

Harmonika dalam Sistem Daya Listrik

Novalio Daratha

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bengkulu
Jl. Raya Kandang Limun, Bengkulu. Telp. (0736) 21170

Email : ndaratha@unib.ad.id

Abstrak

Harmonika dalam sistem daya listrik adalah permasalahan klasik yang kembali mendapatkan perhatian karena meningkatnya pemanfaatan saklar semikonduktor selama dekade terakhir. Beragam sumber harmonika karena histeresis inti magnet atau kehadiran saklar semikonduktor ditinjau ulang, Pengaruh harmonika pada berbagai peralatan juga didiskusikan. Kemudian, solusi terhadap masalah harmonika dengan filter aktif dan pasif disajikan secara ringkas. Tulisan ini adalah pengantar ke topik harmonika, khususnya, dan kualitas daya listrik umumnya.

Kata-kata kunci : harmonika, Total Harmonics Distortion, Filter Aktif, Filter pasif

1. Pengantar

Harmonika dalam sistem daya listrik bukanlah fenomena yang baru. Ia telah dikenal sejak masa-masa awal tumbuhnya sistem tenaga listrik. Tetapi, seiring dengan semakin banyaknya penggunaan elektronika daya dalam beberapa dekade terakhir, permasalahan ini semakin penting dan menarik perhatian. Walaupun banyak referensi yang tersedia dalam bahasa Inggris mengenai topik ini, referensi yang berbahasa Indonesia masih relatif sedikit. Dalam artikel ini, penulis merangkum sumber-sumber harmonika, akibat-akibat yang ditimbulkannya dan alternatif-alternatif penyelesaiannya.

2. Sumber-sumber harmonika

Idealnya, arus dan tegangan dalam sistem tenaga listrik memiliki bentuk sinusoidal. Hal ini terjadi jika sumber tegangan sinusoid memberi suplai kepada beban linear. Beban linear mencakupi resistor, kapasitor, dan induktor ideal.

Di lain pihak, banyak peralatan yang dipakai masyarakat modern adalah beban nonlinear. Ditambah lagi, generator pun juga

tidak menghasilkan tegangan yang murni sinusoidal karena celah udara (*air gap*) yang tidak seragam.

Apabila beban bersifat nonlinear, arus yang dibutuhkananya tidak sinusoidal walaupun tegangan suplainya sinusoidal. Ketidaklinearan tersebut dapat disebabkan oleh sifat magnetis beban atau saklar semikonduktor. Transformer bersifat nonlinear karena histeresis inti magnetnya dan pengaruh *inrush current* saat ia dihubungkan pertama kali ke jaringan listrik. Motor-motor listrik juga bersifat tidak-linear karena tidak seragamnya celah udara antara stator dan rotor.

Selain mereka, alat-alat elektronika daya juga adalah beban tidak-linear. Sumber ketidaklinearannya adalah saklar-saklar semikonduktor seperti, dioda, thyristor, transistor-transistor CMOS dan IGBT. Setiap alat yang menggunakan saklar-saklar tersebut akan membutuhkan arus yang tidak sinusoidal.

Meskipun tidak lagi berbentuk sinusoidal, sinyal-sinyal arus tersebut masih periodik. Oleh karena itu, kita dapat

menggunakan deret fourier untuk mempelajarinya. Hasilnya, sinyal arus tersebut dapat diwakilkan oleh jumlah sinyal-sinyal periodik yang frekuensinya terhubung secara harmonik.

Frekuensi-frekuensi yang terhubung secara harmonik dapat dinyatakan secara matematik dengan persamaan berikut

$$f_k = kf_0 \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

dimana f_0 disebut frekuensi dasar (yang nilainya bisa 50 Hz atau 60 Hz tergantung sistem yang digunakan di suatu wilayah) dan f_k adalah frekuensi harmonika ke- k . Sinyal arus yang sinusoidal hanya memiliki komponen dasar saja. Oleh karena itu, perubahan bentuk sinyal arus dapat diasosiasikan dengan kehadiran harmonika-harmonika yang lain.

Ada beragam representasi dari deret fourier [1]. Dalam tulisan ini, kita menggunakan representasi eksponensialnya. Sebuah sinyal arus listrik periodik $i(t)$ dapat direpresentasikan sebagai deret fourier dalam bentuk persamaan

$$i(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k e^{jk\omega_0 t} \quad (2)$$

di mana f_0 adalah frekuensi komponen sinyal dasar yang berhubungan dengan $k = 1$; dan a_k adalah koefisien harmonika ke- k yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$a_k = \frac{1}{T_0} \int_{T_0} i(t) e^{-jk2\pi f_0 t} \quad (3)$$

di mana T_0 adalah periode sinyal dasar.

