

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Hanifah Nur Kumala dan Asih Setiarini (2016) Melakukan penelitian mengenai kajian Harmonik Arus pada gedung M.Nuh Lantai 3 Politeknik Negeri Madiun. Adanya lampu TL yang memiliki *ballast electronic* mengakibatkan nilai THD yang terukur tidak sesuai standar. Dari penelitian ini disimpulkan pembebanan lampu TL yang terpasang pada Fase R mengakibatkan nilai THDi tidak sesuai standar IEEE

Elih Mulyana (2008) melakukan penelitian mengenai Harmonik tegangan dan Harmonik arus pada gedung Rektorat TIK Universitas Pendidikan Indonesia. Pembebanan yang kurang merata antar Fase mengakibatkan perbedaan nilai arus dan nilai daya, bahkan muncul frekuensi Harmonik baik ganjil maupun genap. Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa secara keseluruhan (baik beban rendah atau beban puncak) nilai THDi dan THDv melebihi standar yang diizinkan.

Joao Pedro, Paulo Pereirinha, Humberto Jorge (2007) melakukan penelitian tentang analisa distorsi harmonik pada instalasi listrik sebuah gedung sekolah dengan menggunakan perangkat komputer. Penambahan beban dan jenis beban yang terpasang mempengaruhi nilai THD yang terukur. Banyaknya komputer dan jenis lampu yang digunakan menyebabkan nilai THDi yang terukur menjadi fluktuatif. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa harus dilakukan perubahan instalasi listrik pada gedung sekolah tersebut agar kualitas daya pada gedung tersebut membaik dan dapat meminimalis distorsi harmonik yang timbul.

Hadi Sugiarto (2012) melakukan penelitian mengenai Harmonik arus dan tegan listrik di gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak. Pendistribusian beban antar fase harus merata agar arus netral tidak melebihi nilai arus fase-nya. Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa Terjadi hamonik arus dan tegangan. Untuk nilai THDi (2,7%) masih dibawah standar (5%) dan untuk THDv sebesar 10,6% juga di bawah standar (15%). Namun pembebanan yang tidak merata menyebabkan rugi-rugi daya pada kawat netral sebesar 2389 watt.

Syafaruddin, Sartika, dan Alvira Octaviani (2015) melakukan sebuah penelitian tentang penanganan Harmonik terhadap kualitas daya listrik pada Pabrik Semen Tonasa V. Munculnya harmonik pada suatu sistem harus segera ditangani agar dampak seperti peralatan listrik cepat panas, berkurangnya umur dari peralatan, kualitas daya menurun dan lain sebagainya dapat diminimalisir. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa untuk meredam nilai harmonik yang timbul digunakan sebuah filter pasif single tuned.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Kualitas Daya**

Salah satu hal penting dalam sistem tenaga listrik ialah kualitas daya. Baik atau buruk kualitas daya akan sangat mempengaruhi sistem tenaga listrik. Jika kualitas daya tersebut baik maka kontinuitas pelayanan daya listrik akan terjaga baik. Selain itu dapat memperpanjang usia peralatan dan terpeliharanya kesehatan manusia dari gangguan listrik serta dapat menghemat biaya baik biaya penggunaan listrik maupun biaya perawatan peralatan yang ada. Sebaliknya jika kualitas daya yang buruk maka kontinuitas pelayanan daya

listrik akan terganggu, selain itu berdampak buruk pula baik dari segi peralatan, manusia, dan lingkungan.

Kondisi tidak normal pada parameter kelistrikan dalam komponen tegangan sumber, menjadikan kualitas daya sebagai syarat dalam mutu catuan listrik yang terjadi. Tegangan, arus, frekuensi, dan bentuk gelombang menjadi parameter batas toleransi yang disuplai dari jala-jala listrik PLN atau generator pembangkit sampai ke beban. Adapun anomali dan deviasi yang terjadi ketika melampaui batas toleransi tersebut maka akan mempengaruhi kualitas daya sehingga akan berdampak pada operasi suatu sistem sehingga menjadi tidak efisien dan bahkan dapat merusak perangkat yang ada pada sistem tersebut.

Perubahan arus, tegangan, frekuensi dan bentuk gelombang dapat menyebabkan kegagalan atau tidak dapat bekerjanya sebuah peralatan, baik peralatan PLN maupun peralatan listrik yang dimiliki oleh konsumen. Oleh karena itu, sistem tenaga listrik harus memiliki syarat dasar untuk memenuhi kebutuhan layanan setiap konsumennya. Berikut beberapa hal yang dijadikan tolok ukur kualitas daya:

1. Dapat menanggulangi saat beban puncak.
2. Deviasi tegangan dan frekuensi bernilai minimum.
3. Nilai distorsi gelombang tegangan dan harmonik minimum.
4. Bebas dari surja tegangan.
5. Suplai tegangan dalam kondisi seimbang atau kontinuitas

Pada umumnya perangkat elektronik yang langsung terhubung oleh jala-jala listrik PLN akan memerlukan *DC Power Supply*. Komponen tersebut merupakan jantung dari perangkat elektronik, sehingga ketika terjadi penurunan tegangan atau kenaikan tegangan maka *DC power supply* yang kali pertama akan mengalami kerusakan. Kemudian disusul dengan komponen yang lainnya

misalnya kontaktor. Berikut beberapa contoh perangkat penyebab dan perangkat yang rawan akan penurunan kualitas daya secara umumnya.

