

PERANCANGAN DAN SIMULASI FILTER AKTIF 3 FASA UNTUK MEREDUKSI HARMONISA AKIBAT PENGGUNAAN BEBAN NON LINIER

Adha Rizky Juniawan, Wasimudin Surya S, Dadang Lukman Hakim

Program Studi Teknik Elektro S-1, Departemen Pendidikan Teknik Elektro
Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Universitas Pendidikan Indonesia
Jln. Dr. Setiabudhi 229 Bandung 40154

e-mail : adha.lt.ar@gmail.com, wasimudin@upi.edu ,dadanglh@yahoo.com

Diterima : 20 Agustus 2014

Disetujui : 01 September 2014

Dipublikasikan : September 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mereduksi harmonisa dengan cara merancang suatu filter aktif. Filter aktif tersebut dikontrol dengan menggunakan PI dan SPWM. Data studi kasus dari penelitian ini didapat dengan cara melakukan pengukuran langsung pada salah satu panel listrik di gedung Direktorat TIK UPI. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai THD I sebesar 84%. Berikut penentuan nilai rangkaian kontrol pada filter aktif, diantaranya; konstanta proporsional (K_p) 0.18, konstanta Integral (T_i) 2.25, band pass filter yang disetel pada frekuensi center 50 Hz, passing band 10000 Hz, DC inveter 412 V, R 0.1 Ω , L 825 μ H, dan C 1000 μ F. Hasil pemasangan filter aktif pada sistem mampu menurunkan THD I dari 84% menjadi 5.12%. Dengan hasil ini maka filter aktif dapat dijadikan sebagai salah satu metoda yang efektif dalam mereduksi harmonisa.

Kata Kunci: harmonisa, integral, inverter, total harmonic distortion

ABSTRACT

This research aims to reduce harmonics on the system by designing an active filter with PI and SPWM kontrol. The design of active filters is simulated by using PSIM software version 9.0.3. Case of study research was conducted by direct measurement on one of the electrical panel in the ICT Directorate UPI building. The simulation results based on the measurements, yielding a value of THD I 84%. By determining the value of the active filter control circuit in such as proportional constant (K_p) 0.18, Integral constant (T_i) 2.25, band pass filter tuned to the center of frequency 50 Hz, frequency passing bands 10000 Hz, inveter DC 412 V, R 0.1 Ω , L 825 μ H, and C 1000. The result of the installation of the active filter can reduce value of THD I system from 84% to 5.12%. With this result, the active filter can be regarded as one of filters methode that effective in reducing harmonics.

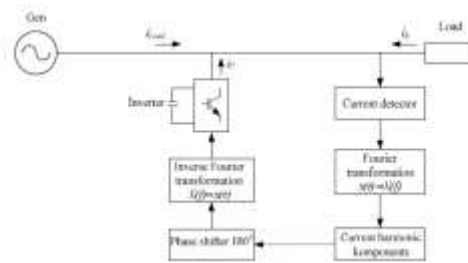
Keywords: Harmonics, Proportional, Integral, inverters, Total Harmonic Distortion

PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik kualitas daya merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan. Kualitas daya mencakup, kontinuitas dalam penyediaan energi listrik, kestabilan frekuensi dan tegangan serta kualitas faktor daya. Keempat hal ini merupakan fokus utama dari kualitas daya, sehingga keempat hal ini harus dijaga kehandalan. Akan tetapi, perkembangan teknologi di sisi beban yang mengarah pada peningkatan efisiensi peralatan dalam penggunaan energi listrik mempengaruhi kehandalan kualitas daya. Berbagai jenis peralatan yang dapat mempengaruhi kehandalan dari kualitas daya diantaranya, *air conditioner*, *refrigerator*, lampu-lampu hemat energi, komputer, laptop, serta penggunaan *converter*, baik itu *rectifier* maupun *inverter*. Peralatan seperti ini semakin banyak digunakan baik di rumah tangga maupun di industri.

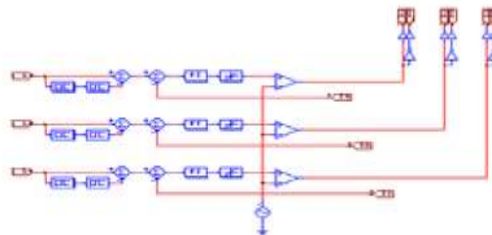
Peralatan elektronik di atas pada umumnya memerlukan arus searah sehingga dalam penyediannya diperlukan penyearahan arus. Pembebanan-pembebanan jenis ini membuat arus pada jaringan listrik tidak lagi berbentuk gelombang sinusoidal murni. Gelombang seperti ini bukan hanya tersusun dari frekuensi fundamental saja tetapi juga ditumpangi oleh frekuensi kelipatan bilangan integer dari frekuensi fundamental yang didefinisikan sebagai harmonisa.

