

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator.

Daya (power) yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$P = \rho \cdot Q \cdot h \cdot g \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- P = Daya Keluaran (Watt)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
- Q = debit air (m^3/det)
- h = ketinggian efektif (m)
- g = gaya gravitasi (m/det^2)

Dayayang keluar dari genrator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang dikeluarkan secara teoritis. Sebagai mana dapat dipahami dari rumus tersebut diatas, daya yang dihasilkan adalah hasil kali dari tinggi jatuh dan debit air, oleh karena itu berhasilnya pembangkitan tenaga air tergantung dari pada usaha untuk mendapatkan tinggi jatuh air dan debit yang besar secara efektif dan ekonomis

2.2 Energi

Ada dua jenis umum energi – energi transisional (transitional energy) dan energi tersimpan (stored energy). Energi transisional adalah energi yang bergerak dan dapat berpinda melinasi suatu batas sistem. Energi tersimpan, sebagaimana yang ditunjukkan oleh namanya, adalah energi yang berwujud sebagai massa, posisi

dalam medan gaya, dan lain – lain. Bentuk tersimpan ini biasanya diklasifikasikan menjadi lima bentuk energi, yaitu :

2.2.1 Energi Dalam

A. Energi Listrik

Energi listrik adalah energi yang berkaitan dengan arus dan akumulasi electron. Energi jenis ini umumnya dinyatakan dalam satuan daya dan waktu, misalnya watt/jam atau kilowatt/jam.

B. Energi Elektromagnetik

Energi elektromagnetik adalah suatu bentuk energi yang berkaitan dengan radiasi elektromagnetik. Energi radiasi biasanya dinyatakan dalam satuan energi yang sangat kecil seperti elektrovolt (eV) atau megaelektrovolt (MeV). Satuan energi ini juga biasa dipakai pada evaluasi energi nuklir.

C. Energi Kimia

Energi kimia adalah energi yang keluar sebagai hasil interaksi elektron dimana dua lebih atom dan/atau molekul – molekul berkombinasi menghasilkan senyawa kimia yang stabil.

D. Energi Nuklir

Energi nuklir adalah energi lain yang hanya ada sebagai energi tersimpan yang bisa lepas akibat interaksi partikel dengan atau didalam inti atom. Energi ini bisa dilepaskan sebagai hasil usaha partikel – partikel untuk mendapatkan konfigurasi yang lebih stabil.

E. Energi Panas (Termal)

Energi panas (termal) adalah bentuk energi dasar dengan arti kata, semua bentuk energi lain dapat dikonversi secara penuh ke energi ini, tetapi pengkonversian energi termal menjadi bentuk energi lain dibatasi oleh hukum kedua termodinamika.

2.2.2 Energi Potensial

Energi potensial adalah energi yang diperoleh oleh material tertentu sebagai akibat dari posisinya dalam suatu medan gaya. Termasuk didalamnya energi medan gravitasi, energi yang berkaitan dengan suatu fluida yang terkompresi.

Rumus persamaan berikut menunjukkan besarnya energi potensial air :

$$E_p = m \cdot g \cdot h \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

- E_p = Energi Potensial air (J)
- m = massa air (kg)
- g = gaya gravitasi (m/s^2)
- h = ketinggian (m)

2.2.3 Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi suatu karena kecepatan (v), contohnya : mobil yang bergerak, benda jatuh, dll. Maka rumus energi dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- E_k = Energi Kinetik (J)
- m = massa (kg)
- v = kecepatan (m/s)

2.2.4 Energi Mekanik

Energi mekanik didefinisikan sebagai energi total yaitu penjumlahan antara energi kinetik dan energi potensial.

$$E_m = E_k + E_p \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

- E_m : Energi Mekanik (J)
- E_k = Energi Kinetik (J)
- E_p = Energi Potensial air (J)

2.2.5 Perubahan Energi

A. Energi Potensial menjadi Energi Kinetik

Energi potensial air dirubah menjadi energi kecepatan (kinetik) akibat dari air yang bergerak dan mempunyai kecepatan sehingga terjadi impuls dan perubahan momentum (sudu – sudu) dan gravitasi, tegangan elastis dan fluida memapat.

B. Energi Mekanik menjadi Listrik

Hampir semua alat yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik menggantungkan diri pada efek faraday untuk prinsip operasinya. Menurut efek faraday, suatu gradient voltase ditimbulkan dalam konduktor listrik yang dikenakan gaya tegak lurus terhadap suatu medan magnet

2.3 Jenis – Jenis Turbin Air

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi mekanis . Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam menguba energi potensial menjadi energi mekanis. Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi

A. Turbin Impuls

Turbin Impuls disebut juga turbin tekanan sama karena aliran yang keluar dari nozel sama dengan tekanan atmosfer. Pada turbin ini seluruh energi yang tersedia didalam alirannya diubah oleh nozel menjadi energi kinetik pada tekanan atmosfer sebelum fluida menyentuh sudu –sudu gerak. Kerugian terjadi pada aliran dari reservoir melalui pipa tekanan ke dasar nozel, yang dapat dihitung dari data gesekan pipa. Adapun jenis – jenis turbin impuls adalah sebagai berikut :

a. Turbin Turgo

Turbin turgo dapat beroperasi pada head 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudutnya berbeda. Pancaran air dari nozel membentur sudu pada 20^0 . Kecepatan putaran turbin turgo lebih besr dari turbin pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator

sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan. Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan gambar turbin turgo.

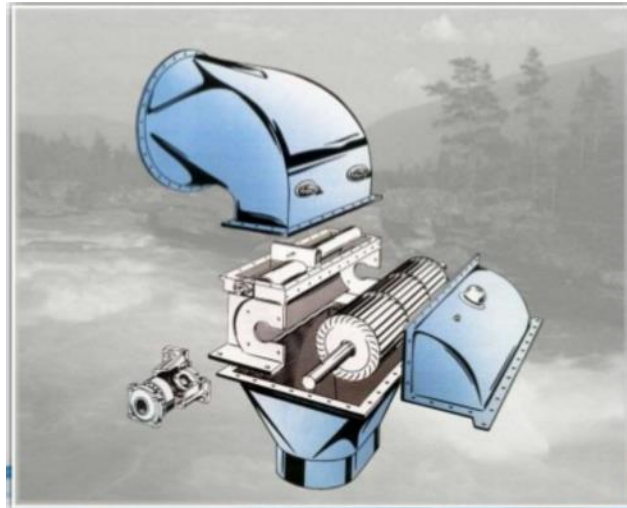


Gambar 2.1 Turbin turgo

b. Turbin Ossberger atau Turbin Cross Flow

Turbin cross flow (Stappenhorst, 1978) yang biasa disebut sebagai turbin banki atau turbin Mitchell. Turbin tipe ini dibuat pertama kali di Eropa. Namun cross flow diambil dari kenyataan bahwa air melintas ke dua sudu gerak atau runner dalam menghasilkan putaran (rotasi). Sedangkan nama Banki (dari Hungaria) dan Mitchell (dari Austria) adalah nama ahli teknik yang mengembangkan prinsip – prinsip turbin tersebut seta perhitungannya. Turbin cross flow ini mempunyai arah aliran yang radial atau tegak lurus dengan sumbu turbin.

