

BAB II

HARMONISA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1. Pengertian Harmonisa

Harmonisa adalah gejala yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang diakibatkan oleh terjadinya distorsi gelombang sinusoidal arus / tegangan secara periodik. Pada dasarnya, harmonisa adalah suatu gejala pembentukan gelombang–gelombang dengan frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Frekuensi–frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasarnya disebut dengan frekuensi harmonisa, bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa. Frekuensi harmonisa yang mempunyai frekuensi dasar 50 Hz dapat dinyatakan dengan:

$$f_h = h.50\text{Hz} \quad (2.1)$$

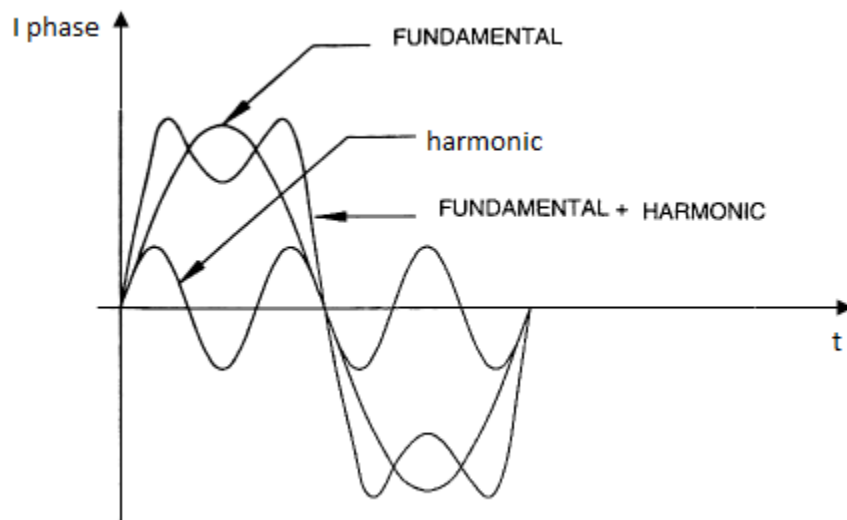
dimana:

f_h : frekuensi harmonisa orde ke h

h : orde harmonisa yang merupakan bilangan bulat (2, 3, ...)

Apabila frekuensi dasar ditetapkan sebesar 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya.

Gelombang-gelombang harmonisa ini akan menumpang pada gelombang murni atau aslinya, sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya.



Gambar 2.1. Gelombang dasar, harmonisa ke 3 dan terdistorsi

Total Harmonic Distortion (THD) yang didefinisikan sebagai prosentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya. Semakin besar prosentase THD ini menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan peralatan akibat harmonisa yang terjadi pada arus maupun tegangan. Nilai THD yang diijinkan secara internasional maksimal berkisar 5% dari tegangan atau arus frekuensi fundamentalnya.

Besar Total Harmonic Distorsion (THD) dapat didefinisikan sebagai berikut: Untuk mencari nilai THD dari tegangan dapat digunakan persamaan:

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

Atau dapat disederhanakan:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana :

V_h : nilai tegangan harmonisa orde ke-h

V_1 : nilai tegangan harmonisa orde ke-1 (fundamental)

THD_V : total harmonic distortion dari tegangan

Sedangkan untuk mencari nilai THD dari arus dapat digunakan persamaan:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

Atau dapat disederhanakan:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.3)$$

dimana :

I_h : nilai arus harmonisa orde ke-h

I_1 : nilai arus harmonisa orde ke-1 (fundamental)

THD_I : total harmonic distortion dari arus

Jika tegangan atau arus masukan mengalami distorsi, berarti telah terjadi penyimpangan bentuk gelombang arus bolak-balik terhadap bentuk gelombang sinus yang merupakan gelombang ideal dari arus bolak-balik yang dibangkitkan pada sistem tenaga listrik. THD menunjukkan tingkat kecacatan gelombang secara keseluruhan dibandingkan dengan bentuk gelombang aslinya dan biasanya dinyatakan dalam persentase.

Hasil yang didapat pada perhitungan di atas sebaiknya tidak melebihi atau sama dengan nilai yang ditetapkan oleh standar-standar yang berlaku. Bila hasilnya melebihi nilai yang telah ditetapkan maka tingkat harmonisa pada suatu sistem sudah dianggap membahayakan bagi komponen-komponen pada sistem tersebut dan sebaiknya dilakukan penanganan untuk mengurangnya. Secara umum Total Harmonic Distorsion (THD) dalam industri tidak boleh melebihi 5%. Peraturan ini tertulis dalam IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power system std. 519-1992.

