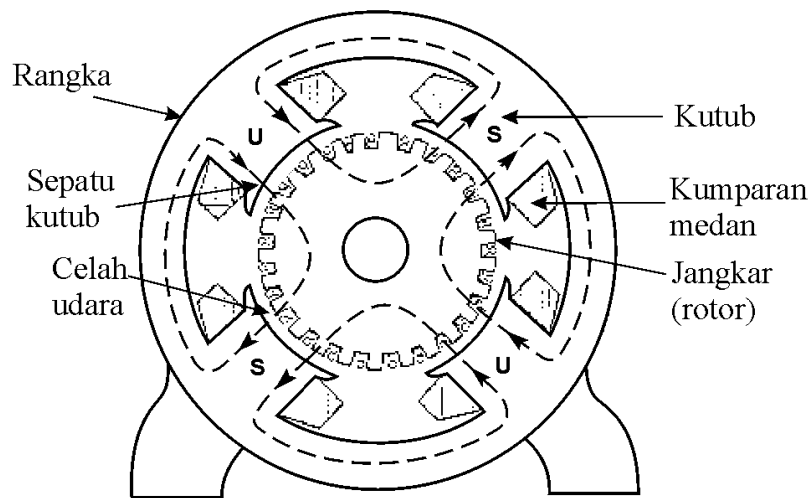
Generator adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga listrik dengan masukan tenaga mekanik . Jadi disini generator berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik yang mempunyai prinsip kerja sebagai berikut :

Bilamana rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub magnet, sehingga terjadi perbedaan tegangan, dengan dasar inilah timbullah arus listrik, arus melalui kabel/kawat yang ke dua ujungnya dihubungkan dengan cincin geser. Pada cincin-cincin tersebut menggeser sikat-sikat, sebagai terminal penghubung keluar.

Bagian-bagian generator :

1. Rotor

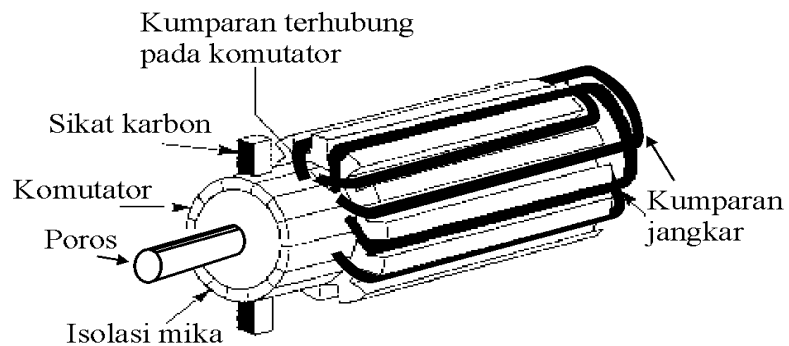
adalah bagian yang berputar yang mempunyai bagian terdiri dari poros, inti, kumparan, cincin geser, dan sikat-sikat.



Gambar 2.1 Konstruksi Generator AC bagian stator

2. Stator

adalah bagian yang tak berputar (diam) yang mempunyai bagian terdiri dari rangka stator yang merupakan salah satu bagian utama dari generator yang terbuat dari besi tuang dan ini merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator, kutub utama beserta belitannya, kutub-kutub pembantu beserta belitannya, bantalan-bantalan poros.



Gambar 2.2 Konstruksi Generator AC Bagian Rotor

Berdasarkan sistem pembangkitannya generator AC dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

a. Generator 1 fasa

Generator yang dimana dalam sistem melilitnya hanya terdiri dari satu kumpulan kumparan yang hanya dilukiskan dengan satu garis dan dalam hal ini tidak diperhatikan banyaknya lilitan. Ujung kumparan atau fasa yang satu dijelaskan dengan huruf besar X dan ujung yang satu lagi dengan huruf U.

b. Generator 3 fasa

Generator yang dimana dalam sistem melilitnya terdiri dari tiga kumpulan kumparan yang mana kumparan tersebut masing-masing dinamakan lilitan fasa. Jadi pada statornya ada lilitan fasa yang ke satu ujungnya diberi tanda U – X; lilitan fasa yang ke dua ujungnya diberi tanda dengan huruf V – Y dan akhirnya ujung lilitan fasa yang ke tiga diberi tanda dengan huruf W – Z. Jenis generator yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini yaitu generator AC 1 fasa.

2.2.1 Belitan Generator 1 fasa

Belitan stator terdiri atas beberapa kumparan, yang dipasang dalam alur-alur inti stator. Pada kumparan stator terdapat sisi kumparan yang terletak dalam alur-alur, dan kepala-kepala kumparan yang menghubungkan sisi-sisi kumparan diluar alur-alur satu sama lain. Tiap-tiap kumparan terdiri atas satu atau lebih lilitan menurut besar tegangan.

Dengan diputarnya rotor generator sepanjang dua poolstek (jarak antara pertengahan kutub magnet dengan pertengahan kutub magnet berikutnya yaitu diukur pada keliling besi stator), maka akan dibangkitkan suatu tegangan induksi di dalam lilitan yang besarnya dapat ditulis $E = 4,44 \Phi \cdot 10^{-8}$ volt. Harga ini meliputi satu periode.

Karena banyaknya periode dalam tiap detik dinyatakan dengan huruf f singkatan dari frekuensi, maka besarnya GGL dapat dituliskan sebagai berikut :
Erata-rata = $e \cdot f = 4,44 \Phi \cdot f \cdot 10^{-8}$ volt.

