

ANALISIS PERBAIKAN HARMONISA DAN FAKTOR DAYA PADA MOTOR INDUKSI PENGGERAK WATER CHILLER SYSTEM MENGUNAKAN FILTER PASIF SINGLE TUNED DI ROYAL PLAZA SURABAYA

By Amirullah Amirullah

ANALISIS PERBAIKAN HARMONISA DAN FAKTOR DAYA PADA MOTOR INDUKSI PENGGERAK WATER CHILLER SYSTEM MENGGUNAKAN FILTER PASIF SINGLE TUNED DI ROYAL PLAZA SURABAYA

5 Amirullah¹⁾ dan Yudi Widya Nugroho²⁾

¹⁾Staf Pengajar pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya
Jl. Alifad Yani 114 Surabaya, Email: am9520012003@yahoo.com

²⁾Mahasiswa Tingkat Akhir Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya,
Bekerja di Departemen Engineering Bagian Electrical Royal Plaza Surabaya

ABSTRAK

Penelitian bertujuan menganalisis penggunaan filter pasif single tuned untuk memperbaiki harmonisa dan faktor daya pada motor induksi penggerak Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya. Rangkaian filter pasif digunakan untuk memperbaiki faktor daya atau *power factor corection* (PFC) dan mereduksi harmonisa sekaligus menurunkan nilai *total harmonic distortion* (THD) sistem. Aspek yang akan dikaji meliputi; perbaikan faktor daya, nilai THD tegangan, dan THD arus pada kondisi sebelum dan sesudah dipasang rangkaian filter pasif single tuned. Rangkaian filter pasif single tuned akan dimodelkan menggunakan rangkaian simulasi dengan bantuan Software ETAP 4.0.0. Hasil simulasi digunakan sebagai dasar evaluasi unjuk kerja penggunaan filter pasif single tuned mengacu pada parameter antara lain: perbaikan nilai faktor daya sumber (PFC), THD tegangan, dan THD arus berdasarkan Standar IEEE 519. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum dipasang Filter Pasif Single Tuned, nilai THD arus pada bus beban motor induksi tiga fasa pada sisi primer dan sekunder Chiller Water Pump rata-rata sudah melebihi Standar IEEE 519. Penyebabnya karena pada bus tersebut terdapat sejumlah *Variable Speed Drive* (VSD) yang menjadi sumber harmonisa. Nilai THD arus paling besar dihasilkan pada motor SCHWP 2A sebesar 48,03%. Pemasangan Filter Pasif Single Tuned dan Kapasitor Bank pada sejumlah bus motor induksi tiga fasa penggerak Chiller Water System mampu menurunkan nilai THD arus dibawah nilai Standar IEEE 519 dan menaikkan nilai faktor daya sistem rata-rata sebesar 0,98.

Kata Kunci: *Harmonisa, Faktor Daya, Chiller Water System, Filter Pasif Single Tuned, THD.*

1. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik atau *power quality* (PQ) telah lama menjadi isu utama dalam beberapa permasalahan beban-beban non-linier (misalnya, beberapa konverter daya) yang digambarkan sebagai gelombang arus terdistorsi dari sistem daya. Kandungan harmonisa besar pada gelombang arus saluran dapat menyebabkan munculnya tegangan non-sinusoida pada impedansi saluran, menghasilkan gelombang tegangan sumber non-sinusoida pada titik *common coupling* (PCC) [Akagi et al, 1995]. Selanjutnya, distribusi beban besar tidak seimbang satu fasa akan menghasilkan sejumlah tegangan tidak seimbang dalam sistem tenaga listrik. Sumber tegangan non-sinusoida dan/atau tidak seimbang akan menghasilkan sejumlah dampak negatif [V.E. Wagner, 1993], [A. Von Jouanne, et.al, 2001] (misalnya, mengurangi umur dan unjuk kerja peralatan, kesalahan penyalan pada sejumlah penyearah misalnya pada *silicon controlled rectifier* (SCR) saluran, dsb). Untuk mengatasi kondisi tersebut, tentu dibutuhkan peralatan untuk mengkompensasi tegangan terdistorsi dan tidak seimbang.

Beberapa penggunaan filter aktif seri sebelumnya telah dilaporkan [F.Z. Peng, 1998]-[A. Campose, et.al 1994] pada berbagai fungsi kompensasi. F.Z. Peng et al., 1990 sudah melakukan penelitian berkaitan dengan aplikasi filter aktif seri dan shunt dan telah diterapkan pada impedansi jaringan dan beberapa

jenis beban mengandung harmonisa khusus pada akhir jaringan, berkaitan dengan tempat pemasangan filter aktif, harus diambil dari kandungan performansi filter yang dikehendaki. Z. Wang et al., 2001 melaporkan bahwa filter aktif seri dapat digunakan sebagai kompensasi berbagai jenis harmonisa tegangan yang ditimbulkan beban. Pada penelitian ini Z. Wang et al, 2001 menggunakan filter aktif seri sebagai pengontrol tegangan sumber yang dapat membangkitkan tegangan kompensasi sesuai dengan nilai dikehendaki untuk diterapkan pada sumber tegangan dan sumber arus sinusoida.

Peng et al., 1990 sudah melakukan penelitian dan menyebutkan bahwa penggunaan filter aktif seri dengan filter pasif shunt tunggal tidak cukup memuaskan sebagai rangkaian kompensasi. Dixon et al., 1997 mengusulkan cara pengaturan kinerja filter aktif seri dengan sumber arus sinusoida sephasa dengan tegangan utama. Pada skema ini, filter aktif seri berfungsi sebagai pelindung harmonisa daripada pembangkit harmonisa, sebagaimana saat arus saluran sinusoida dapat dihasilkan menggunakan kombinasi filter pasif shunt dan filter aktif seri. Campose et al., 1994 mendemonstrasikan bahwa tegangan tidak seimbang dapat dikompensasi dengan menghilangkan komponen urutan negatif sumber tegangan tiga p.22.