Tabel 2.1 contoh perangkat penyebab dan perangkat sensitif terhadap penurunan kualitas daya

Parameter	Contoh perangkat
Perangkat Penyebab	Komputer
	Mesin Percetakan
	Perangkat konversi ( <i>Inverter, UPS, Rectifier, dan Converter</i> ) dengan menggunakan <i>switch mode</i> atau <i>thyristor</i>
	kontrol (AVR, kapasitor bank)
	Switching untuk beban besar
Perangkat Sensitif	Komputer
	Telekomunikasi (digital)
	Air Conditioner
	Kabel daya, kabel data
	Switching (MCB,CB)
	Perangkat medis
	Diesel genset
	Sistem signaling
	Building management sistem

Dari Tabel 2.1 merupakan beberapa contoh dari perangkat penyebab penurunan kualitas daya dan perangkat yang sensitif akan penurunan daya. Semakin banyak perangkat penurunan kualitas daya yang terpasang misalkan

inverter pada peralatan listrik maka akan terasa dampaknya pada peralatan yang sensitif akan penurunan kualitas daya, misalkan kinerja dari pendingin ruangan (*air conditioner*) akan menurun di mana akan terasa langsung oleh penggunanya sendiri. Sehingga peralatan yang sensitif tidak dapat digunakan secara optimal.

Terjadinya penurunan kualitas daya akan memberikan kerugian yang tidak sedikit pada peralatan listrik. Kerugian itu akan merambat pada segi waktu, material, tenaga, dan biaya serta dapat menimbulkan beberapa konsekuensi seperti :

1. Tingkat produksi akan menurun
2. Kehilangan suatu data
3. Usia peralatan elektronik akan menurun

Permasalahan yang sangat erat dengan kualitas daya diantaranya ialah fluktuasi tegangan (naik atau turunnya tegangan), gangguan, besarnya harmonik yang mencakup *Total Harmonic Distortion* (THD), *Individual Harmonic Distortion* (IHD), dan *K-factor*. Selain itu, kejadian yang memiliki pengaruh terhadap kualitas daya adalah nilai transient, variasi frekuensi, ketidakseimbangan arus pada sistem tenaga listrik tiga fase, *flicker*, *sag*, *swell*, ketidakseimbangan tegangan, efisiensi pada beban yang terlalu rendah, beban induktif yang memberikan pengaruh pada turunnya faktor daya dan lain sebagainya.

### **2.2.2 Daya Listrik**

Dalam bahasa inggris daya disebut dengan *power*, sehingga dalam dunia fisika disimbolkan dengan huruf “P”. Daya dapat diibaratkan sebagai sesuatu kekuatan/usaha yang dilakukan tiap waktu. Satuan untuk daya dalam

Satuan Internatioanal (SI) yaitu watt. Satu watt sama dengan satu Joule per sekon.

$$1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ joule}}{\text{Sekon}}$$

Daya listrik merupakan banyaknya energi yang digunakan pada rangkaian listrik tertutup dalam setiap satuan waktu, di mana:

$$P = \frac{W}{t}$$

Dalam bahasa inggris daya disebut dengan *power*, sehingga dalam dunia fisikawan disimbolkan dengan huruf “P”. Daya dapat diibaratkan sebagai sesuatu kekuatan/usaha yang dilakukan tiap wakt. Satuan untuk daya dalam Satuan Internatioanal (SI) yaitu watt. Satu watt sama dengan satu Joule per sekon.

$$1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ joule}}{\text{Sekon}}$$

Daya listrik merupakan banyaknya energi yang digunakan pada rangkaian listrik tertutup dalam setiap satuan waktu, di mana:

$$P = \frac{W}{t}$$

Dalam dunia kelistrikan terdapat tiga jenis daya listrik yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu atau daya kompleks.

### 2.2.2.1 Daya Aktif

Daya aktif atau yang sering disebut sebagai daya nyata merupakan daya yang bisa digunakan secara langsung oleh beban yang nantinya diubah menjadi energi yang lainnya seperti energi panas, energi cahaya, energi gerak, dan lain sebagainya. Daya ini memiliki satuan watt sesuai dengan standar internasional.

$$P = V \times I \times \cos \varphi \text{ (satu fase)}$$

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \varphi \text{ (tiga fase)}$$

### 2.2.2.2 Daya Reaktif

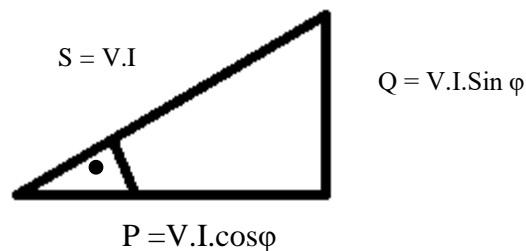
Daya reaktif merupakan daya yang tidak dapat digunakan secara nyata atau langsung oleh beban. Daya tersebut dibutuhkan dalam pembentukan medan magnet. Setelah itu akan terbentuk sebuah fluks medan magnet. Biasanya daya tersebut timbul dari transformator tenaga, motor listrik, lampu pijar, dan lain sebagainya. Satuan daya reaktif sesuai Satuan Internasional yaitu Var.

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \text{ (satu fase)}$$

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \varphi \text{ (tiga fase)}$$

### 2.2.2.3 Daya Semu

Daya semu atau disebut dengan *Apparent Power* merupakan daya yang diperoleh dari hasil perkalian antara arus rms dengan tegangan rms dalam jaringan listrik atau daya yang diperoleh dari hasil penjumlahan trigonometri antara daya aktif dengan daya reaktif. Satuan daya nyata sesuai Satuan Internasional yaitu VA. Ditunjukkan pada Gambar 2.1 merupakan penjumlahan trigonometri daya aktif, daya reaktif dan daya semu.