Angka perbandingan (Konstanta) diatas dinamakan faktor bentuk dan dalam rumus-rumus selalu dinyatakan dengan singkatan k_v .

Jadi harga efektif dari GGL yang dibangkitkan dalam lilitan adalah :
 $E = 4 \cdot k_v \cdot f \cdot \Phi \cdot 10^{-8}$ Volt.

Karena seluruh jumlah lilitan stator terdiri atas banyak lilitan kawat sebanyak W , maka besarnya GGL yang dibangkitkan dalam generator adalah:
 $E = 4 \cdot k_v \cdot f \cdot \Phi \cdot W \cdot 10^{-8}$ Volt.

Ketentuan rumus diatas ini hanya berlaku jika lilitan-lilitan kawatnya sebanyak W itu saling berhubungan seri dan banyaknya saluran (alur) hanya satu. Tetapi dalam kenyataannya bahwa banyaknya alur tiap kutub adalah lebih dari satu seperti : 2 dan 3 dan sebagainya.

Untuk lilitan stator yang mempunyai saluran lebih dari pada satu, maka keadaan GGL yang dibangkitkan dalam lilitan-lilitan kawat akan agak berkurang daripada ketentuan rumus diatas. Ini dikarenakan bahwa kawat-kawat dalam tiap-tiap saluran itu berhadapan dengan Φ yang tidak sama besarnya. Oleh karena itu

dalam ketentuan tersebut diatas masih harus dikalikan lagi agar konstanta yang dinamakan :

faktor lilitan dan dinyatakan dengan suatu huruf fw.

Besarnya faktor lilitan untuk generator fasa tunggal adalah 0,8 dan untuk generator fasa tiga (generator arus putar) adalah 0,96.

Dengan demikian maka secara lengkap rumus diatas untuk GGL dari generator dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E = 4 \cdot f_v \cdot f \cdot f_w \cdot \Phi \cdot W \cdot 10^{-8} \text{ (Volt)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

E = Tegangan GGL generator (V)

f = frekuensi generator (Hz)

f_v = faktor efektif = 1,11 jika dianggap sinusoidal

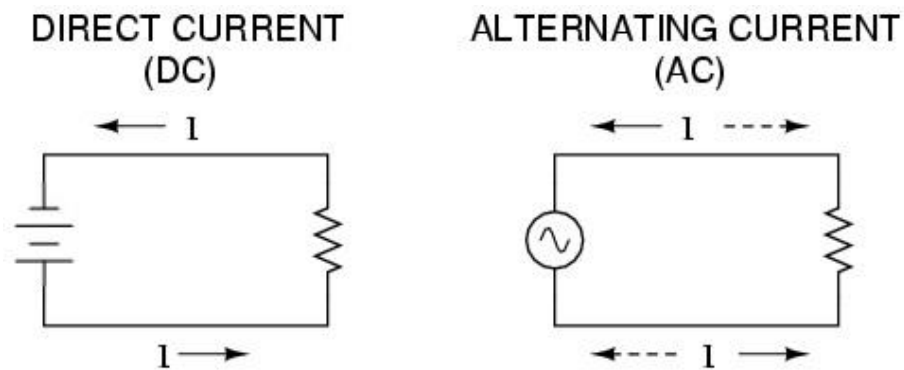
f_w = faktor lilitan (untuk generator fasa tunggal adalah 0,8 dan untuk generator fasa tiga adalah 0,96).

Φ = fluks (maxwell)

W = lilitan 10⁻⁸ jumlah kumparan pada rotor

2.2.2 Prinsip Kerja Generator

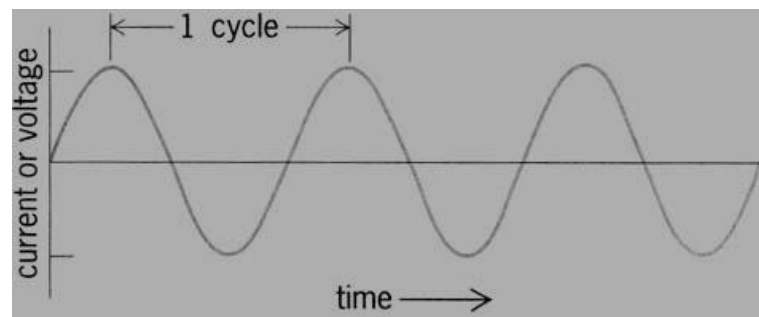
Arus listrik AC (*Alternating Current*) merupakan arus listrik yang arahnya bolak-balik pada sebuah rangkaian listrik. Jika pada rangkaian listrik DC arus listrik mengalir dari kutub positif ke kutub negatif, lain halnya dengan rangkaian listrik AC dimana arus listrik bergerak secara periodik berbolak-balik arah dari kutub satu ke yang lainnya.



Gambar 2.3 Perbedaan sistem kerja

arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC)

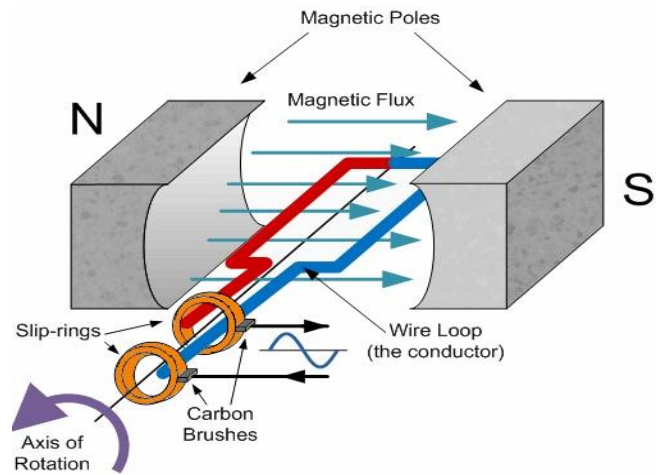
Berbolak-baliknya arah arus listrik AC menghasilkan nilai arus yang secara periodik akan bernilai positif dan negatif. Jika digambarkan pada sebuah grafik, maka nilai arus listrik AC akan membentuk gelombang sinusoidal yang memiliki nilai frekuensi tertentu.