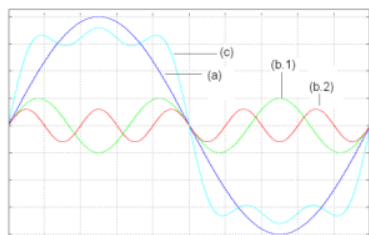
Royal Plaza adalah salah satu pusat perbelanjaan atau mal di Surabaya yang mempunyai banyak motor

induksi tiga fasa. Peralatan tersebut berfungsi sebagai penggerak *chiller water system* atau sistem pendingin. Motor induksi beroperasi sepanjang jam buka mal, sehingga peralatan tersebut dituntut mempunyai efisiensi dan keandalan kerja yang tinggi. Namun penggunaan sejumlah komponen elektronika daya sebagai rangkaian pengendali motor yaitu *soft stater* dan *variable speed drive* telah menyebabkan munculnya harmonisa dan penurunan nilai faktor daya sistem. Kedua kondisi tersebut dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi dan jika dibiarkan dapat memperpendek usia motor induksi. Penelitian bertujuan menganalisis penggunaan filter pasif single tuned untuk memperbaiki harmonisa dan faktor daya pada motor induksi penggerak Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya. Rangkaian filter pasif digunakan untuk memperbaiki faktor daya atau *power factor corection* (PFC) dan mereduksi harmonisa sekaligus menurunkan nilai *total harmonic distortion* (THD) sistem. Aspek yang akan dikaji meliputi; nilai perbaikan faktor daya, nilai THD tegangan, dan THD arus [4] da kondisi sebelum dan sesudah dipasang rangkaian filter pasif single tuned. Rangkaian filter pasif single tuned akan dimodelkan menggunakan rangkaian simulasi dengan bantuan *Software* ETAP 4.0.0. Hasil simulasi digunakan sebagai dasar evaluasi unjuk kerja penggunaan filter pasif single tuned mengacu pada parameter antara lain: perbaikan nilai faktor daya sumber (PFC), THD tegangan, dan THD arus berdasarkan Standar IEEE 519.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Harmonisa

[7] Istilah harmonisa digunakan untuk menjelaskan penyimpangan gelombang sinusoidal yang berhubungan dengan arus dan tegangan dari amplitudo dan frekuensi yang berbeda. Perubahan bentuk gelombang arus [19] n tegangan yang disebabkan oleh harmonisa akan mengganggu sistem distribusi listrik dan [8] menurunkan kualitas dari daya sistem tersebut. Pada sistem tenaga listrik, definisi harmonisa dapat dijelaskan sebagai gelombang [16] listorsi secara periodik pada keadaan *steady state* yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinus sistem pada frekuensi fundamental dengan komponen gelombang lain yang merupakan frekuensi kelipatan interger dari frekuensi fundamental sumber. Gambar 1 menunjukkan gelombang sinyal yang mengalami distorsi akibat harmonisa.



Gambar 1. Gelombang Terdistorsi Akibat Harmonisa
Keterangan:

- a. = Gelombang pada frekuensi fundamental
- b.1 = Gelombang harmonisa ke-3
- b.2 = Gelombang harmonisa ke-5
- c. = Gelombang Terdistorsi

Untuk sistem tenaga dengan [6] ekuensi 50 Hz, maka dapat dikatakan bahwa harmonisa pertama atau frekuensi fundamental dari sistem tenaga tersebut adalah 50 Hz, harmonisa kedua (100 Hz) merupakan kelipatan kedua dari harmonisa pertama, harmonisa ketiga (150 Hz) merupakan kelipatan ketiga dari harmonisa pertama, maka harmonisa ke-*n* merupakan kelipatan *n* dari frekuensi fundamental.

2.2. Sumber-Sumber Harmonisa

2.2.1. Konverter

Kenyataan menunjukkan, bahwa pemakaian komponen semikonduktor seperti diode dan thyristor dalam konversi energi listrik yang dipakai pada peralatan konverter seperti untuk penyearah (*rectifier*), inverter dan lainnya serta peralatan elektronika yang dipergunakan untuk mengatur tegangan maupun kecepatan putaran motor menunjukkan perkembangan yang pesat dalam pemakaiannya. Beberapa contoh umum pemakaian konverter:

1. Lampu *flourescent*, dimmer.
2. Peralatan kantor seperti komputer dan mesin faksimili
3. Perangkat elektronik untuk rumah tangga seperti TV, *microwave*, pemanas, radio, mesin cuci, dan komputer.
4. *Variable speed drive* (VSD).
5. *Charger* baterai.
6. *Uninterruptible Power Supply* (UPS).

Pemakaian konverter sebagai [27] yearah arus bolak-balik membawa kerugian pada jaringan listrik, yaitu merusak bentuk gelombang tegangan dan arus bolak-balik sehii [21] tidak merupakan gelombang sinusoidal murni. Bentuk gelombang arus dan tegangan yang tidak sinusoidal tersebut mengandung gelombang frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa yang dapat menyebabkan adanya gangguan pada sistem tenaga listrik.

2.2.2. Mesin-Mesin Berputar

Generator sinkron dan motor induksi secara umum menghasilkan sejumlah harmonisa. Pada generator sinkron harmonisa disebabkan karena kejenuhan dan distribusi fluks yang tidak sinusoidal. Sehingga terbangkit EMF tidak sinusoidal yang menghasilkan arus harmonisa bila dibebani.

2.3. Pengaruh Harmonisa

2.3.1. Pengaruh Pada Faktor Daya

Pada umumnya beban-beban listrik dari suatu sistem tenaga listrik mempunyai faktor kerja lagging atau bersifat induktif. Beban-beban tersebut antara lain motor-motor induksi, transformator daya, beban konverter, dan

lain-lain yang menarik arus magnetisasi dari jaringan sehingga beban-beban tersebut membutuhkan daya reaktif dari jaringan sistem tenaga listrik. Bila kebutuhan daya reaktif sangat besar, maka dapat mengakibatkan faktor daya menjadi makin kecil, sedangkan berkurangnya faktor daya dapat menimbulkan berbagai kerugian baik dipihak pembangkit maupun pihak konsumen.

2.3.2. Resonansi

Kehadiran kapasitor bank yang sering dipakai untuk perbaikan faktor daya dapat menyebabkan timbulnya resonansi sistem lokal (pada daerah terbatas) yang diikuti dengan naiknya arus yang sangat besar yang akan merusak kapasitor itu sendiri. Resonansi pada sistem tenaga listrik, dikenal dua buah resonansi, yaitu resonansi paralel dan resonansi seri.

2.3.2. Pengaruh Pada Mesin –Mesin Berputar

Tegangan atau arus harmonisa menimbulkan penambahan rugi-rugi pada belitan stator dan rangkaian rotor, dan laminasi pada rotor dan stator. Kerugian-kerugian ini lebih besar dari kerugian akibat resistansi DC karena arus eddy dan skin effect. Arus harmonisa timbul pada stator mesin AC menghasilkan aksi motor (slip harmonisa positif, S_n). Aksi ini menghasilkan torsi poros pada arah yang sama dengan kecepatan medan harmonisa sehingga semua harmonisa urutan positif membantu putaran torsi poros sedangkan harmonisa urutan negatif berlaku sebaliknya.

