

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (Pembangkit Listrik Sistem Hibrid)

Pembangkit Listrik Sistem Hibrid adalah pembangkit yang terdiri lebih dari satu pembangkit dengan sumber energi yang berbeda. Pembangkit sistem hibrid sangat efektif dipakai untuk daerah-daerah yang sulit dijangkau⁸. Pembangkit sistem hibrid biasanya merupakan kombinasi lebih dari satu jenis pembangkit energi terbarukan (*renewable energy*). Energi terbarukan merupakan salah satu bentuk energi yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan sisa pembakaran berupa karbon yang menjadi salah satu faktor utama penyebab efek rumah kaca pada bumi. Sumber-sumber energi terbarukan yaitu tenaga angin, tenaga air, tenaga biomasa, tenaga solar dan tenaga ombak¹¹.

Beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam perancangan pembangkit sistem hibrid yaitu kapasitas pembangkit, jumlah total beban dan potensi sumber energi. Dalam mengetahui kerja dari pembangkit sistem hibrid, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan yaitu potensi energi yang akan dibangkitkan oleh pembangkit

seperti besarnya debit air aliran sungai setiap tahunnya untuk PLTMH, pergantian siang dan malam beserta rata-rata pencahayaan setiap harinya untuk PLTS.

Masalah terbesar dalam pembangkit sistem hibrid yaitu bagaimana cara mengkombinasikan pembangkit untuk mendapatkan hasil yang optimal³. Kombinasi pembangkit sistem hibrid sangat penting. Hal itu dapat meningkatkan kehandalan dan mengoptimalkan daya keluaran dari pembangkit. Kekurangan dari pembangkit sistem hibrid yaitu dari segi biaya. Kelebihan dari pembangkit sistem hibrid yaitu ramah lingkungan, mudah untuk digunakan, peralatan tidak terlalu rumit dan mudah dalam perawatan. Pembangkit sistem hibrid dapat digunakan sebagai solusi untuk meningkatkan kualitas daya pada sistem transmisi energy⁷. Dari penelitian Herri Gusmedi membuktikan bahwa instalasi sistem hibrid PV dapat meningkatkan kinerja jaringan dalam hal drop tegangan dan meningkatkan tegangan dari 9.5% sampai 31%. Metode yang digunakan adalah metode Newton-Rhepson dengan *software* ETAP⁶.

B. Kualitas Daya (*Power Quality*)

Istilah kualitas daya listrik bukanlah hal yang baru, melainkan sudah menjadi isu penting pada industri sejak akhir 1980-an. Kualitas daya listrik memberikan gambaran akan baik buruknya suatu sistem ketenagalistrikan dalam mengatasi gangguan-gangguan pada sistem tersebut.

Roger C. Dugan memberikan empat alasan utama perlunya perhatian lebih akan masalah kualitas daya¹²:

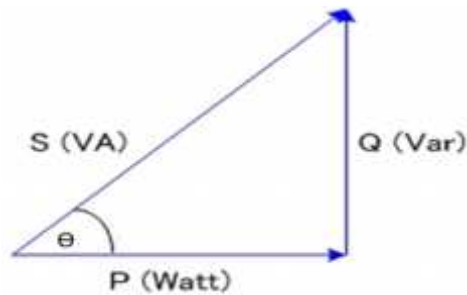
1. Perangkat listrik yang digunakan pada saat ini sangat sensitif terhadap kualitas daya listrik yang mana perangkat berbasis mikro prosesor dan elektronika daya lainnya membutuhkan tegangan pelayanan yang stabil dan level tegangannya juga harus dijaga pada tegangan kerja perangkat tersebut.
2. Peningkatan yang ditekankan pada efisiensi daya/sistem kelistrikan secara keseluruhan yang mengakibatkan pertumbuhan lanjutan dalam aplikasi perangkat dengan efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor bank untuk koreksi faktor daya untuk mengurangi rugi-rugi.
3. Meningkatnya kesadaran para konsumen akan masalah kualitas daya. Dimana pelanggan/konsumen menjadi lebih mengerti akan masalah seperti interupsi, sags, transien *switching* dan mengharapkan sistem utilitas listrik untuk meningkatkan kualitas daya yang dikirim.
4. Sistem tenaga listrik sekarang ini sudah banyak yang melakukan interkoneksi antar jaringan, di mana hal ini memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen akan mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya.