Gambar 2.4 Gelombang sinusoidal Arus Bolak Balik (AC)

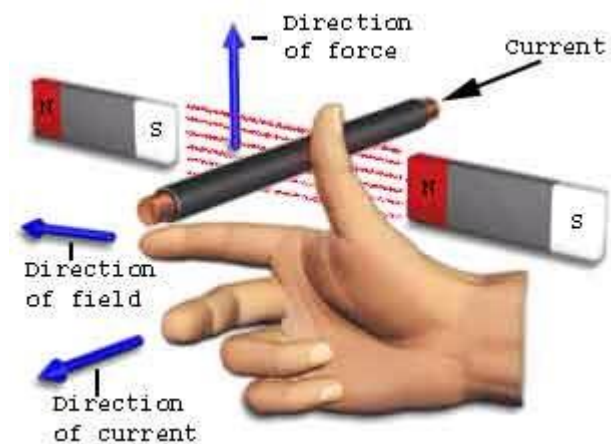
Bentuk arus listrik AC yang sedemikian rupa berkaitan dengan generator listrik yang membangkitkannya. Generator listrik AC memiliki prinsip kerja yang serupa dengan generator DC yakni menggunakan prinsip elektromagnetik, hanya saja ada satu komponen yang membuat arus listrik yang terbangkitkan berupa arus bolak-balik. Komponen tersebut adalah slip ring. Generator AC menggunakan slip ring dengan bentuk lingkaran penuh yang berbeda dengan slip ring pada generator

DC yang berupa cincin belah. Untuk lebih jelasnya dapat perhatikan komponen - komponen utama generator listrik AC dihalaman berikut..



Gambar 2.5 Komponen-Komponen Generator Listrik AC

Pada pembahasan generator AC, mengenal hukum Faraday mengenai induksi elektromagnetik sebagai fenomena dasar yang diterapkan pada generator. Hukum Faraday menyebutkan jika terjadi perubahan garis gaya magnet pada sebuah kumparan kawat, maka akan timbul gaya gerak listrik (ggl) pada kawat tersebut. Jika kumparan kawat dihubungkan dengan rangkaian listrik tertutup, maka akan timbul pula arus listrik yang mengalir pada rangkaian.

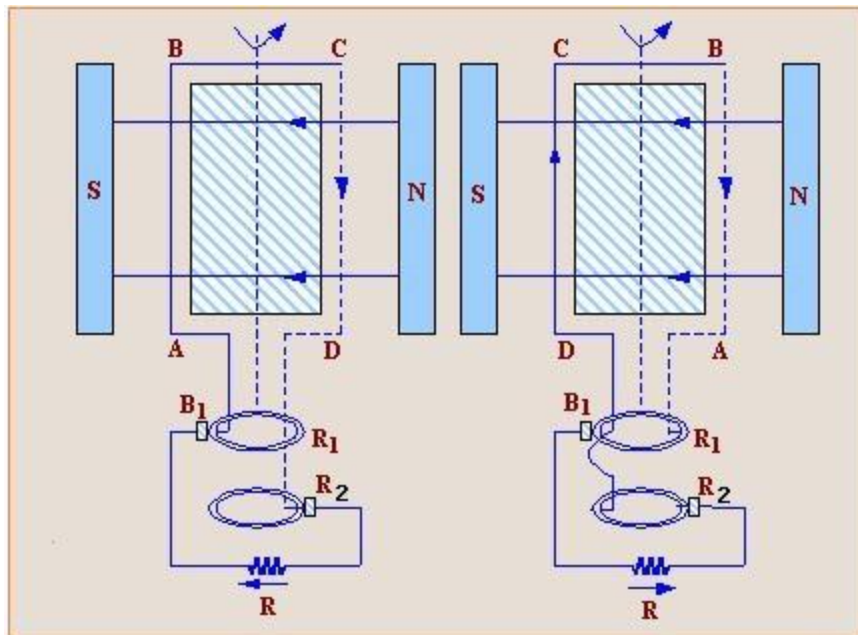


Gambar 2.6 Kaidah Tangan Kanan Fleming

Memahami hukum Faraday, tidak dapat lepas dengan kaidah tangan kanan yang diperkenalkan oleh John Ambrose Fleming. Kaidah tangan kanan Fleming adalah sebuah metode mnemonic untuk memudahkan kita menentukan arah vektor dari ketiga komponen hukum Faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik. Jika Anda menirukan posisi jari tangan kanan Anda seperti pada gambar di atas, maka ibu jari akan menunjukkan arah gaya (torsi), jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet, dan jari tengah menunjukkan arah arus listrik.

Skema komponen-komponen generator AC di atas, rotor generator diskemakan dengan sebuah kawat angker penghantar listrik (*armature*) yang membentuk persegi panjang. Masing-masing ujung kawat angker terhubung dengan cincin logam yang biasa kita kenal dengan sebutan *slip ring*. *Slip ring* ini termasuk bagian dari rotor, sehingga ia ikut berputar dengan rotor. Komponen *slip ring* inilah yang membedakan antara generator AC dengan DC. Jika pada generator DC digunakan cincin belah sebagai penyearah arus, pada generator AC *slip ring* berbentuk lingkaran penuh dan terhubung dengan masing-masing ujung *armature*.

