

BAB II

TINJUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Adapun beberapa referensi yang digunakan didalam penulisan tugas akhir yaitu sebagai berikut :

Zahar Makmur, Azhar (2012) dari hasil penelitiannya tentang Pembebanan Genset di Kampus UMY memperoleh hasil beban puncak 473,29 KVA dengan kapasitas genset sebesar 700KVA untuk wilayah B, untuk wilayah Utara memiliki beban puncak sebesar 595,531 KVA dengan genset *off grid* berkapasitas 500 KVA yang tidak mampu untuk menampung beban puncak diwaktu tertentu sedangkan untuk wilayah Pasca Sarjana memperoleh hasil sebesar 284,699 KVA dengan kapasitas genset sebesar 680 KVA

Asnal Efendi (2013) melakukan penelitian audit energi listrik pada Nilai Intensitas Konsumsi Energi Listrik di Gedung RSJ. Prof. HB. Sanin Padang, dari data hasil audit energi listrik ini diperoleh intensitas konsumsi energi listrik pada tahun 2013 sebesar 155,857 kWh/pertahun, dari hasil penelitiannya listrik pada gedung RSJ. Prof. HB. Sanin Padang memiliki tingkat efisiensi listrik yang baik karena tidak melewati batas standart IEEE192.1992 yaitu dengan batasan sebesar 380 kWh/pertahun untuk rumah sakit.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Erwin Gunawan (2006) tentang Pengaruh Kualitas Daya Listrik Terhadap Harmonisa di Lab Teknik Elektro UMY mendapatkan hasil nilai THD_v 4.97% dan THD_i sebesar 70,96% dari hasil penelitian tersebut untuk nilai THD_i tidak memenuhi standart IEEE 192.1992 yang sudah ditentukan yaitu harmonisa arus tidak boleh melebihi 20%.

Pada penelitian Sugiman (1997) melakukan penelitian terhadap Kualitas Daya Listrik di Gedung E7 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dari hasil yang didapatkan THD_v masing – masing fasa RST sebesar 1,963%, 1,602% dan 1,631% melebihi standart IEEE 192.1992 yang berlaku dengan maksimum THD_v sebesar

5%, sedangkan untuk nilai THDi pada jam 9.30 melebihi batas toleransi sebesar 12% dan total power losses atau rugi – rugi daya yang dihitung sebesar 0,641% dari keseluruhan daya aktif yang digunakan.

Raden Saiful Ghazi Adilin (2013) menganalisis tentang Losses dan Derating di Fakultas Teknik UMY untuk Kualitas Daya Listrik, dari hasil studi tersebut mendapatkan nilai rugi tembaga atau losses pada fasa RST sebesar 0.95 kw, 0.30 kW dan 0.89 kW dengan nilai rugi *eddy Current* fasa RST sebesar 0.14 kW, 0.15 kW dan 0.09 kW jadi nilai losses yang mempengaruhi kualitas daya listrik pada setiap fasa RST 1.10 kW, 0.39 kW dan 1.03 kW akibat adanya harmonisa sebesar 2.52 kW.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kualitas Daya Listrik

Pengertian Kualitas daya listrik ialah salah satu sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk mengidentifikasi mutu kualitas tegangan, arus, frekuensi dan faktor daya pada suatu bangunan dengan standart yang berlaku, jika keempat kualitas tersebut tidak memenuhi standar yang berlaku maka kualitas listrik pada bangunan tersebut mengakibatkan gangguan dan kerusakan pada peralatan listrik baik untuk konsumen maupun pihak PLN.

Beberapa permasalahan yang biasanya terjadi pada kualitas daya listrik antara lain kenaikan dan penurunan daya secara tiba –tiba, frekuensi yang menyimpang dari standar 50Hz, rugi – rugi daya dan ketidakseimbangan beban yang disebabkan oleh harmonisa.