2.4. Total Harmonic Distortion (THD)

Untuk mengetahui besarnya pengaruh harmonisa pada sistem tenaga listrik digunakan istilah Total Harmonic Distortion (THD) yang didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya (komponen dapat berupa tegangan atau arus). THD dapat dirumuskan sesuai Persamaan 1.

$$THD = \frac{\left[\sum_{n=2}^k U_n \right]^2}{U_1} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

U_n = komponen harmonisa

U_1 = komponen fundamental

K = komponen harmonisa maksimum yang diamati

Untuk THD tegangan dan arus berlaku Persamaan 2.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad \text{dan} \quad THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (2)$$

Keterangan:

THD_V dan THD_I = THD tegangan dan THD arus

V_h dan I_h = tegangan harmonisa dan arus harmonisa

V_1 dan I_1 = tegangan fundamental dan arus fundamental

Persamaan 1 dan 5 menjelaskan mengenai perbandingan antara nilai rms komponen harmonisa dengan nilai rms komponen dasar dan biasanya menggunakan satuan persen (%). Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi dari bentuk gelombang yang menggandung harmonisa dari gelombang sinusoidal yang sempurna. Untuk gelombang sinusoidal sempurna pada frekuensi dasar, THD-nya adalah nol. Sama dengan pengukuran distorsi harmonisa pada orde ke-1 untuk tegangan dan arus orde ke- h bahwa V_h/V_1 dan I_h/I_1 . Nilai THD dapat mencapai lebih dari 100%.

Besarnya THD maksimum yang diijinkan untuk tiap negara berbeda tergantung standar yang digunakan. Standar untuk THD yang sering dipakai dalam sistem tenaga listrik adalah Standar IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan dalam analisis distorsi harmonisa yaitu limitasi untuk distorsi tegangan dan limitasi untuk distorsi arus. Tabel 1 menunjukkan limit distorsi (THD) tegangan untuk sistem distribusi tenaga listrik. Tabel 2 menunjukkan batas distorsi harmonisa arus berdasarkan Standar IEEE 519 (Lampiran).

Tabel 1. Standar Batas THD Tegangan

Tegangan Bus pada PCC	Individual Voltage Distortion (%)	THD (%)
Dibawah 69 kV	3,0	5,0
69,001 kV s/d 161 kV	1,5	2,5
Diatas 161,001 kV	1,0	1,5

Catatan: sistem tegangan tinggi dapat mempunyai THD hingga 2% yang disebabkan oleh adanya peralatan DC tegangan tinggi

Tabel 10 memuat standar limitasi untuk distorsi (THD) arus. Rasio I_{sc}/I_L adalah arus hubung singkat pada Point of Common Coupling (PCC) terhadap arus beban nominal pada frekuensi fundamental. Pada Tabel 1 tegangan yang dipakai adalah antara 120V sampai 69 kV. Untuk tegangan 69 kV sampai dengan 161 kV dipakai standar batas untuk sistem subtransmisi.

2.5. Filter Pasif

Filter pasif merupakan salah satu metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Ada dua macam filter pasif yaitu filter pasif seri dan filter pasif paralel (shunt). Filter pasif seri memiliki karakteristik sebagai resonansi paralel dan merupakan tipe filter yang bersifat sebagai penghalang, yang memiliki impedansi tinggi pada frekuensi tertentu. Sebagai contohnya adalah penggunaan komponen perata gelombang pada peralatan elektronika daya. Sedangkan filter pasif paralel memiliki karakteristik sebagai resonansi seri dan merupakan filter yang bertipe trap yang memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi tertentu. Filter pasif tersusun dari induktansi, kapasitansi, dan resistansi. Filter pasif ini mempunyai beberapa bentuk,

berdasarkan 25 nan rangkaian komponen-komponen penyusunnya. Secara umum filter pasif dapat dibedakan 13 im tiga jenis :

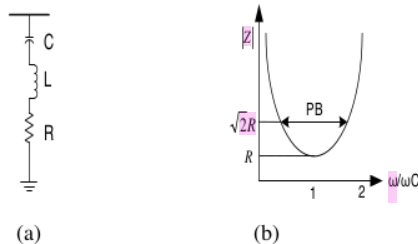
1. Filter dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*).
2. Filter dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*).
3. *High Pass Damp Filter Type*.

2.6. Filter Pasif Single Tuned

Filter Pasif Shunt Single Tuned ditala pada salah satu orde harmonisa (biasanya pada orde harmonisa rendah). Filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, reaktor dan resistor (RLC). Impedansi dari rangkaian Gambar 2 dan dinyatakan dalam Persamaan 3.

$$Z(w)=R+j\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right) \quad (3)$$

Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah pada frekuensi resonansinya. Sebuah shunt filter dikatakan ditala pada sebuah frekuensi, jika pada frekuensi tersebut reaktansi induktif dan kapasitifnya sama dengan nol. Kualitas sebuah filter (Q) ditentukan dari ketajaman pada penalaannya. Filter dengan Q yang tinggi ditala secara tajam pada satu frekuensi harmonisa yang rendah (contohnya ke-5) dan nilai yang umum diantara 30 dan 60. Filter dengan Q yang rendah biasanya dalam batas 0,5 sampai 5 memiliki impedansi yang rendah pada jangkauan frekuensi yang lebar.



Gambar 2. (a). Rangkaian Filter Penalaan Tunggal, (b) Grafik Impedansi Filter Terhadap Frekuensi

Faktor kualitas (Q) filter didefinisikan sebagai 5 perbandingan antara induktansi (atau kapasitansi) pada saat resonansi dengan besarnya resistansi.

$$Q=\frac{X_o}{R} \quad (4)$$

Keterangan: $X_L = X_C = X_o$ pada keadaan resonansi. Pass Band (PB) dari filter didefinisikan sebagai batas frekuensi filter sama dengan resistansinya yaitu sudut impedansinya 45° dan besarnya impedansi sama dengan $\sqrt{2}R$. Sedangkan hubungan faktor kualitas dan Pass Band (PB) dinyatakan sebagai :

