

ANALISIS PENGARUH JENIS BEBAN LISTRIK TERHADAP KINERJA PEMUTUS DAYA LISTRIK DI GEDUNG CYBER JAKARTA

Jumadi¹; Juara Mangapul Tambunan²
Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta¹
Teknik Elektro STT-PLN Jakarta²
Juaramangapult_stmsi@yahoo.com²

ABSTRAK

Pengembangan sistem ketenagalistrikan tidak dapat lepas dari pengembangan sistem distribusi dan dalam pengembangan sistem distribusi tenaga listrik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah karakteristik beban pada jaringan distribusi tenaga listrik. Karena sifat/karakteristik dari beban listrik dapat menimbulkan gangguan pada sistem distribusi. Gangguan yang timbul akibat dari beban ini antara lain adalah timbulnya gelombang harmonik pada sistem distribusi tenaga listrik.

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan pada pemutus daya listrik (MCCB) dari kelima rumah yang diukur diperoleh total distorsi arus harmonisa berkisar antara $5,8\% \leq I_{THD} \leq 51\%$, sedangkan hasil perhitungan berkisar antara $7,54\% \leq I_{THD} \leq 66,1\%$. Data ini menunjukkan adanya distorsi gelombang arus fundamental yang melebihi standar IEEE dan IEC yaitu 15%. Adanya distorsi arus gelombang harmonik yang melampaui batas yang diijinkan pada sistem distribusi tenaga listrik akan menyebabkan gangguan pada perangkat sistem distribusi tenaga listrik, salah satunya adalah pada pemutus daya listrik yang trip (OFF), karena adanya resonansi frekuensi yang disebabkan oleh distorsi gelombang arus fundamental. Selain dapat mengganggu kinerja pemutus daya listrik, adanya distorsi gelombang harmonik dapat menyebabkan naiknya arus dan tegangan pada kawat netral.

Kata kunci : Karakteristik Beban Listrik, Distorsi Harmonik, Pemutus Daya

ABSTRACT

The development of the electricity system can not be separated from the development of the distribution system and in the development of the electric power distribution system there are some things that needs to be considered, one of which is characteristic of the load on the power distribution network. Because of the nature / characteristics of the electrical load can cause interference in the distribution system. Disorders that arise as a result of the load, these include the emergence of harmonic waves on power distribution systems.

From the results of measurements that have been done on the electrical power circuit breaker (MCCB) of the fifth house obtained measured total harmonic current distortion ranged $5.8\% \leq I_{THD} \leq 51\%$, while the calculation results ranged from $7.54\% \leq I_{THD} \leq 66.1\%$. This data shows the fundamental current waveform distortion that exceeds the standard IEEE and IEC is 15%. The presence of current distortion harmonic waves that exceed the allowable limits on electric power distribution system will cause a disruption in the power distribution system, one of which is at the breaker electrical power trip (OFF), because of the resonance frequency caused by distortion of the current wave fundamental. Besides being able to interference with the performance of electrical power breaker, the wave harmonic distortion can cause a rise in the current and voltage on the neutral wire.

Keywords : Characteristics of the Electrical Load, Harmonic Distortion, Power Circuit Breakers

A. Latar Belakang

Energi listrik sangat bermanfaat dan sangat dibutuhkan dalam kehidupan manusia, dan seiring dengan kebutuhan listrik yang terus bertambah menyebabkan perlunya pengembangan sistem ketenagalistrikan yang ada. Pengembangan sistem ketenagalistrikan tidak lepas dari pengembangan sistem distribusi dan dalam pengembangan sistem distribusi tenaga listrik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah karakteristik beban pada jaringan distribusi tenaga listrik.

Dalam sistem arus bolak-balik (arus AC), karakteristik beban listrik dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu : beban resistif, beban induktif, dan

beban kapasitif. Dari ketiga sifat beban listrik di atas yang paling berdampak pada sistem distribusi tenaga listrik adalah sifat dari beban induktif, karena sifat dari beban ini dapat menimbulkan gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik. Gangguan yang timbul akibat dari beban ini antara lain adalah timbulnya gelombang harmonik pada sistem distribusi tenaga listrik.

Sehubungan dengan hal di atas, gedung *Cyber* merupakan salah satu gedung perkantoran yang ada di Jakarta dengan persentasi beban listrik terbesar adalah beban induktif. Untuk itu penulis akan menganalisa pengaruh dari jenis beban listrik yang ada pada gedung *Cyber* terhadap kinerja Pemutus Daya Listrik (*Circuit Breaker*).

1. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah :

- Bagaimana menganalisa kinerja Pemutus Daya dari beban listrik yang ada.
- Bagaimana pengaruh dari jenis beban listrik terhadap kinerja Pemutus Daya di gedung *Cyber* Jakarta.

B. Beban Listrik

1). Klasifikasi Beban Listrik

Secara umum beban yang dilayani oleh sistem distribusi tenaga listrik dibagi menjadi beberapa sektor, yaitu : sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban tersebut mempunyai karakteristik-karakteristik beban yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen di sektor tersebut. Karakteristik beban yang banyak disebut dengan pola pembebanan pada sektor perumahan ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi elektrik yang sangat besar. Hal ini disebabkan konsumsi energi elektrik tersebut lebih dominan di malam hari. Sedangkan pada sektor industri, fluktuasi konsumsi energi sepanjang hari akan hampir sama, sehingga perbandingan beban puncak dengan beban rata-rata hampir mendekati satu. Beban pada sektor komersial dan usaha mempunyai karakteristik yang hampir sama, hanya pada sektor komersial akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada waktu malam hari.