Kualitas daya listrik bisa dikatakan baik apabila besaran atau parameter kelistrikan suatu bangunan tersebut memiliki urutan fase stabil, daya yang efektif dan dapat memenuhi tegangan puncak, adapun parameter kelistrikan tersebut yaitu

- a. Frekuensi
- b. Tegangan
- c. Arus

d. Faktor daya

2.2.1.1 Frekuensi

Pengertian secara umum harmonik ialah banyaknya kemunculan suatu kejadian yang berulang –ulang sedangkan definisi frekuensi banyaknya jumlah suatu gelombang ataupun getaran yang terjadi dalam setiap detik. Dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$f = \frac{1}{T} \quad ; \quad f = \frac{n}{t}$$

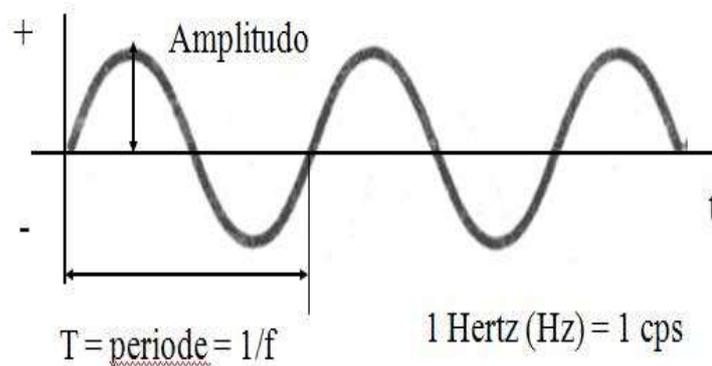
dengan keterangan :

f = Frekuensi (Hz)

t = Waktu (second)

T = Periode (second)

n = Banyaknya getaran atau gelombang

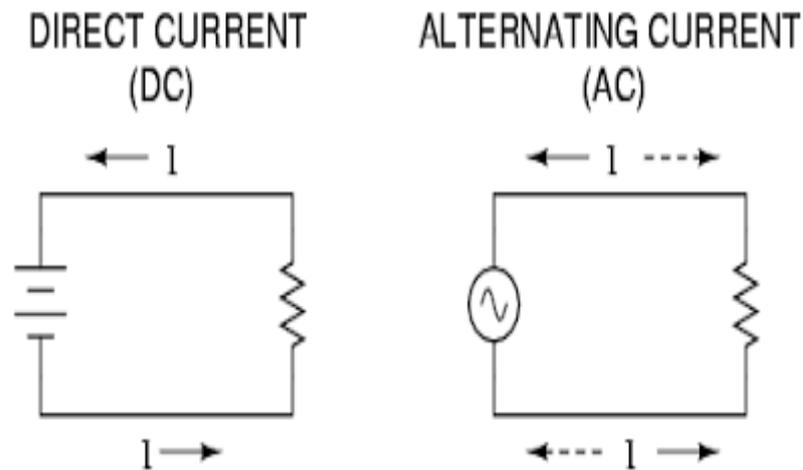


Gambar 2.1 Gelombang Frekuensi

2.2.1.2 Tegangan Listrik

Secara umum pengertian tegangan listrik adalah suatu perbedaan potensial listrik diantara dua titik yang dibutuhkan untuk memindahkan muatan listrik dari tempat yang satu ke yang lain dengan satuan volt. Secara definisi tegangan listrik bisa diartikan gaya yang mendorong elektron – elektron dari bahan konduktor,

tegangan listrik mempunyai 2 macam jenis yaitu tegangan DC yang arusnya searah dan AC yang arusnya bolak – balik.



Gambar 2.2 Tegangan DC dan AC

Tegangan listrik menurut sistem distribusinya terbagi menjadi 3 golongan yaitu :

- Tegangan menengah (1 kV – 30 kV)
- Tegangan rendah (380/220 V)
- Tegangan pelayanan, untuk tegangan pelayanan ini tergantung dari konsumen, biasanya untuk industri ataupun perusahaan dengan pelayanan tegangan 380/220 V, 220 V, 6 kV, 12 kV, dan 20 kV

Tegangan listrik mempunyai persamaan sebagai berikut ini :

$$V = I \times R, \sqrt{V} = P \times R$$

Dengan keterangan :

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (A)

R = Hambatan/ beban (Ohm)

Untuk tegangan drop mempunyai persamaan :

$$V_{rl} = \left(\frac{V_s - V_r}{V_r} \right) \times 100\%$$

Dengan keterangan :