Gambar 2.1 Segitiga Daya

$S = P + jQ$ , mempunyai nilai/ besar dan sudut

$$S = S \varphi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \varphi$$

Untuk memperoleh nilai daya satu fase, maka dapat melakukan diferensial. persamaannya seperti di bawah ini :

$$S = P + jQ$$

Dari gambar 2 terlihat bahwa

$$P = V.I \cos \varphi$$

$$Q = V. I \sin \varphi$$

maka :

$$S_{1\varphi} = V \times I \times \cos \varphi + j V. I \sin \varphi$$

$$S_{1\varphi} = V \times I \times (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

$$S_{1\varphi} = V \times I \times e^{j\varphi}$$

$$S_{1\varphi} = V \times I \varphi$$

$$S_{1\varphi} = V \times I$$

$$S_{3\varphi} = \sqrt{3} \times V \times I$$



### 2.2.2.4 Faktor Daya

Faktor daya ( $\text{Cos } \varphi$ ) merupakan hasil dari perbandingan antara nilai daya aktif (P) dengan daya semu (S) atau merupakan cosinus sudut antara daya aktif dengan daya semu.

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Semu (S)}} \\ &= \frac{kW}{kVA} \\ &= \frac{V \times I \times \cos \varphi}{V \times I} \\ &= \text{Cos } \varphi \end{aligned}$$

Faktor daya akan memiliki nilai lebih kecil atau sama dengan satu. Secara matematis apabila faktor daya memiliki nilai sama dengan satu maka nilai daya aktif akan sama dengan nilai daya semu. Besar kecilnya sudut  $\cos \varphi$  dipengaruhi oleh daya reaktif, semakin tinggi daya reaktif mengakibatkan sudut  $\cos \varphi$  semakin besar sehingga nilai faktor daya menjadi rendah, begitu pula sebaliknya.

Beberapa keuntungan meningkatkan faktor daya :

1. Tagihan listrik dapat ditekan semaksimal mungkin.
2. Mengurangi rugi – rugi daya pada sistem.
3. Kualitas daya terjamin.

Jika nilai faktor daya lebih kecil dari 0,85 (standar PLN) maka yang akan terjadi adalah berkurangnya nilai daya aktif yang dapat digunakan. Penurunan daya tersebut akan terus menurun seiring dengan menurunnya

faktor daya sistem kelistrikan. Akibat menurunnya faktor daya maka akan timbul beberapa persoalan diantaranya :

1. Naiknya penggunaan daya kWh karena rugi – rugi.
2. Naiknya penggunaan daya kVAR.
3. Kualitas daya akan menurun karena adanya drop tegangan.

#### **2.2.4 Sifat Beban Listrik**

Pada Sumber listrik arus bolak-balik, maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut:

##### 1. Beban Resistif

Jenis Beban ini adalah suatu resistor murni, seperti lampu pijar, pemanas, dan lain sebagainya. Beban ini memiliki sifat menyerap daya aktif.

Secara matematis dinyatakan :

$$R = V / I$$

##### 2. Beban Induktif

Jenis beban ini memiliki kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti besi contohnya motor listrik, transformator tenaga, dan lain sebagainya. Beban ini menyerap daya baik aktif maupun reaktif dan memiliki nilai faktor daya dari 0-1 “*lagging*” (tegangan mendahului arus).

##### 3. Beban Kapasitif

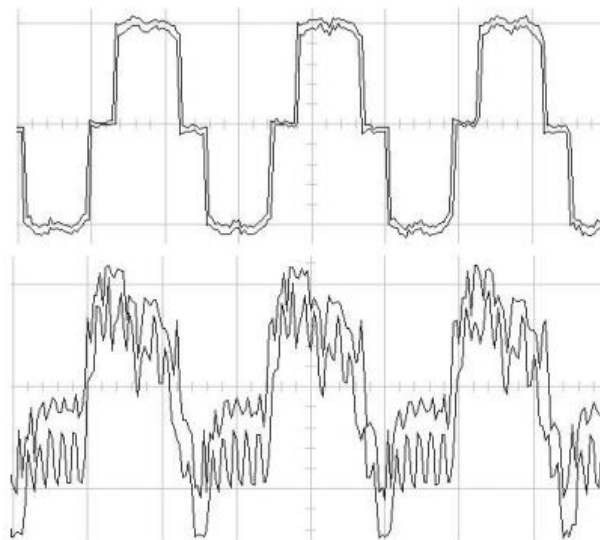
Jenis beban ini memiliki suatu rangkaian kapasitor. Beban ini menyerap daya aktif dan menghasilkan daya reaktif dan juga mempunyai nilai faktor daya dari 0-1 “*leading*”.

### 2.2.5 Harmonik

Dewasa ini perkembangan aneka macam jenis beban listrik terutama yang mengandung unsur rangkaian elektronika menjadikan bentuk gelombang tegangan dan gelombang arus berubah tidak seperti gelombang sinus murni atau dengan istilah lain gelombang menjadi terdistorsi. Gelombang yang telah terdistorsi tersebut menjadi penyebab munculnya sebuah Harmonik. Gelombang yang terdistorsi periodik merupakan kelipatan di luar bilangan satu terhadap frekuensi dasar yang digunakan di dunia (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi yang berasal dari gelombang harmonik merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmoniknya ( $f$ ,  $2f$ ,  $3f$ , dst). Sedangkan untuk bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan hasil dari penjumlahan gelombang Harmonik ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ , dst) dengan gelombang fundamental pada frekuensi kelipatannya.