Berdasarkan jenis konsumsi energi listrik, secara garis besar, beban listrik dapat diklasifikasikan ke dalam :

- Beban Rumah Tangga**
Beban listrik rumah tangga pada umumnya berupa lampu untuk penerangan, alat-alat rumah tangga, seperti : kipas angin, pemanas air, lemari es, dan lain-lain.
- Beban Komersial**
Beban komersial (bisnis) pada umumnya terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara, dan alat-alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran, hotel dan juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan, dan akan menurun di sore hari.
- Beban Industri**
Beban Industri dibedakan dalam skala kecil dan skala besar, untuk skala kecil banyak beroperasi pada siang hari sedangkan industri skala besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai dengan 24 jam.
- Beban Fasilitas Umum**
Pengklasifikasian beban ini sangat penting, artinya bila kita akan melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersial lebih dominan pada siang dan sore hari. Konsumsi energi listrik pada sektor industri

akan lebih merata karena banyaknya industri yang bekerja siang dan malam. Dilihat dari sisi ini, jelas pemakaian daya pada industri akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan lebih merata, sedangkan pada beban fasilitas umum lain lebih dominan pada siang dan malam hari. Namun pada hal ini penulis akan mencoba membahas permasalahan yang timbul pada karakteristik beban pada sektor komersial, tepatnya pengaruh yang ditimbulkan dari jenis beban pada peralatan elektrikal. Di sini penulis mencoba menganalisa karakteristik beban listrik pada salah satu gedung perkantoran di daerah Jakarta Selatan tepatnya adalah Gedung *Cyber*.

2). Karakteristik Beban Listrik

Dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC) karakteristik beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu :

- Beban Resistif (R)
- Beban Induktif (L)
- Beban Kapasitif (C)

Penulis akan menjelaskan sedikit tentang karakteristik dari ke tiga macam beban listrik yang telah disebutkan diatas.

a). Beban Resistif

Beban resistif, yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (*resistance*), seperti elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arus sefasa. Persamaan daya sebagai berikut :

$$P = V.I \dots\dots\dots (2.1)$$



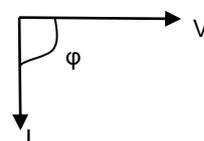
Gambar 1. Arus dan Tegangan Pada Beban Resistif

b). Beban Induktif

Beban induktif, yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti : (*coil*), transformator, dan solenoida. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat tertinggal sebesar 90° terhadap tegangan (*lagging*). Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis yang akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V.I.Cos \phi \dots\dots\dots (2.2)$$

ϕ = Sudut antara arus dan tegangan



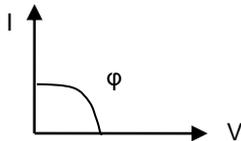
Gambar 2. Arus dan tegangan pada Beban induktif

c]. Beban Kapasitif

Beban kapasitif, yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus terdahulu terhadap tegangan (*leading*). Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

ϕ = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 3. Arus dan tegangan pada Beban kapasitif

2.1). Jenis Beban Listrik

Tujuan utama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk sampai ke pelanggan atau beban. Salah satu faktor utama yang paling penting dalam perencanaan sistem distribusi tenaga listrik adalah karakteristik dari berbagai jenis beban listrik tersebut. Karakteristik jenis beban listrik sangat diperlukan agar sistem distribusi tegangan dan pengaruh termis dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Dalam sistem distribusi tenaga listrik jenis beban listrik dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu beban linear dan beban non linear. Yang dimaksud dari beban linear adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linear, artinya arus mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban non linear adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya atau dengan kata lain disebut distorsi tegangan dan arus listrik. Gangguan yang terjadi akibat distorsi arus dan tegangan disebut dengan harmonik. Di sini penulis akan mencoba menjelaskan sedikit tentang harmonik.

a). Harmonik

Harmonik adalah distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental pada sistem distribusi tenaga listrik normal (frekuensi 50 Hz). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonik.

b). Distorsi Harmonik

Distorsi harmonik disebabkan peralatan yang memiliki beban non linear pada sistem distribusi tenaga listrik. Peralatan yang memiliki beban non linear merupakan kondisi di mana arus tidak proporsional dengan gelombang tegangannya.

Apabila suatu gelombang yang identik dari suatu siklus ke siklus lain, maka bila direpresentasikan sebagai penjumlahan gelombang sinusoidal murni dimana frekuensi dari setiap sinusoidal merupakan kelipatan atau hasil perkalian bilangan bulat dari frekuensi gelombang dasar yang terdistorsi. Gelombang dengan frekuensi kelipatan ini disebut harmonik. Penjumlahan dari gelombang-gelombang sinusoidal menjadi gelombang non sinusoidal tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan metode deret fourier sebagai berikut :

$$Y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n2\pi ft - \phi_n) \dots(2.4)$$

Persamaan fourier di atas dapat digunakan untuk memecah gelombang yang telah terdistorsi menjadi gelombang dasar dan gelombang harmonik. Hal ini menjadi dasar dalam menganalisis harmonik dalam sistem tenaga listrik. Bentuk tegangan dan arus yang telah terdistorsi dapat diperoleh dengan cara menjumlahkan secara aljabar gelombang dasar (yang dibangkitkan oleh pembangkit) dengan gelombang-gelombang harmonik yang mempunyai frekuensi, amplitudo dan sudut fasa yang bervariasi. Analisis fourier telah digunakan untuk menganalisis amplitudo dan frekuensi dari gelombang sinusoidal yang telah terdistorsi.

