

PENENTUAN KAPASITAS DAYA REAKTIF DAN FREKUENSI TUNING FILTER PASIF UNTUK MENGURANGI KANDUNGAN ARUS HARMONIK BEBAN

Determination of Capacities Energy of Reaktif and Frequency of Tuning Passive Filter to Lessen
Content Current Harmonic Burden.

Hari Prasetyo

Program Studi Teknik Elektro Unsoed, email : aydinhari@yahoo.com

ABSTRACT

This studi involve decreasing method of harmonic current content in a radial distribution systems used single tuned passive filter. The distribution systems model consist of transformer 20/0,4 kV supplying groups of non linier loads that is represented by personal computer (PC) and fluorescent lamp 2x40 W as load harmonic current source. Passive filter was installed in PCC bus (0,4 kV) and analysis to be conducted according to IEEE std.1531-2003 and IEEE std. 519-1992. The reesult showed that insalation passive filter in PCC bus will decrease magnitut load harmonic current significantly. The decreasing determined by reactive power capacity and frequency tuning of passive filter.

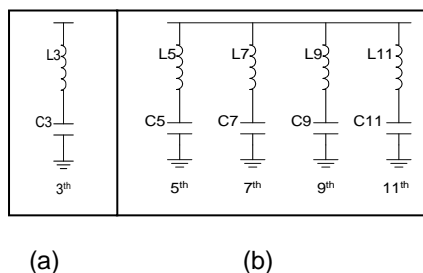
Key word : Passive filter, harmonic current, reactive power capacity, frequency tuning

PENDAHULUAN

Keberadaan arus harmonik dalam sistem tenaga listrik tidak dapat dihilangkan namun harus dibatasi agar efek negatif akibat kandungan arus harmonik yang tinggi seperti pemanasan lebih transformator daya dan motor induksi, salah kerja rele, resonansi dalam sistem tenaga listrik dan penurunan umur pakai kapasitor dapat direduksi. Salah satu cara mitigasi untuk menurunkan kandungan arus harmonik adalah dengan filter pasif frekuensi tunggal (*single-tuned*).

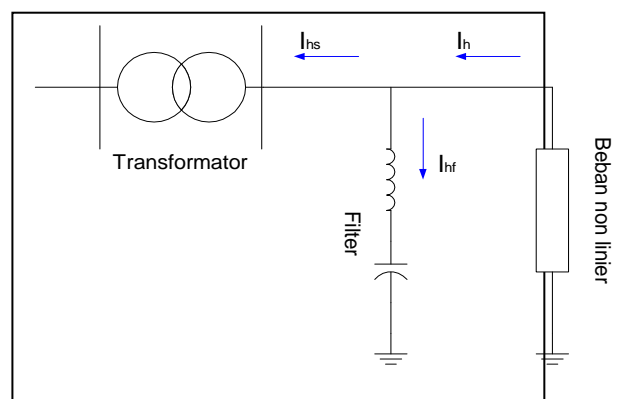
Filter Pasif

Filter pasif pada dasarnya merupakan rangkaian LC (induktor-kapasitor) seri, untuk mereduksi arus harmonik dengan frekuensi tunggal (*single-tuned*) maupun multi frekuensi (*multiple-tuned*) seperti dalam gambar 1.



Gambar 1. Filter pasif. (a) Filter frekuensi tunggal, (b) Filter multi frekuensi

Besar arus harmonik akan direduksi dengan melewati sebagian melalui filter pasif ke tanah karena pada frekuensi resonansi harga impedansi filter pasif adalah nol. Menurut Rao [8], arah arus harmonik mengalir dari beban non-linier menuju sumber AC seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Arah aliran arus harmonik

dengan,

I_h = arus sumber harmonik

I_{hf} = arus harmonik yang dilewatkan filter ke tanah

I_{hs} = arus harmonik menuju sumber AC

Prosedur Perhitungan Kapasitas Filter Pasif Frekuensi Tunggal (Single-Tuned)

Perhitungan kapasitas filter pasif adalah menentukan kapasitas induktor dan kapasitor serta daya reaktif filter untuk mereduksi arus harmonik yang mengalir ke sumber sistem daya (IEEE standard 1531-2003). Penentuan harga-harga tersebut dipengaruhi oleh besar faktor daya beban akhir yang diinginkan. Prosedur perhitungannya sebagai berikut :

a. Menentukan faktor daya awal (*pf_o*) dan faktor daya yang diinginkan (*pf_i*) dari beban non linier.