Tipe air cross flow adalah sebuah turbin air radial dimana turbin aliran air masuk dan keluar rotor melalui lingkaran periperal rotor, gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan gambar turbin CrossFlow



Gambar 2.2 Turbin CrossFlow

c. Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan turbin impuls. Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nozel. Turbin pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien, Turbin pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi. Gambar 2.3 dibawah ini menunjukkan gambar turbin pelton.



Gambar 2.3 Turbin Pelton

B. Turbin Reaksi

Dalam turbin reaksi sebagian energi fluida diubah menjadi energi kinetik dengan mengalirnya fluida melalui pintu – pintu yang dapat disetel sebelum memasuki rotor, dan perubahan selebihnya terjadi di dalam rotor. Semua laluan terisi air, termasuk laluan dari rotor ke permukaan cairan hilir. Adapun jenis – jenis turbin reaksi adalah sebagai berikut :

a. Turbin Francis

Turbin francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi dibagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin francis dapat merupakan suatu sudu pengatah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudunya. Untuk penggunaan di berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur ialah pilihan yang tepat. Gambar 2.4 dibawah ini menunjukkan gambar turbin francis

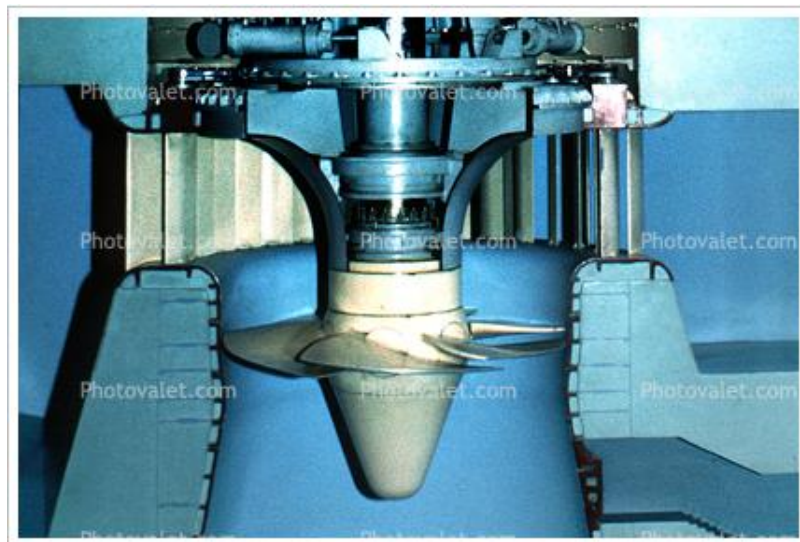


Gambar 2.4 Turbin Francis

b. Turbin Kaplan

Tidak berbeda dengan turbin francis, turbin kaplan menggunakan prinsip reaksi. Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling – baling

pesawat. Bila baling – baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya F yaitu gaya utar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada francis, sudu – sudu pada roda jalan kaplan dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kead yang berubah – ubah menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit tenaga listrik tenaga air sungai. Karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan head yang berubah – ubah sepanjang tahun. Turbin kaplan dapat beroperasi pada kecepatan tinggi sehingga roda turbin lebih kecil dapat dikopel langsung dengan generator. Pada kondisi pada beban tidak penuh turbin kaplan mempunyai efisiensi paling tinggi, hal ini dikarenakan sudu – sudu turbin dapat diatur menyesuaikan beban yang ada Gambar 2.5 dibawah ini menunjukkan gambar turbin kaplan.



Gambar 2.5 Turbin Kaplan

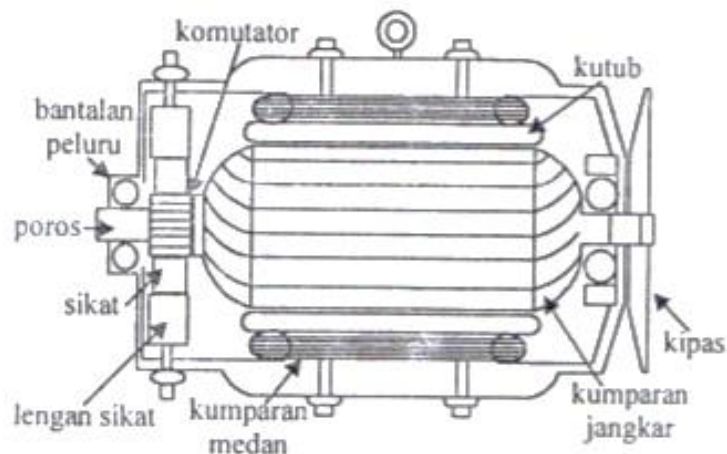
2.4 Generator

Generator arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen mesin – mesin listrik lainnya. Secara garis besar generator arus searah adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi mekanik di pergunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar di dalam medan magnet. Berdasarkan hukum Faraday, maka pada

kawat penghantar akan timbul ggl induksi yang besarnya sebanding dengan laju perubahan fluksi yang dilingkupi oleh kawat penghantar. Bila kumparan kawat tersebut merupakan rangkaian tertutup, maka akan timbul arus induksi. Yang membedakannya dengan generator lain yaitu terletak pada komponen penyearah yang terdapat didalamnya yang disebut dengan komutator dan sikat.

2.4.1 Konstruksi Generator Arus Searah

Generator arus searah memiliki konstruksi yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian yang berputar (rotor) dan bagian yang diam (stator). Yang termasuk stator adalah rangka, komponen magnet dan komponen sikat. Sedangkan yang termasuk rotor adalah jangkar, kumparan jangkar dan komutator. Secara umum konstruksi generator arus searah dapat dilihat pada gambar 2.6.