Untuk sisi stator generator tersusun atas dua magnet dengan kutub berbeda yang saling berhadapan. Pada bagian yang kontak langsung dengan *slip ring*, stator dilengkapi dengan sikat karbon yang berfungsi untuk menghubungkan arus listrik yang dibangkitkan pada kawat angker ke rangkaian listrik di luar generator.

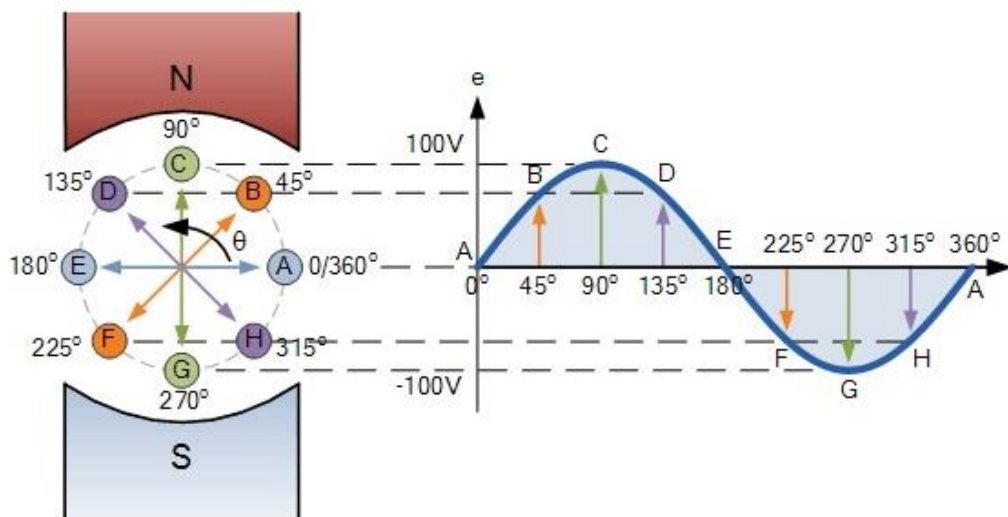


Gambar 2.2.7 Skema prinsip kerja generator

Gambar 2.7 adalah skema sederhana proses kerja generator AC. Kawat angker ABCD dapat berputar terhadap sumbu $a-b$, dan berada di tengah-tengah medan magnet N-S. Kawat angker sedang dalam kondisi diputar oleh sumber dari luar, dengan arah yang berlawanan arah putaran jarum jam sesuai pada gambar. Putaran ini memberikan gaya torsi dengan arah yang selalu tegak lurus dengan kawat angker. bagian kawat angker sisi C-D pada gambar sebelah kiri. Kawat tersebut bergerak ke atas (keluar bidang gambar) sesuai dengan torsi arah putaran gaya luar. Gerakan kawat angker ini memotong garis gaya magnet sehingga akan timbul gaya gerak listrik di kawat angker tersebut. Dengan menggunakan kaidah tangan kanan Fleming, maka dengan mudah dapat kita tentukan arah arus listrik yang terbangkitkan yakni ke bawah dari titik C ke D. Sehingga arah arus pada tahanan R adalah dari kanan ke kiri. Begitu pula pada kawat angker sisi A-B yang mengalami gaya torsi ke bawah (masuk bidang gambar), sehingga jika kita

menggunakan kaidah tangan kanan Fleming maka akan kita dapatkan arah arus listrik dari titik A ke B.