V_{rl} = Regulasi tegangan

V_s = Tegangan sumber

V_r = Tegangan penerima

2.2.1.3 Arus

Sama seperti air, listrik juga mempunyai arus yang mengalir membawa muatan – muatan listrik dari suatu cirkuit tiap satuan waktu dengan satuan coulomb/detik atau ampere, arus listrik tersebut mengalir karena adanya beda potensial antara ujung kawat penghantar tersebut dengan persamaan :

$$I = \frac{Q}{t} ; I = \frac{V}{R} ; \sqrt{I} = P : R$$

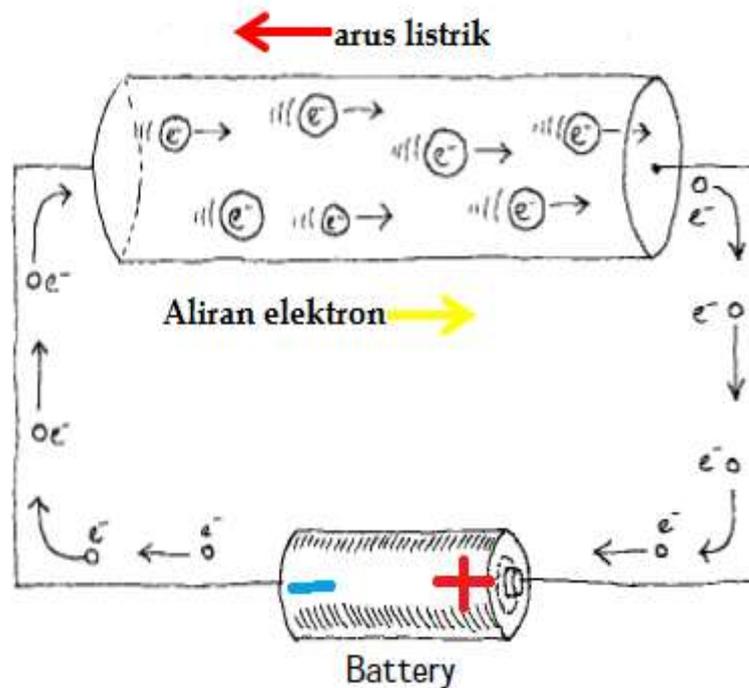
Dengan keterangan :

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (A)

R = Hambatan/ beban (Ohm)

T = Waktu yang diperlukan (Second)



Gambar 2.3 Arus Listrik

2.2.1.4 Faktor Daya

Faktor daya merupakan sudut antara daya aktif dan daya semua, PT. PLN (persero) mempunyai batasan untuk faktor daya listrik bangunan gedung sebesar 0.85, adapun persamaan faktor daya sebagai berikut ini :

Daya Aktif (P)

Perhitungan listrik satu fasa

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

Perhitungan listrik tiga fasa

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I \times \cos \varphi$$

Daya Semu (S)

$$S = V \times I$$

Daya Reaktif (Q)

Perhitungan listrik satu fasa

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

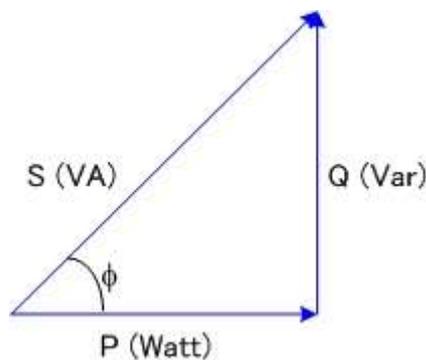
Perhitungan listrik tiga fasa

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \varphi$$

Keterangan:

P	= Daya aktif (kilo-Watt/kW)
Q	= Daya reaktif (kilo Volt Ampere Reaktan/ KVAR)
S	= Daya semu (Volt-Ampere/VA)
V	= Tegangan listrik (Volt/V)
I	= Arus Listrik (Ampere/A)
$\cos \varphi$	= Faktor daya

Daya aktif yaitu daya yang sebenarnya terpakai dengan satuan Watt. Daya semu yaitu daya yang merupakan perkalian antara tegangan rms dan arus rms. Daya reaktif yaitu daya yang digunakan untuk pembentukan medan magnet. Hubungan matematika daya aktif, daya reaktif, dan daya semu dapat digambarkan dalam diagram segitiga daya.