Table 2.1. Limit distorsi tegangan harmonisa

MAXIMUM DISTORTION (IN%)	SYSTEM VOLTAGE		
	Below 69 kV	69 – 138 kV	> 138 kV
Individual Harmonic (%)	3.0	1.5	1.0
Total Harmonic (%)	5.0	2.5	1.5

Table 2.2. Limit distorsi arus harmonisa

I_{sc} / I_L Ratio	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD-I Limit
< 20	4.0 %	2.0 %	1.5 %	0.6 %	0.3 %	5 %
20 < 50	7.0 %	3.5 %	2.5 %	1.0 %	0.5 %	8 %
50 < 100	10.0 %	4.5 %	4.0 %	1.5 %	0.7 %	12 %
100 < 1000	12.0 %	5.5 %	5.0 %	2.0 %	1.0 %	15 %
1000 up	15.0 %	7.0 %	6.0 %	2.5 %	1.4 %	20 %

Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa, yang pertama adalah batas harmonisa untuk tegangan (THD_V) yang kedua adalah batas harmonisa untuk arus (THD_I). Batas untuk harmonisa tegangan ditentukan besarnya tegangan sistem yang dipakai / terpasang. Sedangkan batas untuk

harmonisa arus ditentukan oleh perbandingan $\frac{I_{SC}}{I_L}$. I_{SC} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point Of Common Coupling). I_L adalah arus beban fundamental nominal. Menentukan nilai I_{SC} menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{SC} = \frac{|S|}{\sqrt{3} \times Z\% \times V_{LL}} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

S : Daya Trafo (VA)

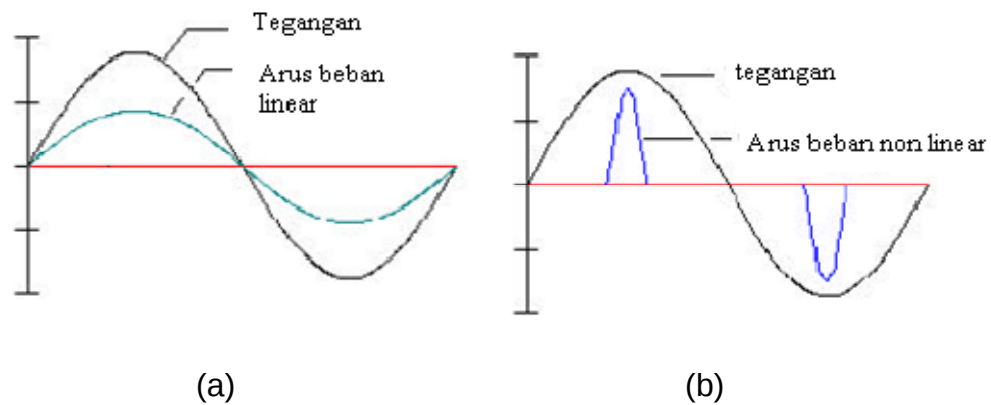
$Z\%$: persen impedansi Trafo

V_{LL} : Tegangan fasa-fasa (V)

I_{SC} : Arus Short Circuit (A)

2.2. Sumber-Sumber Harmonisa

Pada sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban, yaitu beban linier dan beban non-linier. Beban linier adalah beban dimana nilai arus pada beban berbanding lurus (linier) terhadap tegangan beban. Hal ini berarti bahwa bentuk gelombang arus akan sama dengan bentuk gelombang tegangan beban. Sedangkan untuk beban non-linier adalah nilai arus pada beban tidak berbanding lurus (tidak linier) terhadap tegangan.



Gambar 2.2. (a) Gelombang pada beban linear

(b) Gelombang pada beban non-linier

Bentuk kurva arus yang ditarik oleh beban non-linier tidak sinusoidal tetapi merupakan sinusoidal yang terdistorsi / cacat. Bentuk gelombang yang terdistorsi tersebut secara matematis dapat dipandang sebagai jumlah dari tak terhingga gelombang sinus dengan frekuensi harmonisnya ($n = 2 \text{ s/d } \sim$) gelombang sinusoidal yang telah dijumlahkan bersama-sama. Frekuensi dari gelombang-gelombang sinusoidal tersebut merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental ($n = 1 \text{ s/d } \sim$).

Gejala harmonisa pada sistem distribusi timbul karena semakin meluasnya pemakaian beban non-linier seperti, penyearah, tanur busur listrik dan lampu fluorescent. Di bawah ini akan dijelaskan beberapa sumber-sumber harmonisa yang berasal dari beban non-linier.

2.2.1. Penyearah

Peralatan ini berfungsi untuk merubah sistem daya tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Perubahan yang disebabkan oleh penyearah ini pada akhirnya menimbulkan distorsi arus dan tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik.