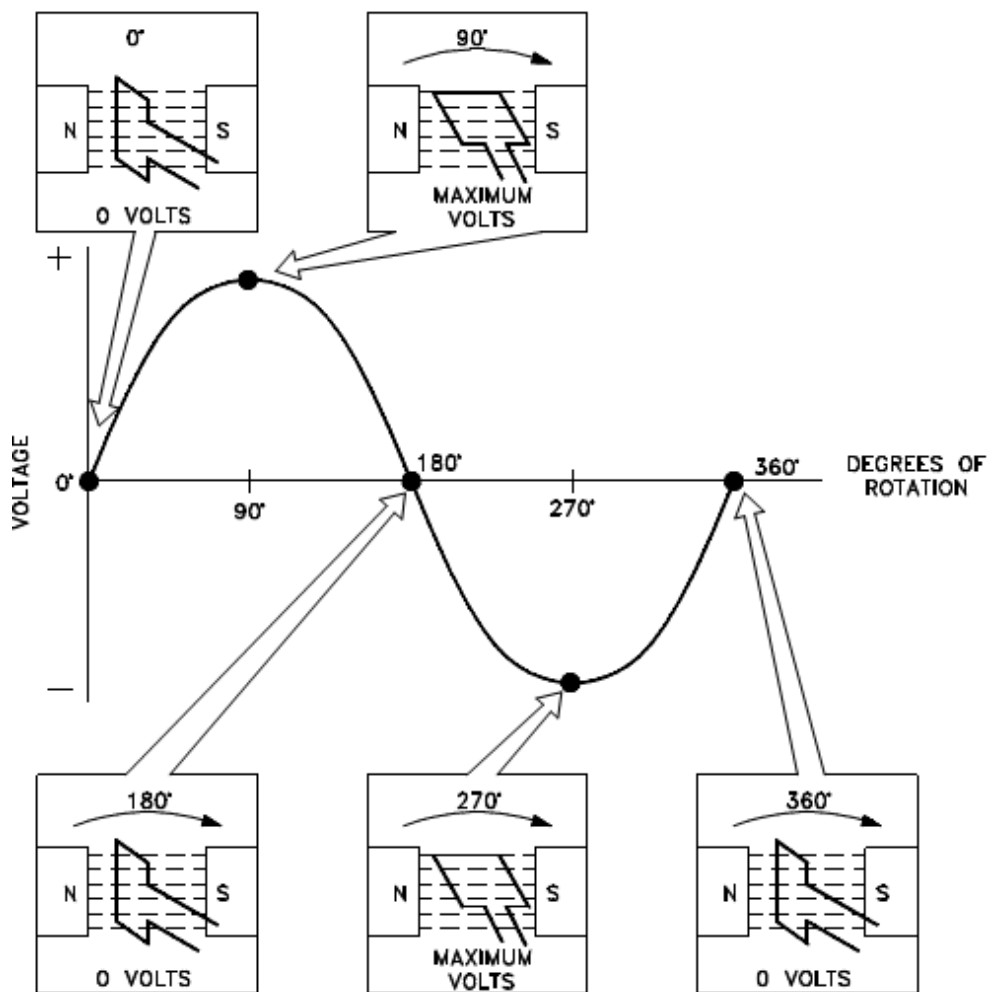
Seiring dengan berputarnya poros generator, maka kawat angker generator akan berpindah posisi sesuai dengan gambar sebelah kanan. Pada kondisi ini, dengan menggunakan cara yang sama seperti sebelumnya, akan dapat dengan mudah kita simpulkan bahwa aliran arus listrik di sisi kawat angker A-B adalah dari titik B ke A. Sedangkan pada sisi kawat C-D arah arus listrik yakni dari titik D ke C. Dengan masing-masing sisi kawat angker yang selalu bersentuhan dengan slip ring tersendiri, maka arah arus listrik yang dibangkitkan pada konfigurasi kawat angker gambar kanan adalah kebalikan dari gambar kiri. Disinilah arus bolak-balik listrik AC berasal.



Gambar 2.8 Gelombang Sinusodial Arus Bolak-balik (AC)

Dengan penjelasan pada gambar 2.8 maka arus listrik AC memiliki karakter unik yakni nilai arus yang fluktuatif dari positif hingga negatif. Tiap-tiap posisi kawat angker memiliki nilai arus yang berbeda-beda, dan akan kembali

bernilai sama jika kawat angker rotor kembali ke posisi nol nya (telah berputar 360°). Gambar di atas adalah gelombang sinusoidal arus listrik yang dibangkitkan oleh generator AC. Gambar sebelah kiri adalah ilustrasi penampang generator AC dengan berbagai posisi kawat angker rotor. Sedangkan gambar yang sisi kanan adalah grafik sinusoidal arus listrik AC dengan sumbu X adalah waktu, dan sumbu Y adalah nilai arus listrik. Grafik arus listrik AC disebut dengan grafik sinusoidal karena nilai arus listrik sesuai dengan prinsip trigonometri fungsi sinus ($x(t) = A_{max} \cdot \sin\theta$).



Gambar 2.9 Skema kerja gelombang sinusoidal pada generator AC

2.2.3 Frekuensi Listrik AC

Frekuensi menjadi salah satu karakter arus listrik AC, tentu saja hal ini dikarenakan bentuk grafik arus listrik yang berupa gelombang sinusoidal. Frekuensi adalah jumlah gelombang yang terjadi di setiap satu detik, dengan satuan frekuensi yaitu Hertz. Pada gambar di atas satu gelombang voltase listrik AC dihasilkan oleh satu putaran penuh kawat angker rotor lilitan *single*, di dalam medan magnet kutub utara-selatan. Putaran rotor yang konstan akan menghasilkan frekuensi listrik AC yang konstan pula. Sehingga jika putaran rotor semakin cepat, maka frekuensi listrik juga akan semakin besar. Oleh karena itulah nilai frekuensi listrik AC adalah berbanding lurus dengan kecepatan rotasi rotor ($f \propto N$), dengan $N = \text{rpm}$.

Pada gambar 2.9 juga hanya menggunakan kutub tunggal untuk masing-masing kutub utara dan selatan, sehingga hanya terdapat satu arah garis gaya magnet. Menambah satu pasang lagi kutub magnet sehingga terdapat dua kutub utara dan dua kutub selatan, maka untuk satu saja putaran kumparan rotor akan menghasilkan dua gelombang sinusoidal listrik AC. Dapat disimpulkan disini bahwa nilai frekuensi listrik AC juga berbanding lurus dengan jumlah pasangan kutub magnet ($f \propto P$), dimana $P = \text{jumlah pasangan kutub magnet stator generator}$.

Dengan ini dapat kita simpulkan bahwa nilai frekuensi listrik AC sebuah generator AC dapat kita hitung menggunakan rumus sederhana berikut :

$$f = N \times P \text{ dengan } f = \frac{\text{gelombang}}{\text{menit}} \dots\dots\dots(2.2)$$

atau,

$$f = \frac{N \times P}{60} \quad (\text{Hz}) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

F = frekuensi dalam satuan Hz

N adalah kecepatan rotor dalam rpm

P adalah jumlah pasang kutub magnet rotor,

60 adalah konversi ke detik.