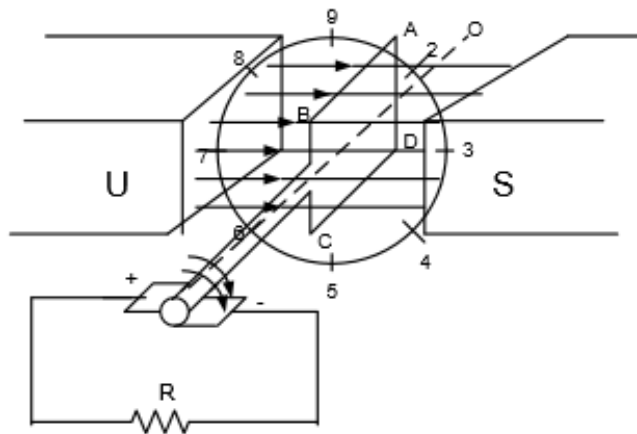


Gambar 2.6 Konstruksi generator Arus Searah

2.4.2 Prinsip Kerja Generator Arus Searah

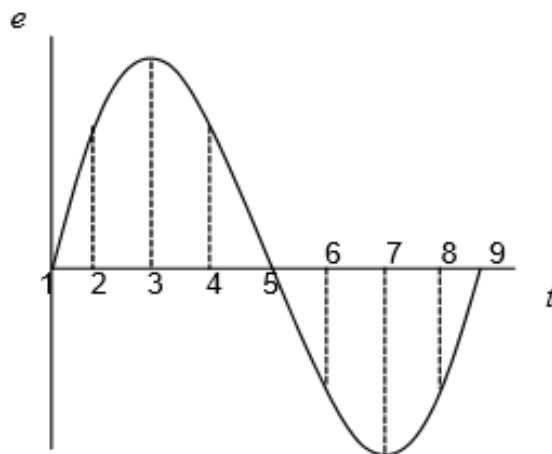
Suatu generator arus searah bekerja berdasarkan prinsip induksi magnetis sesuai dengan Hukum Faraday. Bila ada sepotong penghantar dalam medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk GGL induksi. Demikian pula sebaliknya bila sepotong penghantar digerakkan dalam medan magnet, dalam penghantar tersebut juga terbentuk GGL induksi.

Suatu penghantar yang diputar dalam medan magnet dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini :



Gambar 2.7. Suatu penghantar yang diputar dalam medan magnet

Medan magnetnya dihasilkan oleh kumparan medan sedangkan untuk menghasilkan efek perubahan fluksi maka belitan penghantar diputar oleh prime mover. Bentuk tegangan yang dihasilkan dapat terlihat pada gambar 2.8 di bawah ini



Gambar 2.8. Bentuk gelombang tegangan yang dihasilkan

Posisi 1 : fluksi yang menembus belitan maksimum tapi perubahan fluksi adalah minimum. Ini disebabkan belitan AB dan CD tidak terpotong fluksi sehingga $EMF = 0$

Posisi 3 : fluksi yang menembus belitan minimum tapi perubahan fluksi adalah maksimum akibatnya EMF yang terinduksi juga maksimum.

Untuk posisi putaran berikutnya sama dengan posisi di atas yaitu untuk posisi I EMF induksi maksimum, posisi F maksimum. Apabila terminal-terminal dari generator dihubungkan ke beban maka akan terbentuk atau mengalir arus. Karena tegangan induksi adalah bolak-balik maka arus induksinya juga bolak-balik. Tegangan bolak-balik inilah yang akan disearahkan dengan komutator yang akan diuraikan berikutnya. Persamaan tegangan bolak-balik yang dihasilkan dalam hal ini dapat diturunkan dari hukum Faraday, yaitu :

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \dots \dots \dots (2.4)$$

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa fluksi yang dihasilkan adalah fluksi yang berubah terhadap waktu dan berbentuk sinusoidal, maka persamaan fluks dalam rangkaian kumparan adalah :

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_m \cos \omega t \dots \dots \dots (2.5) \\ d\Phi &= -\omega \Phi_m \sin \omega t dt \end{aligned}$$

Maka Persamaan (2.5) di atas dapat diturunkan menjadi :

$$\begin{aligned} e &= \frac{-N - \omega \Phi_m \sin \omega t dt}{dt} \\ e &= N \omega \Phi_m \sin \omega t \dots \dots \dots (2.6) \end{aligned}$$

Tegangan induksi ini akan mencapai maksimum pada saat $\omega t = \pi/2$ rad, maka tegangan induksi maksimum

$$E_{\max} = N \Phi_m \sin \omega t \dots \dots \dots (2.7)$$

Persamaan (2.7) di atas dapat ditulis menjadi :

$$e = E_{\max} \sin \omega t \dots \dots \dots (2.8)$$

Untuk harga efektif dari tegangan yang dihasilkan adalah :

$$E_{\text{eff}} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{N \Phi \omega}{\sqrt{2}}$$

$$E_{\text{eff}} = \frac{2 \pi f N \Phi}{\sqrt{2}}$$

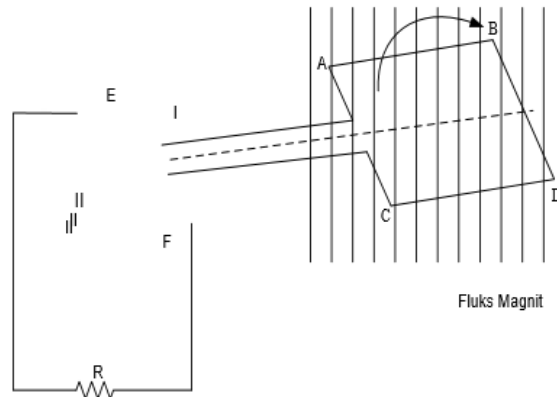
$$E_{\text{eff}} = 4,44 N \Phi f \text{ (Volt)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Emf yang dihasilkan berupa siklus sinusoidal tegangan bolak-balik. Dengan cincin komutasi yang segmen-segmennya terhubung dengan ujung konduktor jangkar, menyebabkan perubahan pada tegangan keluarannya menjadi tegangan yang searah. Proses ini dinamakan proses komutasi.

2.4.3 Prinsip Penyearah

Pada generator arus searah, penyearahan dilakukan secara mekanis dengan menggunakan alat yang disebut komutator. Komutator pada prinsipnya mempunyai bentuk yang sama dengan cincin seret, hanya cincin tersebut dibelah dua kemudian disatukan kembali dengan menggunakan bahan isolator. Masing-masing bahan komutator dihubungkan dengan sisi kumparan tempat terbentuknya GGL.