Ada beberapa istilah Harmonik yang perlu diketahui, yaitu :

a). Orde Harmonik

Merupakan perbandingan frekuensi harmonik dengan frekuensi dasar, dimana:

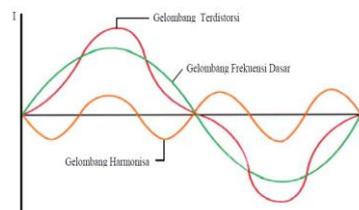
$$n = \frac{f_n}{f} \dots\dots\dots (2.5)$$

b). Spektrum

Spektrum adalah distribusi dari semua amplitudo komponen harmonik sebagai fungsi dari semua orde harmoniknya, dan diilustrasikan menggunakan histogram. Bisa dikatakan merupakan perbandingan arus atau tegangan frekuensi harmonik terhadap arus atau tegangan frekuensi dasar. Spektrum digunakan sebagai dasar perancangan filter untuk mereduksi harmonik, terutama bila filter yang digunakan adalah jenis filter pasif.

c). Total Harmonic Distortion (THD)

Sebelum berbicara tentang THD dan untuk memperjelas pemahaman kita tentang THD, berikut ini adalah contoh gambar dari gelombang frekuensi dasar sinusoidal, gelombang harmonik ke 3 dan gelombang yang sudah terdistorsi oleh harmonik (gelombang THD) sebagai berikut :



Gambar 4. Gelombang frekuensi dasar, gelombang h-3 dan gelombang THD

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan rasio nilai rms dari komponen harmonik ke nilai rms dari komponen dasar yang biasanya dinyatakan dalam persen (%). Indeks tersebut digunakan untuk mengukur deviasi dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonik dari gelombang sinus. Untuk mencari besarnya THD tegangan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\%V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk menghitung besarnya % THD arus menggunakan persamaan berikut ini :

$$\%I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.7)$$

Distorsi harmonik individu (IHD) adalah rasio antara nilai rms dari harmonik individual terhadap nilai rms dari dasar. Standar harmonik yang digunakan adalah standar IEEE-519 dan IEC 61000-3-4, IEC 61000-3-6. Ada 2 (dua) kriteria yang biasa digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu : batasan harmonik pada arus dan batasan harmonik untuk tegangan. Presentasi (%) I_{THD} adalah presentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonik terhadap frekuensi fundamen-talnya. Untuk menentukan presentasi (%) I_{THD} tergantung dari besarnya rasio dari I_{sc} dan I_L . V_{THD} adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonik terhadap frekuensi fundamentalnya. Presentasi (%) V_{THD} ditentukan pada tegangan sistem yang dipakai.

Batasan Harmonik

Beberapa standar batasan harmonik pada sistem tenaga listrik telah dipublikasikan, diantaranya adalah standar IEEE std. 519-1992, IEC 61000-3-4, IEC 61000-3-6 dan lain-lain. IEC biasanya digunakan untuk daerah Eropa dan ANSI banyak digunakan di Amerika. Berikut ini adalah contoh standar IEC 61000-3-4 dan IEC 61000-3-6, yang digunakan dalam penelitian ini :

Tabel 1. Standar IEC 61000-3-4

Orde	Maksimum Arus Harmonik yang diijinkan	Orde	Maksimum arus harmonik yang diijinkan
3	21.6	19	1.1
5	10.7	21	0.6
7	7.2	23	0.9
9	3.8	25	0.8
11	3.1	27	0.6
13	2	29	0.7
15	0.7	31	0.7
17	1.2	33	0.6

Ket : Batasan THD arus yang diijinkan maksimal sebesar 15%

Tabel 2. Standar IEC 61000-3-6

Harmonik ganjil				Harmonik genap	
Bukan kelipatan 3		Kelipatan 3		Orde	Tegangan harmonik (%)
Orde	Tegangan harmonik (%)	Orde	Tegangan harmonik (%)		
5	6	3	3	2	2
7	5	9	9	4	1
11	3.5	15	15	6	0.5
13	3	21	21	8	0.5
15	2	>21	1	10	0.5
17	1.5			12	0.2
19	1.5			>12	0.2
23	1.5				
25	1.5				
>25	0.2 + 1.3 x 25/h				

Ket : Batasan THD tegangan maksimal sebesar 5%

d). Total Demand Distortion

Seperti telah dijelaskan di atas, tingkat distorsi arus dapat dilihat dari nilai THD, namun hal tersebut bisa saja salah pada saat diinterpretasikan. Aliran arus yang kecil dapat memiliki nilai THD yang tinggi namun tidak menjadi ancaman yang dapat merusak sistem. Beberapa analisis mencoba untuk menghindari kesulitan seperti ini dengan melihat THD pada saat arus beban puncak frekuensi dasar dan bukan melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar. Hal ini disebut *total demand distortion* atau distorsi permintaan total (TDD) dan hal ini masuk dalam standar IEEE 159-1992, *Recommended Practices Requirement for Harmonic control in Electrical Power System*. TDD dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_L} \dots\dots\dots (2.8)$$

e). Nilai RMS

Nilai rms yang dihasilkan oleh gelombang arus dan tegangan yang terdistorsi harmonik dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2} \dots (2.9)$$

Penyebab Timbulnya Harmonik

Seperti yang telah disebutkan di atas, munculnya harmonik penyebab utamanya adalah adanya beban non linear pada jaringan sistem distribusi. Beban non linear umumnya berupa komponen semikonduktor yang proses kerjanya berlaku seperti saklar yang bekerja pada saat setengah siklus gelombang atau beban yang membutuhkan arus yang tidak tetap pada setiap periode waktunya. Proses kerja ini akan menimbulkan gelombang arus atau tegangan yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter beban-beban non linear yang terpasang. Perubahan bentuk gelombang ini tidak berkaitan dengan sumber tegangannya.