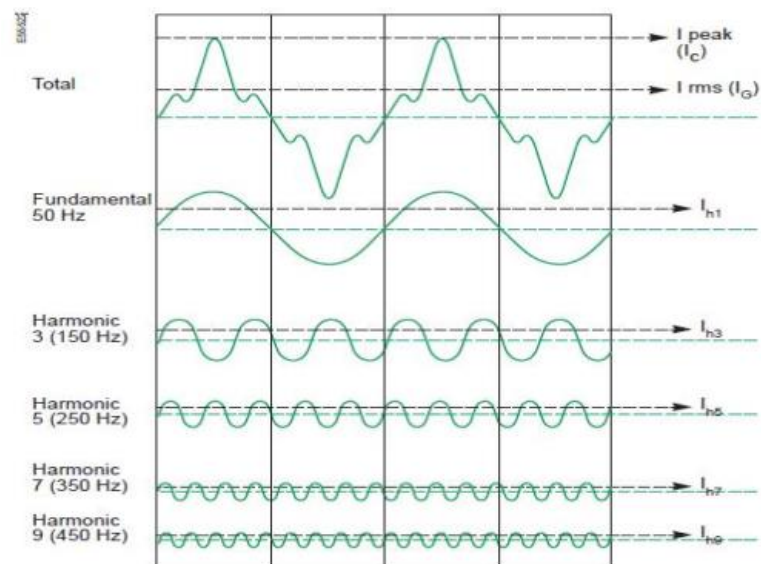
Harmonik merupakan suatu gejala hasil pembentukan gelombang sinusoidal dengan frekuensi dari hasil perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Ketika terjadi superposisi antara gelombang frekuensi dengan frekuensi dasar maka gelombang akan mengalami distorsi, oleh karna itu gelombang yang telah terdistorsi akan tidak lagi sinusoidal. Fenomena ini dikenal dengan istilah distorsi harmonik.

Bertambahnya gelombang Harmonik yang terbawa pada gelombang fundamental, maka nantinya gelombang akan berubah semakin mendekati gelombang yang berbentuk persegi atau dengan kata lain akan semakin membentuk sebuah gelombang non sinusoidal. Oleh karena itu, Harmonik dapat dikatakan sebagai suatu cacat gelombang yang berubah bentuk gelombang akibat adanya komponen frekuensi tambahan.



Sumber: Candra, 2017.

Gambar 2.2 Gelombang Harmonik Hasil Superposisi



Sumber: Candra, 2017.

Gambar 2.3 Orde Pada Gelombang Harmonik

### 2.2.5.1 Standar pada Harmonik

*Institute of Electrical and Electronics engineers (IEEE)* adalah suatu badan atau lembaga tingkat internasional yang membahas atau mempunyai wewenang untuk melakukan riset atau penelitian dan analisa untuk memberikan atau mengeluarkan batas standar untuk dijadikan sebagai acuan suatu referensi dalam bidang kelistrikan dan elektronika di beberapa negara dunia. Pada standar IEEE no 519 tahun 1992 telah memberikan maklumat bahwa batas distorsi untuk gelombang arus dan gelombang tegangan pada sistem transmisi dan distribusi listrik.

Untuk distorsi tegangan acuannya berdasarkan nilai nominal tegangan yang bekerja, sedangkan untuk distorsi pada gelombang arus memiliki batas berdasarkan nilai perbandingan antara arus hubung singkat dengan arus beban ( $SCA/I_L$ ). Dalam hal ini standarisasi juga diperhatikan baik tegangan maupun arus. Untuk standarisasi distorsi tegangan memiliki batas yang berdasarkan distorsi yang disebabkan oleh tiap-tiap frekuensi harmonik, sedangkan pada standarisasi distorsi untuk arus mempunyai batas berdasarkan distorsi yang disebabkan oleh frekuensi harmonik khusus, yang dijadikan dasar frekuensi harmonik lainnya. Pada tabel 2.2 dan tabel 2.3.

Tabel 2.2 Standar IEEE THD Tegangan

Nominal Voltage	Individual Harmonic Order	THD
$V \leq 69 \text{ kV}$	3,0 %	5,0 %
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$	1,5 %	2,5 %
$V \geq 161 \text{ kV}$	1,0 %	1,5 %

Tabel 2.3 Standar IEEE THD Arus

SCA/I <sub>L</sub>	Individual harmonic order (h) current distortion limit					THD
	H < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	H ≥ 35	
$V_{\text{supply}} \leq 69 \text{ kV}$						
< 20	4,0 %	2,0 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5,0 %
20 – 50	7,0 %	3,5 %	2,5 %	1,0 %	0,5 %	8,0 %
50 – 100	10,0 %	4,5 %	4,0 %	1,5 %	0,7 %	12,0 %
100 - 1000	12,0 %	5,5 %	5,0 %	2,0 %	1,0 %	15,0 %
> 1000	15,0 %	7,0 %	6,0 %	2,5 %	1,4 %	20,0 %
SCA/I <sub>L</sub>	Individual harmonic order (h) current distortion limit					THD
	H < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	H ≥ 35	
$69 \text{ kV} < V_{\text{supply}} < 161 \text{ kV}$						
< 20	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
20 – 50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %
50 – 100	5,0 %	2,25 %	2,0 %	1,25 %	0,35 %	6,0 %
100 - 1000	6,0 %	2,75 %	2,5 %	2,0 %	0,5 %	7,5 %
> 1000	7,5 %	3,5 %	3,0 %	2,5 %	0,7 %	10,0 %
$V \geq 161 \text{ kV}$						
< 50	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
≥ 50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %