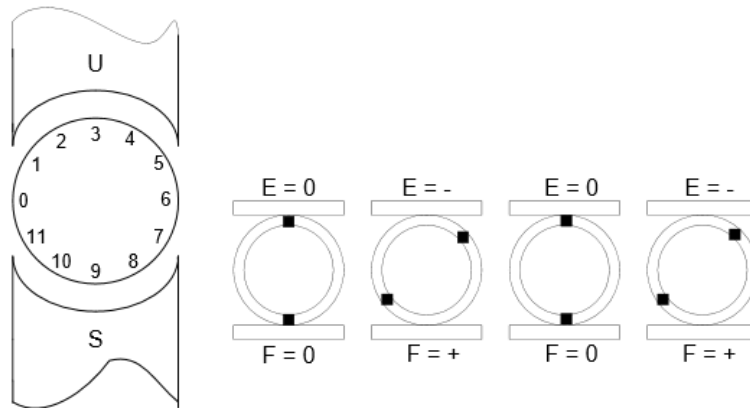
Komutator I dihubungkan dengan sisi AB dan komutator II dihubungkan dengan sisi CD, untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9. Suatu penghantar yang ditembus oleh fluksi

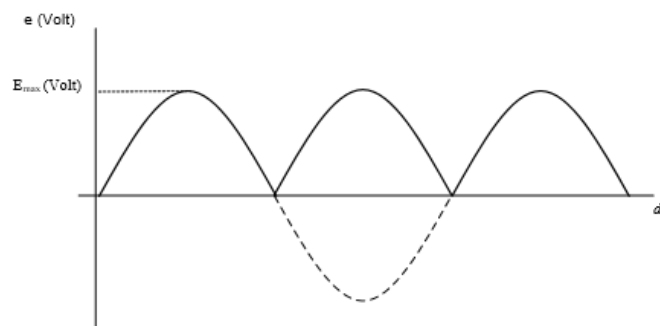
Jika kumparan ABCD berputar, maka sikat-sikat akan bergesekan dengan komutator-komutator secara bergantian. Peristiwa bergesekan / perpindahan sikat-sikat dari satu komutator ke komutator berikutnya disebut komutasi. Peristiwa komutasi inilah yang menyebabkan terjadinya penyearahan yang prinsipnya adalah sebagai berikut :

- a. Mula-mula sisi AB berada pada kedudukan 0 dan sisi CD berada pada kedudukan yang berlawanan yaitu 6. Pada saat ini tentu saja pada sisi AB dan CD tidak terbentuk GGL. Pada saat ini pula sikat-sikat berhubungan dengan bagian isolator kedua komutator. Ini berarti sikat-sikat berpotensi nol.
- b. Kumparan berputar terus, sekarang sisi AB bergerak di daerah utara (dari kedudukan 0 menuju 3) dan sisi CD bergerak di daerah selatan. Sesuai dengan hukum tangan kanan maka GGL yang terbentuk pada sisi AB arahnya menjauhi kita, sedangkan pada sisi CD terbentuk GGL yang arahnya mendekati kita. Jika arus listrik di dalam sumber mengalir dari negatif (-) ke positif (+), maka pada saat itu komutator I dan sikat E berpotensi negatif, sedangkan komutator II dan sikat F berpotensi positif. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10. Ilustrasi proses penyearahan

- c. Saat sisi kumparan AB sampai pada kedudukan 6 dan CD kedudukan 12, maka pada saat ini sikat-sikat berpotensi nol karena GGL induksi yang terbentuk pada masing-masing sisi kumparan adalah nol, sikat-sikat hanya berhubungan dengan isolator.
- d. Kumparan ABCD bergerak terus, sisi AB bergerak di daerah selatan (dari kedudukan 6 menuju 12) sehingga GGL yang terbentuk pada sisi kumparan AB arahnya mendekati kita, sebaliknya pada sisi CD yang bergerak di daerah utara terbentuk GGL yang arahnya menjauhi kita. Pada saat itu komutator I dan sikat F berpotensi positif sedangkan komutator II dan sikat E negatif. Sehingga dihasilkan tegangan induksi dengan bentuk gelombang seperti gambar 2.11 di bawah ini :



Gambar 2.11. Bentuk gelombang tegangan hasil dari proses penyearahan

2.5 Perancangan Desain Turbin

Air dialirkan melalui pipa ke arah susu-sudu. Kecepatan aliran yang keluar dari pipa adalah kecepatan yang akan masuk ke sudu. Harga kecepatan aliran keluar sudu ditentukan berdasarkan persamaan kontinuitas aliran yakni :

2.5.1 Kecepatan Putaran Sudu^[4]

$$V = K_v \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$K_v = \text{Koefisien x kecepatan} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

g = percepatan gravitasi (m/det^2)

h = tinggi air jatuh (m)

V = kecepatan aliran keluar (m/det)

2.5.2 Debit Air

Debit air merupakan hal yang sangat menentukan dalam perencanaan turbin ini, karena daya yang dihasilkan oleh turbin sangat tergantung pada debit air yang tersedia. Menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$Q = A \cdot V \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana

Q = debit air (m^3det)

V = kecepatan aliran air (m/det)

A = luas penampang aliran (m^2)

2.5.3 Daya Hidrolik Tenaga Air

$$P_{\text{air}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

- P_{air} = Daya Hidrolik (watt)
- ρ = massa jenis air (Kg/m^3)
- g = percepatan grafitasi (m/det^2)
- Q = debit air (m^3/det)
- H = tinggi jatuh efektif (m)

2.5.4 Daya turbin yang dihasilkan

$$P_T = \eta_T \cdot P_{\text{air}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

- P_T = Daya Turbin (watt)
- η_T = Efisiensi Turbin
- P_{air} = Daya Hidrolik (watt)

2.5.5 Daya listrik yang dihasilkan

$$P_E = \eta \cdot P_{\text{air}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

- P_E = Daya Listrik (watt)
- η = Efisiensi gabungan turbin dan genertator
= $\eta_T \cdot \eta_G$
- η_T = Efisiensi Turbin
- η_G = Efisiensi Generator

Apabila ditinjau dari kapasitas dan tinggi jatuh air, daya turbin yang direncanakan dapat ditentukan dengan persamaan.