Dari sisi pengendalian, jenis penyearah dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Penyearah tak terkendali (dengan dioda)
2. Penyearah terkendali (dengan thyristor)

Arus harmonisa dalam jumlah besar dihasilkan dari kedua jenis penyearah tersebut. Penyearah tak terkendali menyumbang arus harmonisa terbesar pada sistem tenaga listrik, khususnya dari jenis penyearah satu fasa yaitu dari sector perumahan dan perkantoran.

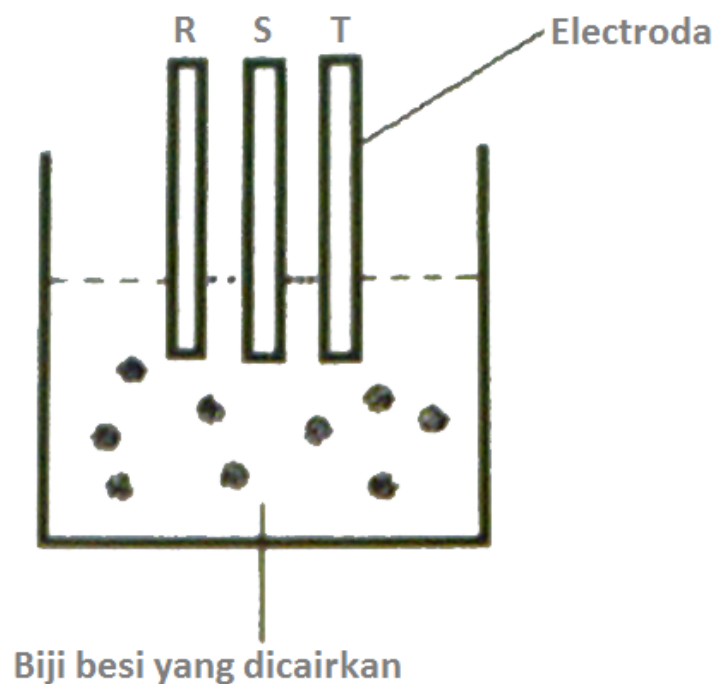
2.2.2. Tanur Busur Listrik (Electric Arc-Furnace)

Dilihat dari segi kelistrikan. Tanur busur listrik merupakan beban yang bermasalah. Ini dikarenakan daya aktif dan reaktif yang diambil oleh tanur busur listrik selalu bervariasi hanya dalam tegangan frekuensi yang singkat.

Biasanya busur terjadi antara elektroda dengan bahan yang akan dilebur dan tegangan pada busur tersebut berkisar antara 40 – 700 volt,

sedangkan arus yang dihasilkan dapat mencapai ribuan kiloampere. Arus yang diambil oleh tanur busur listrik berubah-ubah sangat cepat dan bentuk arusnya sangat terdistorsi.

Sebuah contoh tanur busur listrik ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3. Tanur Busur Listrik (Electric Arc Furnace)

Tanur busur listrik banyak dipakai dalam industri pengecoran logam, tanur busur listrik merupakan salah satu beban non linier yang menghasilkan harmonisa pada sistem tenaga. Tanur busur listrik dapat dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu:

2.2.2.1 Tipe AC

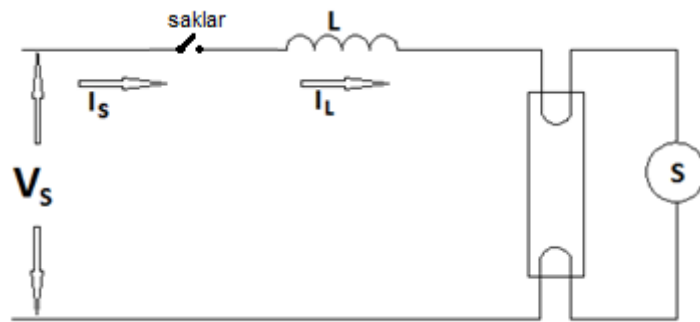
Merupakan beban non linier yang tidak stabil yang menghasilkan spectrum harmonisa yang mengandung harmonisa ganjil dan harmonisa genap.

2.2.2.2 Tipe DC

Merupakan beban non linier yang dihasilkan dari penyearah (rectifier), yang lebih stabil dari AC busur tanur listrik.