Masalah yang dapat timbul dari sistem tenaga listrik dengan kualitas daya yang buruk dapat berupa masalah lonjakan perubahan tegangan, arus dan frekuensi yang akan menimbulkan kegagalan pada peralatan. Dimana kegagalan ini merusak peralatan listrik baik dari sisi pengirim maupun sisi penerima. Untuk itu, demi mengantisipasi

kerugian yang dapat terjadi baik dari pihak PLN maupun masyarakat, pihak PLN harus mengupayakan sistem ketenagalistrikan yang baik. Banyak permasalahan pada sistem tenaga yang mempengaruhi kualitas daya transmisi yaitu *transient, short-duration variation, long-duration variation, voltage unbalance, waveform distortion, voltage fluctuation, power frequency variation*. Penurunan faktor daya, tegangan jatuh dan harmonisa dapat mempengaruhi kualitas listrik dalam sistem kelistrikan².

a. *Faktor Daya*

Faktor daya merupakan salah satu yang menjadi indikator menentukan kualitas daya listrik. Semakin kecil faktor daya maka semakin buruk kualitas daya listrik tersebut. Faktor daya didapatkan dari perbandingan antara daya aktif (W) dan daya total (VA) pada segitiga daya atau antar $\cos\phi$ daya aktif dan daya total. Faktor daya juga disimbolkan sebagai $\cos \phi$.

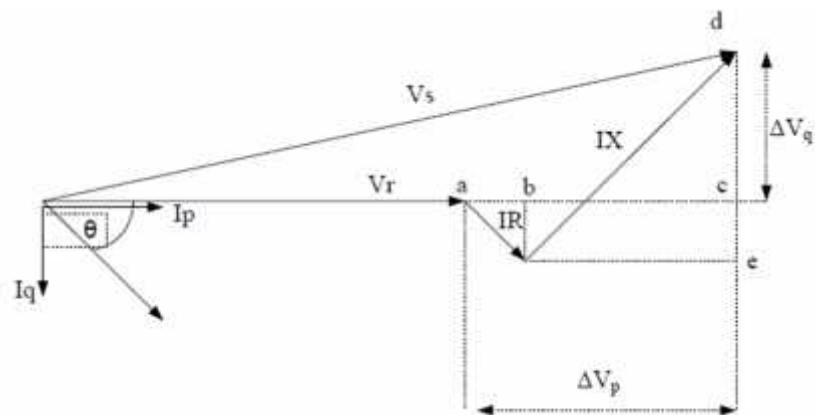


Gambar 2.1 segitiga daya (Awan setiawan-Kajian harmonisa terhadap system tenaga listrik)

Gambar 2.1 merupakan gambar segitiga daya. Segitiga daya merupakan hubungan antara daya nyata, daya reaktif dan daya semu.

b. Tegangan Jatuh

Tegangan jatuh (*drop voltage*) merupakan besar tegangan yang hilang di sepanjang konduktor. Hilangnya tegangan ini dapat disebabkan oleh panjang saluran dan besarnya impedansi sepanjang saluran tersebut. Berdasarkan standar PLN, tegangan minimum pada saluran tidak boleh kurang dari -10% dari tegangan nominal dan tegangan maksimumnya tidak boleh melebihi +5%⁹. Penurunan persamaan tegangan jatuh dapat ditentukan dari gambar diagram fasor transmisi daya sebagai berikut :



Gambar 2.2 Diagram fasor transmisi daya ke beban

Beban-beban yang terdapat pada sistem tenaga listrik bukanlah bersifat resistif murni melainkan bersifat resistif-induktif. Beban resistif akan menyerap daya aktif, sedangkan beban induktif akan menyerap daya reaktif yang dihasilkan oleh pembangkit. Penyerapan daya reaktif oleh beban induktif ini akan menyebabkan jatuh tegangan sehingga terjadi hilangnya tegangan pada saluran selama proses pendistribusian dan mengakibatkan nilai tegangan di sisi penerima akan berbeda

dengan nilai tegangan pada sisi pengirim. Persamaan jatuh tegangan dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$V_{s2} = (V_r + V_p)^2 + (V_q)^2 \dots\dots\dots [2.1]$$

Keterangan :

V_s = tegangan di sisi pengirim

V_r = tegangan di sisi penerima

V_p = jatuh tegangan

Dimana :

$$V_p = IR \cos \phi + IX \sin \phi \dots\dots\dots [2.2]$$

$$V_q = IX \cos \phi - IR \sin \phi \dots\dots\dots [2.3]$$

Sehingga persamaan tegangan di sisi pengirim (V_s) menjadi :

$$V_{s2} = (V_r + IR \cos \phi + IX \sin \phi)^2 + (IX \cos \phi - IR \sin \phi)^2 \dots\dots\dots [2.4]$$

