

# ANALISA HARMONISA DAN RANCANG FILTER SINGLE TUNED PADA SISTEM KELISTRIKAN BANDARA INTERNASIONAL JUANDA

M. Aris Maulana Rifa'i, Dr. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng dan Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT,  
Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS, Keputih - Sukolilo Surabaya – 60111  
E-mail: ardyono@ee.its.ac.id

**Abstrak-** Harmonisa merupakan efek dari penggunaan beban nonlinier yang tidak dapat dipisahkan dalam sistem tenaga listrik. Pada dunia industri banyak variasi beban penyumbang harmonisa diantaranya VSD (*virtual speed drive*) pada pengaturan motor, penggunaan *power suplay*, pemakaian lampu hemat energi, penggunaan thyristor dalam penyalan sudut, dan penggunaan komputer. Salah satu dampak yang ditimbulkan adalah daya tahan dari peralatan menjadi rendah. Bandara internasional Juanda merupakan aset vital nasional untuk fasilitas penerbangan yang ada di Surabaya. Selama ini belum pernah dilakukan pengukuran maupun mengkaji dampak harmonisa pada sistem tenaga. Setelah dilakukan pengambilan data didapat nilai %THD melebihi standar yang diijinkan IEEE untuk itu perlu dilakukan analisa lebih jauh mengenai penggunaan filter harmonisa sehingga didapat penurunan nilai harmonisa yang signifikan dengan nilai infestasi yang rendah.

**Kata kunci :** Harmonisa, Filter Harmonisa Pasif (*Single Tuned*), Filter Fasif.

## I. PENDAHULUAN

**B**andara Juanda merupakan bandara internasional yang melayani penerbangan domestik dan internasional, dimana memiliki pasokan daya dari PLN dan Generator back up yang dapat dipakai ketika terjadi masalah pasokan listrik dan membackup hal-hal yang vital. Dalam perjalanannya ditemui beberapa hal yang salah satunya pada bus pol yaitu gagalnya pengaman relay proteksi *voltage fault*, kerusakan pada modul kontrol motor, kerusakan modul PLC pada pemindah otomatis breker PLN ke genset, dan kerusakan beberapa elektronik lain yang salah satunya efek dari dampak yang ditimbulkan harmonisa.

Sampai saat ini pada sistem kelistrikan bandara Juanda belum pernah dilakukan pengukuran besaran harmonisa dan belum ada yang mengkaji lebih mengenai filter penurun harmonisa. Apalagi setelah dilakukan pengukuran di beberapa bus terdapat nilai harmonisa yang cukup tinggi, maka dirasa perlu untuk mengkaji dan merekomendasikan penggunaan sebuah filter yang dapat mengurangi efek yang ditimbulkan akibat harmonisa dan sebagai masukan untuk sistem kelistrikan Juanda yang dapat diaplikasikan secara real.

Banyaknya alternatif yang dapat diaplikasikan dalam mengurangi nilai harmonisa, akan tetapi perlu adanya

pengkajian khusus untuk mendapatkan alternatif terbaik sehingga didapat penghematan dalam investasi filter dan penurunan nilai harmonisa yang signifikan.

## II. DASAR TEORI

Sistem tenaga listrik normalnya berkerja pada frekuensi fundamentalnya, contohnya di Indonesia menggunakan 50 Hz. Apabila sistem tenaga listrik memenuhi tepat pada frekuensi tersebut, maka kualitas dari sistem kelistrikannya sangat baik dan terhindar dari kerusakan peralatan-peralatan. Akan tetapi sangat sulit menemukan sistem tenaga listrik yang hanya memiliki frekuensi tepat di 50 Hz, dikarenakan adanya gangguan-gangguan yang diakibatkan penggunaan beban nonlinier, sehingga sistem tersebut terdapat harmonisa dan memiliki beberapa frekwensi kelipatan dari frekwensi fundamentalnya.