Sumber harmonik secara garis besar terdiri dari 2 jenis yaitu peralatan yang memiliki jenis saturasi dan peralatan elektronika daya. Peralatan yang memiliki kondisi saturasi biasanya memiliki komponen

yang bersifat magnetik seperti transformator, mesin-mesin listrik dan *magnetic ballast*. Pada peralatan elektronika daya biasanya menggunakan komponen-komponen elektronika daya seperti thyristor, dioda dan lain-lain. Contoh peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya adalah sistem pengendali motor listrik, magnetik *ballast* dan lain-lain.

Akibat yang ditimbulkan oleh Harmonik :

Pengaruh harmonik pada peralatan system tenaga listrik pada umumnya terbagi menjadi tiga, yaitu :

- Nilai rms baik tegangan maupun arus meningkat.
- Nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus meningkat.
- Frekuensi pada sistem menurun

Masing-masing elemen membangkitkan distorsi yang spesifik, nilai rms lebih besar menyebabkan pemanasan lebih dan nilai puncak lebih besar yang dapat membuat alat ukur terganggu kinerjanya sehingga memberikan indikasi yang salah. Frekuensi mempengaruhi impedansi kabel dan dengan frekuensi 400 Hz atau lebih maka akan sulit untuk mengatasi jatuh tegangan. Fenomena resonansi dapat terjadi pada frekuensi tertentu dan dapat menyebabkan arus meningkat.

Secara khusus dampak yang ditimbulkan harmonik dapat dibagi menjadi :

- a. Efek negatif jangka pendek
 - Tegangan harmonik dapat mengganggu pengendalian yang digunakan pada sistem elektronik.
 - Harmonik dapat menyebabkan kesalahan pada peralatan pengukuran listrik yang menggunakan prinsip kerja induksi magnetik.
- b. Efek yang bersifat kontinyu dan yang dapat mengakibatkan pemanasan.
 - Pemanasan kapasitor
Kapasitor sangat sensitif ketika terjadi perubahan beban maka ketika terjadi harmonik akan mengakibatkan rugi-rugi meningkat. Ketika terjadi harmonik, beban semakin reaktif sehingga kapasitor harus mencatu daya reaktif yang lebih banyak kepada sistem.
 - Pemanasan pada mesin-mesin listrik
Akibat harmonik pada mesin-mesin listrik adalah bertambahnya rugi-rugi pada mesin. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya rugi-rugi pada stator dan perbedaan kecepatan yang diakibatkan oleh medan yang dihasilkan oleh harmonik dengan rotor. Arus harmonik juga menimbulkan panas lebih, dan apabila mesin dioperasikan terus-menerus akan berakibat mengurangi umur mesin tersebut.
 - Transformator
Transformator distribusi yang mencatu daya beban non linear akan menimbulkan harmonik kelipatan tiga ganjil. Harmonik ini akan menghasilkan arus netral yang lebih tinggi daripada arus fasa, akibatnya terjadi peningkatan temperatur pada kawat netral. Dampak selanjutnya, akan terjadi sirkulasi arus urutan nol pada belitan delta sehingga temperatur transformator meningkat. Hal ini akan berakibat adanya penurunan efisiensi

transformator dan dapat menyebabkan kerusakan. Rugi-rugi yang terjadi pada transformator adalah rugi inti dan rugi belitan. Rugi inti karena fluks yang dibangkitkan di dalam inti bila transformator di eksitasi. Rugi-rugi belitan yang terdiri dari I²R dan *stray losses* yang dibangkitkan oleh arus yang mengalir melalui transformator. Akibat lain dari harmonik adalah terjadinya interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi, karena biasanya sistem telekomunikasi berdekatan dengan sistem tenaga listrik. Sistem proteksi seperti relay dapat berkurang kinerjanya ketika terjadi gangguan harmonik karena sifat *relay* itu sendiri yang sensitif terhadap perubahan frekuensi dan arus.

3). Perlengkapan Hubung Bagi (PHB)

Di sini penulis akan menjelaskan jenis-jenis PHB dan jenis pengamanan yang digunakan pada PHB yang terdapat pada Gedung *Cyber*.

Untuk PHB pada sistem distribusi tegangan rendah, hantaran utama yang digunakan biasanya kabel *feeder* dan biasanya menggunakan kabel jenis NYY ataupun NYFGbY (tergantung lokasi distribusi PHB tersebut). Di dalam PHB biasanya penghantar yang digunakan adalah Busbar (lempengan penghantar listrik yang terbuat dari Tembaga ataupun Aluminium). Di dalam PHB Busbar dibagi menjadi dua segmen yang berhubungan dengan saklar pemisah, yang satu mendapat saluran masuk dari suplai PLN dan yang satu lagi mendapat suplai dari Genset (tenaga listrik cadangan yang digunakan apabila pasokan listrik dari PLN padam). Dari kedua busbar didistribusikan ke beban secara langsung atau melalui SDP ataupun SSDP. Pengaman arus listrik untuk penghubung atau pemutus yang digunakan pada PHB di Gedung *Cyber* terdiri dari beberapa jenis, yaitu :

- a. MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)
- b. MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*)
- c. ACB (*Air Circuit Breaker*)
- d. VCB (*Vacuum Circuit Breaker*)

Penulis akan menjelaskan sedikit tentang jenis-jenis pengamanan arus listrik tersebut di atas.