### 2.2.5.2 Orde pada Harmonik

Orde harmonik merupakan suatu perbandingan antara nilai frekuensi harmonik dengan frekuensi dasar, hal ini dapat diimplementasikan pada persamaan :

$$n = \frac{f_n}{F}$$

Penjelasan: n = orde harmonik

$f_n$  = frekuensi harmonik orde ke-n

F = frekuensi dasar

### 2.2.5.3 Total Harmonic Distortion

Tingginya tingkat besarnya gangguan yang diakibatkan adanya harmonik baik pada tegangan maupun arus merupakan faktor distorsi. Besaran tersebut dikenal sebagai *Total Harmonic Distortion* (THD) dan mempunyai nilai satuan persen (%). THD adalah jumlah dari perbandingan antara kedua jumlah daya yang bersumber dari semua orde harmonik dengan daya pada frekuensi dasar (orde 1). Gelombang arus yang terkandung komponen harmonik dikenal dengan istilah arus yang telah terdistorsi. Bergabungnya masing-masing komponen harmonik terhadap gelombang terdistorsi (arus dan tegangan) dinyatakan oleh *Individual Harmonic Distortion* (IHD). Sedangkan untuk gabungan semua komponen harmonik terhadap distorsi arus dan tegangan yang terjadi dinyatakan oleh THD. Untuk gelombang arus nilai IHD dan THD didefinisikan berdasarkan persamaan di bawah ini :

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$$

$$I_h = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} = \sqrt{I_{RMS}^2 - I_1^2}$$

$$IHD = \frac{I_n}{I_1} \times 100\%$$

$$THD_{\text{arus}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% = \sqrt{\frac{I_{RMS}^2 - I_1^2}{I_1^2}} \times 100\%$$

Penjelasan:

$n = 2, 3, 4, \dots$

$I_1$  = Nilai efektif gelombang dasar

$I_n$  = Nilai efektif gelombang harmonik ke- $n$

Sedangkan untuk THD tegangan dirumuskan sebagai berikut:

$$THD_{\text{Tegangan}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\%$$

Penjelasan:

$n = 2, 3, 4, \dots$

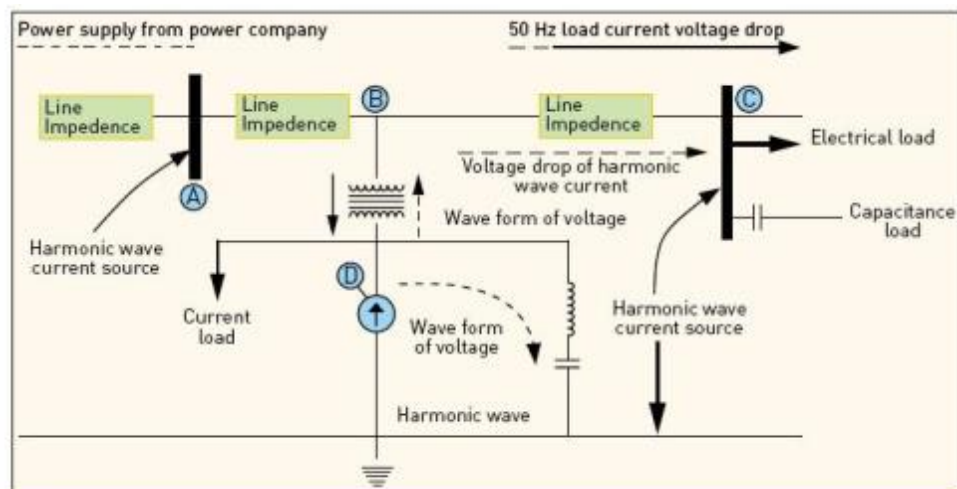
$V_1$  = Nilai gelombang dasar

$V_n$  = Nilai efektif gelombang harmonik ke- $n$



### 2.2.5.4 Harmonik Arus dan Harmonik Tegangan

Harmonik arus berasal dari penyerapan daya oleh beban non linier. Harmonik arus tersebut akan mengalir melalui impedansi yang ada pada sistem sehingga terbentuklah harmonik tegangan. Akibat dari arus yang melewati konduktor menyebabkan impedansi mengalami kenaikan. Nilai impedansi  $Z_h$  pada rangkaian suplai ada dalam tiap arus harmonik orde ke-n. Tegangan harmonik  $V_h$  akan terbentuk ketika arus harmonik  $I_h$  yang melalui impedansi di mana  $V_h = Z_h \times I_h$ .



Sumber: Sukir, (tidak disebutkan)

Gambar 2.4 Harmonik Tegangan Akibat Harmonik Arus

### 2.2.6 Akibat Adanya Harmonik

#### 2.2.6.1 Jangka Pendek

1. Tegangan harmonik yang ditimbulkan dapat mengganggu peralatan kontrol yang terpasang.
2. Dapat menyebabkan kesalahan ukur saat dilakukan pengukuran listrik.

3. Dapat mengganggu sistem proteksi misalnya *relay*.
4. Pada mesin berputar (generator, motor, dan lain-lain) harmonik akan menimbulkan kebisingan berupa getaran dan suara
5. Dapat mengganggu sistem telekomunikasi

#### **2.2.6.2 Jangka Panjang**

1. Naiknya suhu pada kapasitor bank.
2. Peningkatan suhu pada mesin-mesin listrik akan menjadikan naiknya rugi inti belitan.
3. Akan terjadi rugi-rugi pada kabel yang dilewati oleh arus harmonik akan mengalami kenaikan. Hal tersebut dikarenakan peningkatan resistansi dari tembaga akibat dari meningkatnya nilai frekuensi.
4. Transformator akan mengalami kenaikan suhu sehingga dapat mengakibatkan kerugian daya dan timbulnya resonansi parallel pada sistem.