Bentuk deret fourier dalam (2) bukanlah bentuk yang umum digunakan dalam analisa harmonika daya listrik. Padanannya yang lebih sering digunakan adalah

$$i(t) = i_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{2} I_k \cos(k\omega_0 t + \theta_k) \quad (4)$$

Dimana i_0 adalah komponen DC arus; I_k adalah nilai rms harmonika ke- k dan θ_k adalah phase harmonika ke- k .

3. Ukuran Distorsi harmonika

Kehadiran harmonika-harmonika dalam sistem tenaga listrik menimbulkan beragam masalah yang harus diatasi. Masalah-masalah tersebut dapat berupa terhentinya proses-proses dalam industri, kerusakan permanen pada peralatan konsumen dan utilitas (perusahaan penyedia listrik), berkurangnya pendapatan utilitas, panas berlebihan dalam mesin berputar, dan interferensi dengan peralatan telekomunikasi.

Dalam upaya mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh harmonika, diperlukan sebuah ukuran distorsi harmonika. Distorsi Harmonika Total (*Total Harmonics Distortion*, THD) adalah standard yang umum dipakai selama ini. Secara matematis, ia dihitung dengan rumus berikut ini

$$THD = \sqrt{\sum_{k \neq 1} \frac{I_k^2}{I_1^2}} \quad (5)$$

4. Akibat-akibat Harmonika

Harmonika menimbulkan masalah pada mesin-mesin listrik, transformator, kabel, kapasitor, kabel netral, relay pelindung dan alat ukur listrik, serta telepon [2].

Pada mesin-mesin listrik harmonika menyebabkan deformasi elastis, torka parasitik, derau getaran dan dapat menurunkan kecepatan putar. Kerugian daya juga meningkat karena harmonika memperbesar rugi-rugi rotor dan rugi-rugi tembaga. Kemampuan generator sinkron untuk menyuplai beban yang tidak seimbang juga berkurang karena harmonika.

Isolasi pada motor juga akan terganggu karena tingginya dv/dt yang disebabkan oleh suply daya yang menggunakan modulasi lebar pulsa (Pulse-width modulation).

Transformator yang melayani beban non-linear harus dipakai pada rating yang lebih rendah karena harmonika meningkatkan rugi-rugi termasuk rugi karena arus eddy.

Pada kabel arus bolak-balik, rugi karena pengaruh kedekatan (*proximity effect*) dan pengaruh kulit (*skin effect*) semakin besar jika frekuensi harmonika semakin tinggi. Oleh karena itu, harmonika-harmonika juga meningkatkan rugi-rugi pada kabel.

Pengaruh utama harmonika pada kapasitor adalah resonansi. Resonansi ini dapat terjadi secara seri atau paralel. Oleh karena itu, perluasan atau tata ulang jaringan distribusi harus mempertimbangkan kemungkinan terjadinya resonansi harmonik ini.

Harmonika ketiga dan kelipatannya bisa memperbesar arus netral. Oleh karena itu, jika harmonika ketiga dan kelipatannya mungkin terjadi dalam sebuah sistem, kabel netral sebaiknya ditingkatkan ratingnya.

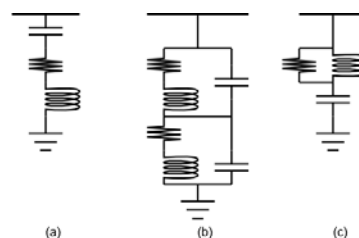
5. Solusi-solusi Permasalahan Harmonika

Solusi permasalahan harmonika dapat bersifat preventif ataupun kuratif. Pendekatan preventif biasanya dilakukan pada masing-masing beban tidak linear. Dengan beragam cara, harmonika yang dihasilkan oleh sebuah beban dapat dikurangi. Di lain pihak, pendekatan kuratif dilakukan terhadap harmonika yang telah menjalar ke sistem tenaga listrik. Dari sudut pandang yang berbeda, mitigasi harmonika dapat juga dilihat berdasarkan pihak yang melakukannya:

pengguna listrik atau perusahaan listrik. Pengguna listrik akan menggunakan pendekatan preventif dan perusahaan listrik bertanggung jawab untuk melakukan pendekatan kuratif.