2.2.3. Lampu Fluorecent

Lampu Fluorescent adalah lampu dengan tabung yang berisi gas dan arus listriknya mengalir melalui gas (termasuk lampu-lampu hemat energi yang sekarang sangat luas digunakan), lampu ini merupakan salah satu sumber harmonisa, secara umum lampu fluorescent menghasilkan harmonisa arus orde ganjil. Lampu fluorescent termasuk peralatan busur (arcing device), pada proses penyalanya dibutuhkan tegangan (V) yang tinggi untuk menyambarkan busur penyalan. Pada lampu fluorescent terdapat sebuah ballast dengan inti besi yang beroperasi pada kepadatan fluks yang tinggi sehingga dapat terjadi kejenuhan pada inti besi tersebut.



Gambar 2.4. Rangkaian sederhana lampu fluorescent

L: balast, S: starter, V_s : tegangan sumber, I_s : arus sumber, I_L : arus ballast

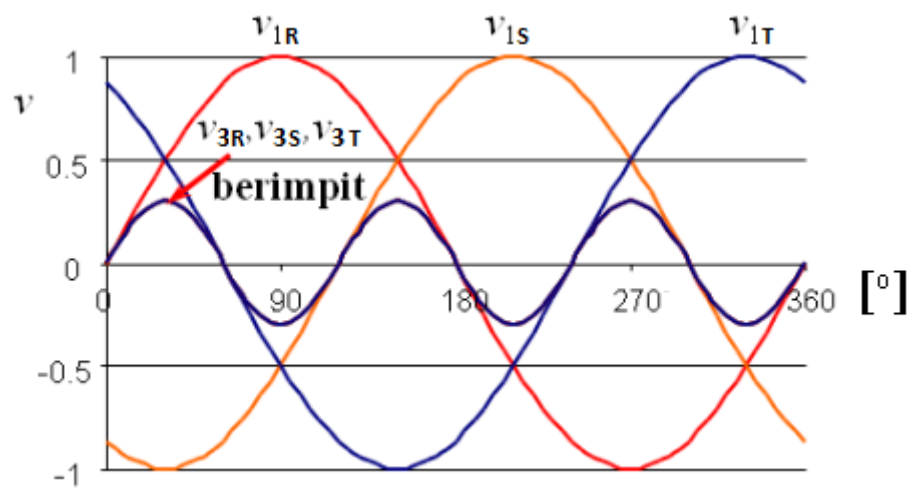
Saat saklar ditutup, arus mengalir ke stater (bimetal). Karena panas, bimetal memuai dan membuka kontak starter sehingga timbul $L \frac{di_L}{dt}$ (pelat katoda panas). Saat pelat panas atom dari gas terionisasi sehingga ada elektron lepas saat terjadi tegangan kejut. Saat tegangan kembali normal maka elektron kembali dan melepaskan energi foton berupa cahaya. Disini lapisan fluorescent berfungsi mengubah sinar tidak tampak menjadi sinar tampak sehingga cahaya akan semakin terang. Karena ketidakstabilan tegangan menyebabkan beban non linier sehingga menimbulkan harmonisa.

2.3. Urutan Fasa Harmonisa

Dalam ilmu kelistrikan sering kali menggunakan komponen simetri untuk menggambarkan kelakuan sistem tiga fasa. Sistem 3 fasa merupakan transformasi dari sistem satu fasa yang dijadikan 3 fasa sehingga lebih

mempermudah dalam menganalisa. Untuk keseimbangan sistem 3 fasa yang sempurna, harmonisa pada masing-masing fasa dapat ditunjukkan oleh banyaknya urutan harmonisa orde ke- h .

Sebagai contoh, Untuk urutan harmonisa ke-3, $h = 3$,

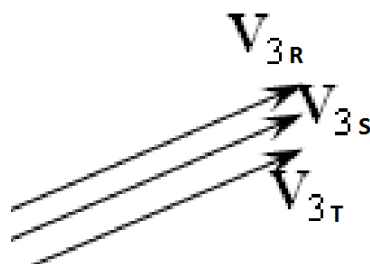


Gambar 2.5. Harmonisa ke 3 sistem 3 fasa

$$V_{1R} = \sin(\omega t) \longrightarrow V_{3R} = \sin(3\omega t)$$

$$V_{1S} = \sin(\omega t - 120^\circ) \longrightarrow V_{3S} = \sin(3\omega t - 360^\circ) = \sin(3\omega t)$$