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_C \cdot \eta_T \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

P = Daya turbin (Watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Percepatan grafitasi (m/det^2)

Q = Debit aliran air (m^3/det)

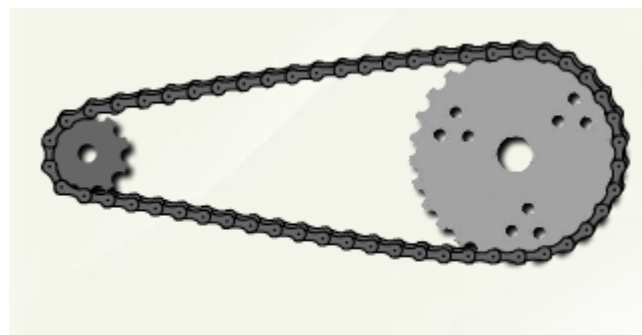
H_C = Tinggi jatuh air efektif

η_T = efisiensi turbin

(untuk turbin air harga efisiensi 84% s/d 94%)

2.6 Transmisi Rantai – Sproket (Chain and Sprocket)

Transmisi rantai-sproket digunakan untuk transmisi tenaga pada jarak sedang. Kelebihan dari transmisi ini dibanding dengan transmisi sabuk-puli adalah dapat digunakan untuk menyalurkan daya yang lebih besar seperti diuraikan berikut ini. Sketsa rantai dan sproket diperlihatkan pada gambar 2.12 dibawah ini



Gambar 2.12 Sketsa rantai dan sproket

Untuk menghitung ratio perbandingan gear dapat digunakan rumus dibawah ini :

Kombinasi 2 gigi :

$$\text{Ratio gear} = B : A \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

A = Jumlah mata gear pertama

B = Jumlah mata gear kedua

Kombinasi 4 gigi :

$$\text{Ratio gear} = (B : A) \times (D : E) \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

A = Jumlah mata gear pertama

B = Jumlah mata gear kedua

C = Jumlah mata gear ketiga

D = Jumlah mata gear keempat

Kelebihan:

- a. transmisi tanpa slip
- b. perbandingan putaran tetap
- c. dapat meneruskan daya besar
- d. keausan kecil pada bantalan
- e. jarak poros menengah (antara belt dan gear)

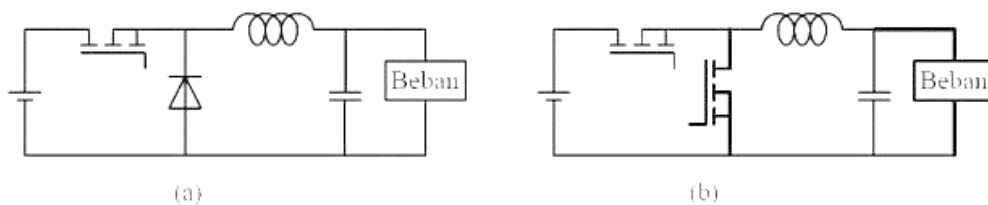
Kekurangan:

- a. tdk dapat dipakai utk kecepatan tinggi (max. 600 m/min)
- b. suara dan getaran tinggi
- c. perpanjangan rantai karena keausan pena dan bus

2.7 DC Converter

2.7.1 Converter Buck

Converter jenis buck merupakan jenis konverter yang banyak digunakan dalam industri catu-daya. Konverter ini akan mengkonversikan tegangan dc masukan menjadi tegangan dc lain yang lebih rendah (konverter penurun tegangan). Rangkaian ini terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET) dan satu saklar pasif (diode). Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif sering diganti dengan saklar aktif sehingga susut daya yang terjadi bisa dikurangi. Kedua saklar ini bekerja bergantian. Setiap saat hanya ada satu saklar yang menutup. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar aktif terhadap periode penyaklarannya (faktor kerja). Nilai faktor kerja bisa diubah dari nol sampai satu. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan keluaran selalu lebih rendah dibanding tegangan masukannya. Beberapa konverter buck bisa disusun paralel untuk menghasilkan arus keluaran yang lebih besar. Jika sinyal ON-OFF masing-masing konverter berbeda sudut satu sama lainnya sebesar $360^\circ/N$, yang mana N menyatakan jumlah konverter, maka didapat konverter dc-dc N-fasa. Konverter buck N-fasa inilah yang sekarang banyak digunakan sebagai regulator tegangan mikroprosesor generasi baru. Dengan memperbanyak jumlah fasa, ukuran tapis yang diperlukan bisa menjadi jauh lebih kecil dibanding konverter dc-dc satu-fasa. Selain digunakan sebagai regulator tegangan mikroprosesor, konverter buck multifasa juga banyak dipakai dalam industri logam yang memerlukan arus dc sangat besar pada tegangan yang rendah.



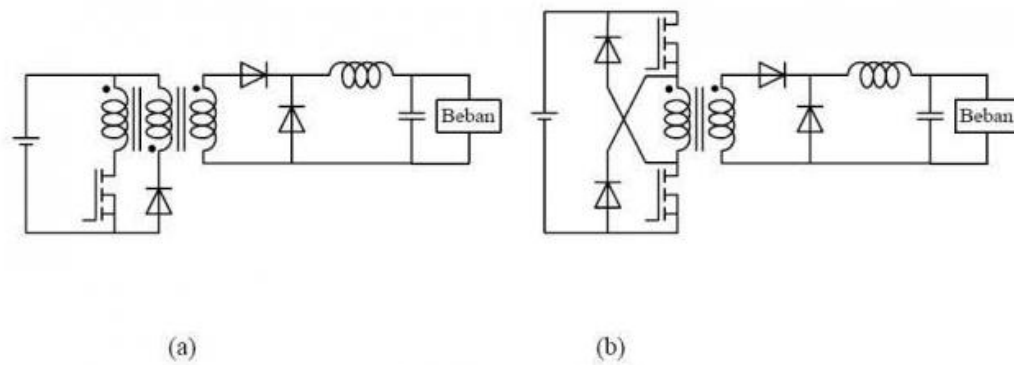
Gambar 2.13 Topologi Buck

Perlu dicatat bahwa arus masukan konverter buck selalu bersifat tak kontinyu dan mengandung riak yang sangat besar. Akibatnya pada sisi masukan, konverter buck memerlukan tapis kapasitor yang cukup besar untuk mencegah terjadinya gangguan interferensi pada rangkaian di sekitarnya. Konverter dc-dc jenis buck biasanya dioperasikan dengan rasio antara tegangan masukan terhadap keluarannya tidak lebih dari 10. Jika dioperasikan pada rasio tegangan yang lebih tinggi, saklar akan bekerja terlalu keras sehingga keandalan dan efisiensinya turun. Untuk rasio yang sangat tinggi, lebih baik kalau kita memilih versi yang dilengkapi trafo.