$$Q=\frac{\omega_o}{PB} \quad (5)$$

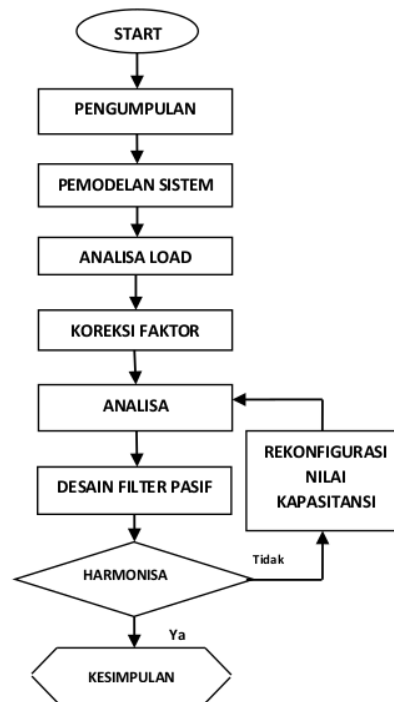
dengan ω_o adalah frekuensi sudut panalaan dalam rad/sec.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan cara mengukur nilai faktor daya, THD tegangan, dan THD arus secara langsung pada setiap bagian motor induksi tiga fasa penggerak *Chiller Water System* menggunakan *Power Analyser* merk HIOKY. Hasil pengukuran langsung tersebut selanjutnya divalidasi dengan rangkaian simulasi menggunakan bantuan *Software* ETAP 4.0.0. Adapun metode penelitian yang dilakukan meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Pemodelan diagram segaris sistem kelistrikan *Chiller Water System* di Royal Plaza Surabaya dengan menggunakan *software* ETAP 4.0.0.
- b. Menganalisa dan mengevaluasi aliran daya atau *load flow*.
- c. Menganalisa dan mengevaluasi analisa harmonisa tegangan dan arus.
- d. Perencanaan filter pasif single tuned untuk mengurangi harmonisa.
- e. Pengoptimalan nilai harmonisa dan mempertimbangkan nilai faktor daya melalui penempatan 4 pasitor bank dengan induktor dan resistor pada filter pasif shunt single tuned.

Gambar 3 menunjukkan diagram alir penelitian untuk memperbaiki harmonisa dan faktor daya pada *Chiller Water System* di Royal Plaza Surabaya.

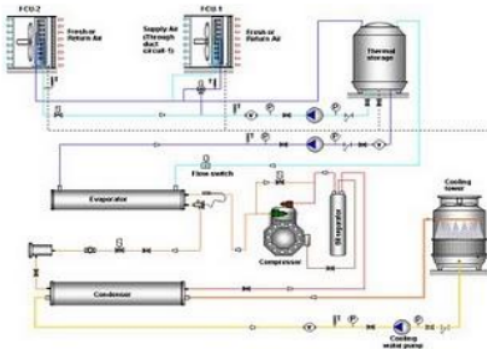


Gambar 3. Diagram alir penelitian untuk memperbaiki harmonisa dan faktor daya pada *Chiller Water System* di Royal Plaza Surabaya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Prinsip Kerja Chiller Water System

Royal Plaza Surabaya menggunakan sistem pendingin **12** *Air Conditioner* (AC) sentral yaitu sistem **12** dingin dimana proses pendinginan udara terpusat pada **14** lokasi yang kemudian didistribusikan atau dialirkan **12** semua arah atau lokasi (satu *outdoor* dengan beberapa **14** *oor*). Sistem ini memiliki beberapa komponen utama **29** u unit pendingin atau *Chiller*. Unit pengatur udara atau *Air Handling Unit* (AHU), *Cooling Tower*, sistem perpipaan, sistem saluran udara atau *Ducting* dan sistem kontrol dan kelistrikan.



Gambar 4. Prinsip Kerja Chiller Water System

1 Prinsip kerja AC Central *Chiller Water System* yaitu panas ruangan diserap pada *Cooling Coil* dan **1** mudian diserap oleh refrigerant sekunder (berupa air) **1** ng menyebabkan temperatur air naik. Kemudian air **1** ngat ini dibawa ke *Thermal Storage Tank*. Pada *Thermal Storage Tank*, air hangat bercampur dengan air **1** ngin, kemudian air campuran ini kembali bersirkulasi ke *Cooling Coil*. Dari *Thermal Storage Tank*, air campuran **1** ga bersirkulasi ke *Shell and Tube Evaporator* untuk **1** dinginkan. Setelah itu, air yang dingin tersebut kembali **1** rsirkulasi ke *Thermal Storage Tank* untuk bercampur **1** ngan air campuran. Pada *Shell and Tube Evaporator*, **1** nas dari air campuran ini akan diserap oleh refrigerant **1** imer cair sehingga berubah fasa menjadi uap. **1** r refrigerant uap ini setelah dikompresi di kompresor akan **1** rsirkulasi ke *Shell and Tube Condenser* dimana panas **1** an dibuang dan menyebabkan refrigerant uap mencair **1** da tekanan tinggi. Selanjutnya, refrigerant cair **1** bertekanan tinggi ini akan bersirkulasi kembali menuju **1** ell and Tube Evaporator dengan terlebih dahulu **1** mengalami penurunan tekanan pada *Throttling Valve*. **1** nas yang dibuang pada *Shell and Tube Condenser* akan **1** serap oleh air sebagai media penukar kalor, dan **1** kemudian bersirkulasi menuju *Cooling Tower*. Air hangat **1** kemudian didinginkan di *Cooling Tower* dan **1** bersirkulasi kembali ke *Shell and Tube Condenser*.

4.2. Sistem Kelistrikan pada Royal Plaza Surabaya

Royal Plaza Surabaya mendapat pasokan daya PLN sebesar 20 KV yang berasal dari Penyulang Dukuh Kupang dan Jagir Wonokromo. Dari tegangan 20 kV diturunkan oleh Transformator step down menjadi 400 V. Pusat perbelanjaan ini mempunyai 6 unit Transformator masing-masing transformator jenis dry type merk DYN-5 dengan kapasitas 2 MVA untuk Transformator 1 dan 2. Sedangkan Transformator 3, 4, 5 dan 6 masing-masing mempunyai kapasitas 2,5 MVA. Selain dari PLN, pasokan daya listrik Royal Plaza Surabaya juga dibantu oleh 5 unit generator set atau genset dengan kapasitas 2MVA/400V Merk CATERPILAR. Tegangan keluaran dari genset juga sama sebesar 400V dan diparalel langsung ke busbar LVDP.

Daya listrik Chiller Water System Royal Plaza Surabaya dipasok dari Transformator 5 dan 6. Mal ini mempunyai 5 unit *Chiller Water Set* dimana untuk operasi harian memakai 2 unit *Chiller Water Set*. Ditinjau dari sisi proteksi, sistem kelistrikan di mal ini telah dilengkapi sistem proteksi yaitu Air Circuit Breaker (ACB) dan MCCB yang berfungsi untuk mengamankan sistem saat terjadi gangguan atau arus hubung singkat dengan cara memisahkan daerah gangguan dan bukan gangguan.

4.3. Pengoperasian Chiller Water System

Dua unit *Chiller Water Set* terdiri dari Chiller Water 2 unit, 2 Condensor Water Pump (CWP), 2 Primer Chiller Water Pump (PCHWP), dan beberapa Sechunder Chiller Water Pump (SCHWP) sebagai back-up atau cadangan semua zone. Semua beban motor induksi tersebut disuplai dari Transformator 5 dan 6. Tabel 2 menunjukkan pengoperasian Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya.