b. Menentukan kapasitas efektif daya reaktif filter :

$$Q_{eff} = S \times [\sin(\cos^{-1} Pf_o) - \sin(\cos^{-1} Pf_i)]$$

c. Menentukan frekwensi tuning filter

Menurut IEEE 1531-2003 filter harmonik frekwensi tunggal (*single-tuned*) pemilihan frekwensinya ditentukan 3% - 15% dibawah frekwensi yang ditentukan sebagai faktor *safety*.

d. Menentukan impedansi efektif filter :

$$X_{eff} = \frac{V_{LLsys}^2 (kV)}{Q_{eff} (Mvar)} \dots\dots\dots(1)$$

e. Menentukan reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif pada frekwensi fundamental

$$X_{C(1)} = \left(\frac{h^2}{h^2 - 1} \right) X_{eff} \Omega \dots\dots\dots(2)$$

$$X_{L(1)} = \frac{X_{C(1)}}{h^2} \dots\dots\dots(3)$$

f. Menentukan arus rms filter

$$I_{f(h)} = \frac{V_s}{|X_{C(h)} - X_{L(h)}|}$$

$$I_{rms} = \left(\sum_{h=1}^{\infty} I_{f(h)}^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots(4)$$

Menurut IEEE std 1036-1992 arus rms yang melalui filter harmonik harus ≤ dari 135% arus nominal pada rating tegangan dan kvar-nya.

g. Menentukan tegangan rms dan tegangan puncak (*peak*) kapasitor

$$V_{C rms} = \left(\sum_{h=1}^{\infty} (I_{f(h)} X_{C(h)})^2 \right)^{1/2} \dots\dots(5)$$

$$V_{C peak} = \sum_{h=1}^{\infty} I_{f(h)} X_{C(h)} \dots\dots\dots(6)$$

Menurut IEEE std 1036-1992 tegangan rms harus ≤ 110% rating tegangan rms sistem dan tegangan peak kapasitor ≤ 120% rating tegangan peak sistem. (120% x √2 x Vrms).

h. Menentukan rating kapasitas daya reaktif kapasitor

Berdasar tegangan antar fase kapasitor dan impedansi kapasitor, maka rating kapasitas daya reaktif kapasitor 3 fasa adalah :

$$Q_{Crated} = \frac{(\sqrt{3} V_{Cpeak(p-n)})^2}{X_{C1}} \dots\dots\dots(7)$$

Menurut IEEE std 18 - 1992:

$$\left| \sum_{h=1}^{\infty} (V(h)I(h)) \right| \leq |1.35 Q_{Crated}|$$

i. Menentukan arus nominal kapasitor berdasar rating tegangan dan rating kvar

$$I_{nom} = \frac{Q_{Crated} (k var)}{\sqrt{3} V_{Cpeak} (kV)} \dots\dots\dots(8)$$

Evaluasi frekuensi respon filter :

$$h_o = \sqrt{\frac{X_C}{X_{L.sys} + X_L}} \dots\dots\dots(9)$$

METODE PENELITIAN

Studi dilakukan dengan memodelkan jaringan distribusi yang terdiri dari transformator distribusi 20kV/0,4V hubungan belitan Yyn menyuplai kelompok beban non linier terdiri dari komputer dan lampu TL 2 x 40 W yang mewakili beban non linier dengan kandungan arus harmonik yang tinggi. Pada

Point Common Coupling (PCC/bus 0,4 kV) dihitung spektrum magnet arus harmonik beban dengan cara merubah gelombang arus beban fungsi waktu menjadi gelombang arus fungsi frekuensi dengan pemrograman MATHLAB. Spektrum magnet arus harmonik diperkecil menggunakan filter pasif frekuensi tunggal agar memenuhi batas dalam IEEE Std. 519-1992. Penentuan kapasitas dan tuning filter pasif dilakukan berdasar IEEE Std. 1531-2003.