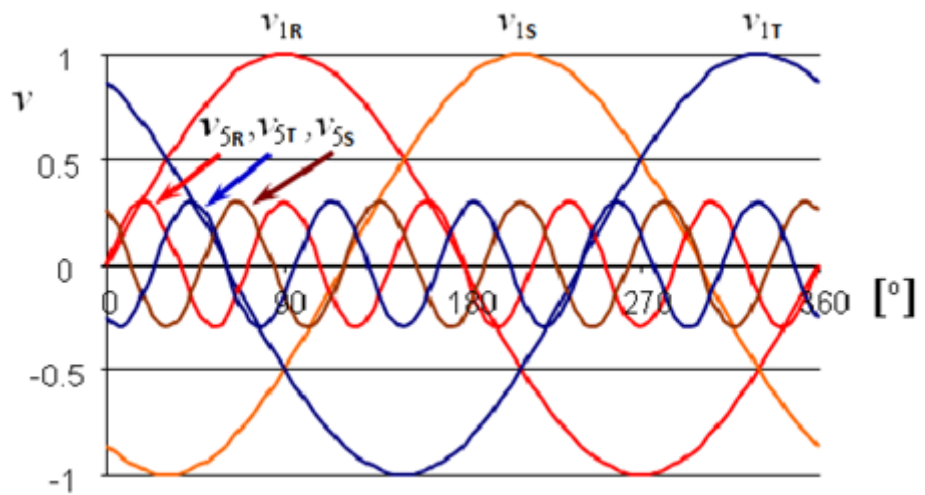
$$V_{1T} = \sin(\omega t - 240^\circ) \longrightarrow V_{3T} = \sin(3\omega t - 720^\circ) = \sin(3\omega t)$$



Gambar 2.6. Fasor tegangan ketiga fasa harmonisa ke 3

Fasor tegangan ketiga fasa sejajar, yang berarti urutan nol (*zero sequence*).

Untuk urutan harmonisa ke-5, $h = 5$,

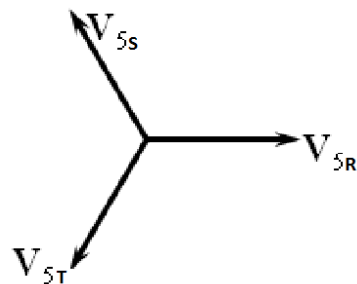


Gambar 2.7. Harmonisa ke 5 sistem 3 fasa

$$V_{1R} = \sin(\omega t) \longrightarrow V_{5R} = \sin(5\omega t)$$

$$V_{1S} = \sin(\omega t - 120^\circ) \longrightarrow V_{5S} = \sin(5\omega t - 600^\circ) = \sin(5\omega t - 240^\circ)$$

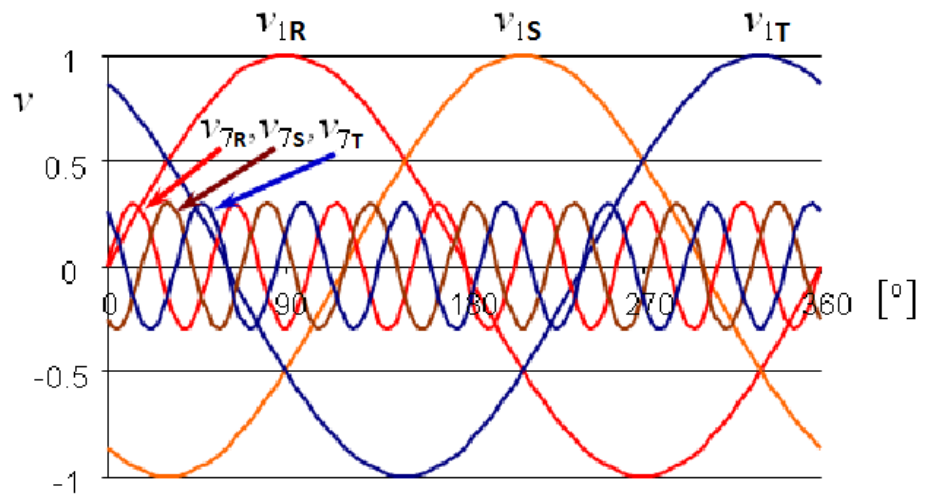
$$V_{1T} = \sin(\omega t - 240^\circ) \longrightarrow V_{5T} = \sin(5\omega t - 1200^\circ) = \sin(5\omega t - 120^\circ)$$



Gambar 2.8. Fasor tegangan ketiga fasa harmonisa ke 5

Urutan fasa harmonisa ke 5 berlawanan dengan urutan fasa fundamentalnya, yang berarti harmonisa ke 5 urutan negatif.