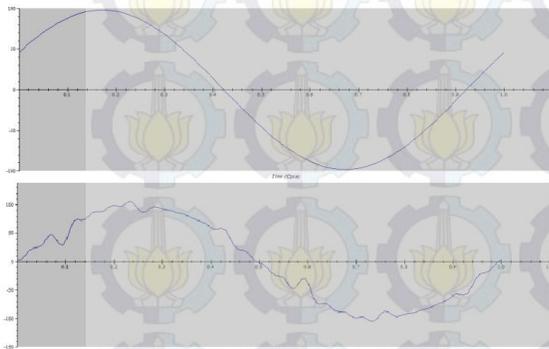
Harmonisa dapat didefinisikan sebagai distorsi priodik dari gelombang sinus tegangan, arus, atau daya dengan bentuk gelombang dan frekwensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekwensi fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamentalnya dengan bilangan harmonisa ( $f, 2f, 3f, \dots$ ) bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa ( $h_1, h_2, h_3, \dots$ ) pada frekuensi kelipatan. Semakin banyak gelombang harmonisa yang diikutsertakan pada gelombang fundamentalnya, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan berbentuk non sinusoidal.

Salah satu penyebab harmonisa adalah beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Beban linier ini tidak memberikan dampak yang buruk terhadap perubahan arus maupun tegangan, contoh beban linier adalah resistor ( $R$ ). Beban non linier adalah beban dengan bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masuknya (mengalami distorsi). Gangguan yang diakibatkan distorsi gelombang arus dan tegangan disebut dengan harmonik.

Saat ini elektronika daya sebagai konverter banyak digunakan dalam sistem penyerah atau inverter untuk

penyedia energi listrik sesuai kebutuhan. Menurut IEEE 519-1992 yaitu standar internasional harmonisa mengidentifikasi sumber utama dari harmonisa pada sistem tenaga adalah converter daya, busur peleburan, static VAR kompensator, inverter, kendali fasa elektronika daya, cycloconverters, power supply DC dan PWM. Beban tidak linier umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor.

Berikut ini adalah gambar gelombang fundamental dan gelombang yang terkena dampak gangguan harmonisa.



**Gambar 2.1** Gelombang fundamental dan terdistorsi

Akibat yang ditimbulkan pada peralatan jika terdapat arus atau tegangan harmonisa antara lain:

- Rusaknya peralatan listrik
- Terbakarnya kabel / konduktor penghantar
- Pada transformator daya menurun, bertambah *losses*
- Pada motor listrik terjadi *overheat*
- Pada alat ukur kWh meter elektromagnetis terjadi kesalahan pengukuran
- Kegagalan fungsi relay pengaman.

**2.1. Total Harmonic Distortion (THD)**

*Total Harmonic Distortion* (THD) merupakan nilai prosentase antara total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya. Semakin besar prosentase THD ini menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan peralatan yang diakibatkan harmonisa arus maupun tegangan. Nilai THD yang diijinkan secara internasional maksimal berkisar 5 % dari tegangan dan arus frekwensi fundamentalnya.

Harmonisa yang terjadi pada sistem tenaga listrik pada setiap orde memiliki besaran yang disebut IHD (*Individual Harmonic Distortion*). Dimaksudkan IHD orde ke 5 dari frekuensi fundamental 50 Hz adalah (50 Hz x 5), sehingga frekuensi harmonisa yang terjadi di orde lima adalah 250 Hz. Harmonisa masing masing orde akan diakumulasikan dengan suatu rumusan dari total IHD dapat disebut *Total Harmonic Distortion*(THD). THD juga dapat diartikan sebagai prosentase dari beberapa orde harmonisa/faktor distorsi. THD dapat dibedakan menjadi 2 yaitu THDv untuk tegangan harmonisa sedangkan THDi untuk arus harmonisa.

Untuk rumus THDv dan THDi sebagai berikut:

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N (V_h)^2}}{V_s}$$

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N (I_h)^2}}{I_s}$$

Keterangan:

Vh = Tegangan harmonisa orde ke-h.

Vs = Tegangan fundamental dari sistem.

Ih = Arus harmonisa orde ke-h.

Is = Arus fundamental sistem.

THD akan ada pada setiap bus atau node. THDv yang dihasilkan tergantung pada beban dan impedansi saluran yang ada pada sistem distribusi. Terdapat beberapa peralatan yang dapat dipakai untuk pengukuran THD dan IHD antara lain Oscilloscope, Fluke, dan Spektrum Analyzer. Oscilloscope memantau adanya arus maupun tegangan harmonisa secara menyamping, sedangkan Spektrum Analyzer memantau arus maupun tegangan harmonisa dari depan sehingga gelombang dengan frekuensi yang lebih tinggi dari gelombang fundamental bisa dipantau. Standar mengenai harmonisa pada bus atau node harus ditaati atau dipenuhi demi keamanan, standar tersebut mengenai limit/batas injeksi harmonisa ke bus atau node pada sistem distribusi. Hal tersebut akan dibahas pada subbab berikutnya.