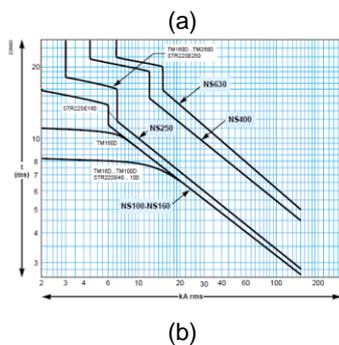
a). MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)

Pengaman rangkaian ini dilengkapi dengan pengamanan *thermis (bimetal)* dan relai elektromagnetis yang berfungsi sebagai pengamanan beban lebih dan pengamanan hubung singkat. Pengaman *thermis* pada MCB memiliki prinsip yang sama dengan *thermal overload* yaitu menggunakan dua buah logam yang digabungkan (*bimetal*), pengamanan secara *thermis* memiliki kelambatan, ini tergantung pada besarnya arus yang harus diamankan, sedangkan pengamanan elektromagnetis menggunakan sebuah kumparan yang dapat menarik sebuah angker dari besi lunak.

b). MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*)

MCCB merupakan alat pengamanan yang dalam proses operasinya memiliki dua fungsi yaitu sebagai pengamanan dan sebagai alat penghubung. Bila dilihat dari segi pengamanan, maka MCCB dapat berfungsi sebagai pengamanan gangguan arus hubung singkat

dan arus beban lebih. Pada jenis tertentu, pengaman ini mempunyai kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan.



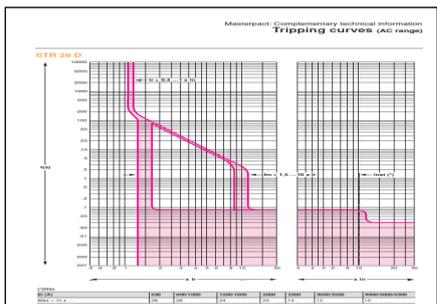
Gambar 5. (a). MCCB
(b). Reflek trip MCCB

c). ACB (Air Circuit Breaker)

ACB merupakan jenis *circuit breaker* dengan sarana pemadam busur api berupa udara. ACB banyak digunakan pada sistem tegangan rendah dan tegangan menengah. Udara pada tekanan ruang atmosfer dipergunakan sebagai peredam busur api yang terjadi pada saat proses *switching* ataupun akibat gangguan hubung singkat. ACB dapat digunakan pada sistem tegangan rendah dan tegangan menengah. Berikut ini adalah contoh gambar ACB berikut karakteristik trip ACB jenis *Masterpack tipe Drawout* :



(a)



(b)

Gambar 6. (a). ACB ;
(b). Kurva karakteristik arus dan waktu sebuah ACB

d). VCB (Vacuum Circuit Breaker)

Pada dasarnya prinsip kerja *Circuit Breaker* ini sama dengan *Circuit Breaker* jenis lainnya, hanya saja ruang kontak di mana tempat terjadinya busur api pada saat *switching* merupakan ruang hampa udara yang tinggi sehingga peralatan jenis *Circuit Breaker* ini dilengkapi dengan seal penyekat udara untuk mencegah terjadinya kebocoran ruang hampa udara tersebut. Berikut ini adalah contoh gambar VCB :



Gambar 7. VCB

C. Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini mencakup beberapa hal yang menentukan penetapan tempat dan waktu penelitian, penetapan obyek penelitian, penetapan metode pengumpulan data, dan teknik analisis data. Populasi dalam penelitian ini adalah pemutus daya listrik (*Circuit Breaker*) yang menanggung jenis beban listrik non linear di Gedung *Cyber* Jakarta. Sampel pada penelitian ini adalah sejumlah pemutus daya listrik (*Circuit Breaker*) di Gedung *Cyber* Jakarta. Metode pengumpulan data yang digunakan meliputi metode observasi dan metode dokumentasi. Metode observasi digunakan untuk mengungkap data arus yang membebani pemutus daya listrik (*Circuit Breaker*), data tegangan listrik yang melalui pemutus daya listrik (*Circuit Breaker*), data faktor daya listrik, data suhu pada pemutus daya listrik, dan data THD (*Total Harmonic Distortion*). Dalam penelitian ini peneliti melakukan pengamatan terhadap obyek penelitian sesuai dengan data yang diperlukan. Metode dokumentasi digunakan untuk memperoleh data besarnya arus harmonik yang dapat mengganggu kinerja pemutus daya listrik (*Circuit Breaker*) tepatnya di Gedung *Cyber* Jakarta.

Sesuai dengan tujuan penelitian ini, maka instrumen penelitian dikembangkan dalam bentuk alat ukur. Adapun alat ukur yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 8 sebagai berikut :

Tabel 3. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian

No	Nama Alat Ukur	Merk dan Model Alat ukur
1	Power Analyzer	Merk : Fluke Model : 435 Power Analyzer



Gambar 8. Alat ukur *Power Analyzer* Fluke 435

Langkah Penelitian

Langkah penelitian untuk pengambilan data dilakukan beberapa tahap, yaitu:

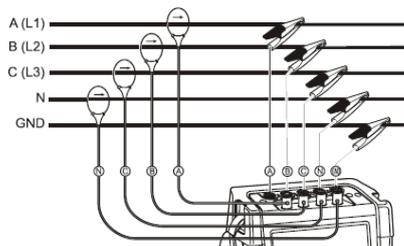
1. Langkah Persiapan

Langkah yang dilakukan dalam tahap persiapan adalah sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan alat untuk penelitian, semua alat yang akan digunakan dalam penelitian harus disiapkan terlebih dahulu.
- b. Mengkondisikan obyek penelitian.

Obyek penelitian yang dimaksud di sini adalah pemutus daya listrik (*Circuit Breaker*) yang menanggung jenis beban listrik non linear. Setelah alat yang akan digunakan untuk penelitian sudah disiapkan, maka alat ukur dipasang pada penghantar (kabel atau busbar *incoming/out going dari Circuit Breaker*).