Untuk urutan harmonisa ke-7, $h = 7$,

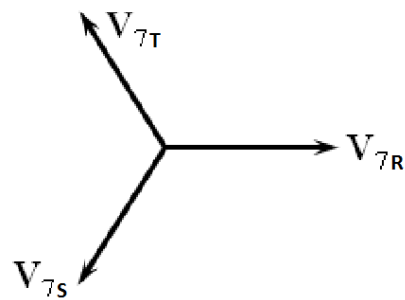


Gambar 2.9. Harmonisa ke 7 sistem 3 fasa

$$V_{1R} = \sin(\omega t) \longrightarrow V_{7R} = \sin(7\omega t)$$

$$V_{1S} = \sin(\omega t - 120^\circ) \longrightarrow V_{7S} = \sin(7\omega t - 840^\circ) = \sin(7\omega t - 120^\circ)$$

$$V_{1T} = \sin(\omega t - 240^\circ) \longrightarrow V_{7T} = \sin(7\omega t - 1680^\circ) = \sin(7\omega t - 240^\circ)$$



Gambar 2.10. Fasor tegangan ketiga fasa harmonisa ke7

Urutan fasa harmonisa ke 7 searah dengan urutan fasa fundamentalnya, yang berarti harmonisa ke 7 urutan positif. Urutan fasa untuk semua urutan harmonisa orde ke- h dapat ditunjukkan pada model yang sama.

Harmonisa memiliki dua orde yaitu harmonisa genap dan harmonisa ganjil. Sesuai namanya, harmonisa genap memiliki nomor yang genap (2, 4, 6, 8, 10, dan seterusnya), sedangkan harmonisa ganjil memiliki nomor yang ganjil (1, 3, 5, 7, 9, dan seterusnya). Namun harmonisa pertama tidak dapat disebut harmonisa ganjil karena merupakan komponen frekuensi fundamentalnya. Di Indonesia frekuensi fundamentalnya adalah 50 Hz.

Sedangkan menurut urutan fasanya, harmonisa dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :

2.3.1. Urutan fasa positif

Harmonisa urutan positif mempunyai urutan fasa yang sama dengan gelombang dasarnya. Harmonisa ini menyebabkan penambahan panas di konduktor, circuit breaker dan panel-panel yang terdapat pada sistem distribusi listrik.

Secara umum komponen arus harmonisa yang mempunyai orde $h=3n-2$ (dimana n adalah bilangan bulat positif) mempunyai sifat atau urutan fasa seperti urutan fasa arus fundamental. Secara umum, urutan fasa arus harmonisa seperti ini disebut arus harmonisa urutan positif.

2.3.2. Urutan fasa negatif

Harmonisa urutan negatif mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan harmonisa dasarnya. Seperti urutan positif, urutan negatif juga menyebabkan penambahan panas di berbagai peralatan. Selain itu urutan negatif juga menyebabkan masalah di motor induksi karena urutan negatifnya berputar berlawanan arah. Perputaran ini tidak dapat membuat motor berputar melawan arah yang dikehendaki, namun dapat mengurangi laju kecepatan motor dan dapat menyebabkan motor lebih panas dari semestinya.

Secara umum komponen arus harmonisa yang mempunyai orde $h=3n-1$ (dimana n adalah bilangan bulat positif) mempunyai sifat atau urutan fasa berlawanan dengan urutan fasa fundamental. Secara umum, urutan fasa arus harmonisa seperti ini disebut arus harmonisa urutan negatif.

2.3.3. Urutan nol

Pada keadaan normal, arus beban setiap fasa dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling mengurangi sehingga arus netralnya menjadi nol. Sebaliknya beban tidak linier satu fasa akan menimbulkan harmonisa kelipatan tiga ganjil yang disebut triplen harmonisa (harmonisa ke 3, ke 9, ke 15 dan seterusnya) yang sering disebut harmonisa urutan nol. Harmonisa ini tidak menghilangkan arus netral tetapi

dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa. Harmonisa urutan nol tidak memproduksi suatu perputaran medan di kedua arah, sehingga menghasilkan panas yang berlebih dibandingkan urutan positif dan urutan negatif.

Secara umum komponen arus harmonisa yang mempunyai orde $h=3n$ (dimana n adalah bilangan bulat positif) mempunyai sifat atau urutan fasa yang sama dengan urutan fasa nol. Secara umum, urutan fasa arus harmonisa seperti ini disebut arus harmonisa urutan nol. Secara lengkap urutan fasa komponen arus harmonisa pada sistem distribusi tenaga listrik tiga fasa, dapat diberikan seperti pada Tabel 2.3 dengan frekuensi fundamental adalah 50 Hz.