2.7.2 Converter Forward

Jika penerapan mensyaratkan adanya isolasi galvanis antara sisi masukan dan keluaran atau bekerja dengan rasio tegangan yang sangat tinggi maka konverter jenis forward bisa menjadi pilihan. Skema dari konverter dc-dc jenis forward diperlihatkan pada gambar 2.14. Jika saklar MOSFET menutup maka beban akan merasakan tegangan yang besarnya sebanding dengan tegangan masukan dikalikan rasio jumlah lilitan trafonya. Jika saklar MOSFET menutup maka tegangan bebannya sama dengan nol. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan beban bisa diatur dengan mengatur faktor-kerja saklar. Rasio tegangan yang tinggi didapat dengan memilih rasio jumlah lilitan trafo yang sesuai. Pada Gambar 2.14(a), trafo dilengkapi dengan belitan tersier dan dioda. Rangkaian ini berperan saat saklar MOSFET terbuka. Belitan bantu dan dioda ini berfungsi untuk menjamin bahwa fluksi magnetik di inti trafo telah turun kembali menjadi nol sebelum saklar MOSFET kembali ditutup. Tegangan maksimum yang dirasakan saklar aktif adalah tegangan sumber ditambah tegangan primer trafo (tegangan beban dikalikan rasio jumlah lilitan primer terhadap sekunder). Selain itu untuk menjamin bahwa fluksi magnetik selalu kembali menjadi nol selama saklar aktif terbuka, saklar aktif tidak boleh dioperasikan dengan faktor-kerja lebih dari 50%. Pada saat ini, konverter forward seperti di Gambar. 2.14(a) banyak dipakai untuk daya sampai 100 Watt. Untuk daya yang lebih besar, rangkaian konverter forward dimodifikasi menjadi

seperti terlihat di Gambar. 2.14(b). Dengan topologi ini, tegangan maksimum yang dirasakan saklar menjadi berkurang. Topologi ini cocok untuk daya sampai 1000 Watt. Untuk daya kecil, topologi ini tidak cocok karena susut daya di empat saklar yang digunakan menjadi sangat membebani sistem.

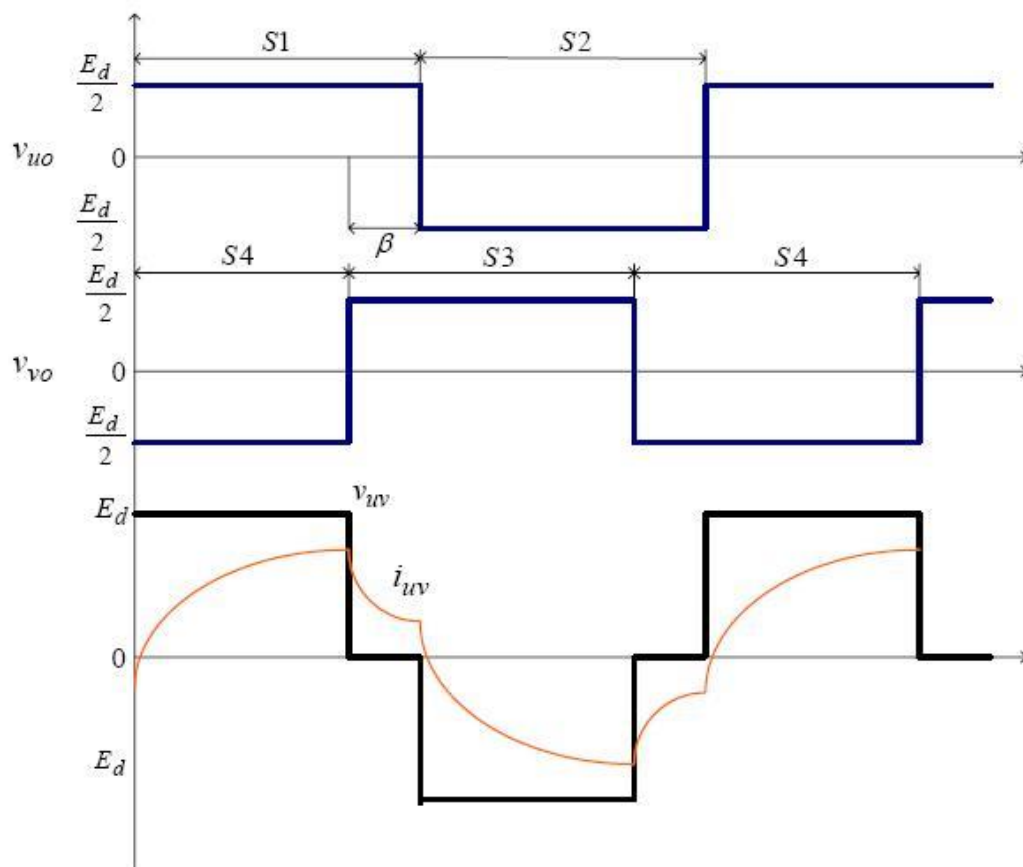


Gambar 2.14 Converter Forward

2.7.3 Converter Jenis Jembatan

Masalah utama yang dihadapi konverter forward adalah penggunaan trafo yang kurang efisien. Penggunaan trafo kurang efisien karena trafo dimagnetisasi secara tak simetris (gelombang tegangan trafo bukan gelombang bolak-balik). Untuk mengatasi masalah ini, kita bisa menggunakan topologi setengah-jembatan (half-bridge) seperti terlihat di Gambar. 2.15(a). Jika saklar S1 ditutup maka trafo merasakan tegangan positif sedangkan jika saklar S2 ditutup maka trafo merasakan tegangan negatif. Kelemahan utama dari topologi ini adalah tidak cocok untuk dioperasikan dalam mode arus terkendali. Inilah alasan utama mengapa topologi ini tidak banyak digunakan. Untuk mengatasi masalah pada konverter setengah-jembatan, kita bisa menggunakan topologi jembatan-penuh (full-bridge). Skema konverter ini diperlihatkan di Gambar. 2.15(b). Untuk memahami kinerja konverter jembatan-penuh, kita bisa menganggap sebagai dua konverter setengah-jembatan seperti terlihat di Gambar. 2.15. Masing-masing konverter setengah-jembatan menghasilkan gelombang persegi yang berbeda fasa. Belitan primer trafo akan merasakan selisih tegangan yang dihasilkan oleh dua konverter setengah-jembatan

tersebut. Selisih tegangan ini tergantung pada besarnya beda fasa antara dua gelombang tegangan yang dihasilkan. Dengan mode kerja seperti di Gb. 2.15, konverter jembatan-penuh bisa dirancang agar bekerja dalam mode pensaklaran lunak (soft switching). Pada mode kerja ini, pembukaan dan penutupan saklar selalu terjadi saat tegangan pada saklar sama dengan nol. Akibatnya, rugi-rugi daya pensaklaran (rugi-rugi daya yang terjadi selama proses penutupan dan pembukaan saklar) bisa ditekan menjadi sangat rendah. Konverter daya jenis jembatan penuh ini cocok untuk penerapan daya besar sampai 5000 Watt. Walaupun komponen yang digunakannya banyak, manfaat yang didapat bisa mengalahkan kerugiannya.