Gambar 2.4 Segitiga Daya

2.2.2 Harmonik

Harmonik adalah suatu cacat gelombang periodik yang terjadi pada sistem distribusi listrik, hal ini disebabkan karena gelombang periodik seperti gelombang tegangan dan arus memiliki gelombang frekuensi yang berkelipatan dari frekuensi awalnya, gelombang yang frekuensi berkelipatan bulat dari frekuensi awalnya ini disebut orde ke-h harmonik. Efek dari gangguan harmonik ini menyebabkan kerusakan alat terutama panasnya transformator dan gangguan pada sistem

distribusi, gangguan pada sistem distribusi itu menyebabkan adanya losses yang dapat merugikan konsumen akibat meningkatnya biaya penggunaan energi listrik.

THD atau disebut Total Harmonic Distorsi yaitu jumlah harmonik dari suatu gelombang untuk mengukur baik atau buruknya harmonik dalam suatu bangunan dengan satuan ukur prosentase (%). Jika persentasenya semakin besar maka THD pada bangunan tersebut dikatakan buruk dan bisa mempercepat umur dari alat – alat listrik ataupun rusak, persamaan THD tersebut bisa didapat sebagai berikut ini :

$$\text{THD}_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

$$\text{THD}_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

Dengan keterangannya :

THD_v = Total Harmonic Distorsi Tegangan

THD_i = Total Harmonic Distorsi Arus

V_h = Tegangan harmonik (V)

V₁ = Tegangan fundamental (V)

I_h = Nilai Arus harmonik (A)

I₁ = Nilai Arus fundamental (A)

2.2.2.1 Istilah Tentang Harmonik

Berikut adalah beberapa persamaan serta penjelasan yang dapat dianalisis tentang harmonisa.

A. Komponen Harmonik

Komponen harmonisa yaitu gelombang sinusoidal yang mempunyai frekuensi perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasar.

B. Orde Harmonik

Perbandingan frekuensi harmonisa dengan frekuensi dasar yang dapat didefenisikan sebagai persamaan berikut:

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

Dimana:

n = Orde Harmonisa

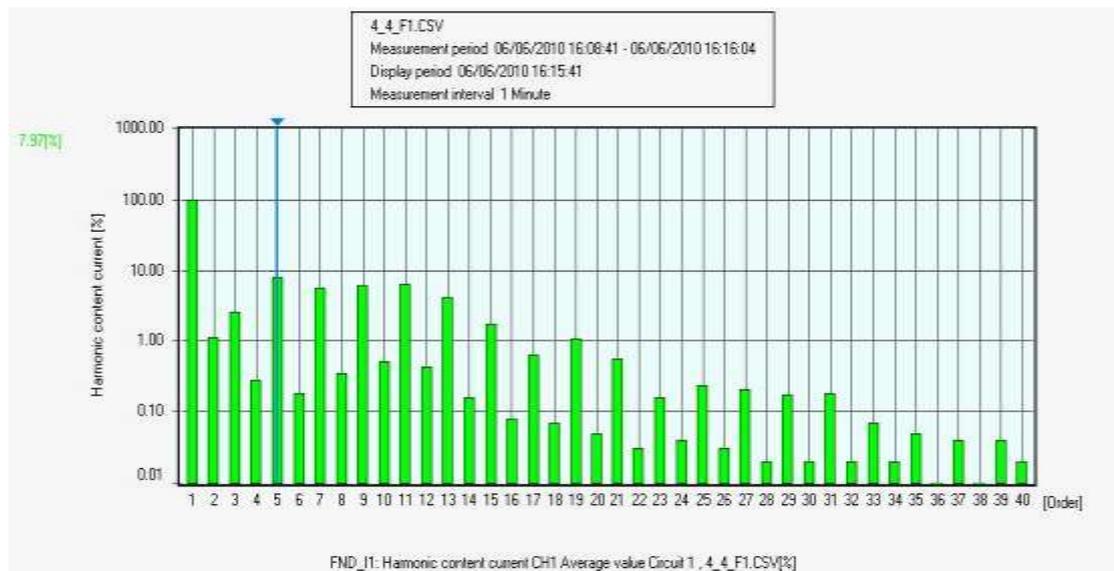
fn = Frekuensi Harmonisa ke- n

F = Frekuensi dasar

Gelombang Frekuensi harmonisa dimulai dari orde ke-2 hingga n , sedangkan gelombang dasar tidak termasuk dalam orde harmonisa.

C. Spektrum Harmonik

Spektrum merupakan distribusi semua amplitudo komponen harmonisa sebagai fungsi orde harmonisa dan diilustrasikan menggunakan histogram.