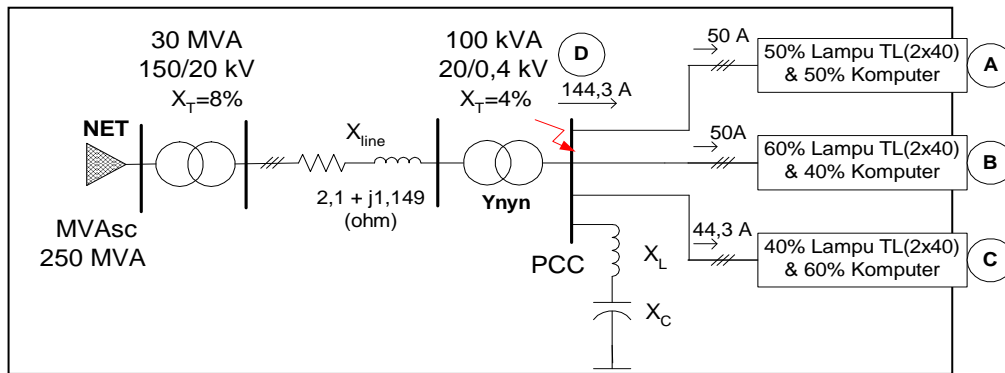
Studi

Transformator Yynn disuplai dari sistem tenaga listrik serta dihubungkan dengan

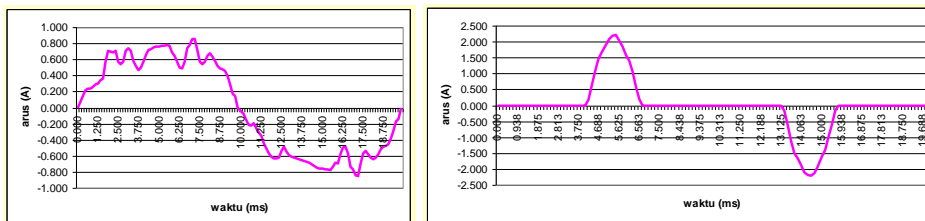
kelompok beban listrik berupa lampu TL (2 x 40) W dan komputer, dengan faktor daya total di bus 0,4 kV adalah 0,75 *lagging*, mengikuti diagram garis seperti pada gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan melakukan penjumlahan vektor spektrum arus ganjil line A, B dan C (lihat gambar 3) diperoleh spektrum magnet arus di titik D seperti dalam tabel 1. Arus fundamental diasumsikan sama dengan *rated current* ($I_1 = I_R$).



Gambar 3. Diagram garis pemodelan



Gambar 4. (a) Spektrum arus lampu TL (2x40) W, fungsi waktu
(b) Spektrum arus komputer, fungsi waktu

Tabel 1. Spektrum arus titik D

h	I _D (A)	I _D (%)
1	144,300	100,0
3	45,620	31,6
5	41,943	29,1
7	21,352	14,8
9	9,779	6,8
11	5,454	3,8
13	3,027	2,1
15	2,061	1,4
17	3,978	2,8
19	3,018	2,1
21	1,969	1,4
23	2,609	1,8
25	1,790	1,2

Total TDD Dibanding dengan IEEE Std. C57.110-1998

Berdasar pemodelan gambar 3, untuk $I_{load} (I_L) = I_{rating} (I_R)$ di titik D (PCC) diperoleh

$I_{SC} / I_L = (119,5 \text{ kA} / 144,3 \text{ A}) = 828$. Menurut IEEE Std. 519-1992 batas TDD arus harmonik untuk $h < 11$ adalah 12%, sehingga arus harmonik ke-3, ke-5 dan ke-7 melebihi batas karena besarnya masing-masing berturut-turut 31,6% , 29,1% dan 14,8% Batas arus harmonik untuk $11 \leq h < 17$ adalah 5,5%, sehingga arus harmonik dalam selang orde ini tidak ada yang melebihi batas. Batas arus harmonik untuk $17 \leq h < 23$ adalah 5%, sehingga arus harmonik dalam selang orde ini tidak ada yang melebihi batas. Batas arus harmonik untuk $23 \leq h < 35$ adalah 2%, sehingga arus harmonik dalam selang orde ini tidak ada yang melebihi batas. Pemilihan frekuensi filter dimulai dari frekuensi terendah arus harmonik.