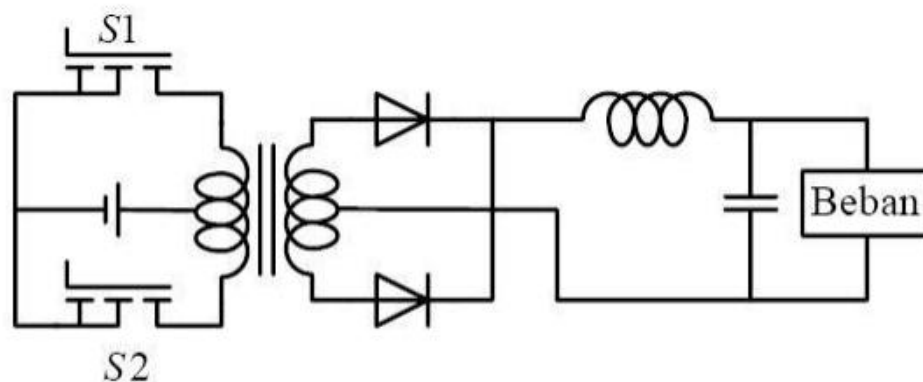


Gambar 2.15 Gelombang Converter Jembatan Penuh

2.7.4 Converter Push-Pull

Topologi turunan buck lain yang cukup populer adalah push-pull seperti terlihat di Gambar. 2.16. Keuntungan utama dari topologi ini adalah dua saklar yang digunakan bisa dikendalikan dengan dua rangkaian gate yang referensinya sama. Ini akan sangat menyederhanakan rangkaian kendali yang diperlukan sehingga bisa dibuat dalam satu chip.

Topologi push-pull cocok untuk penerapan dengan tegangan masukan yang rendah karena saklar akan merasakan tegangan sebesar dua kali tegangan masukannya. Akibatnya, rangkaian ini cocok untuk konverter daya yang dipasok dengan battery. Topologi ini banyak dipakai untuk daya sampai 500 Watt.

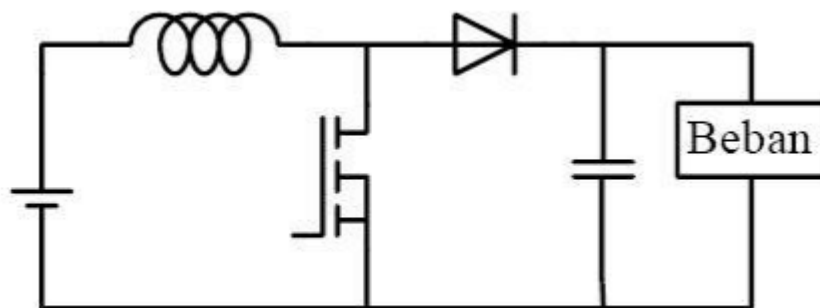


Gambar 2.16 Converter push-pull

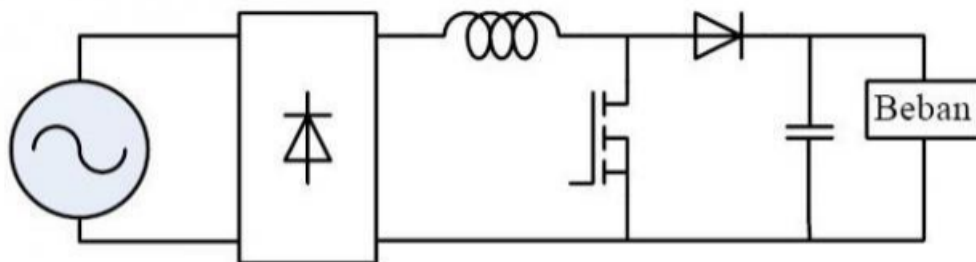
2.7.5 Topologi Boost

Topologi boost bisa menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya (penaik tegangan). Skema konverter ini diperlihatkan di Gambar 2.17. Jika saklar MOSFET ditutup maka arus di induktor akan naik (energi tersimpan di induktor naik). Saat saklar dibuka maka arus induktor akan mengalir menuju beban melewati dioda (energi tersimpan di induktor turun). Rasio antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan konverter sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar. Ciri khas utama konverter ini adalah bisa menghasilkan arus masukan yang

kontinyu. Pada saat ini, topologi boost banyak dipakai dalam penyearah yang mempunyai faktor-daya satu seperti terlihat di Gambar 2.18. Pada rangkaian ini, saklar dikendalikan sedemikian rupa sehingga gelombang arus induktor mempunyai bentuk seperti bentuk gelombang sinusoidal yang disearahkan. Dengan cara ini, arus masukan penyearah akan mempunyai bentuk mendekati sinusoidal dengan faktor-daya sama dengan satu. Pengendali konverter semacam ini sekarang tersedia banyak di pasaran dalam bentuk chip.



Gambar 2.17 Converter Boost



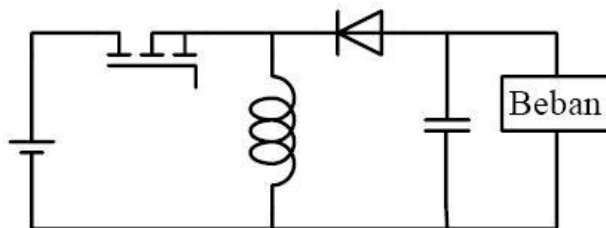
Gambar 2.18 Penyearah dengan faktor daya-satu

2.7.6 Topologi Buck-Boost

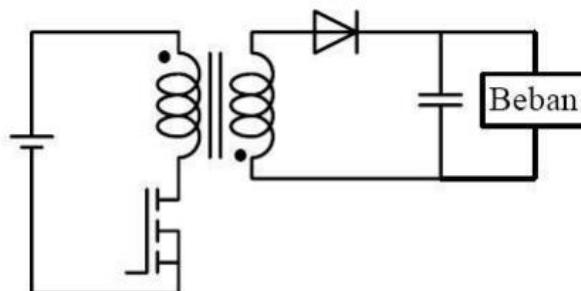
Skema konverter buck-boost diperlihatkan di Gambar 2.19. Jika saklar MOSFET ditutup maka arus di induktor akan naik, Saat saklar dibuka maka arus di induktor turun dan mengalir menuju beban. Dengan cara ini, nilai rata-rata tegangan beban sebanding dengan rasio antara waktu pembukaan dan waktu penutupan

saklar. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan beban bisa lebih tinggi maupun lebih rendah dari tegangan sumbernya.