Tabel 2 Pengoperasian Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya

Beban	Type	Rating
CHILLER Unit I	Induction motor	716 KW
CWP I	Induction motor	90 KW
PCHWP I	Induction motor	45 KW
CHILLER Unit IV	Induction motor	716 KW
CWP IV	Induction motor	90 KW
PCHWP IV	Induction motor	45 KW
SCHWP 1A	Induction motor	90 KW
SCHWP 2A	Induction motor	45 KW
SCHWP BA	Induction motor	45 KW
SCHWP 3A	Induction motor	55 KW
SCHWP 3B	Induction motor	55 KW
SCHWP 4A	Induction motor	75 KW

4.4. Aliran Daya Sistem Kelistrikan Chiller Water System

Tabel 3 menunjukkan data hasil pengukuran sistem kelistrikan pada Chiller Water System Royal Plaza Surabaya.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Sistem Kelistrikan pada Chiller Water System Royal Plaza

Beban	V	I	KW	KVA	KVAR	Cos Q
CHILLER I	395	876	536	598	265.5	0.896
CWP I	396	116	64	80	48	0.800

PCHWP I	389	71	37	49	32	0.762
CHILLER IV	398	925	566	632	281	0.896
CWP IV	396	125	75	86	42	0.870
PCHWP IV	397	80	42	54	34	0.775
SCHWP 1A	385	95	53	65	38	0.809
SCHWP 2A	388	27	15	18	11	0.800
SCHWP 2B	392	43	24	30	18	0.794
SCHWP 3A	388	62	31	42	29	0.802
SCHWP 3B	396	51	32	35	13	0.921
SCHWP 4A	389	98	52	67	43	0.771

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai rata-rata faktor daya motor induksi tiga phasa berada dibawah Standar PLN sebesar 0.85, kecuali SCHWP 3B sebesar 0.921, sehingga perlu dipasang kapasitor bank yang dipasang seri dengan bagian induktif filter pasif. Penyebabnya karena Chiller Water System bebannya adalah motor induksi dan tidak dilengkapi dengan kapasitor bank. Gambar 7 (Lampiran) adalah hasil running Load Flow dari Software ETAP 4.0.0. Data pada Tabel 3 adalah hasil pengukuran langsung pada Chiller Water System dan diaplikasikan ke Software ETAP 4.0.0.

4.5. Harmonisa Tegangan pada Chiller Water System

Analisis harmonisa dilakukan pada sejumlah titik menggunakan Modul *Harmonics Analysis* pada *Software ETAP 4.0.0*. Tabel 4 menunjukkan data profil nilai harmonisa tegangan pada sejumlah Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya.

Tabel 4. Harmonisa Tegangan pada Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya

Beban	THD Tegangan				
	V	%	Orde	IEEE %	Standar
CHILLER I	3	1.2	5	3	Standar
CWP I	3	1.1	5	3	Standar
PCHWP I	3	1.0	5	3	Standar
CHILLER IV	3	1.2	5	3	Standar
CWP IV	3	1.3	5	3	Standar
PCHWP IV	3	1.0	5	3	Standar
SCHWP 1A	3	1.2	5	3	Standar
SCHWP 2A	4	1.3	5	3	Standar
SCHWP 2B	3	1.0	5	3	Standar
SCHWP 3A	3	1.0	5	3	Standar
SCHWP 3B	2	1.2	5	3	Standar
SCHWP 4C	2	1.0	5	3	Standar

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai harmonisa atau THD tegangan pada sejumlah bus beban motor induksi penggerak Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya masih memenuhi Standar IEEE 519.

4.6. Hamonisa Arus pada Chiller Water Plaza Surabaya

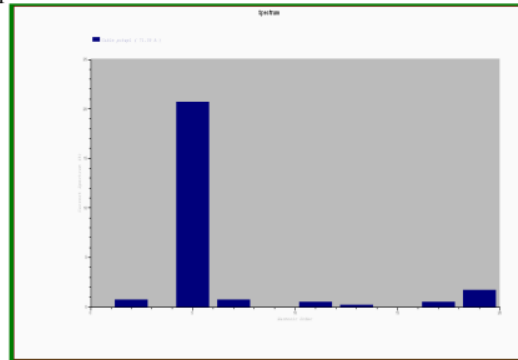
Tabel 5 menunjukkan profil nilai harmonisa arus pada sejumlah titik Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya.

Tabel 5 Harmonisa Arus pada Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya

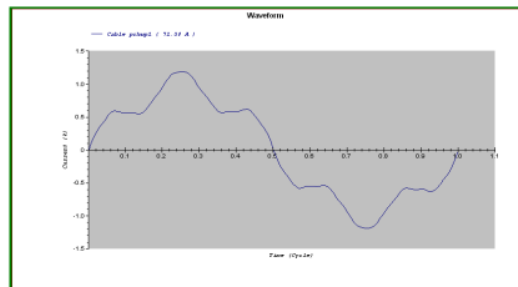
Beban	THD Arus				
	I	%	Orde	IEEE %	Standar
CHILLER I	24	3.2	3	8	Standar
CWP I	7.6	12	3	15	Standar

PCHWP I	8.6	21.07	5	15	Tidak
CHILLER IV	29	3.7	3	8	Standar
CWP IV	8	11.5	3	15	Standar
PCHWP IV	9.6	22.37	5	15	Tidak
SCHWP 1A	32.3	39.2	5	15	Tidak
SCHWP 2A	10.4	47.82	5	20	Tidak
SCHWP 2B	9.7	22.4	5	15	Tidak
SCHWP 3A	19.4	34.7	5	15	Tidak
SCHWP 3B	9.59	19.71	5	15	Tidak
SCHWP 4A	32.3	35	5	15	Tidak

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai THD arus motor induksi tiga phasa pada sisi primer dan sekunder Chiller Water Pump melebihi Standar IEEE 519. Penyebabnya adalah pengaruh VSD pengatur motor induksi yang berfungsi mensuplai udara dingin ke semua area sebelum dilanjutkan oleh AHU. VSD sebagai pengatur kecepatan motor induksi tergantung dari suhu yang diinginkan yaitu dengan merubah frekuensinya. Kondisi tersebut perlu dilakukan peredaman harmonisa karena dapat mengganggu kinerja dan efisiensi sistem dan usia motor induksi. Gambar 5 dan 6 menunjukkan spektrum dan output gelombang harmonisa arus dari PCHWP sebelum dipasang filter pasif single tune. Berdasarkan Gambar 5 selanjutnya dapat dihitung nilai THD Arus pada PHCWP I dan bagian lain yang nilainya melebihi batas Standar IEEE 519 pada *Chiller Water System* di Royal Plaza Surabaya dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 6.