**2.2. Standar Batasan Harmonisa pada Sistem Distribusi.**

Secara umum pengaruh harmonisa pada penggunaan beban non linier dibatasi. Ada beberapa lembaga standar yang memberikan batasan maksimal THD maupun IHD pada sistem tenaga yang salah satunya telah diatur dalam IEEE Std. 519-1992. Berikut ini tabel mengenai standar harmonisa tegangan pada jaringan distribusi 120Volt sampai 69 kV pada tabel 2.1 dan standar untuk harmonisa arus ditunjukkan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.1.** Standar batas tegangan harmonisa menurut IEEE

Tegangan Bus	IHD (%)	THD(%)
Dibawah 69 kV	3,0	5,0
69 kV sampai 161 kV	1,5	2,5
Diatas 161.001kV	1,0	1,5

**Tabel 2.2.** Standar batas arus harmonisa menurut IEEE

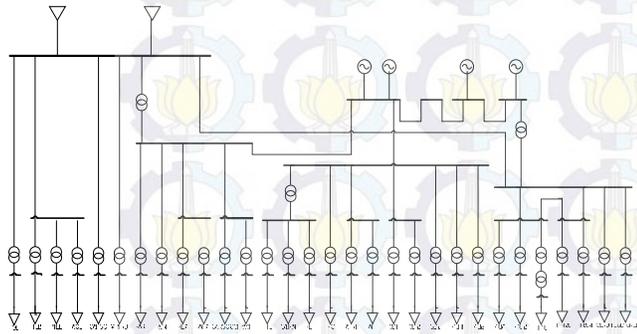
I <sub>sc</sub> /I <sub>L</sub>	Harmonik preorde (%)					TTD
	<11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 35	>35	
<20*	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20-50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50-100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100-1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20

Dimana : I<sub>sc</sub> = Arus *Short Circuit* maksimum

I<sub>L</sub> = Arus beban maksimum pada dasar frekuensi di bus.

### III. SISTEM TENAGA LISTRIK BANDARA INTERNASIONAL JUANDA SURABAYA

Sistem kelistrikan Bandara Juanda merupakan sistem yang terdiri dari 2 sumber yaitu dari PLN sebesar 20 kV menggunakan dua feeder utama sedati yang terhubung dengan Main Power House utama sebagai sumber utama untuk menyuplai seluruh sistem kelistrikan Bandara dan menggunakan generator sebanyak empat buah dengan kapasitas masing-masing 1500 kVA. Sebagai sumber cadangan, generator hanya digunakan apabila PLN mengalami gangguan dan hanya mensuplai sistem yang vital dalam jangka waktu tertentu. Sistem kelistrikan Juanda sampai saat ini masih mengandalkan suplai dari PLN 20 kV, karena sudah adanya kesepakatan kerja antara pihak PT.Angkasa Pura I sebagai pengelola bandara Juanda Surabaya dengan pihak PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur sebagai penanggung jawab unit kerja distribusi PLN di Bandara Juanda yang merupakan konsumen prioritas utama dalam pemakaian listrik. Secara umum single line diagram kelistrikan di Bandara Juanda dapat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Single line diagram Bandara Juanda

Tabel 3.1 Data beban Bandara Juanda Essential dan General

ID	SERVICE	(kVA)	KET.
POL	Pertamina	788	AVTUR
CHL	Cabin Chiller	1093	PUBLIK
PTB-1	Passenger Terminal Bulding	1287	PUBLIK
PTB-2	Passenger Terminal Bulding	1287	PUBLIK
PTB-3	Passenger Terminal Bulding	1287	PUBLIK
AOB	Operation Bulding 1	282	CREW
CG	Cargo	235	PUBLIK
MPH-TOI	Main Power Bulding	18,5	CREW
RA	Parking Area	22,5	PUBLIK
RB	Bulding Area	22,8	PUBLIK
R28	Run Way 28	110,87	CREW
TH10	Tower Area	50,91	CREW
OB	Operational Bulding 2	150	CREW
RC	Service Car Area	91,6	PUBLIK
AP-1	Apron	83,37	CREW
AP-2	Apron	96,42	CREW
SD-1	Hanggar-1	891	CREW
SD-2	Hanggar-2	241	CREW
SD-3	Hanggar-3	353	CREW
R10	Run Way 10	144,44	CREW