Dan bila P menggunakan banyaknya jumlah kutub maka :

$$f = \frac{N \times P}{120} \quad (\text{Hz}) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

F adalah frekuensi dalam satuan Hz

N adalah kecepatan rotor dalam rpm

P adalah banyak jumlah kutub magnet rotor

60 x 2 adalah konversi detik

Sehubungan dengan persamaan 2.4 diatas, jika $f = 50$ yang dinyatakan pada satuan detik, harga P dan N dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 2.2 data jumlah kutub P dan jumlah putaran rotor N

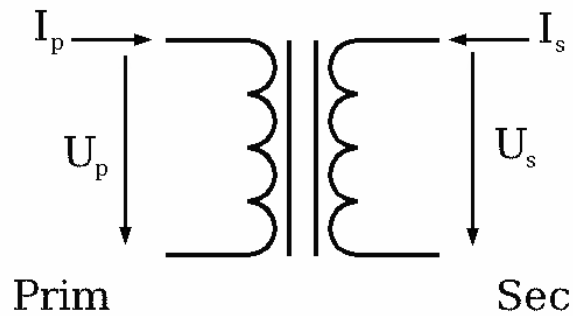
P	2	4	6	12	24	36
N	3000	1500	1000	500	250	166,67

2.3 Transformator



Gambar 2.10 Bentuk fisik transformator atau trafo

Transformator atau sering disingkat dengan istilah Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Maksud dari perubahan taraf tersebut diantaranya seperti menurunkan Tegangan AC dari 220V AC ke 12 V AC ataupun menaikkan Tegangan dari 110V AC ke 220 V AC. Transformator atau Trafo ini bekerja berdasarkan prinsip Induksi Elektromagnet dan hanya dapat bekerja pada tegangan yang berarus bolak balik (AC). Transformator (Trafo) memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik. Transformator menaikkan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga ratusan kilo Volt untuk di distribusikan, dan kemudian Transformator lainnya menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang diperlukan oleh setiap rumah tangga maupun perkantoran yang pada umumnya menggunakan Tegangan AC 220Volt.



Gambar 2.11 Simbol Transformator

2.3.1 Prinsip kerja Transformator (trafo)

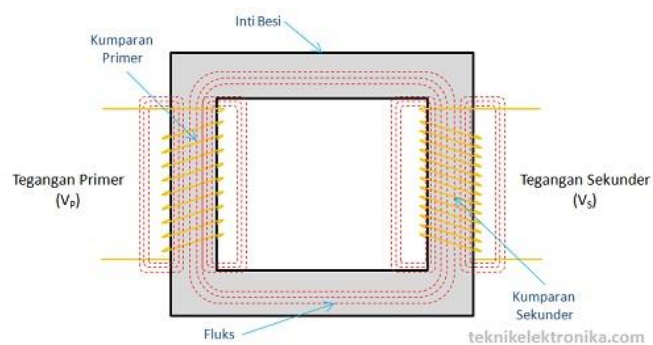
Sebuah Transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat yang terisolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kebanyakan Transformator, kumparan kawat terisolasi ini dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan dengan Inti Besi (Core). Ketika kumparan primer dialiri arus AC (bolak-balik) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetik disekitarnya. Kekuatan Medan magnet (densitas Fluks Magnet) tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan pertama (primer) akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan kedua (sekunder) dan akan terjadi pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Dengan demikian, terjadilah perubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang rendah.

Sedangkan Inti besi pada Transformator atau Trafo pada umumnya adalah kumpulan lempengan-lempengan besi tipis yang terisolasi dan ditempel berlapis-lapis dengan kegunaanya untuk mempermudah jalannya Fluks Magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik kumparan serta untuk mengurangi suhu panas yang ditimbulkan.

Beberapa bentuk lempengan besi yang membentuk Inti Transformator tersebut diantaranya seperti :

- E – I Lamination
- E – E Lamination
- L – L Lamination
- U – I Lamination

Dibawah ini contoh adalah Fluks pada Transformator :



Gambar 2.12 Bagan inti besi pada transformator

Rasio lilitan pada kumparan sekunder terhadap kumparan primer menentukan rasio tegangan pada kedua kumparan tersebut. Sebagai contoh, 1 lilitan pada kumparan primer dan 10 lilitan pada kumparan sekunder akan menghasilkan tegangan 10 kali lipat dari tegangan input pada kumparan primer.

Jenis Transformator ini biasanya disebut dengan Transformator Step Up. Sebaliknya, jika terdapat 10 lilitan pada kumparan primer dan 1 lilitan pada kumparan sekunder, maka tegangan yang dihasilkan oleh Kumparan Sekunder adalah $1/10$ dari tegangan input pada Kumparan Primer. Transformator jenis ini disebut dengan Transformator Step Down.

2.4 Baterai



Gambar 2.13 Bentuk fisik Baterai / Aki

Baterai berfungsi untuk memberikan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup pada bagian-bagian kelistrikan seperti, lampu-lampu besar dan peralatan lain. Akan tetapi kapasitas baterai terbatas dan tidak mampu memberikan semua tenaga yang diperlukan . oleh karena itu, baterai harus selalu terisi secara penuh agar mampu memberikan tenaga listrik yang diperlukan pada saat diperlukan oleh bagian-bagian kelistrikan.

2.4.1 Sub Sistem Baterai

Baterai dalam sistem berfungsi sebagai tempat menyimpan energi yang dibangkitkan oleh sistem PLTMH, PLTS dan PLTA Angin yang selanjutnya digunakan untuk menyuplai beban pada malam hari.

a. Syarat-syarat Penggunaan Akumulator

Terdapat berbagai jenis akumulator yang ada saat ini, tetapi memilih akumulator untuk sebuah sistem mencakup banyak pertimbangan baik dari segi fisik, kimia, besarnya, maupun besarnya arus keluaran diantaranya :

1. Tegangan yang diisyaratkan

Tegangan akumulator harus stabil, mengingat arus listrik yang mengalir ke beban bervariasi langsung dengan tegangan.