Gambar 5. Spektrum Harmonisa Arus pada PCHWP I Sebelum Dipasang Filter Pasif Single Tuned



Gambar 6. Gelombang Output Harmonisa Arus pada PCHWP I Sebelum Dipasang Filter Pasif Single Tuned

Berdasarkan Persamaan 2, maka nilai THD Arus pada PCHWP 1 adalah:

$$THD = \frac{\left[\sum_{n=2}^k I_n^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{I_1} \times 100\%$$

$$= \frac{[0,7^2 + 4,08^2 + 21,07^2 + 0,73^2 + 0,5^2 + \dots]}{100}$$

$$= \frac{[\dots + 0,5^2 + 0,24^2 + 0,53^2 + 0,5^2 + 1,7^2]}{100} \times 100\%$$

$$= 21.67\%$$

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui orde harmonisa yang paling dominan. Harmonisa dominan jika mempunyai orde yang sama dengan resonansi seri yang mungkin timbul akan impedansi menjadi kecil sehingga arus yang mengalir menjadi besar, arus yang besar tersebut menyebabkan THD arus juga meningkat. Berdasarkan data Tabel 5 dan Persamaan 2, maka nilai THD arus pada bus beban motor induksi di lokasi lain dapat diketahui dan hasilnya selanjutnya ditabulasikan pada Tabel 6. Hasil perhitungan THD Arus juga dibandingkan dengan dengan nilai THD Arus menggunakan Software ETAP 4.0.0 dan Standar IEEE 519. Gambar 8 (Lampiran) adalah Hasil Harmonisa Load Flow Sebelum Dipasang Filter Single Tuned.

Tabel 6. Perbandingan Nilai THD Arus antara Hasil Perhitungan, ETAP dan Standar IEEE 519

BEBAN	THDI %		IEEE %
	Perhitungan	ETAP	
PCHWP 1	21.67	21	15
PCHWP 4	22.94	22	15
SCHWP 1A	39.24	39	15
SCHWP 2A	48.03	47	15
SCHWP 2B	22.61	22	15
SCHWP 3A	34.91	34	15
SCHWP 3B	21.23	20	15
SCHWP 4A	35.45	35	20

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai THD Arus antara hasil perhitungan dan ETAP memberikan hasil mendekati sama. Nilai THD Arus paling jelek dihasilkan oleh Sechunder Chiller Water Pump (SCHWP 1A) sebesar 48,03 %.

4.7. Perancangan Filter Pasif Single Tuned

Untuk sistem yang memiliki peralatan yang mengandung sumber harmonisa, sebaiknya kompensasi daya reaktif untuk perbaikan faktor daya dipasang sebagai filter harmonisa sehingga selain dapat memperbaiki faktor daya sistem juga dapat digunakan sebagai penyerap arus harmonisa yang ada di sistem. Sebelum melakukan

perencanaan filter pasif single tuned maka terlebih dahulu mengetahui karakteristik impedansi filter single tuned. Kemudian mengetahui THD tegangan pada bus yang akan dipasang filter. Setelah itu langkah berikutnya adalah menentukan harmonisa tegangan terbesar yang dihasilkan oleh orde ke-n. Berdasarkan orde ke-n dengan nilai harmonisa tegangan terbesar dipilih sebagai frekuensi untuk *tuning*. Setelah menentukan frekuensi *tuning*, selanjutnya menentukan besar daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki power faktor. Perencanaan filter dipasang dalam hubungan *wye-connection* dengan memasang filter dalam hubungan Y maka perhitungan komponen filter adalah sebagai berikut:

$$V = 400 \text{ V} / \sqrt{3} = 230.95 \text{ V}$$

$$Z = \frac{kV^2}{P_{Reaktif}} = \frac{kV^2}{MVar}$$

$$C = \frac{MVar}{2\pi \times f \times kV^2}$$

$$\omega = 2 \times \pi \times f = 2 \times 3,14 \times 50$$

$$= 314,16 \text{ rad}$$

Untuk SCHWP 1A

Single Tuned Orde 5

$$\Delta Q = 53 \text{ KW} \times (\tan \theta_{awal} - \tan \theta_{target})$$

$$= 53 \text{ KW} \times (\tan(\cos^{-1} 0.81) - \tan(\cos^{-1} 0.98))$$

$$= 27.612 \text{ KVar}$$

kVar yang digunakan (Q_c) sebesar 27.612 Kvar

$$Q_c = \frac{26,612 \text{ kVAR}}{3 \text{ phasa}} = 9,204 \text{ kVAR}$$

Rating kapasitor komponen filter adalah:

$$C = \frac{Q_c}{\omega \times V^2} = \frac{9204}{(314,16) \times (230,95)^2} = 549,275 \mu F$$

Komponen reaktor filter:

$$L = \frac{1}{(C) \times (\omega \times n)^2}$$

$$= \frac{1}{(549,275 \cdot 10^{-6}) \times (314,16) \times (5)^2}$$

$$L = 0,738 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega L = (314,16) \times (0,738 \cdot 10^{-3}) = 0,2318 \Omega$$

Frekuensi *Tuning* = 250 Hz (Orde 5)

Dengan cara yang sama maka nilai kapasitansi, induktansi, dan reaktansi filter ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Komponen Filter Single Tuned

BEBAN	QC (KVAR)	QC/3ph (kVAR)	C (μF)	L (mH)	XL (Ω)
PCHWP 1	23.933	7.978	476.11	0.851	0.2674
PCHWP 4	25.722	8.574	511.678	0.792	0.2488
SCHWP 1A	27.612	9.204	549.275	0.738	0.2318
SCHWP 2A	8.205	2.735	163.219	2.483	0.78
SCHWP 2B	13.128	4.376	261.15	1.552	0.4875
SCHWP 3A	22.475	7.492	447.106	0.906	0.2848
SCHWP 3B	7.039	2.346	140.23	2.894	0.909
SCHWP 4A	32.395	10.798	644.4	0.629	0.1976

Tabel 8. Perbandingan Daya Reaktif dan Reaktansi Induktif Secara Manual dengan ETAP

BEBAN	QC KVAR		XL Ω	
	Manual	ETAP	Manual	ETAP
PCHWP 1	23.933	24.642	0.2674	0.2597
PCHWP 4	25.722	23.943	0.2488	0.2673
SCHWP 1A	27.612	25.317	0.2318	0.2528
SCHWP 2A	8.205	8.407	0.78	0.7612
SCHWP 2B	13.128	13.127	0.4875	0.4876
SCHWP 3A	22.475	21.255	0.2848	0.3011
SCHWP 3B	7.039	8.102	0.909	0.7899
SCHWP 4A	32.395	33.619	0.1976	0.1904

Dari data pada Tabel 8 membuktikan bahwa hasil perhitungan dan *Software* ETAP 4.0.0., hasilnya mendekati sama.