### 3.1. Sistem Distribusi Listrik Bandara Juanda

Pada sistem yang ada di Bandara Juanda dalam operasinya dilengkapi dengan beberapa peralatan seperti transformator, relay ,circuit breaker yang digunakan untuk masing-masing beban dengan kategori tertentu. Untuk lebih jelas mengenai peralatan transformator yang digunakan pada single line diagram dapat dilihat pada tabel 3.2

### 3.2. Kegiatan pengukuran listrik Bandara Internasional Juanda

Data penunjang mutlak dibutuhkan untuk tahap simulasi. Pada tahap ini penulis menggunakan data yang didapat dari single line diagram, survey lapangan, dan pengukuran secara langsung dilapangan. Single line diagram dapat dilihat pada Gambar 3.1, dimana untuk pengambilan data besaran harmonisa pada tahap awal akan dilakukan di lima titik menggunakan FLUKE-434. Pengambilan lima titik bertujuan untuk mendapatkan perbandingan bus yang memiliki nilai harmonisa paling besar, sehingga diharapkan dari data yang didapat bisa ditarik kesimpulan mengenai beban penyumbang harmonisa dominan dan mendapatkan kombinasi terbaik untuk meletakkan filter penurun harmonisa di titik bus yang paling sesuai. Adapun kelima bus yang dijadikan titik pengukuran pada tahap awal ini adalah bus pol (milik Pertamina ), bus 17, bus OB, bus panel PTB 20 kv, bus MPH 11 6,6 kv, dan bus MPH 3 20 kv.

Kegiatan pengukuran dilakukan pada panel ukur dengan referesi tegangan dan arus. Terdapat dua cara yang dapat digunakan untuk pengambilan harmonisa tegangan, yaitu pengambilan data langsung pada terminalnya (untuk tegangan rendah) dan untuk tegangan 20 kV keatas diperlukan PT (Potensial Transformator) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan sehingga tidak membahayakan saat proses pengukuran. Sama halnya untuk pengukuran arus, pada teganga tinggi diperlukan CT (Current Transformator) sehingga tidak membahayakan saat proses pengukuran.

### 3.3.Data pengukuran

Dari beberapa pengukuran yang dilakukan di Bandara Juanda didapat tiga bus yang memiliki nilai %THDi dan %THDv yang tinggi. Tiga bus tersebut yaitu Bus POL yang ada di PT. Pertamina, Bus PTB3 yaitu terminal penumpang tiga, dan bus PTB yaitu terminal penumpang satu. Adapun data yang didapat sebagai berikut.

Tabel 3.3 Data ukur lapangan pada bus POL (PT. Pertamina 0,38kV)

Orde	%THD		Orde	%THD	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	1,74	1,64	27	0,54	0,41
5	7,76	33,84	29	0,54	0,41
7	2,54	13,97	31	0,54	0,41
9	1,34	1,51	33	0,40	0,41
11	1,07	4,52	35	0,40	0,41
13	0,94	0,68	37	0,40	0,41
15	0,80	0,68	39	0,40	0,41
17	0,80	0,55	41	0,40	0,41
19	0,80	0,55	43	0,40	0,41
21	0,67	0,55	45	0,27	0,41

23	0,54	0,55	47	0,27	0,41
25	0,54	0,55	49	0,27	0,41

**Tabel 3.4** Data ukur lapangan pada bus PTB3(0,38kV)

Orde	% THD		Orde	% THD	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	1,33	3,91	27	0,13	1,96
5	11,60	27,17	29	0,13	1,96
7	4,80	10,22	31	0,13	1,52
9	2,67	6,30	33	0,13	1,52
11	4,00	4,35	35	0,13	1,30
13	1,87	3,91	37	0,13	1,52
15	0,27	3,04	39	0,13	1,52
17	0,40	3,26	41	0,13	1,52
19	0,13	2,39	43	0,13	1,52
21	0,13	2,17	45	0,13	1,30
23	0,13	2,17	47	0,13	1,30
25	0,13	1,96	49	0,13	1,30