Adapun cara pengukurannya dapat diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Cara pengukuran menggunakan Fluke 435

D. Pembahasan Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan menunjukkan besarnya gelombang harmonik dan gelombang THD pada sistem distribusi tenaga listrik di Gedung *Cyber*. Fenomena dari hasil penelitian merupakan hasil yang tidak direkayasa, sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggung jawabkan dan merupakan hasil penelitian yang sebenarnya. Hasil pengukuran distorsi gelombang harmonik arus dan tegangan pada pembatas arus listrik (*Circuit Breaker*) di beberapa tenant Gedung *Cyber* dapat dilihat pada tabel 4. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan pada pemutus daya listrik (MCCB) di PT. Indonet, PT. GSD dan PT. DAXA, maka didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4. Data hasil pengukuran

PT. GSD		PT. Indonet		PT. Daxa	
Tegangan rms (V)		Tegangan rms (V)		Tegangan rms (V)	
R	229	R	219	R	230
S	235	S	224	S	233
T	234	T	225	T	235
N	1,3	N	0,79	N	1,32
Arus rms (A)		Arus rms (A)		Arus rms (A)	
R	310	R	149	R	26
S	322	S	128	S	28
T	302	T	116	T	15
N	55	N	18	N	30
THD V (%)		THD V (%)		THD V (%)	
R	2,94	R	3,22	R	3,38
S	2,79	S	3,19	S	3,58
T	2,45	T	2,69	T	2,95
N	175,8	N	263,8	N	77,49
THD I (%)		THD I (%)		THD I (%)	
R	16,34	R	5,63	R	59,6
S	15,4	S	6,45	S	55,4
T	14,78	T	5,39	T	37,8
N	114,4	N	332,43	N	217,43
Frekuensi	50,3	Frekuensi	49,94	Frekuensi	49,8
P (kW)	70,5	P (kW)	30,8	P (kW)	5,1
P (kVA)	77,4	P (kVA)	30,5	P (kVA)	5,2
Q (kVAR)	32,7	Q (kVAR)	3,5	Q (kVAR)	0,7
PF	0,89	PF	0,99	PF	1
Orde Harmonik I (%)		Orde Harmonik I (%)		Orde Harmonik I (%)	
3	8,65	3	4,53	3	47,6
5	0	5	0	5	35,4
7	0	7	0	7	18,2
9	0	9	0	9	1,5
Orde Harmonik V (%)		Orde Harmonik V (%)		Orde Harmonik V (%)	
3	3,7	3	3	3	4,63
5	0	5	0	5	0,69
7	0	7	0	7	0,25
9	0	9	0	9	1,2

Hasil pengukuran dan hasil perhitungan akan dibandingkan untuk kemudian dievaluasi berdasarkan standar harmonik yang telah ditetapkan.

Untuk menghitung besarnya THD tegangan dengan menggunakan persamaan (2.6). Dari data yang diperoleh dari pengukuran akan dibandingkan dengan hasil perhitungan, sebagai berikut :

- a). THD tegangan (%) di PT. Indonet
 Nilai tertinggi komponen harmonik ke $n = 4,53$
 Maka :

$$\% V THD = \frac{\sqrt{3 \times 3^2}}{223} \times 100\% = 2,3 \%$$

- b). THD tegangan (%) di PT. GSD
 Nilai tertinggi komponen harmonik ke $n = 3,7$
 Maka :

$$\% V THD = \frac{\sqrt{3,7 \times 3,7^2}}{233} \times 100\% = 3,1 \%$$

- c). THD tegangan (%) di PT. DAXA
 Jumlah nilai orde harmonik ke $n \sim 6,77$
 Nilai komponen orde harmonik tertinggi = 1,2
 maka :

$$\% V THD = \frac{\sqrt{6,77 \times 1,2^2}}{232} \times 100\% = 1,35 \%$$

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat dilihat hasil perbandingan antara hasil pengukuran dan perhitungan pada tabel berikut ini :

Tabel 5. Evaluasi THD tegangan

Unit Pemutus Daya	V THD (%)			Evaluasi
	Pengukuran	Perhitungan	Standar	
PT. Indonet	3	2,3	5	di bawah standar
PT. GSD	2,73	3,1	5	di atas standar
PT. DAXA	3,3	1,35	5	di atas standar

Dalam melakukan perhitungan, standar yang dipakai adalah standar dari IEEE 519-1992. Dalam melakukan perhitungan THD tegangan digunakan standar untuk tegangan dibawah 69 kV, kemudian dari hasil pengukuran dilakukan perbandingan dengan standar yang sesuai untuk tegangan dibawah 69 kV. Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui apakah nilai dari hasil pengukuran yang telah dilakukan melebihi batas yang diijinkan atau tidak. Berdasarkan data yang dikumpulkan terlihat bahwa total distorsi tegangan harmonik untuk ketiga pemutus daya listrik ini masih dibawah standar tabel 5.

Untuk menghitung besarnya % THD arus dengan menggunakan persamaan (2.7). Maka dari data hasil pengukuran didapat sebagai berikut :

a). THD arus (%) di PT. Indonet

Nilai tertinggi komponen harmonik ke $n = 4,53$

Maka :

$$\% I_{THD} = \frac{\sqrt{4,53 \times 4,53^2}}{130} \times 100\% = 7,45\%$$

b). THD arus (%) di PT. GSD

Nilai tertinggi komponen harmonik ke $n = 8,65$

Maka :

$$\% I_{THD} = \frac{\sqrt{8,65 \times 8,65^2}}{311} \times 100\% = 8,2\%$$

c). THD tegangan (%) di PT. DAXA

Jumlah nilai orde harmonik ke $n \sim = 102,7$

Nilai komponen orde harmonik tertinggi = 1,5
maka:

$$\% V_{THD} = \frac{\sqrt{102,7 \times 1,5^2}}{23} \times 100\% = 66,1\%$$

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat dilihat hasil perbandingan antara hasil pengukuran dan perhitungan pada tabel berikut ini :