Masalah utama dari konverter buck-boost adalah menghasilkan riak arus yang tinggi baik di sisi masukan maupun sisi keluarannya. Akibatnya, diperlukan tapis kapasitor yang besar di kedua sisinya. Inilah salah satu alasan mengapa konverter buck-boost jarang dipakai di industri. Dalam industri, topologi yang sering dipakai adalah turunan buck-boost yang lebih populer disebut konverter flyback. Skema konverter ini diperlihatkan di Gambar. 2.20. Pada konverter ini, energi tersimpan di trafo akan naik saat saklar MOSFET ditutup. Saat saklar dibuka, energi tersimpan di trafo akan dikirim ke beban melalui dioda. Konverter ini sering dipakai untuk menghasilkan banyak level tegangan keluaran dengan menggunakan beberapa belitan sekunder trafo. Konverter flyback biasa dipakai untuk daya sampai 100 Watt. Keuntungan utama dari konverter flyback adalah menggunakan komponen yang paling sedikit dibanding konverter jenis lainnya. Kelemahan utama dari topologi ini adalah tingginya tegangan yang dirasakan oleh saklar.



Gambar 2.19 Converter Buck-Boost

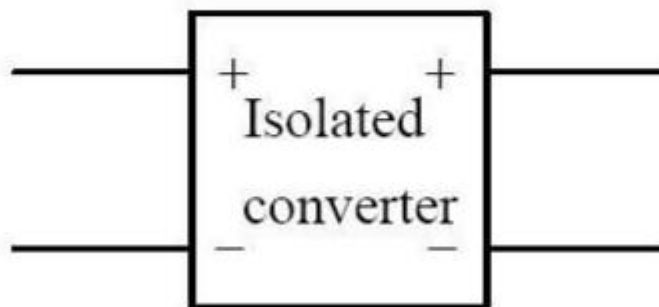


Gambar 2.20 Converter Flyback

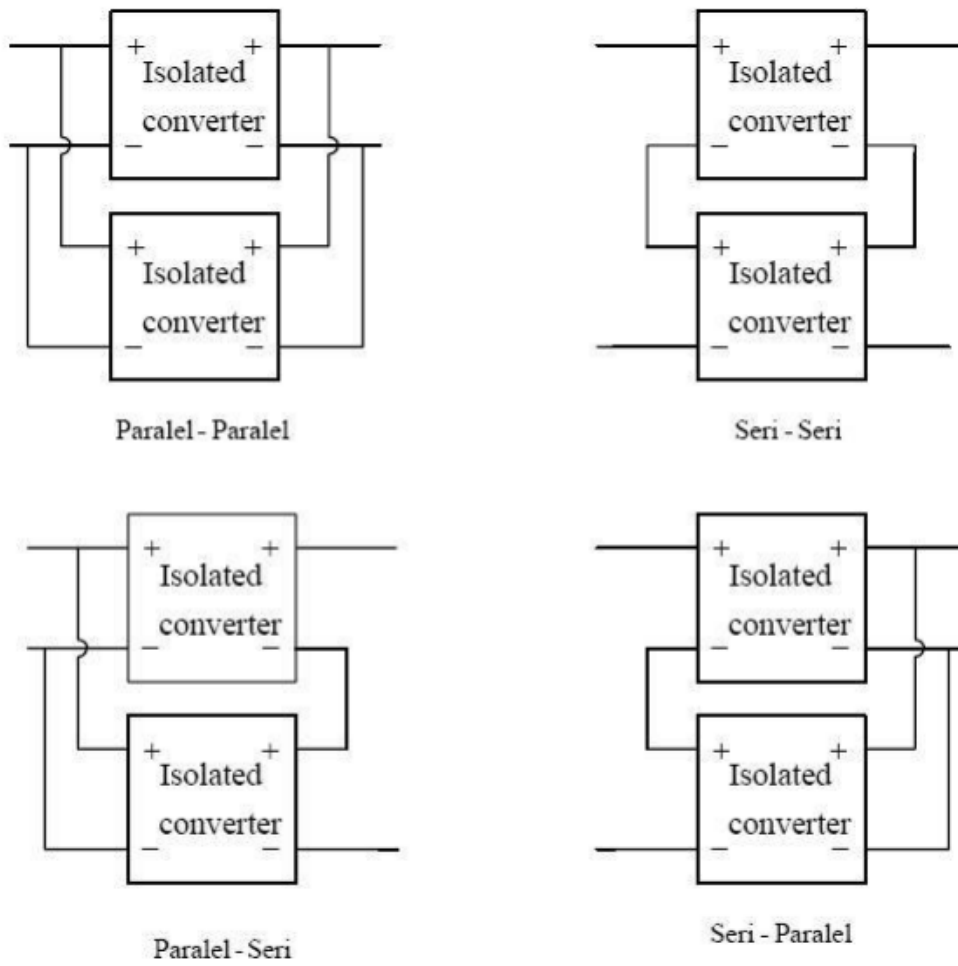
2.7.7. Kombinasi Converter

Untuk penerapan yang sangat khusus, kita bisa mengkombinasikan beberapa konverter dasar sehingga didapat kinerja yang diinginkan. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, kita bisa menganggap konverter sebagai two-port network yang direpresentasikan seperti terlihat pada gambar 2.21. Jika konverter bisa dianggap sebagai twoport network seperti di gambar 2.21 maka empat macam kombinasi seperti terlihat di Gambar 2.22 bisa didapat. Konverter yang dikombinasikan bisa lebih dari dua. Konverter yang dikombinasikan tidak harus mempunyai topologi yang sama. Dengan kombinasi semacam ini, keuntungan dari beberapa jenis konverter bisa digabung dan membuang kelemahannya.

Tergantung pada topologi dasar yang dipakai untuk membentuk two-port network tidak semua empat macam kombinasi seperti di Gambar 2.22 bisa didapat. Tidak adanya isolasi galvanis antara sisi masukan dan keluaran pada beberapa topologi menyebabkan tidak semua kombinasi di Gambar 2.22 bisa diimplementasikan. Kombinasi semacam ini juga berlaku untuk konverter dc-ac, ac-dc, dan ac-ac.



Gambar 2.21 Converter DC sebagai two-port network



Gambar 2.22 Empat macam kombinasi konverter daya