Gambar 2.5 gambar spectrum harmonisa menggunakan histogram (<https://docplayer.info/47839663-Studi-pengaruh-korona-pada-kubikel-model-terhadap-distorsi-harmonisa-arus-dan-tegangan-sumber-listrik-ac-skripsi.html>)

D. Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan distorsi yang ditimbulkan oleh semua komponen harmonisa dan didefinisikan sebagai persamaan berikut:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} M_n^2}}{M_1}$$

Dimana:

THD = *Total Harmonic Distortion*

M_n = Nilai *rms* arus atau tegangan harmonisa ke- n

M_1 = Nilai *rms* arus atau tegangan pada frekuensi dasar

D. Total Demand Distortion (TDD)

Tingkat distorsi harmonisa bias dihitung dengan persamaan nilai THD namun ada beberapa hal yang membuat hitungan tersebut salah saat diinterpretasikan. Arus yang kecil memiliki nilai THD yang tinggi tetapi tidak menjadi satu alasan kegagalan operasi ataupun kerusakan pada alat kelistrikan. Untuk memperkecil kesalahan perhitungan THD dilakukannya analisis arus beban puncak frekuensi dasar sehingga didapatkannya persamaan TDD (*total demand distortion*) yang masuk dalam daftar IEE 519-1992, tentang “*Recommended Practices and Recuirements for Harmonic Control in Electrical Power System*”.

TDD dapat didefinisikan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\text{TDD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{h \max} I_n^2}}{I_L}$$

Dimana:

TDD = Total Demand Distorsi

I_n = Arus harmonisa orde ke-n

I_L = Arus beban puncak pada frekuensi dasar

E. Nilai *rms*

Tegangan harmonik dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 \sqrt{1THD^2}$$

dimana:

M_h = Nilai *rms* arus atau tegangan ke-h

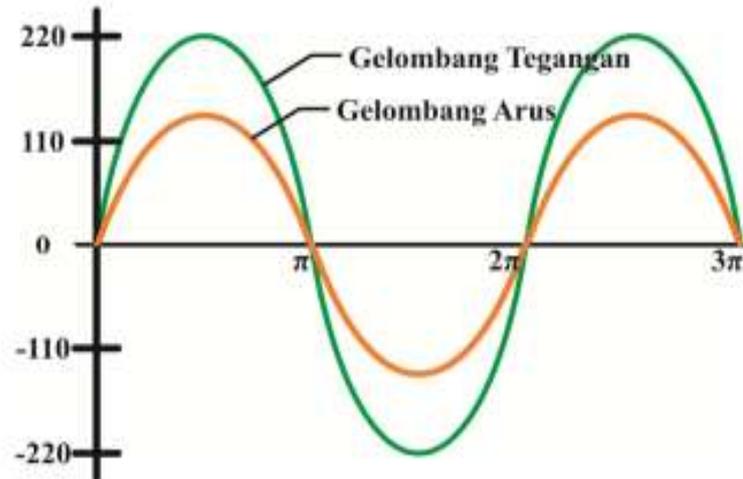
2.2.4.2 Penyebab Terjadinya Harmonik

Harmonik terjadi akibat adanya pemakaian beban *linier* dan beban *non-linier*, sehingga menimbulkan pengaruh yang buruk untuk komponen-komponen rangkaian listrik bahkan dapat menyebabkan dampak negative terhadap lingkungan seperti *noisemekanik* dan *interferensi* terhadap system telekomunikasi.

Penyebab terjadinya harmonisa secara garis besar yaitu peralatan yang memiliki kondisi saturasi dan peralatan elektronika daya. Peralatan yang memiliki kondisi saturasi bersifat magnetik seperti mesin-mesin listrik, transformator, power supply, dan magnetic ballast. Pada peralatan elektronika daya yang menggunakan komponen-komponen elektronika daya seperti converter static, inverter, dan sebagainya. Peralatan rumah tangga sebagian besar termasuk beban *non-linier* seperti kipas angin, *Air Conditioner*, televisi, computer, dan lain-lain.