Tabel 6. Evaluasi THD arus

Unit Pemutus Daya	I THD (%)			Evaluasi
	Pengukuran	Perhitungan	Standar	
PT. Indonet	5,8	7,45	15	di bawah standar
PT. GSD	15,5	8,2	15	di atas standar
PT. DAXA	51	66,1	15	di atas standar

Hasil perhitungan dan pengukuran menunjukkan hasil yang relatif hampir sama artinya peralatan yang dipakai untuk melakukan pengukuran cukup presisi. dari ketiga unit pemutus daya yang diukur, diperoleh total distorsi arus harmonisa berkisar antara $5,8\% \leq I_{THD} \leq 51\%$ sedangkan hasil perhitungan berkisar antara $7,54\% \leq I_{THD} \leq 66,1\%$. Data ini

memperlihatkan bahwa dua unit yang memiliki harmonisa melebihi standar baik secara pengukuran maupun perhitungan. Hal ini disebabkan jumlah peralatan tidak linier yang dipergunakan lebih banyak dibandingkan unit pemutus daya listrik milik PT. Indonet, jumlah beban tidak linier akan menghasilkan gelombang yang kemudian menimbulkan harmonik pada gelombang arus fundamental. Gelombang inilah yang bisa menyebabkan gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik apabila distorsi dari harmonik sudah melebihi batasan yang telah ditentukan oleh IEC ataupun IEEE.

E. Kesimpulan

Dari hasil analisa pengukuran dan perhitungan sebelumnya, maka dapat memperkuat teori dan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

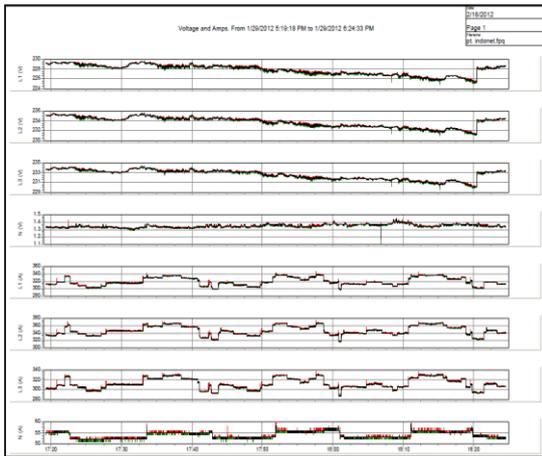
1. Dari kelima rumah yang diukur diperoleh total distorsi arus harmonisa berkisar antara $5,8\% \leq I_{THD} \leq 51\%$ sedangkan hasil perhitungan berkisar antara $7,54\% \leq I_{THD} \leq 66,1\%$. Data ini menunjukkan adanya distorsi gelombang arus fundamental yang melebihi standar IEEE dan IEC yaitu 15%.
2. Adanya distorsi arus gelombang harmonik yang melampaui batas yang diijinkan pada sistem distribusi tenaga listrik akan menyebabkan gangguan pada perangkat sistem distribusi tenaga listrik, salah satunya pada pemutus daya listrik yang *trip* (OFF), karena adanya resonansi frekuensi yang disebabkan oleh distorsi gelombang arus fundamental.
3. Selain dapat mengganggu kinerja pemutus daya listrik, adanya distorsi gelombang harmonik dapat menyebabkan naiknya arus dan tegangan pada kawat netral.

Daftar Pustaka

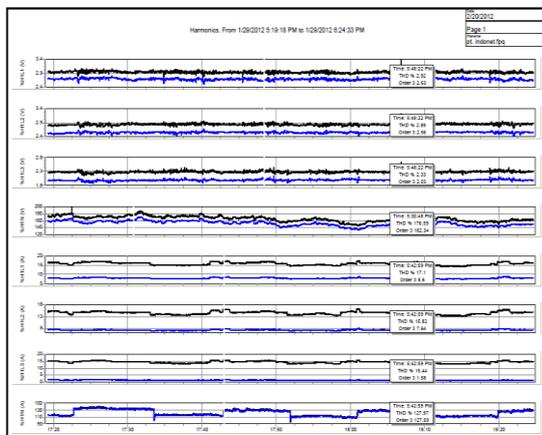
- Buku IEEE std. 519-1992, "IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing".
 Buku IEC 61000-3-4, IEC 61000-3-6, 1993 "IEC Standard Techniques for harmonics point data"
 Buku Alat Ukur Power Analyzer merk Fluke 435, 2004
 Buku Katalog Pemutus daya listrik / Circuit Breaker (MCCB) di PT. Indonet, PT. GSD dan PT. DAXA
 Hyatt William, Prof, 1984 "Electric Circuit, 1st ", Mc Graw Hill Edition,
 Spiegel D. Murray, 1988 "Electric Circuit Analysis ", Erlangga Edition,

Lampiran

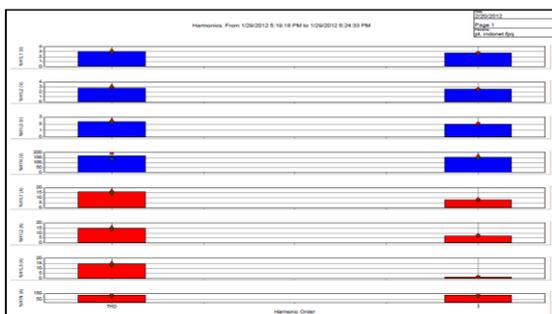
Data Pengukuran unit pemutus daya listrik di PT. Indonet :