#### **2.2.7 Eliminasi Harmonik**

Jumlah biaya untuk dibayarkan akibat kejadian timbulnya rugi-rugi daya dari efek harmonik bersifat relatif. Jumlah biaya tersebut bergantung pada komponen-komponen yang digunakan pada sistem tersebut misalnya kondisi beban, lamanya pengoperasian, dan panjang kabel yang terpasang pada sistem. Oleh karena itu, dengan metode eliminasi atau mitigasi harmonik diharapkan dapat mengkompensasi biaya yang timbul. Berikut beberapa cara yang dapat diterapkan untuk mereduksi harmonik:

1. Melakukan *re-desain* untuk peralatan yang telah terpasang sebelumnya agar dapat menahan efek harmonik.

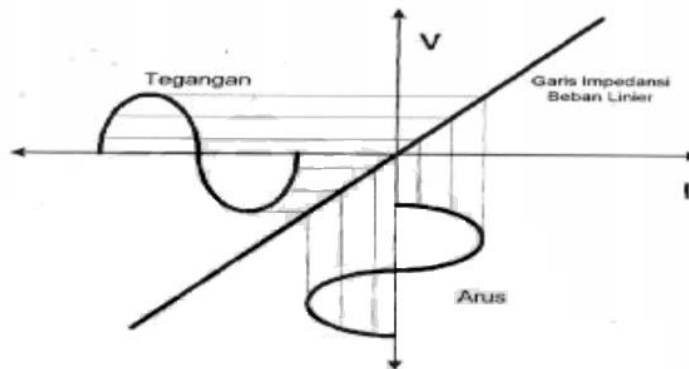
2. Letak pemasangan filter aktif yang tepat.
3. Melakukan pembatasan harmonik pada sumber. Hal ini dapat dijadikan teknik alternatif lain. Beberapa teknik yang dapat diterapkan yaitu wave-shaping aktif, multiplikasi fase, operasi dengan jumlah pulsa yang banyak, pemasangan kombinasi antara konverter dengan reactor interface, dan melakukan pembuatan kompensasi harmonik yang diterapkan pada peralatan yang dapat menimbulkan harmonik.

### **2.2.8 Beban Listrik**

Timbulnya Harmonik berasal dari beban yang terpasang. Pada sistem tenaga listrik, jenis beban dibedakan menjadi dua yaitu beban linier dan non-linier.

#### **2.2.8.1 Beban Linier**

Beban linier merupakan beban yang mempunyai nilai impedansi konstan, oleh karena itu nilai arus dengan tegangan setiap waktu akan selalu berbanding lurus. Bentuk gelombang dari beban linier antara arus dan tegangan memiliki hasil bentuk gelombang yang sama. Ketika tegangan sinusoidal diberikan ke beban linear maka arus yang mengalir pada beban tersebut juga sinusoidal sehingga tidak akan terjadi distorsi, dengan kata lain tidak timbul sebuah Harmonik.

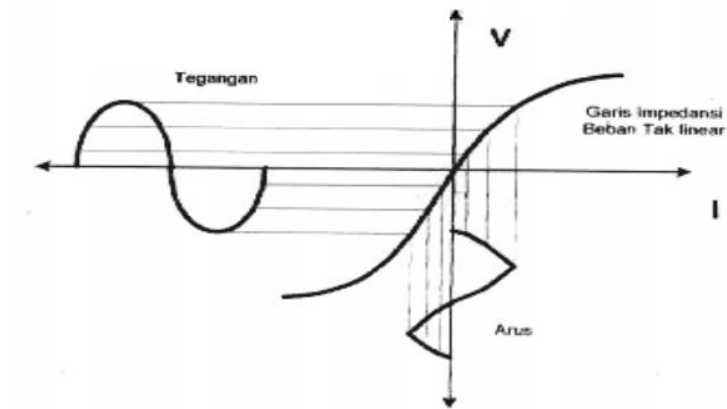


Sumber: Candra, 2017

Gambar 2.5 Gelombang Arus Pada Beban Linier

### 2.2.8.2 Beban Non Linier

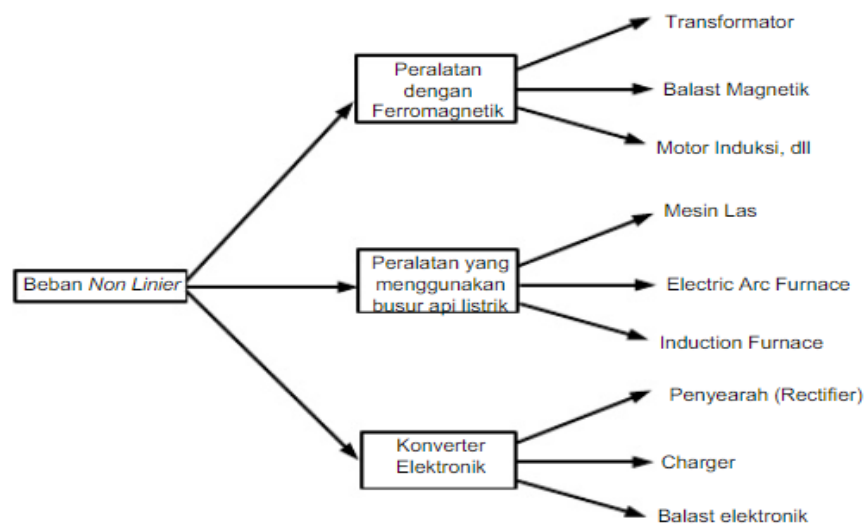
Beban non linier merupakan kebalikan dari beban linier yaitu nilai impedansinya tidak konstan setiap periode tegangan masukan. Oleh karena itu, arus yang dihasilkan dengan tegangan yang diberikan tidak berbanding lurus. Selain itu bentuk gelombang arus dengan gelombang tegangan yang dihasilkan tidak sama sehingga terdapat cacat (distorsi). Pada gambar merupakan bentuk gelombang beban non linier.