**Tabel 3.10** Data ukur lapangan pada bus PTB (0,38kV)

Orde	% THD		Orde	% THD	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	3,23	2,75	27	1,83	0,75
5	15,05	29,75	29	1,72	0,75
7	30,43	47,75	31	0,54	0,75
9	5,81	3,00	33	1,51	0,75
11	11,40	7,50	35	1,40	0,75
13	3,98	1,00	37	1,29	0,75
15	3,44	0,75	39	1,08	0,75
17	2,80	0,75	41	1,18	0,75
19	2,80	1,00	43	1,18	0,75
21	2,47	0,75	45	1,18	0,75
23	2,26	0,75	47	0,97	0,75
25	1,94	0,75	49	0,97	0,75

**IV. ANALISA DAN RENCANG FILTER PEREDAM HARMONISA**

**a. Pemilihan data**

Untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat, perlu dilakukan pemilihan data yang dapat mewakili load flow harmonisa di setiap bus. Beberapa data hasil pengukuran seperti pada bus POL, bus 17, bus panel PTB, bus MPH 11, bus PTB3, bus PTB, dan bus1 MPH3 harus memenuhi spesifikasi data sebagai bahan simulasi di program ETAB 12 yaitu memiliki nilai harmonisa paling tinggi, bus yang terdekat dengan beban penyumbang harmonisa, dan jenis daya beban terutama penghasil harmonisa.

Dari tiga sepect data yang diminta, hanya tiga data yang memenuhi syarat untuk mewakili load flow harmonisa yaitu data pada bus POL, Bus PTB3, dan PTB yaitu data yang memiliki nilai THD arus dan tegangan tinggi, dekat dengan beban, dan adanya sumber penghasil harmonisa dominan yaitu pada bus POL terdapat UPS

kapasitas 13 kVA, pada bus PTB3 dan PTB terdapat VSD untuk konveyor dan eskalator.

**b. Perhitungan filter penurun harmonisa**

Berdasarkan hasil harmonic load flow sebelumnya diketahui banyak bus yang memiliki nilai THD yang melebihi toleransi yaitu 5% untuk itu diperlukan fulter penurun harmonisa agar beberapa masalah yang timbul akibat adanya harmonisa bisa dihindari. Ada dua pilihan filter yang dapat dijadikan penurun harmonisa yaitu filter aktif dan filter pasif. Namun pada bagian ini hanya akan dipergunakan perhitungan menggunakan filter pasif sebagai penurun harmonisanya.

Penggunaan filter pasif pada posisi yang tepat, terutama pada daerah yang dekat dengan pembangkit sumber harmonisa sehingga arus harmonisa terjerat disumber dan mengurangi penyebaran arusnya. Dalam kasus ini penempatan filter untuk mengurangi harmonisa pada keseluruhan sistem dipasang pada sumber utama harmonisa yaitu pada bus POL, bus PTB3, dan bus PTB.

Dengan pertimbangan diatas maka perancangan filter dapat dimulai dari bus yang memiliki kontribusi paling besar yaitu mulai dari pemasangan pada bus PTB, kemudian bus PTB3 dan yang terakhir bus POL. Adapun nilai-nilai yang dibutuhkan untuk membuat filter harmonisa dapat diketahui dari perhitungan dibawah.

**• Filter 5th**

Filter ini adalah *filter single tuned* untuk menurunkan besaran %IHD orde ke-5 di bus PTB. Dari simulasi load flow daya reaktif dan daya aktif di ETAB didapat nilai beban reaktif di bus PTB adalah 678 kVar. Sehingga nilai kapasitor pada filter penurun harmonisa nya adalah:

Total daya reaktif 3 fasa:

$$\Delta Q_{3fasa} = S(\sin(\cos^{-1} \eta)) = 1287 \text{ kVA} (\sin(\cos^{-1} 0,85))$$

$$\Delta Q_{3fasa} = 1287(\sin 31,79) = 678 \text{ kVar}$$

Total daya reaktif 1 fasa:

$$\Delta Q_{1fasa} = \frac{678 \cdot 3}{3} = 226 \text{ kVar}$$

Untuk single tuned orde ke lima cukup menggunakan 226 kVar sehingga nilai kapasitor (C) yang terpasang pada 0,38 kV tiga fasa atau 0,22 kV satu fasa dengan frekuensi dasar adalah 50 Hz, adalah

$$\Delta Q = \frac{V_{1fasa}^2}{X_c} = V_{1fasa}^2 \omega_0 C$$

$$C = \frac{\Delta Q_{1fasa}}{V_{1fasa}^2 \omega_0} = \frac{226 \times 10^3}{(2\pi \times 50)^2 \times 220^2}$$

$$C = \frac{226000}{(2 \times 314 \times 50)^2 \times 48400} = 00148 \text{ 7077F} = 14870,77 \text{ uF}$$