2. Arus yang diisyaratkan

Dalam beberapa aplikasi, pemakaian arus dapat dikatakan konstan. Dalam penerapan sistem lainnya, sistem diharapkan dapat memberikan arus yang besar untuk suatu periode pendek.

3. Kapasitas Amper-jam dan Watt-jam

Sebuah akumulator memiliki cukup kapasitas Amper-jam untuk mengirim daya ke beban sampai ada sumber daya untuk mengisi kembali muatan akumulator. Kapasitas Amper-jam sebuah akumulator biasanya dispesifikasikan bersama dengan suatu pedoman jam standar, maksudnya akumulator mempunyai kapasitas tertentu bila muatannya dikosongkan dalam waktu tertentu.

Kapasitas dalam Watt-jam menyatakan jumlah energi yang dapat disimpan oleh akumulator dalam Amper-jam, sehingga dalam menggunakan akumulator sebagai penyimpan energi spesifikasi Amper-jam ini perlu dikonversi kedalam Watt-jam.

b. Penentuan Kapasitas pengisian

Pada penyaluran tenaga listrik yang dihasilkan oleh generator ,sebagai sumber untuk mengisi daya listrik pada baterai di gunakan persamaan sebagai berikut :

1. Lama Pengisian arus

$$T_a = \frac{Ah}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : T_a = Lamanya pengisian Arus (jam)

Ah = besarnya kapasitas accumulator (ampere hour)

A = besarnya arus pengisian ke accumulator (ampere)

2. Lama pengisian Daya

$$T_d = \frac{\text{daya Ah}}{\text{Daya A}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana ; T_d = Lamanya Pengisian Daya (jam)

Daya Ah = besarnya Ah dengan didapat dari perkalian Ah dengan Tegangan accumulator (watt hours)

Daya A = besarnya daya yang didapat dari perkalian A dengan besar tegangan accumulator (Watt)

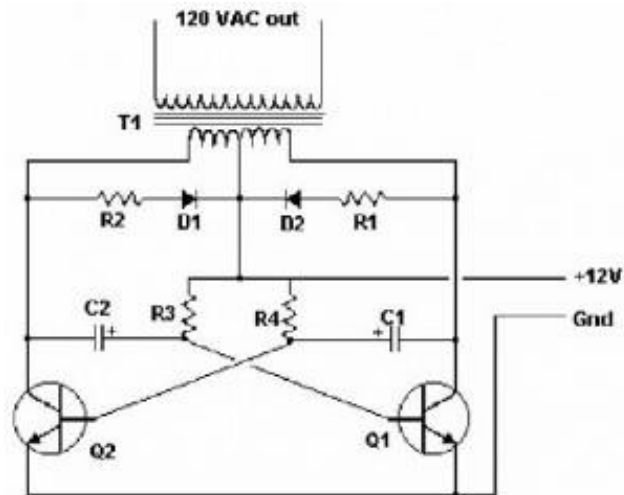
2.5 Inverter



Gambar 2.14 Bentuk Fisik Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan DC (Direct Current) menjadi tegangan AC (Alternating Current). Output suatu inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (sine wave), gelombang kotak (square wave) dan sinus modifikasi (sine wave modified). Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Inverter dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik tegangan berupa step up transformer.

Contoh rangkaian dasar inverter yang sederhana dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.15 rangkaian inverter DC to AC

Jenis – Jenis Inverter DC Ke AC Berdasarkan jumlah fasa output inverter dapat dibedakan dalam :

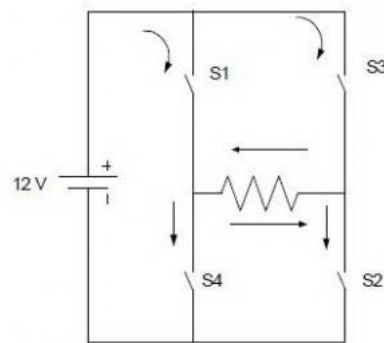
1. Inverter 1 fasa, yaitu inverter dengan output 1 fasa.
2. Inverter 3 fasa, yaitu inverter dengan output 3 fasa.

Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangan-nya, yaitu :

- a. Voltage Fed Inverter (VFI) yaitu inverter dengan tegangan input yang diatur konstan
- a. Current Fed Inverter (CFI) yaitu inverter dengan arus input yang diatur konstan

Variable dc linked inverter yaitu inverter dengan tegangan input yang dapat diatur Berdasarkan bentuk gelombang output-nya inverter dapat dibedakan menjadi :

1. **Sine wave inverter**, yaitu inverter yang memiliki tegangan output dengan bentuk gelombang sinus murni. Inverter jenis ini dapat memberikan supply tegangan ke beban (Induktor) atau motor listrik dengan efisiensi daya yang baik.
2. **Sine wave modified inverter**, yaitu inverter dengan tegangan output berbentuk gelombang kotak yang dimodifikasi sehingga menyerupai gelombang sinus. Inverter jenis ini memiliki efisiensi daya yang rendah apabila digunakan untuk mensupply beban induktor atau motor listrik.
3. **Square wave inverter**, yaitu inverter dengan output berbentuk gelombang kotak, inverter jenis ini tidak dapat digunakan untuk mensupply tegangan ke beban induktif atau motor listrik.