Table 2.3. urutan fasa komponen arus harmonisa

No	Orde Harmonisa ke h	frekuensi	Urutan Fasa
1	1 (Fundamental)	50 Hz	Urutan positif
2	2 (dua)	100 Hz	Urutan negatif
3	3 (tiga)	150 Hz	Urutan nol
4	4 (empat)	200 Hz	Urutan positif
5	5 (lima)	250 Hz	Urutan negatif
6	6 (enam)	300 Hz	Urutan nol
7	7 (tujuh)	350 Hz	Urutan positif
8	8 (delapan)	400 Hz	Urutan negatif
9	9 (sembilan)	450 Hz	Urutan nol
10	10 (sepuluh)	500 Hz	Urutan positif
11	11 (sebelas)	550 Hz	Urutan negatif
12	12 (dua belas)	600 Hz	Urutan nol
13	dan seterusnya		

2.4. Pengaruh Harmonisa

Harmonisa dalam sistem tenaga listrik dapat menimbulkan pengaruh yang tidak diinginkan seperti: pengaruh pada operasi penghantar transmisi, generator, motor dan transformator.

2.4.1. Pengaruh Pada Operasi Penghantar Transmisi

Apabila sistem mengalami resonansi akibat harmonisa, tegangan pada sistem dapat mengalami peningkatan. Akibatnya kabel dan isolator lainnya akan mengalami stress tegangan berlebih dan korona, yang dapat menyebabkan kegagalan dielektrik pada isolasi atau mempercepat penuaan (*aging*). Harmonisa arus menyebabkan kabel mengalami pemanasan berlebih.

Apabila arus yang mengalir banyak mengandung harmonisa, rugi-rugi I^2R yang dibangkitkan juga akan semakin besar.

2.4.2. Pengaruh Pada Operasi Generator Sinkron

Dalam prakteknya generator sinkron pada sistem pembangkit energi listrik sendiri umumnya terhubung langsung ke pusat beban dengan konfigurasi tiga-fasa empat-kawat. Dengan menggunakan konfigurasi seperti ini, apabila generator dibebani dengan beban *non*-linier akan mengalir arus urutan positif, negatif, nol dalam semua kawat fasa dan arus

urutan nol yang besar dalam kawat netral. Akibatnya akan dihasilkan rugi-rugi tambahan pada saluran distribusi dan pada generatornya sendiri sehingga kinerja generator sinkron akan menurun.

2.4.3. Pengaruh Pada Operasi Motor Listrik

Harmonisa arus atau tegangan menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada belitan stator, rangkaian rotor serta laminasi stator dan rotor sehingga efisiensi mesin menurun. Pada mesin induksi dan mesin sinkron, rugi-rugi panas tambahan paling banyak dibangkitkan pada rotor dikarenakan urutan polaritas harmonisa yang dihasilkan oleh motor khususnya motor induksi, polaritasnya dapat bernilai positif atau negatif seperti yang dibahas pada munculnya arus harmonisa pada motor induksi diatas.

Dari perubahan urutan polaritas harmonisa yakni harmonisa ke-5 urutan polaritasnya negatif (-), sedangkan harmonisa ke-7 urutan polaritasnya positif (+) yang dihasilkan oleh motor induksi akan memiliki dampak tersendiri yakni bila motor menghasilkan harmonisa dengan urutan polaritasnya negatif, maka implikasi yang akan dijumpai adalah pada sistem distribusi akan menimbulkan medan magnet putar dengan arah maju (*forward*) sedangkan untuk polaritas harmonisa negatif yang dihasilkan akan berdampak sebaliknya yakni menimbulkan medan magnet putar dengan arah mundur (*reverse*), urutan polaritas positif dan negatif harmonisa inilah yang menyebabkan motor menjadi panas. Sehingga

kemampuan mesin akan menurun akibat pemanasan berlebih karena harmonisa, selain itu umur mesin juga akan menurun.

2.4.4. Pengaruh Pada Operasi Transformator

Pada transformator daya, arus urutan nol yang bersirkulasi pada belitan delta dapat menyebabkan arus yang besar dan pemanasan berlebih. Dengan demikian, arus sirkulasi ini harus diperhitungkan keberadaannya pada saat perancangan. Untuk mengatasi pemanasan berlebih akibat harmonisa, seringkali perancang sistem memperbesar kapasitas daya transformator untuk memperbesar kapasitas pendinginan.

2.5. Cara Menekan Kandungan Harmonisa

Dalam usaha menekan kandungan harmonisa tersebut dari sistem tenaga listrik dapat dilakukan dengan beberapa metode atau cara yaitu sebagai berikut :