Pendekatan kuratif dapat dilakukan dengan menggunakan filter dan reorganisasi jaringan listrik. Dengan filter, harmonika-harmonika tertentu dapat dikurangi amplitudnya sampai ke tingkat yang dapat diterima. Resonansi harmonik dapat diatasi atau dicegah dengan merubah lokasi kapasitor dalam jaringan distribusi. Namun hal ini sering kali sulit dilakukan karena besarnya ukuran kapasitor yang akan dipindahkan.

Filter-filter harmonika dapat dibagi menjadi dua kelompok: filter pasif (FP) dan filter aktif (FA). Filter pasif terdiri dari susunan kapasitor, induktor dan resistor. Beberapa konfigurasi filter pasif ditunjukkan pada Gambar 1. Filter pasif relatif sederhana sehingga mudah dirancang. Akan tetapi, mereka rentan terhadap resonansi apabila terjadi perubahan konfigurasi jaringan. Selain itu, karena dirancang untuk harmonika-harmonika rendah, biasanya mereka berukuran besar yang juga berarti harganya mahal. Mereka juga terpengaruh impedansi jaringan. Apabila jaringan berubah, kinerjanya akan terpengaruh dan peluang terjadinya resonansi harus diperiksa.



Gambar 1 Tiga alternatif filter harmonika pasif.

Dalam dekade terakhir, telah muncul saklar-saklar semikonduktor yang dapat bekerja

dengan frekuensi yang sangat tinggi. Ini memungkinkan arus dapat diatur dengan kebebasan yang lebih luas. Sebuah aplikasi penting mereka adalah untuk pembuatan filter harmonika aktif.

Filter harmonika aktif sering disebut sebagai Filter Daya Aktif (*Active Power Filter, APF*). Tetapi, dalam tulisan ini istilah yang digunakan adalah Filter Aktif agar sesuai dengan istilah filter pasif yang telah kita gunakan di atas. Mereka dapat dibagi menjadi tiga kelompok: Filter Aktif (FA) shunt, seri dan hibrid. Masing-masing memiliki keunggulan dan kekurangannya[3, 4].

FA shunt adalah filter yang paling populer, memiliki topology dan prosedur instalasi yang telah dipahami dengan baik. Skema rangkaian sebuah FA yang menggunakan Inverter bersumber Tegangan (*Voltage Sourced Inverter*) dapat dicermati pada Gambar 2. Prinsip kerjanya dapat dijelaskan sebagai berikut. FA shunt harus menyediakan komponen harmonika yang dibutuhkan oleh beban nonlinear. Dengan demikian, jika arus beban I_L dapat dinyatakan sebagai jumlah komponen dasar I_{L1} dan harmonika-harmonika yang lebih tinggi I_{Lk} , yang secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$I_L = I_{L1} + \sum_{k \neq 1} I_{Lk}$$

Akibatnya, FA shunt harus menyediakan arus harmonik I_f sebesar

$$I_f = \sum_{k \neq 1} I_{Lk}$$

Hasilnya, sumber listrik akan menganggap beban tidaklinear tersebut hanya membutuhkan I_{L1} saja.

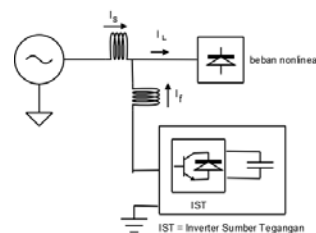
Melalui sudut pandang yang berbeda, FA shunt dapat dianggap sebagai impedansi

beban yang berubah-ubah. Mereka dapat disusun paralel untuk menyediakan arus yang lebih tinggi. Akibatnya, mereka tersedia untuk interval daya yang cukup lebar. Kelebihan lainnya adalah ia hanya membawa arus kompensasi dan komponen dasar ($k=1$) yang hilang karena rugi-rugi. FA shunt cocok untuk beban nonlinear yang berperilaku sebagai sumber arus seperti penyearah dengan induktor sebagai *DC link*-nya.

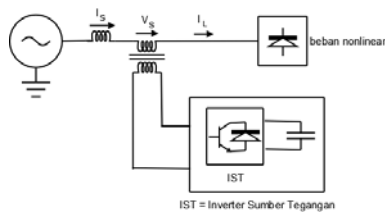
Kemudian, konfigurasi dasar sebuah FA seri ditunjukkan dalam Gambar 3. Dengan filter ini, harmonika diisolasi dengan memasukkan tegangan harmonika V_f . Akibatnya sesuai dengan harapan: arus sumber I_s tidak perlu menyediakan komponen harmonik arus beban I_{Lk} . Oleh karena itu, FA seri dapat dianggap sebagai isolator harmonika.