Karena nilai $V_q = IX \cos \phi - IR \sin \phi$ sangat kecil, maka nilai tersebut dapat diabaikan. Sehingga persamaan V_{s2} menjadi :

$$V_{s2} = (V_r + V_p)^2 \dots\dots\dots [2.5]$$

Sementara itu, untuk persamaan jatuh tegangan dapat kita tentukan :

$$V_p = IR \cos \phi + IX \sin \phi \dots\dots\dots [2.6]$$

Atau

$$V_p = R P V_r + X Q V_r \dots\dots\dots [2.7]$$

Keterangan :

R = resistansi saluran

X = reaktansi saluran

P = daya aktif yang dikirim ke beban

Q = daya reaktif yang dikirim ke beban

Salah satu cara untuk memperbaiki drop tegangan di saluran yaitu dengan penambahan kapasitor bank, penggantian saluran dan penambahan tap transformator.

Untuk menghitung tegangan distribusi primer menggunakan persamaan :

$$V = IZ \dots \dots \dots [2.8]$$

Untuk menentukan besar persentase jatuh tegangan sepanjang saluran dapat menggunakan rumus berikut :

$$\%V = \frac{VS-VR}{VR} \times 100\% \dots \dots \dots [2.9]$$

Dimana :

$\%V$ = persentase jatuh tegangan di saluran

VS = tegangan sumber

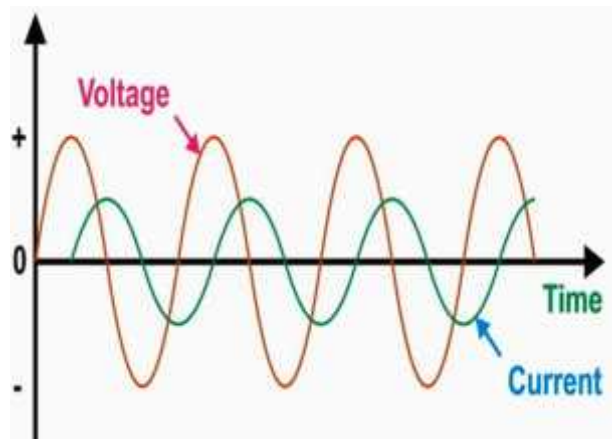
VR = tegangan jatuh

Semakin besar impedansi di saluran maka persentase tegangan jatuh semakin besar, sehingga menyebabkan kualitas tegangan di saluran akan semakin buruk². Dalam paper Herry Gusmedi yang berjudul “*Feasibility and Optimal Design of Micro-hydro and Photovoltaic Hybrid System in Support to Energy Independent Village*” yang membahas perbaikan tegangan jatuh sepanjang dengan menggunakan metode Newton Rhapson. Pada penelitian tersebut tegangan jatuh yang diperbaiki pada penghantar jaringan PLTMH di Dusun Margosari. Pada penelitian tersebut

perbaikan profil tegangan dilakukan dengan dilakukannya pemasangan PV sebesar 350Wp pada bus 14.

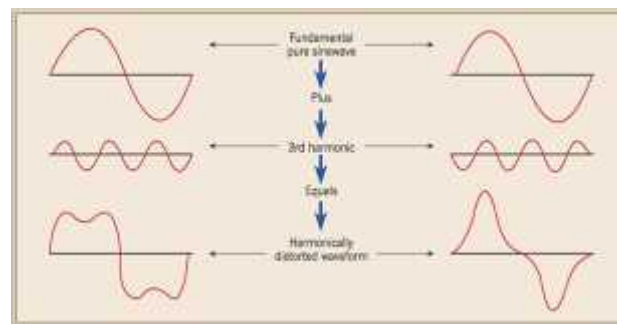
c. Harmonisa

Harmonisa merupakan fenomena dimana bentuk gelombang pada frekuensi–frekuensi tinggi merupakan kelipatan dari frekuensi dasarnya seperti (100Hz, 150Hz, 200Hz dan seterusnya) yang dapat mengganggu suplai daya listrik pada frekuensi dasarnya (50Hz) sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan menjadi cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi (*Mulyana-Penggunaan Harmonisa tegangan dan arus listrik digedung direktorat UPI*) . Harmonisa terjadi akibat dioperasikannya beban listrik non linier. Beban listrik non linier adalah beban listrik yang memiliki sifat menyimpang dari hukum Ohm. Dimana tegangan, arus dan hambatan/impedansi tidak sebanding. Artinya, respon tegangan yang diberikan pada beban tidak sebanding dengan arus beban yang muncul, seperti unit komputer, *printer, scanner*. Ketiganya disebut juga sebagai sumber harmonisa. Beban linier merupakan kebalikan dari beban non linier, dimana respon tegangan yang diberikan pada beban sebanding dengan arus yang dihasilkan (mendekati)¹¹.