Sumber: Candra, 2017.

Gambar 2.6 Gelombang Arus Dan Tegangan Pada Beban Non Linier.

Semakin bertambahnya penggunaan beban non linier, maka gelombang sinusoidal akan terdistorsi gambar. Berikut ini gambar bagan beberapa contoh dari beban non linier baik untuk keperluan rumah tangga maupun untuk kepentingan industri.



Gambar 2.7 Bagan Contoh Dari Beban Non-Linier

### 2.2.9 Penentuan Rasio Perbandingan Arus Hubung Singkat Dengan Arus Beban pada PCC (*Point of Common Coupling*)

Untuk mengetahui batas distorsi harmonic arus pada gedung AR Fakhrudin B Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan matematis. Berdasarkan standar IEEE untuk nilai harmonik arus, ditentukan oleh rasio  $I_{SC}/I_L$ .  $I_{SC}$  merupakan arus hubung singkat pada PCC, sedangkan untuk  $I_L$  merupakan arus beban fundamental.

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

Dimana:

$I_L$  : arus beban fundamental pada PCC

$S$  : kapasitas daya terpasang pada transformator tenaga

$V$  : tegangan sekunder

$$I_{SC} = \frac{I_L}{\%Z}$$

Dimana:

$I_{SC}$  : arus hubung singkat pada PCC

$\%Z$  : nilai impedansi

## 2.2.10 Filter untuk Harmonik

Filter dalam dunia elektronika digunakan sebagai penyaring yang tujuannya satu yaitu agar dapat menyaring sesuatu, sehingga apa yang dikehendaki dapat terpenuhi. Filter di sini digunakan sebagai filter frekuensi, tentunya bertugas untuk menyaring suatu frekuensi yang timbul dari arus dan tegangan pada sistem. Secara garis besar terdapat dua macam filter yaitu filter aktif dan filter pasif.

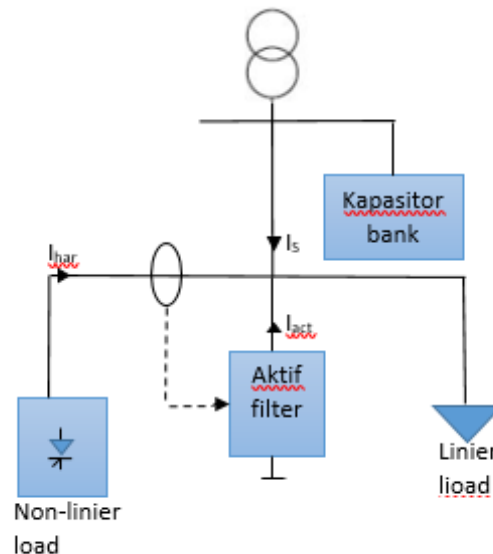
### 2.2.10.1 Filter Aktif

Filter aktif merupakan salah satu perangkat elektronik yang memiliki fungsi untuk memperbaiki kualitas daya yang berasal dari sumber menuju ke beban. Filter ini biasanya mengandung sebuah perangkat *switch* yang berguna untuk mengatur modulasi lebar pulsa baik arus maupun tegangan. *Switching* tersebut dikenal dengan istilah *Pulse Width Modulation Voltage Source Inverter* (PWM VSI). Filter ini mudah dilakukan pengaturan, baik digunakan pada sistem kelistrikan yang bebannya berubah-ubah. Namun, di sisi lain harga filter ini relatif mahal.

#### 2.2.10.1.2 Prinsip Kerja Filter Aktif

Filter aktif dapat dipasang baik secara seri maupun paralel dengan beban non-linier. Filter ini bekerja dengan menyaring arus yang mengandung Harmonik sehingga diperoleh sebuah arus filter kompensasi ( $I_{\text{filter}}$ ) yang nilainya berbanding terbalik dengan arus harmonik beban ( $I_{\text{beban}}$ ). Ketika Fase arus baik pada filter aktif shunt maupun beban memiliki fase yang sama atau berlawanan terhadap frekuensi harmonik maka fase dari keduanya akan saling meniadakan, oleh karena itu jumlah nilai vektor arus berubah menjadi nol pada

suplai arus ( $I_{\text{supply}}$ ) yang terletak pada posisi *Point of Common Coupling* (PCC). Gelombang arus suplai yang terjadi akan mendekati sinusoidal.



Gambar 2.8 Pengaplikasian Filter Aktif

Dari Gambar 2.8 diketahui bahwa, beban non-linier mengeluarkan arus yang tercampur dengan arus harmonik ( $I_{har}$ ). Sebelum arus tersebut menuju ke kapasitor bank maka akan dibelokkan ke filter terlebih dahulu untuk meredam arus harmonik, sehingga arus yang nantinya menuju ke kapasitor bank dalam kondisi aman.