Gambar 2.16 Prinsip Kerja Dari Inverter DC to AC

2.5.1 Prinsip Kerja Inverter

inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar seperti ditunjukkan pada gambar 2.15. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on, maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup

adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (pulse width modulation – PWM) dalam proses conversi tegangan DC menjadi tegangan AC.

2.5.2 Sub Sistem Inverter AC ke DC

Inverter digunakan untuk mendapatkan daya AC sumber DC yang berasal dari baterai. Ada tiga faktor yang perlu diperhatikan dalam memilih inverter yaitu :

- a. tipe gelombang yang dihasilkan
- b. tegangan masukan
- c. daya keluaran

Tipe gelombang yang dihasilkan oleh inverter sangat penting untuk diperhatikan terutama jika bebannya adalah motor. Distorsi harmonic yang timbul harus serendah mungkin. Umumnya harga inverter sebanding dengan kualitas gelombang yang dihasilkan.

Ranting daya inverter dipilih sesuai dengan beban puncak dan kemungkinan untuk pengembangan masa depan. Inverter yang baik adalah inverter yang mempunyai regulasi yang baik distorsi harmonic yang rendah, keandalan yang baik serta efisiensi yang tinggi. Efisiensi inverter yang beredar dipasaran berkisar antara 65 – 98%^[6]. Tapi efisiensi ini biasa berubah, tergantung dari keadaan beban, Penentuan kapasitas inverter yang digunakan dalam sistem mempergunakan persamaan :

$$P_1 = \frac{\text{Daya beban maksimum} \times A}{\text{faktor daya}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

P_1 = kapasitas inverter (kVA)

A = faktor keamanan inverter = 1,3 – 1,8

2.6 Sumber Energi Perairan Datar

Pada Pembangkit listrik yang hanya menggunakan tenaga air pada perairan datar / saluran irigasi, energi yang tersedia oleh air merupakan energi kinetik :

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot V_s^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

V = kecepatan aliran sungai/irigasi (m/s)

Debit aliran air melalui kincir:

$$Q = V \cdot A \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

A = luas penampang sudu/ aliran air (m²)

Q = Debit air (m³/s)

Daya air yang tersedia :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot V_s^2 \text{ (W)} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

P = daya yang dimiliki Air dalam satuan Watt

Atau

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \text{ (W)} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

ρ adalah massa jenis air (1000) (kg/m³)

2.7 Kincir Air

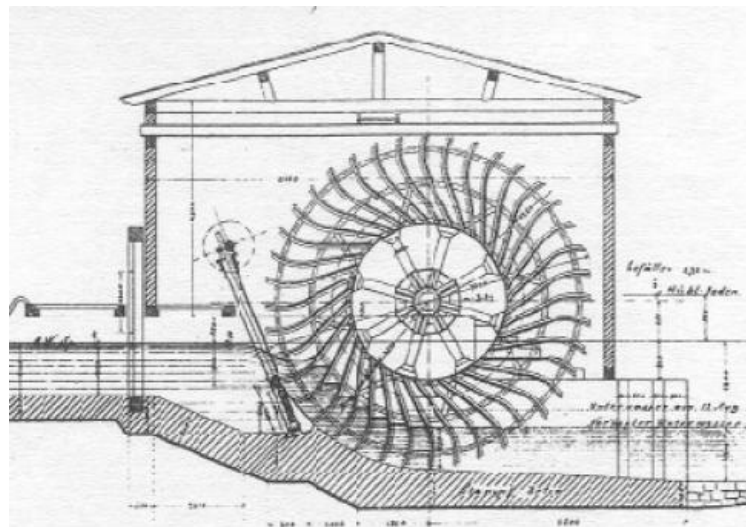
Kincir air adalah yang pembuatannya paling banyak ditiru, yang bekerjanya memanfaatkan tinggi air jatuh H dan kapasitas air V. Faktor yang harus diperhatikan pada kincir air selain energi tempat adalah pengaruh berat air yang mengalir masuk ke dalam sel-selnya.

Air yang mengalir ke dalam dan ke luar dari kincir tidak mempunyai tekanan lebih, hanya tekanan atmosfer saja. Kecepatan air yang mengalir ke dalam kincir harus kecil, sebab bila kecepatannya besar ketika melalui sel air akan melimpah ke luar atau energi yang ada hilang percuma tak bisa dimanfaatkan airnya berolak.

Meskipun kincir air sudah usang, tapi pada kondisi yang tertentu di mana kemungkinan-kemungkinan lainnya tidak ada, kincir air tetap merupakan salah satu pilihan untuk digunakan. Tetapi di lain pihak kadang-kadang maksud utamanya adalah untuk mendapatkan energi yang sebesar-besarnya karena itu banyak kincir air yang diganti dengan turbin air.

Tinggi air jatuh yang bisa digunakan kincir air antara 0,1 m sampai 12 m (roda kincir yang besar), dan kapasitas airnya 0,05 m³/s sampai 5 m³/s. Pemakaian

kincir adalah di daerah yang aliran airnya tidak tentu, berubah-ubah dan tinggi air jatuhnya kecil, bila perubahan kecepatan putar tidak mengganggu dan kecepatan putarannya kecil 2 putaran/menit sampai dengan 12 putaran/menit, serta daya pada poros transmisi masih bisa digunakan, misalnya di unit-unit kecil penggilingan tepung, minyak dan lain-lain. Randemen kincir antara 20% sampai 80%. Untuk roda kincir yang kecepatan putarannya pelan bahannya dibuat dari kayu, tetapi apabila untuk tinggi air jatuh yang besar roda kincir dibuat dari besi.



Gambar 2.17 Bentuk Kincir Air