Gambar 2.3 Gelombang arus dan tegangan *lagging*

Gambar 2.3 merupakan gambar gelombang arus dan gelombang tegangan. Kondisi tersebut dalam keadaan *lagging*. Keadaan *lagging* adalah keadaan dimana tegangan mendahului arus. Keadaan *lagging* disebabkan oleh beban kapasitif.



Gambar 2.4 Distorsi harmonisa orde 3¹⁰

Gambar 2.4 merupakan gambar gelombang terdistorsi oleh harmonisa orde 3. Harmonisa ini terjadi dimana terjadi frekuensi-frekuensi tinggi seperti 100Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar 50Hz.

Tingkat harmonisa yang melewati standar dapat menyebabkan terjadinya peningkatan panas pada peralatan. Bahkan pada kondisi terburuk dapat terjadi gangguan (*hanging up*) bahkan kerusakan permanen pada beberapa peralatan elektronik yang sensitif termasuk komputer (*personal computer*). Selain itu juga dapat menyebabkan berkurangnya umur peralatan. Pada kualitas tegangan pada sistem pembangkit dapat dilihat dari besar kecilnya THD (*Total Harmonic Distraction*). *Total Harmonic Distortion* (THD) merupakan nilai persentasi antara total kompnen harmonisa dengan komponen fudemental. Semakin besar persentasi THD maka akan menyebabkan semakin besar *losses* yang terjadi di sistem. Berdasarkan standar IEEE 519-2014, nilai THD suatu sistem diizinkan yaitu tidak boleh lebih dari 5% untuk THD_V dan 25% batas untuk THD_I ⁴. Untuk mencari nilai THD tegangan dan arus dapat sebagai berikut :

- THD tegangan

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + \dots + V_n^2}}{V_1^2} \dots \dots \dots [2.10]$$

- THD arus

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots + I_n^2}}{I_1^2} \dots \dots \dots [2.11]$$

Besar dan kecilnya THD dipengaruhi oleh jenis beban non linier pada sistem. Beban non linier merupakan beban yang menyebabkan besarnya THD dalam suatu sistem. Hal itu dikarenakan beban non linier memiliki rentang impedansi dari 0 sampai ∞ , sehingga menyebabkan bentuk gelombang balik dari beban mengalami distorsi sesuai dengan frekuensi fundamentalnya.

D. Inverter Filter Aktif

Power filter inverter merupakan inverter yang dilengkapi dengan rangkaian LPF (Low Pass Filter). Inverter adalah alat yang digunakan untuk merubah tegangan dari DC (*Direct Current*) menjadi AC (*Alternating Current*). Keluaran dari inverter berupa gelombang sinus (*sine wave*), gelombang kotak (*square wave*) dan sinus modifikasi (*sine wave modified*). Filter merupakan rangkaian yang dirancang untuk melewatkan frekuensi frekuensi tertentu dan menepis semua frekuensi yang tidak diinginkan. Dalam sistem tenaga, filter dibagi menjadi dua yaitu filter pasif dan filter aktif. Filter pasif merupakan suatu metode untuk mengkompensasi harmonisa pada sistem transmisi tenaga listrik. Filter pasif banyak digunakan di sistem tenaga karena lebih ekonomis¹. Filter aktif adalah alat elektronika daya yang berfungsi untuk menghasilkan komponen arus yang spesifik yang bertujuan untuk menggagalkan komponen arus harmonisa yang dihasilkan oleh beban-beban non linier. Perbedaan antara inverter filter aktif dan inverter filter pasif yaitu terletak dari penguatnya. Inverter filter pasif hanya terdiri dari komponen R-L-C tanpa ada penguat tambahan sebagai sumber pada filturnya sedangkan inverter dengan filter aktif yaitu terdiri dari

komponen filter pasif yang disertai dengan rangkaian penguat tambahan seperti rangkaian OP-Amp.