### 2.2.10.2 Filter Pasif

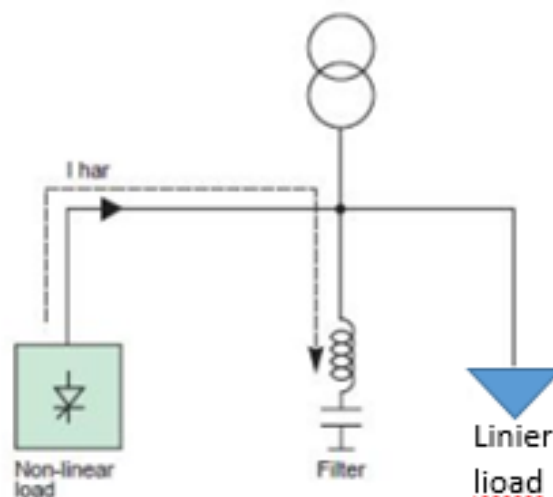
Secara umum filter pasif hanya menggunakan komponen resistor dan kapasitor saja. Filter ini dapat digunakan untuk membuang arus harmonik, mengurangi amplitud dari frekuensi sebuah arus atau tegangan. Filter ini biasanya diimplementasikan pada sistem kelistrikan yang memiliki beban



yang tetap misalkan kelistrikan industri. Harga filter ini relatif lebih murah jika dibandingkan dengan filter aktif, namun lebih sukar untuk dikendalikan.

### 2.2.10.2.1 Prinsip Kerja Filter Pasif

Agar dapat mendapatkan total rating tegangan dan KVAR yang diperlukan maka komponen kapasitor dipasang seri atau paralel. Di dalam filter, komponen paralel memiliki tugas untuk menahan selubung frekuensi yang tinggi atau disebut dengan efek kulit (*skin effect*). Biasanya, filter pasif akan di letakkan dekat daya listrik, hal ini bertujuan agar harmonik yang menuju sumber dapat dicegah. Karakteristik yang dimiliki filter pasif yaitu sebagai resonansi paralel, termasuk dalam filter penghalang berimpedansi tinggi pada saat frekuensi tertentu.



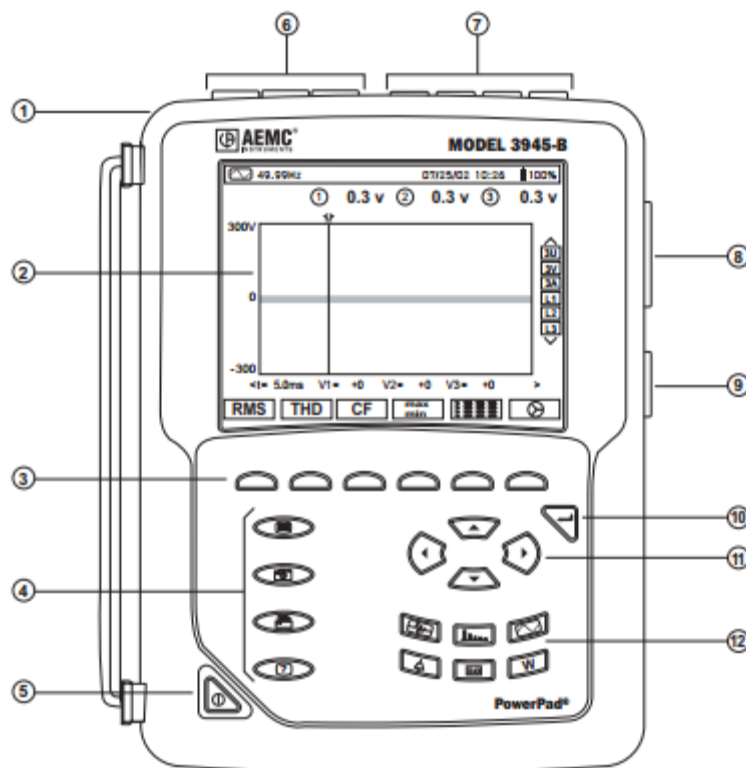
Sumber: Candra, 2017. Dengan modifikasi

Gambar 2.9 Skema Filter Pasif

### 2.2.11 Power Quality Analyzer





Dalam Bahasa Indonesia *power quality analyzer* memiliki arti sebagai alat penganalisa kualitas daya listrik. Secara istilah *power quality analyzer* merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengetahui suatu kualitas daya dari sistem tenaga listrik. Alat ini merupakan alat yang dapat dikatakan sebagai alat yang multi fungsi, hal ini dikarenakan alat tersebut dapat digunakan untuk mengukur tegangan, arus listrik, frekuensi daya semu, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya. Pada saat penelitian ini, parameter yang diukur menggunakan alat ini yaitu arus, tegangan, dan frekuensi listrik.

#### 2.2.11.1 Bagian – Bagian Alat



Sumber: Data sheet AEMC

Gambar 2.10 Power Quality Analyzer

1. Lapisan pelindung alat
2. Layar utama
3. Enam buah tombol untuk merubah mode pengukuran
4. Terdiri dari empat tombol yang masing-masing memiliki fungsi:
  -  digunakan untuk men-setting parameter awal
  -  digunakan untuk mengambil *snapshot* pada menu utama
  -  digunakan untuk mencetak hasil pengukuran pada sebuah printer
  -  digunakan untuk menampilkan instruksi bantuan
5. Tombol power
6. Slot masukan untuk sensor arus
7. Slot masukan untuk sensor tegangan
8. RS-232 sebagai slot untuk transfer data ke PC
9. Slot masukan daya AC
10. Tombol enter
11. Tombol navigasi
12. Mode pengukuran
  - a. Transients
  - b. Harmonik
  - c. Bentuk gelombang
  - d. Mode pengecekan daya
  - e. perekaman
  - f. *alarm event*