Nilai induktor (L):

Fokus perancangan filter adalah single tuned pada orde ke-5. Sehingga setelah frekuensi dibuat pada nilai 5 x 50 Hz =250 Hz. Peredaman frekuensi harmonisa harus memenuhi syarat dari penggunaan komponen kapasitor dan induktor. Dubutuhkan juga komponen resistor yang bernilai sangat kecil untuk mengalirkan arus harmonisa ke bumi.

$$X_L = X_c = X_0$$

$$\omega_n L = \frac{1}{\omega_n C} \quad L = \frac{1}{(\omega_n)^2 C} = \frac{1}{(2\pi \times 250)^2 \times 001487077F}$$

$$2728 \times 10^{-6} \text{ Henry}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi \times 50. (2728 \times 10^{-6}) = 00085 \text{ 663}\Omega$$

Nilai resistor (R):

Filter quality factor (Q) untuk filter single tuned dipilih antara 30 dan 60. Dalam perancangan filter ini nilai Q dipilih 30. Sehingga nilai resistor adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{X_0}{R} = \frac{X_L}{R}$$

$$R = \frac{X}{Q} = \frac{0008566 \cdot 37}{30} = 000285545 \Omega$$

Ulangi metode perhitungan diatas untuk mendapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan dalam membuat filter harmonisa single tuned orde ke-5 untuk filter PTB 5th di bus PTB3, dan filter HF3 di bus POL milik PT. Pertamina.

• **Filter PTB 7th**

Filter ini adalah filter single tuned untuk menurunkan besaran %IHD orde ke-7 di bus PTB. Dari simulasi load flow daya reaktif dan daya aktif di ETAB didapat nilai beban reaktif di bus PTB adalah 678 kVar. Sehingga nilai kapasitor pada filter penurun harmonisa nya adalah:

Total daya reaktif 3 fasa:

$$\Delta Q_{3fasa} = S(\sin(\cos^{-1}f)) = 1287kVA(\sin(\cos^{-1}0,85))$$

$$\Delta Q_{3fasa} = 1287(\sin 31,79) = 678 \text{ kVar}$$

Total daya reaktif 1 fasa:

$$\Delta Q_{1fasa} = \frac{6780}{3} = 226kVar$$

Untuk single tuned orde ke tujuh cukup menggunakan 226 kVar sehingga nilai kapasitor (C) yang terpasang pada 0,38 kV tiga fasa atau 0,22 kV satu fasa dengan frekuensi dasar adalah 50 Hz, adalah

$$\Delta Q = \frac{V_{1fasa}^2}{X_c} = V_{1fasa}^2 \omega_0 C$$

$$C = \frac{\Delta Q_{1fasa}}{V_{1fasa}^2 \omega_0} = \frac{226 \times 10^3}{(2\pi \times 50) \times 220^2}$$

$$C = \frac{226000}{(2 \times 314 \times 50) \times 48400} = 001487077F = 14870,77 \mu F$$

Nilai induktor (L):

Fokus perancangan filter adalah single tuned pada orde ke-5. Sehingga setelah frekuensi dibuat pada nilai 7 x 50 Hz =350 Hz. Peredaman frekuensi harmonisa harus memenuhi syarat dari penggunaan komponen kapasitor dan induktor. Dibutuhkan juga komponen resistor yang bernilai sangat kecil untuk mengalirkan arus harmonisa ke bumi.

$$X_L = X_C = X_0$$

$$\omega_n L = \frac{1}{\omega_n C}$$

$$L = \frac{1}{(\omega_n)^2 C} = \frac{1}{(2\pi \times 350)^2 \times 001487077F} = 1392 \times 10^{-6} \text{ Henry}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi \times 50 \cdot (1392 \times 10^{-6}) = 00043706 \Omega$$

Nilai resistor (R):

Filter quality factor (Q) untuk filter single tuned dipilih antara 30 dan 60. Dalam perancangan filter ini nilai Q dipilih 30. Sehingga nilai resistor adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{X_0}{R} = \frac{X_L}{R}$$

$$R = \frac{X}{Q} = \frac{000437060}{30} = 000145686 \Omega$$

Ulangi metode perhitungan diatas untuk mendapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan dalam membuat filter harmonisa single tuned orde ke-7 untuk filter HF4 di bus PTB3, filter HF10 di bus POL milik PT. Pertamina.