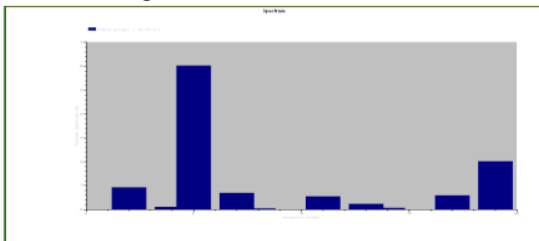
4.7. Pengaruh Pemasangan Filter Pasif Single Tuned

Tabel 9 menunjukkan nilai THD arus dan faktor daya Sistem Kelistrikan Chiller Water System setelah dipasang Filter Single Tuned.

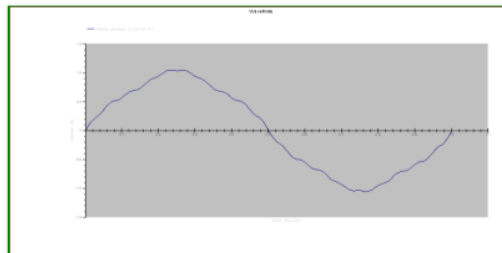
Tabel 9. THD Arus dan Faktor Daya Sistem Kelistrikan Chiller Water Setelah Dipasang Filter Single Tuned

Beban	Cos Q	THD%	IEEE %	Standar
PCHWP 1	0.985	7	15	Standar
PCHWP 4	0.972	8	15	Standar
SCHWP 1A	0.974	11	15	Standar
SCHWP 2A	0.986	14	15	Standar
SCHWP 2B	0.983	4	15	Standar
SCHWP 3A	0.975	11	15	Standar
SCHWP 3B	0.987	13	15	Standar
SCHWP 4A	0.987	7	20	Standar

Gambar 9 dan 10 menunjukkan Spektrum dan Gelombang Output Harmonisa Arus pada PCHWP 1 setelah dipasang Filter Pasif Single Tuned.



Gambar 9. Spektrum Harmonisa Arus PCHWP 1 Setelah Dipasang Filter Single Tuned



Gambar 10. Gelombang Output Harmonisa Arus pada PCHWP 1 Setelah Dipasang Filter Single Tuned

Gambar 9 (Lampiran 4) adalah hasil harmonisa load flow setelah dipasang Filter Pasif Single Tuned. Berdasarkan Tabel 9 dapat dilihat bahwa pemasangan Filter Pasif Single Tuned pada sejumlah bus motor induksi penggerak Chiller Water System mampu menurunkan nilai THD arus dibawah nilai Standar IEEE 519 dan menaikkan nilai faktor daya rata-rata 0,98.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan:

1. Pengukuran pada sistem kelistrikan Chiller Water System Royal Plaza Surabaya menunjukkan bahwa faktor daya pada sejumlah bus beban motor induksi penggerak Chiller Water System rata-rata masih dibawah standar PLN sebesar 0,85.
2. Nilai THD tegangan pada sejumlah bus beban motor induksi penggerak Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya masih melebihi Standar IEEE 519.
3. Filter pasif single tuned digunakan untuk meredam harmonisa sistem yang paling dominan yaitu harmonisa orde ke-5.
4. Sebelum dipasang Filter Pasif Single Tuned, nilai THD arus pada bus beban motor induksi tiga fasa pada sisi primer dan sekunder Chiller Water Pump rata-rata sudah melebihi Standar IEEE 519. Penyebabnya karena pada bus tersebut terdapat sejumlah VSD yang menjadi sumber harmonisa. Nilai THD arus paling besar dihasilkan pada motor SCHWP 2A sebesar 48,03%.
5. Pemasangan Filter Pasif Single Tuned dan Kapasitor Bank pada sejumlah bus motor induksi tiga fasa penggerak Chiller Water System mampu menurunkan nilai THD dibawah nilai Standar IEEE 519 dan menaikkan nilai faktor daya rata-rata sebesar 0,98.

5.2. Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dalam peredaman harmonisa (THD) arus dan tegangan, diperlukan penggabungan (hibrida) antara filter pasif dan aktif. Filter pasif yang dipasang shunt terhadap sistem digunakan untuk mengatasi harmonisa tegangan dan filter aktif yang dipasang seri untuk mengatasi harmonisa arus. Namun kelemahan hibrida antara filter aktif dan pasif adalah biaya investasi relatif mahal.

DAFTAR PUSTAKA

H. Akagi and H. Fujita, 1995, *A New Line Conditioner for Harmonic Compensation in Power Systems*, IEEE Trans. Power Del., Vol. 10, No. 3, pp. 1570–1575, Jul. 1995.

V. E. Wagner, 1993, *Effect of Harmonics on Equipment*, IEEE Trans. Power Del., Vol. 8, No. 2, pp. 672–680, Apr. 1993.

A. Von Jouanne and B. Banerjee, 2001, *Assessment of Voltage Unbalance*, IEEE Trans. Power Del., Vol. 16, No. 4, pp. 782–790, Oct. 2001.

F. Z. Peng, 1998, *Application Issues of Active Power Filters*, IEEE Ind. Appl. Mag., Vol. 4, No. 5, pp. 21–30, Sep./Oct. 1998.

Z. Wang, Q. Wang, W. Yao, and J. Liu, 2001, *A Series Active Power Filter Adopting Hybrid Control Approach*, IEEE Trans. Power Electron., Vol. 16, No. 3, pp. 301–310, May 2001.

F. Z. Peng, H. Akagi, and A. Nabae, 1990, *New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems a Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters*, IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 26, No. 6, pp. 983–990, Nov/Dec. 1990.

J. W. Dixon, G. Venegas, and L.A. Moran, 1997, *A Series Active Power Filter Based on a Sinusoidal Current-Controlled Voltage-Source Inverter*, IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 44, No. 5, pp. 612–619, Oct. 1997.

A. Campose, G. Joos, and P. D. Ziogas, 1994, *Analysis And Design of a Series Voltage Unbalance Compensator Based on a Three-Phase VSI Operating with Unbalanced Switching Functions*, IEEE Trans. Power Electron., Vol. 9, No. 3, pp. 269–274, May 1994.