Perhitungan kapasitas filter harmonik dengan filter orde ke-3 di bus 0,4 kV :

- a. Menentukan faktor daya awal (pf_0) dan faktor daya yang diinginkan (pf_1) dari beban non linier.

$$pf_0 = 0,75 ; pf_1 = 0,9$$

- b. Menentukan kapasitas efektif daya reaktif filter

$$\begin{aligned}
 Q_{eff} &= S \times [\sin (\cos^{-1} Pf_0) - \sin (\cos^{-1} Pf_1)] \\
 &= 100 [\sin (\cos^{-1} 0,75) - \sin (\cos^{-1} 0,9)] \\
 &= 100 [\sin 41,417^\circ - \sin 25,84^\circ] \\
 &= 100 \times 0,226 \\
 &= 22,6 \text{ kvar}
 \end{aligned}$$

c. Menentukan frekwensi tuning filter

Menurut IEEE 1531-1993 frekwensi filter harmonik *single-tuned* ditentukan 3% - 15% dibawah frekwensi yang ditentukan sebagai faktor *safety*.

$$X_{L(1)} = \frac{8,098}{2,82^2} = 1,018 \Omega$$

h = orde harmonik yang di-tune oleh filter.

d. Menentukan impedansi efektif filter :

$$X_{eff} = \frac{V_{LLsys}^2 (kV)}{Q_{eff} (kvar)}$$

$$X_{eff} = \frac{(0,4 kV)^2}{22,6 k var} = 7,08 \Omega$$

e. Menentukan reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif pada frekwensi fundamental

$$X_{C(1)} = \left(\frac{h^2}{h^2 - 1} \right) X_{eff} \Omega$$

$$X_{C(1)} = \left(\frac{2,82^2}{2,82^2 - 1} \right) x 7,08 = 8,098 \Omega$$

$$X_{L(1)} = \frac{X_{C(1)}}{h^2}$$

f. Menentukan arus rms filter

$$I_{f(1)} = \frac{V_s}{|X_{C(1)} - X_{L(1)}|}$$

$$I_{rms} = \left(\sum_{h=1}^{\infty} I_{f(h)}^2 \right)^{1/2}$$

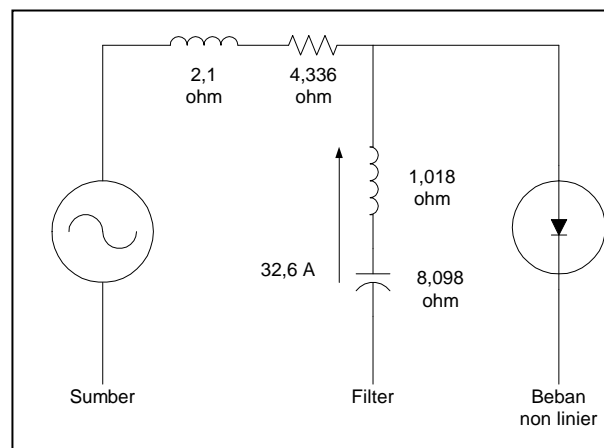
Arus fundamental pada filter yang terhubung bintang (RAO, 1999):

$$I_{f(1)} = \frac{(0,4/\sqrt{3}) kV}{8,098 - 1,018} = 32,6 A$$

$$I_1 = 144,3 - 32,6 = 111,7 A$$

$$\frac{111,7}{144,3} = 77,4\%$$

Rangkaian pengganti untuk menghitung arus harmonik pada filter menurut IEEE Std 1531-2003 seperti gambar 5:



Gambar 5. Rangkaian ganti arus harmonik fundamental dengan filter orde ke-3 di bus 0,4 kV transformator Yyn

Arus orde ke-3 pada filter :

$$X_{L(3)} = 3\omega L_{(1)} = 3X_{L(1)} = 3 \times 1,018 = 3,055 \Omega$$

$$X_{C(3)} = \frac{1}{3\omega C_{(1)}} = \frac{X_{C(1)}}{3} = \frac{8,098}{3} = 2,699 \Omega$$