• **Filter HF6**

Peredaman IHD pada orde lima dan tujuh menggunakan filter single tuned pada bus PTB3 tidak bisa meredam nilai THD ke batas maksimal yang diinginkan dan hasil peredaman THD di bus PTB3 masih tinggi yaitu 5,99%. Untuk itu perlu peredaman IHD di orde lain yang memiliki nilai signifikan dalam penyumbang nilai THD sehingga nilainya dapat dikurangi. Pada filter HF6 dipakai untuk peredaman IHD pada orde ke-11 menggunakan filter high pass damped. Dari simulasi load flow daya reaktif dan daya aktif di ETAB didapat nilai beban reaktif di bus PTB3 adalah 226 kVar. Sehingga nilai kapasitor pada filter penurun harmonisa nya adalah:

Total daya reaktif 3 fasa:

$$\Delta Q_{3fasa} = S(\sin(\cos^{-1}f)) = 1287kVA(\sin(\cos^{-1}0,85))$$

$$\Delta Q_{3fasa} = 1287(\sin 31,79) = 678 \text{ kVar}$$

Total daya reaktif 1 fasa:

$$\Delta Q_{1fasa} = \frac{6780}{3} = 226kVar$$

Untuk high pass damped orde ke-11 cukup menggunakan 226 kVar sehingga nilai kapasitor (C) yang terpasang pada 0,38 kV tiga fasa atau 0,22 kV satu fasa dengan frekuensi dasar adalah 50 Hz, adalah

$$\Delta Q = \frac{V_{1fasa}^2}{X_c} = V_{1fasa}^2 \omega_0 C$$

$$C = \frac{\Delta Q_{1fasa}}{V_{1fasa}^2 \omega_0} = \frac{226 \times 10^3}{(2\pi \times 50) \times 220^2}$$

$$C = \frac{226000}{(2 \times 314 \times 50) \times 48400} = 1487077 \times 10^{-3} F = 14870,77 \mu F$$

Nilai induktor (L):

Fokus perancangan filter adalah high pass damped pada orde ke-11. Sehingga setelah frekuensi dibuat pada nilai 11 x 50 Hz =550 Hz. Peredaman frekuensi harmonisa harus memenuhi syarat dari penggunaan komponen kapasitor dan induktor. Dibutuhkan juga komponen resistor yang bernilai sangat kecil untuk mengalirkan arus harmonisa ke bumi.

$$X_L = X_C = X_0$$

$$\omega_n L = \frac{1}{\omega_n C}$$

$$L = \frac{1}{(\omega_n)^2 C} = \frac{1}{(2\pi \times 550)^2 \times 001487077F} = 564 \times 10^{-6} \text{ Henry}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi \times 50 \cdot (564 \times 10^{-6}) = 00176991 \Omega$$

Nilai resistor (R):

Filter quality factor (Q) untuk filter high pass damped dipilih dengan nilai 20. Sehingga nilai resistor adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{2}{\omega C} = \frac{2}{2\pi f (\text{harm})C}$$

$$R = \frac{2}{2 \times 314 \times 550 \times 14877 \times 10^{-3}} = 0038938 \Omega$$

**c. Nilai-nilai yang didapat dari perhitungan**

Dari beberapa perhitungan 4.3.a sampai 4.3.c dapat dikumpulkan data-data hasil perhitungan, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.2 dan tabel 4.3. untuk memasukkan setting filter ke tools VSD/UPS dapat double click tool yang akan di setting dan pilih tab harmonic. Tampilan setting harmonic pada VSD dan UPS dapat dilihat pada gambar 4.7 untuk setting harmonic di VSD dan gambar 4.6 untuk setting harmonic pada UPS.