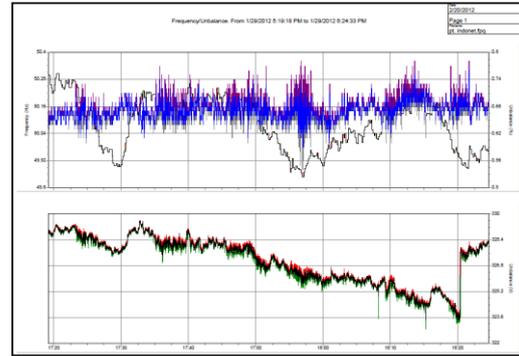
Gambar 10. Grafik tegangan dan arus di PT.Indonet



Gambar 11. Grafik THD tegangan dan arus PT. Indonet



Gambar 12. Tabel THD tegangan dan arus PT. Indonet

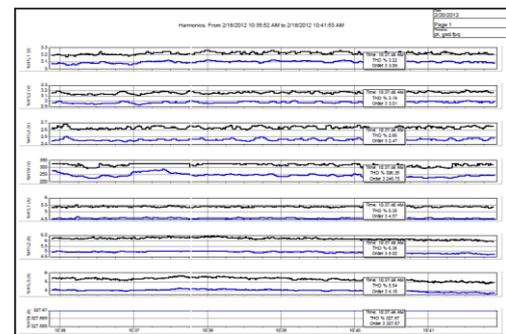


Gambar 13. Grafik unbalance frekuensi di PT. Indonet

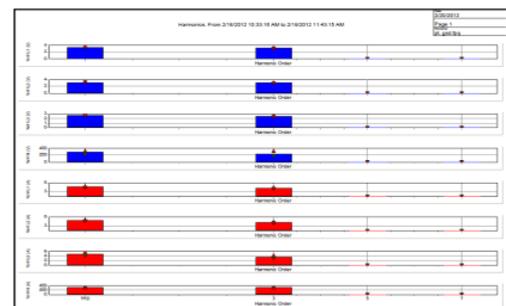
Data Pengukuran unit pemutus daya listrik di PT. GSD :



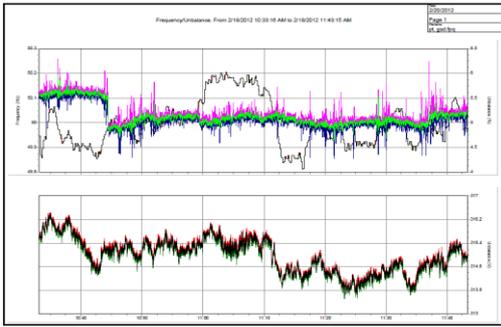
Gambar 14. Grafik tegangan dan arus di PT. GSD



Gambar 15. Grafik THD tegangan dan arus PT. GSD

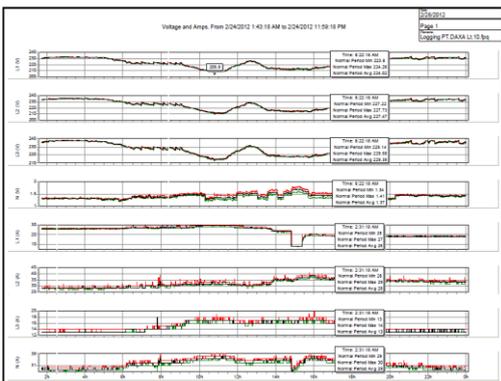


Gambar 16. Tabel THD tegangan dan arus PT. GSD

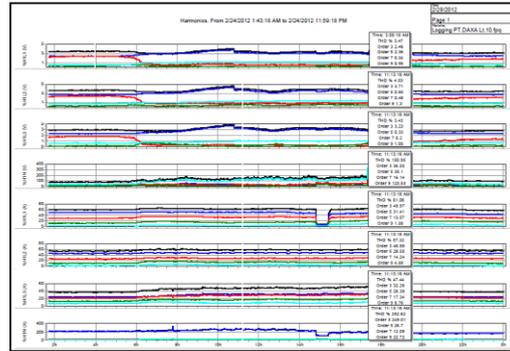


Gambar 17. Grafik unbalance frekuensi di PT. GSD

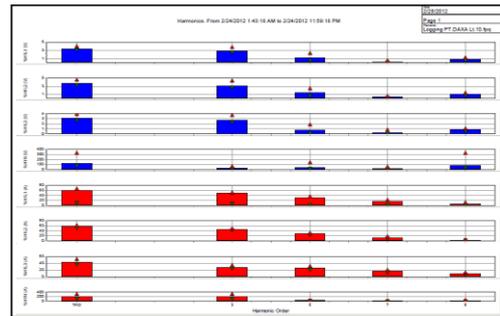
Data Pengukuran unit pemutus daya listrik di PT. DAXA :



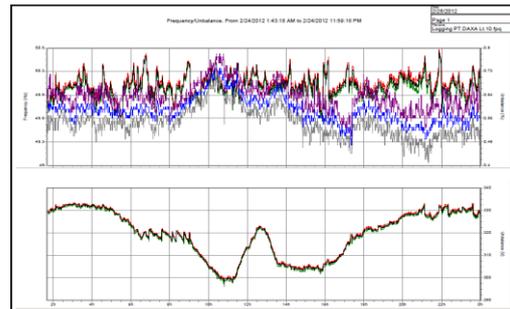
Gambar 18. Grafik tegangan dan arus di PT. DAXA



Gambar 19. Grafik THD dan orde harmonik di PT. DAXA



Gambar 20. Tabel THD dan orde harmonik di PT. DAXA



Gambar 20. Grafik unbalance frekuensi di PT. DAXA