2.5.1. Metode Pergeseran Sudut Fasa

Komponen arus harmonisa orde ke 5 dan ke 7 merupakan komponen urutan negatif dan positif yang mendominasi arus harmonisa pada jala – jala sistem. Untuk mengurangi arus harmonisa pada jala – jala sistem tersebut, maka kedua komponen arus harmoinisa tersebut yaitu

orde ke 5 dan ke 7 harus dieleminir. Pengeliminiran komponen arus harmonisa orde ke 5 dan ke 7 pada arus jala – jala sistem dapat dilakukan dengan cara menggeser sudut fasa tegangan beban. Baban sistem yang terhubung pada terminal PCC (point common coupling) dibagi menjadi dua cabang beban yang sama besar, yaitu cabang beban A dan B. sudut fasa tegangan untuk cabang beban A digeser sebesar $(-\beta_A)$ melalui penggeser fasa PF – A, sedangkan sudut fasa tegangan cabang beban B tidak digeser dan langsung mendapat tegangan dari jala – jala sistem. Pergeseran sudut fasa ini menyebabkan sudut fasa seluruh komponen arus cabang beban A tergeser. Besar dan arah tergesernya sudut fasa komponen arus harmonisa tersebut tergantung pada orde harmonisa dan urutan fasanya. Untuk komponen arus fundamental, sudut fasanya tergeser sebesar $(+\beta_B)$ dan untuk komponen arus harmonisa urutan positif orde h_p , sudut fasanya tergeser sebesar $(+h_p \times \beta_A)$ sedangkan untuk komponen arus harmonisa urutan negatif orde ke h_N , sudut fasanya tergeser sebesar $(-h_N \times \beta_A)$. Dengan tergesernya sudut fasa seluruh komponen arus cabang beban A, maka besar arus harmonisa pada cabang beban A menjadi berlawanan dengan besar arus harmonisa pada cabang beban B, sehingga arus harmonisa akan saling menghilangkan. Besarnya penggeseran sudut fasa tergantung dengan orde harmonisa yang akan dihilangkan.

2.5.2. Filter Harmonisa

Filter harmonisa diharapkan mampu mereduksi amplitudo frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus harmonisa tersebut. Pada saat digunakan untuk mencegah frekuensi tertentu dari pemasukan komponen atau bagian sistem tenaga sangatlah mungkin menggunakan rangkaian penyaring (filter) yang berisi inductor parallel dan kapasitor, dimana memberikan impedansi yang besar untuk frekuensi yang relevan. Kombinasi seri dan jalaran filter dapat didisain untuk mengecilkan arus tegangan harmonisa dalam sistem AC tanpa memperhatikan impedansinya. Selain itu, filter harmonisa yang mengandung komponen kapasitor, diharapkan pula dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki factor daya sistem.

Filter harmonisa dirangkai secara parallel dengan peralatan yang merupakan beban non linier dan sumber harmonisa. Filter harmonisa mempunyai beberapa model untuk mengoptimalkan peredam terhadap harmonisa, yaitu:

2.5.2.1. Filter Pasif (*passive Filter*)

Filter pasif adalah filter yang hanya berisi tahanan, inductor, dan kapasitor saja. Filter pasif digunakan untuk menyokong kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa pada sistem instalasi.

Dalam filter pasif dikenal 2 (dua) tipe filter yang digunakan untuk meredam tegangan harmonisa, yaitu:

2.5.2.1.1. Resonant Shunt Filters

Resonant shunt filters tersusun dari kapasitor dan induktor dengan satu frekuensi yang di setting pada frekuensi tegangan harmonisa yang akan dihilangkan.

2.5.2.1.2. Damped Filters

Pada arc furnace, resonant shunt harus diredam. Hal ini karena arc furnace terus menerus dapat meningkatkan kemungkinan masuknya arus dengan frekuensi anti-resonant. Dalam kasus ini, hal ini tidak lagi sesuai untuk mengurangi karakteristik tegangan harmonisa. Anti resonan juga harus dikurangi dengan cara diredam. Selain itu, pemasangan sejumlah besar resonant shunt sering kali mahal, karena itu lebih baik menggunakan sebuah filter yang mempunyai cakupan yang luas yang memiliki kemampuan sebagai berikut:

1. Dapat meredam anti resonant

2. Meredam tegangan harmonisa untuk frekuensi yang lebih besar atau sama dengan frekuensi tuning
3. Peredaman yang cepat terhadap transient dihasilkan ketika filter diberi energi.

2.5.2.2. Filter Aktif (*Active Filter*)

Filter aktif adalah filter yang terdiri dari transistor atau op-amp ditambah tahanan, induktor atau kapasitor. Dirancang untuk digunakan meredam harmonisa pada beban non linier dalam sistem tenaga, filter pasif selalu digunakan untuk meredam harmonisa dan gangguan pada power factor, akan tetapi filter pasif selalu bermasalah apabila gangguan tersebut semakin besar dan continue. Oleh karena itu dengan adanya filter aktif semua kelemahan pada filter pasif dapat ditanggulangi dan sangat berbeda topologi pada kedua filter tersebut. Filter aktif menginjeksikan arus untuk membatalkan harmonisa yang terkandung pada arus beban.