**d. Hasil Pemasangan filter**

Pemasangan filter pada tiga sumber harmonisa dominan pada bus POL, bus PTB3, dan bus PTB menunjukkan hasil penurunan nilai harmonisa tegangan yang sebelumnya diatas sandard toleransi yang diperbolehkan yaitu tidak boleh melebihi 5% menjadi dibawah standard. Penurunan nilai harmonisa dapat dilihat pada tabel 4.4

**Table 4.4** Nilai harmonisa setelah pemasangan filter

No	Nama Bus	% THD	
		Sebelum dipasang filter	Sesudah dipasang filter
1	Bus POL	10,25	1,61
2	Bus PTB3	13,31	4,93
3	Bus MPH	6,17	0,31
4	BUS RA-1	5,77	0,23
5	BUS RC	5,59	0,21
6	Bus-RB	5,81	0,24
7	Bus A2	5,07	0,16
8	Bus A1	5,63	0,22
9	Bus CARGO	14,56	0,41
10	Bus AP-1 6,6kV	6,17	0,35
11	Bua MPH 11 6,6 kV	6,17	0,35
12	Bus WS	17,56	0,64
13	Bus PTB	36,94	3,25
14	Bus MPH-M02 20kV	19,25	1,19
15	Bus 4 MPH13 6,6kV	6,41	0,35
16	Bus 2 MPH13 6,6kV	6,17	0,35
17	Bus 3 MPH13 6,6kV	6,17	0,35
18	Bus MPH-M12 6,6kV	6,17	0,35
19	Bus RA	5,77	0,23
20	Bus RB	5,81	0,24
21	Bus RB-RC 6,6kV	6,17	0,35
22	Bus T02-RB	5,81	0,24
23	Bus API 6,6 kV	6,17	0,35
24	Bus API	5,56	0,22
25	Bus RC-RB 6,6kV	6,17	0,35
26	Bus SD1	5,07	0,16
27	Bus SD2	5,55	0,21
28	Bus SD3	5,6	0,21

**V. KESIMPULAN**

Dari hasil pengukuran pada sistem kelistrikan Bandara Juanda didapat nilai %THDi dan %THDv di beberapa bus tinggi. Keberadaan harmonisa disebabkan karena penggunaan

beban nonlinier seperti penggunaan UPS, dan VSD dengan IHD dominan di orde ke-5 dan ke-7.

Filter single tuned dapat efektif meredam harmonisa pada orde ke-5 dan ke-7 dengan besar persentasi 67% dari nilai rata-rata %THDv yang dapat diturunkan sebelum pemasangan filter yaitu 36,96% dan setelah pemasangan filter 3,25%. Dan untuk orde ke-11, ke-23, ke-25 sebaiknya menggunakan filter pass damped.

Dari pemasangan filter pada orde 5 dan 7 menggunakan filter single tuned secara umum dapat menurunkan besaran THDv ke toleransi maksimal yang diperbolehkan yaitu 5% dari fundamentalnya. Pada bus POL sebelum pemasangan filter single tuned orde ke-5 dan ke-7 didapat 10,25% dan setelah dilakukan pemasangan filter nilai THDv nya menjadi 1,61%.

**VI. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Jen-Hao Teng, and Chuo-Yean Chang, "Backward/Forward Sweep Based Harmonic Analysis Method for Distribution System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.22, No. 3, 2007.
- [2] William H. Kersting, "Distribution System Modeling and Analysis", CRC Press LLC, 2002.
- [3] Arrillaga J, Watson N.R, "Power System Harmonics" John Willey and Sons, Ltd, 2003.
- [4] C. S. Cheng and D. Shirmohammadi, "A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis," IEEE Trans. Power Syst., vol. 10, no. 2, pp. 671-679, May. 1995.
- [5] Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Modeling and simulation of the propagation of harmonics in electric power network part I: Concepts, models and simulation techniques," IEEE Trans. Power Del., vol. 11, no. 1, pp. 452-465, Jan. 1996.
- [6] Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Modeling and simulation of the propagation of harmonics in electric power network part II: Sample system and examples," IEEE Trans. Power Del., vol. 11, no. 1, pp. 466-474, Jan. 1996.

**VII. BIODATA PENULIS**



Penulis M. Aris Maulana Rifa'i dilahirkan di kota Nganjuki pada 1988. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara. Seseorang yang memiliki hobi pemrograman dan mempunyai hobi bermain sepak bola. Penulis ini menempuh jenjang awal pendidikan di SDN Soniageng IV, dilanjutkan ke SMPN 1 Prambon lalu ke SMAN 1 Tanjunganom, menempuh pendidikan D3 di ITS

Surabaya jurusan Teknik Elektro Komputer Kontrol tahun 2008 lalu melanjutkan ke Program Lintas Jalur S1 Teknik Elektro ITS dan mengambil bidang Teknik Studi Sistem Tenaga.