Secara ringkas, Tabel 1 membandingkan filter aktif dan pasif berdasarkan konfigurasi, sirkuit daya, peran, tipe beban dan manfaat tambahan mereka.

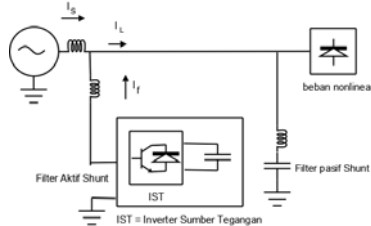
Selanjutnya, ada dua tujuan utama pemakaian filter hibrid: penghematan biaya dan pengurangan biaya awal instalasi filter. Berdasarkan konfigurasinya, filter hibrid dapat dibagi menjadi tiga kelompok yang masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Perbandingan ketiga kelompok tersebut berdasar beberapa faktor dapat dilihat pada



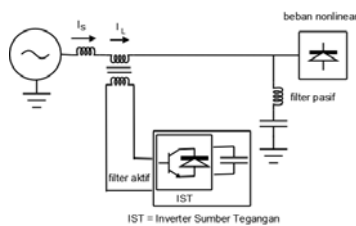
Gambar 2 Konfigurasi FA paralel/shunt dengan Inverter Sumber Tegangan



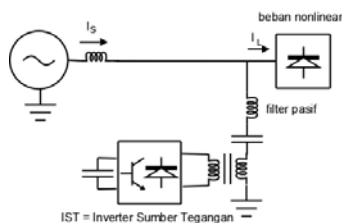
Gambar 3 konfigurasi jaringan FA seri dengan inverter sumber tegangan



Gambar 4 Filter hibrid: filter aktif shunt dan filter pasif shunt



Gambar 5 Filter hibrid: filter aktif seri dan filter pasif shunt



Gambar 6 Filter hibrid: filter aktif yang diserikan dengan filter pasif shunt

	Filter Aktif Shunt	Filter Aktif Seri
Konfigurasi sistem	Gambar 2	Gambar 3
Sirkuit daya yang digunakan	Konverter modulasi lebar pita	Konverter modulasi lebar pita
FA berperan sebagai...	Sumber arus: I_f	Sumber tegangan: V_f
Tipe beban yang sesuai	Penyearah dioda/thyristor dengan beban yang induktif	Penyearah dioda/thyristor dengan beban yang kapasitif
Fungsi Tambahan	Kompensasi daya reaktif	Pengaturan tegangan

Tabel 1. Perbandingan filter aktif shunt dan seri.

	FA shunt dan FP shunt	FA seri dan FP shunt	FA seri yang diserikan pada FP shunt
Konfigurasi sistem	Gambar 4	Gambar 5	Gambar 6
Sirkuit daya	Konverter modulasi lebar pita dengan sumber tegangan		
Fungsi FA	Kompensasi harmonika	Isolasi harmonika	Kompensasi dan isolasi harmonika
Manfaat	- FA shunt yang ada dapat dipakai. - Daya reaktif dapat dikendalikan	- FP shunt yang ada dapat digunakan - Tidak ada arus harmonika yang mengalir melalui filter aktif	- FP shunt yang ada dapat digunakan - Perlindungan FA relatif mudah
Kelemahan	- Kedua filter mungkin mengatasi frekuensi yang sama	- Perlindungan FA akibat arus-lebih relatif susah - Tidak ada kendali daya reaktif	- Tidak ada kendali daya reaktif
Situasi pada 2002	Komersial	laboratorium	komersial

Tabel 2 Perbandingan 3 jenis filter hibrid

6. Penutup

Sumber-sumber harmonika, akibat-akibatnya dan cara-cara untuk mengatasinya telah dirangkum. Dengan demikian, pembaca diharapkan untuk memperoleh gambaran umum tentang masalah yang akan semakin penting ini.

REFERENCE

- [1]. Oppeinheim, A.V., A.S. Willsky, and S.H. Nawab, *Signals and Systems*. 1997, Prentice Hall.
- [2]. Das, J.C., *Power System Analysis: Short-circuit Power Flow and Harmonics*. Power Engineering, ed. H.L. Wilis. 2002, Basel: Marcel Dekker Inc.
- [3]. Salam, Z., T.P. Cheng, and A. Jusoh, *Harmonics Mitigation Using Active Power Filter: A Technological Review*. ELEKTRIKA, 2006. 8(2): p. 10.
- [4]. Akagi, H., *Active Filters for Power Conditioning*, in *The Power Electronics Handbook*, T.L. Skvarenina, Editor. 2002, CRC Press: Boca Raton.