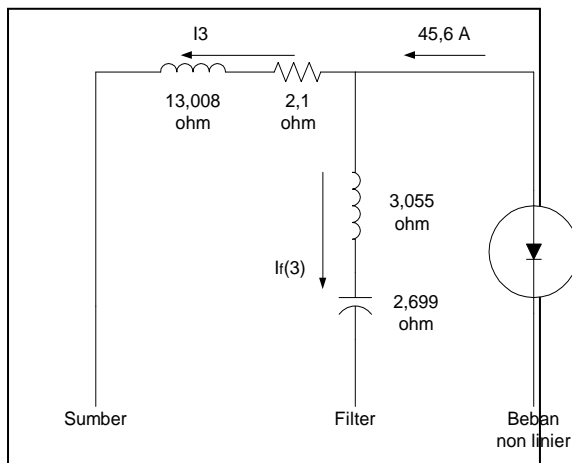
$$X_{hs(3)} = 3X_{hs(1)} = 3 \times 4,336 = 13,008 \Omega$$

$$R_{hs(3)} = R_{hs(1)} = 2,1 \Omega$$

$$I_L = \frac{100kVA}{\sqrt{3} \times 0,4kV} = 144,3A$$

$$\therefore I_3^{th} = 0,316 \times 144,3 = 45,6 A$$

Rangkaian pengganti untuk menghitung arus harmonik orde ke-3 pada filter seperti gambar 6 :



Gambar 6. Rangkaian ganti arus harmonik orde ke-3 dengan filter di bus 0,4 kV transformator Ynyn

$$Z_{hs(3)} = \sqrt{(13,008)^2 + (2,1)^2} = 13,176 \Omega$$

$$I_{f(3)} = \frac{13,176}{13,176 + [3,055 - 2,699]} \times 45,6 A = 44,4 A$$

$$I_3 = 45,6 - 44,4 = 1,2 A$$

Perbandingan terhadap arus fundamental :

$$\frac{I_3}{I_1} = \frac{1,2}{144,3} \times 100\% = 0,8\%$$

Dengan perhitungan yang sama maka pemasangan filter orde ke-3 pada frekuensi *tune* 2,82 pu tersebut akan menghasilkan pembagian arus orde 1 sampai orde 25 seperti dalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan arus setelah pemasangan filter pasif orde ke-3 di bus 0,4 kV transformator Ynyn

h	I _h (A)	I _{f(h)}	I _{s(h)} (A)	I _{s(h)} (%)
1	144.3	32.6	111.7	77.4
	45.6	44.4	1.2	0.8
5	41.9	36.2	5.8	4.0
7	21.4	17.8	3.5	2.4
9	9.8	8.1	1.7	1.2
11	5.5	4.5	1.0	0.7
13	3.0	2.5	0.6	0.4
15	2.1	1.7	0.4	0.3
17	4.0	3.2	0.7	0.5
19	3.0	2.5	0.6	0.4
21	2.0	1.6	0.4	0.3
23	2.6	2.1	0.5	0.3
25	1.8	0.9	0.9	0.6

dengan,

h = orde frekuensi

I_h = arus harmonik orde ke-h dari beban menuju ke PCC

I_{f(h)} = arus harmonik orde ke-h menuju ke filter

I_{s(h)} = arus harmonik orde ke-h menuju ke sumber daya

Dengan pemasangan filter pasif pada bus 0,4 kV batas TDD arus harmonik untuk h < 11 = 12%, 11 ≤ h < 17 = 5,5%, 17 ≤ h < 23 = 5%, 23 ≤ h < 35 = 2% sudah terpenuhi.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pemasangan filter pasif di *Point Common Coupling* akan menurunkan magnitud arus harmonik beban.

2. Besarnya penurunan magnitud arus harmonik beban ditentukan oleh kapasitas dan tuning filter pasif.

DAFTAR PUSTAKA

- Grady, M." *Understanding Power System Harmonics*".
www.ece.utexas.edu/~grady, Juni 2006.
- Prasetijo, H."Pengaruh Arus Harmonik Beban Terhadap Rugi-Rugi Transformator Distribusi". STEI ITB, 2007.
- Lowenstein, M.Z."The 3rd Harmonic Blocking Filter : A well Established Approach to Harmonic Current *Mitigation*".
- IEEE standard 1531-2003, *IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic Filters*.
- IEEE standard C57.91-1995, *Loading Guide for Mineral-Oil-Immersed Immersed Transformers*.
- IEEE Std C57.110-1998, *IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Current*.
- R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty, S. Surya." *Electrical Power Systems Quality*". McGraw Hill, USA, 2003.
- RAO, S. " *EHV-AC, HVDC Transmission & Distribution Engineering*". Khanna Publishers, Nai Sarak Delhi, 1999.