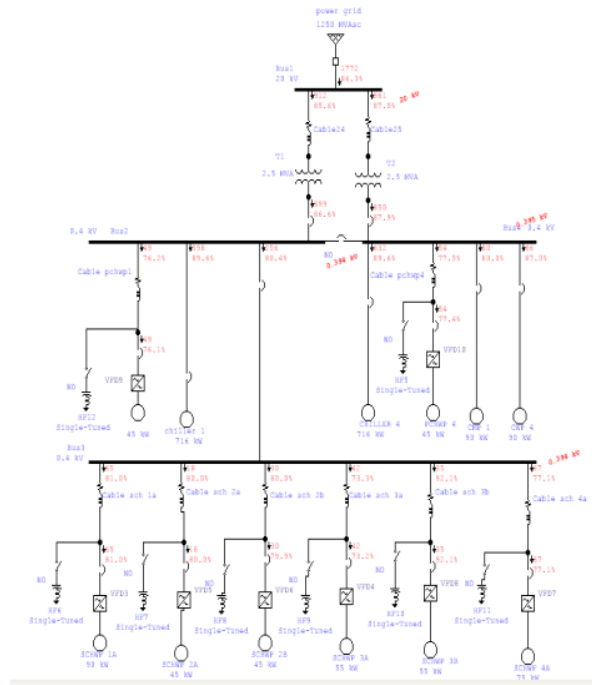
IEEE Std. 519-1992 - Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

LAMPIRAN

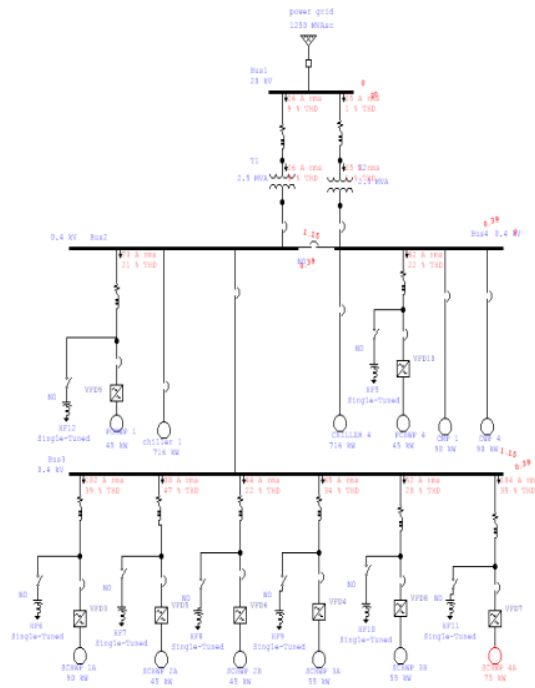
Tabel 2. Batas distorsi harmonisa arus berdasarkan Standar IEEE 519

Batas Distorsi Harmonisa Arus (In % dari Nilai Fundamental)						
I_w/I_1	L 9 Harmonisa (Harmonisa Ganjil)					THD
	< 11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	>35	
<20*	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20 s/d 50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50 s/d 100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100 s/d 1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20

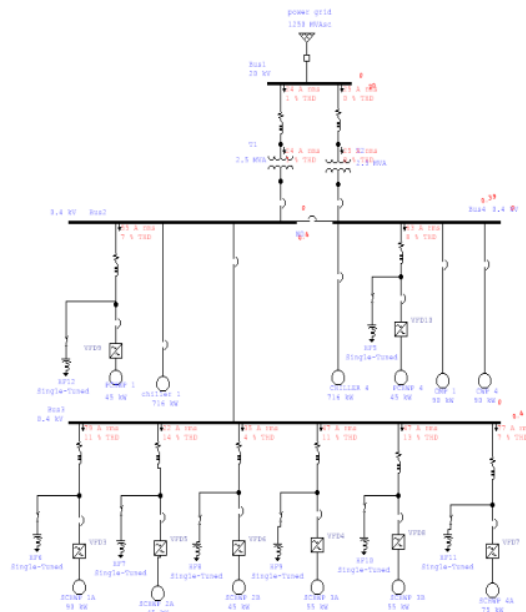
Harmonisa-harmonisa genap dibatasi sampai dengan 25% batas atas harmonisa ganjil.
 *) Semua peralatan pembangkit daya dibatasi pada nilai distorsi arus tersebut, kecuali nilai I_{sc}/I_L sebenarnya.
 I_{sc} = Arus hubung singkat maksimum pada Point of Common Coupling (PCC).
 I_L = Arus beban maksimum pada frekuensi fundamental pada PCC.



Gambar 7. Hasil Running Load Flow Sistem Kelistrikan pada Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya



Gambar 8. Hasil Harmonisa Load Flow Sebelum Dipasang Filter Single Tuned pada Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya



Gambar 11. Hasil Harmonisa Load Flow Sesudah Dipasang Filter Single Tuned pada Chiller Water System di Royal Plaza Surabaya

ANALISIS PERBAIKAN HARMONISA DAN FAKTOR DAYA PADA MOTOR INDUKSI PENGGERAK WATER CHILLER SYSTEM MENGGUNAKAN FILTER PASIF SINGLE TUNED DI ROYAL PLAZA SURABAYA

ORIGINALITY REPORT

18%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	alineasinadra.wordpress.com Internet	179 words — 3%
2	eprints.umk.ac.id Internet	128 words — 2%
3	Sincy George. "<![CDATA[A DSP-Based Control Algorithm for Series Active Filter for Optimized Compensation Under Nonsinusoidal and Unbalanced Voltage Conditions]]>", IEEE Transactions on Power Delivery, 1/2007 Crossref	117 words — 2%
4	jurnal.uisu.ac.id Internet	81 words — 1%
5	djodiantono.blogspot.com Internet	55 words — 1%
6	123dok.com Internet	52 words — 1%
7	www.coursehero.com Internet	39 words — 1%

8	es.scribd.com Internet	38 words — 1%
9	dspace.lib.ntua.gr Internet	32 words — 1%
10	jurnal.poliupg.ac.id Internet	30 words — 1%
11	id.scribd.com Internet	20 words — < 1%
12	engineeringbuilding.blogspot.com Internet	19 words — < 1%
13	jurnal.umj.ac.id Internet	19 words — < 1%
14	docshare.tips Internet	17 words — < 1%
15	etd.unsyiah.ac.id Internet	16 words — < 1%
16	repository.upi.edu Internet	16 words — < 1%
17	rabida.uhu.es Internet	15 words — < 1%
18	anzdoc.com Internet	11 words — < 1%
19	pt.scribd.com Internet	11 words — < 1%

20	Internet	11 words — < 1%
21	adoc.tips Internet	9 words — < 1%
22	id.unionpedia.org Internet	9 words — < 1%
23	www.scribd.com Internet	9 words — < 1%
24	Han Song, Mingyang Tan, Travis W. Walker, Albrecht Jander, Pallavi Dhagat. "Planar Alignment of Isolated Magnetic Disks in Newtonian Fluids by a Rotating Field", IEEE Magnetics Letters, 2015 Crossref	8 words — < 1%
25	ejournal.ukrida.ac.id Internet	8 words — < 1%
26	epsilon.unjani.ac.id Internet	8 words — < 1%
27	journal.sttnas.ac.id Internet	8 words — < 1%
28	jurnal.untad.ac.id Internet	8 words — < 1%
29	stpicurug.ac.id Internet	8 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES OFF
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE SOURCES OFF
EXCLUDE MATCHES OFF