2.2.4.2.1 Beban *Linier*

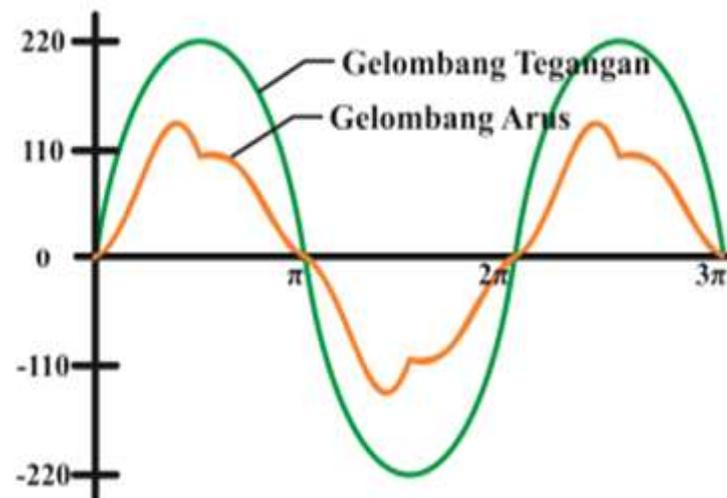
Beban linier merupakan beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan.



Gambar 2.7 Gelombang Pembebanan *Linier*

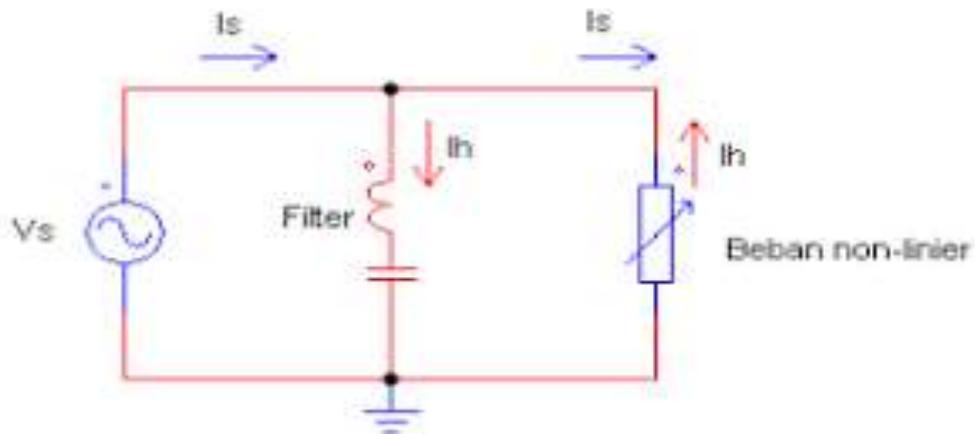
2.2.4.2.2 Beban *Non-Linier*

Beban non linier adalah bentuk gelombang yang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengan siklus, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya.



Gambar 2.8 Gelombang Pembebanan *Non-Linier*

Pembebanan beban *non-linear* dimodelkan seperti pada gambar berikut:

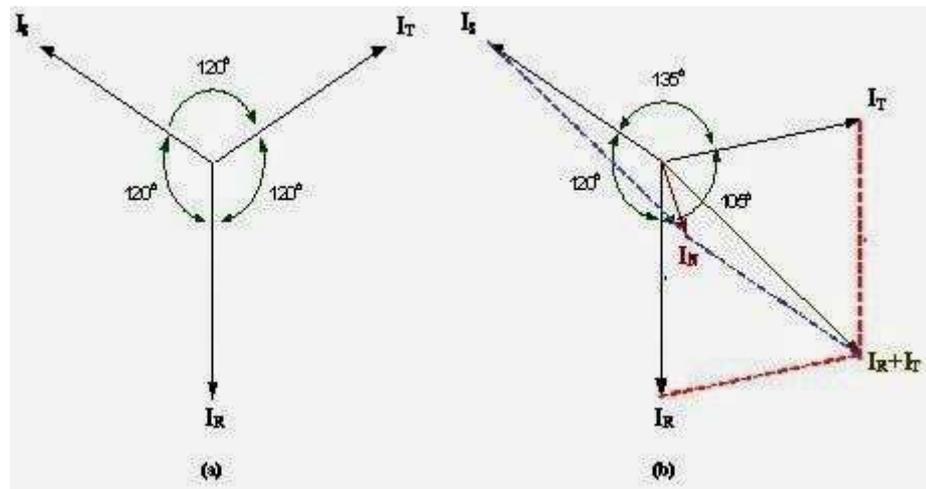
Gambar 2.9 pemodelan beban *non-linier* model gelombang dasar

(https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dir/061a20cbed4be4f6d2a947e3c9734216.pdf)

2.2.3 Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban adalah pada saat tertentu besarnya arus pada setiap fasa R, S dan T berbeda dan vektor dari tegangan dan arus pada ketiga fasa tidak sama besar, suatu sistem kelistrikan pada gedung dikatakan seimbang bilamana vektor arus saling membentuk 120° dengan yang lainnya. Akibat dari ketidakseimbangan beban tersebut menyebabkan adanya arus pada fasa netral yang tidak sama dengan 0.

Dalam ketidakseimbangan beban ini suatu waktu masing – masing vektor seimbang tetapi tidak membentuk sudut 120° dan sebaliknya terkadang tidak seimbang tetapi membentuk sudut 120° .



Gambar 2.10 Vektor seimbang dan vektor dalam keadaan tidak seimbang
(Sumber: Setiadji, 2006)

2.2.4 Rugi Daya atau *Power Losses*

Adanya daya yang hilang pada sistem distribusi listrik menyebabkan kerugian dari pihak PLN begitu juga halnya jika daya yang hilang tersebut terjadi pada suatu bangunan industri baik itu kampus ataupun industri yang menyebabkan kerugian biaya ekonomi.

Power losses ini disebabkan karena adanya penjumlahan vektor arus yang terjadi pada sistem 3 fasa 4 kawat yaitu dari penjumlahan I_R , I_S , dan I_T sehingga I_N tidak sama dengan 0. *Power losses* tersebut mempunyai persamaan sebagai berikut ini :

$$\text{Ketidakseimbangan beban} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \%$$

$$I_{N1} = \sqrt{IR^2 + IS^2 + IT^2 - (IR \times IS) - (IS \times IT) - (IR \times IT)}$$

2.2.5 Standart IEEE 192.1992 Untuk Kualitas Daya Listrik

Berdasarkan standart IEEE 192.1992 untuk kualitas daya listrik pada suatu gedung ataupun industry dikatakan baik jika memenuhi standart yang sudah disepakati oleh pakar listrik dunia, berikut ini batasan-batasan yang telah ditetapkan.

Tabel 2.1 Standart Untuk Harmonisa Arus

$I_E < I_t$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 28$	$28 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
$v \leq 69 \text{ kV}$						
<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
$69 \text{ kV} < v \leq 161 \text{ Kv}$						
<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
500<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$v > 161 \text{ kV}$						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.5	1.75	1.25	0.45	0.22	3.75
Nb : IE = Arus Energi Listrik It = Arus Rentang Waktu h = Harmonik TDD = <i>Total Demand Distortion</i>						

Berdasarkan standart IEEE 192.1992 Batasan untuk harmonisa tegangan untuk kualitas daya listrik pada suatu gedung ataupun industry dikatakan baik jika memenuhi standart yang sudah disepakati oleh pakar listrik dunia, berikut ini batasan-batasan yang telah ditetapkan.

Tabel 2.2 Batasan untuk harmonisa tegangan IEEE

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
>69 kV ≤161 kV	1.5	3.5
>161 kV	1.0	1.5

Berdasarkan standart IEEE 192.1992 Batasan untuk Ketidak seimbangan beban pada suatu gedung ataupun industry dikatakan baik jika memenuhi standart yang sudah disepakati oleh pakar listrik dunia, berikut ini batasan-batasan yang telah ditetapkan.

Tabel 2.3 Ketidak seimbangan beban menurut standar IEEE

Parameter	Maksimum
Regulasi keadaan	+5%, -10% s/d 10%, -15%
Gangguan tegangan drop	-25% s/d 30% $V_{drop} < 0.5s$
Tegangan sementara	-100% 4ms s/d 20ms
Tegangan lebih transient	+150% s/d 200% $V_t < 0.2ms$
Distorsi tegangan harmonic	3-5% (beban linier)
Noise	Tidak ada standar
Variasi frekuensi	50Hz ± 0.5Hz s/d 1Hz
Perubahan frekuensi	1Hz
Ketidakseimbangan beban	5% s/d 20%
Ketidakseimbangan tegangan	2.5% s/d 5%
Factor daya	0.18 s/d 0.9
Kapasitas beban	0.75 s/d 0.85