Dengan adanya harmonisa, gelombang arus maupun tegangan yang harusnya berbentuk sinusoidal berubah menjadi gelombang sinusoidal terdistorsi. Ketika terjadi distorsi gelombang maka kualitas tegangan dan frekuensi mengalami perubahan, sehingga tidak sesuai dengan regulasi. Harmonisa bukan saja mengganggu kualitas tegangan dan kestabilan frekuensi tetapi juga mengakibatkan masalah lain. Diantaranya, meningkatnya rugi-rugi pada penghantar, timbulnya arus pada kabel netral, terjadinya *error* pembacaan pada kWh meter, tidak bekerjanya peralatan proteksi pada sistem tenaga serta membuat faktor daya menjadi rendah. Dengan merugikannya dampak yang diakibatkan oleh harmonisa maka diperlukan suatu metode untuk meredam harmonisa tersebut. Salah satu metode yang digunakan dalam mereduksi harmonisa adalah pemasangan filter. Dengan adanya filter kita dapat mereduksi harmonisa yang terjadi.



Gambar 1. Rangkaian sederhana filter aktif

Filter aktif merupakan tipe baru untuk peralatan filter eliminasi harmonisa dalam sistem tenaga. Filter ini disusun dari peralatan-peralatan elektronika daya. Komponen utama yang terdapat pada filter aktif adalah inveter dan rangkaian pengontrol [1]. Inverter selain berfungsi sebagai konverter DC-AC, berfungsi juga sebagai salah satu penghasil harmonisa. Harmonisa dari inverter diatur sedemikian rupa dengan menggunakan rangkaian Kontrol elektronika seperti, PID, *band pass* filter, limiter dan komparator sehingga menghasilkan harmonisa yang besarnya sama dengan harmonisa beban tetapi mempunyai sudut fasa yang berbeda 180°. Gambar 1 menunjukkan blok diagram sederhana dari rangkaian filter aktif.



Gambar 2. Rangkaian Kontrol Filter Aktif

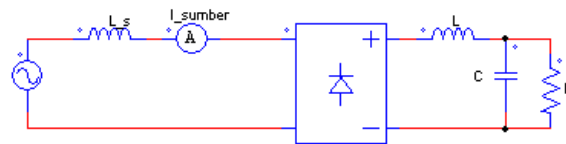
Skema lengkap dari rangkaian kontrol filter aktif ditunjukkan oleh gambar 2. Cara kerja sederhana dari rangkaian kontrol tersebut adalah arus harmonisa dari beban disensing dengan menggunakan sensor

arus kemudian harmonisa tersebut masuk ke dalam *band pass* filter untuk dilakukan pengaturan orde harmonisa yang akan direduksi. Tahap selanjutnya adalah bentuk gelombang orde –orde harmonisa akan diperbaiki dengan kontroler PID sehingga menghasilkan bentuk yang sesuai. Sebelum masuk ke dalam inverter, amplitudo gelombang harmonisa hasil pengaturan akan disesuaikan dengan menggunakan limiter.

Pada inverter terdapat kapasitor yang dipasang parallel dengan sumber tegangan DC yang berfungsi untuk menghasilkan *output* yang stabil. [2]. *Output* inverter ditentukan juga oleh kecepatan pensaklaran dan kemampuan dari komponen elektronika. Komponen elektronika yang digunakan dalam inverter saat ini adalah IGBT, GTO atau transistor power. Komponen tersebut mempunyai keunggulan masing-masing tergantung dengan kebutuhan.

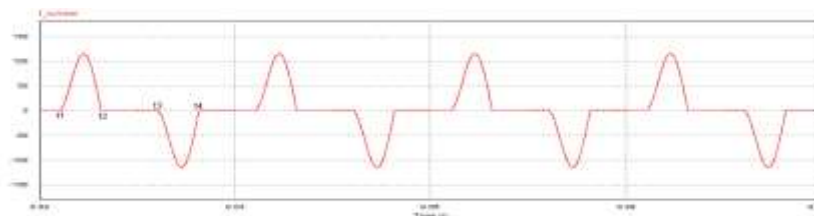
Salah satu metode yang paling umum untuk mereduksi harmonisa di industri adalah dengan menggunakan teknik filter pasif *single-tuned* atau *band-pass* filter. Filter pasif *single-tuned* dapat dirancang sebagai elemen tunggal-tertala yang menyediakan jalur impedansi yang rendah untuk meloloskan arus harmonisa pada frekuensi tertala [3]. Digunakannya rangkaian filter pasif bertujuan untuk merencanakan keluaran gelombang dari inverter.

METODE



Gambar 3. Model Desain Sumber Harmonisa

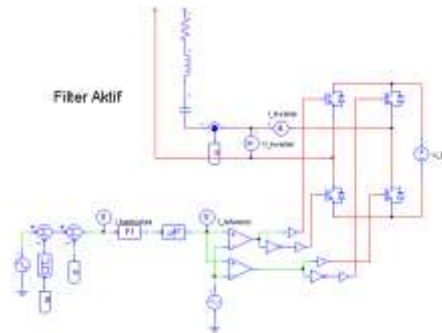
Gambar 3 memperlihatkan perancangan simulasi sumber harmonisa dengan menggunakan PSIM. Dipilihannya penyearah tipe jembatan karena umumnya beban di Gedung Direktorat TIK UPI memerlukan arus searah sehingga di dalam peralatan beban tersebut sudah terpasang penyearah. Dengan asumsi ini maka dipilihnya penyearah tipe jembatan yang digunakan dalam simulasi dianggap telah mewakili kelakuan dari beban di Gedung Direktorat TIK UPI.



Gambar 4. Simulasi arus akibat harmonisa

Dari gambar 4 dapat dijelaskan bahwa arus sumber yang seharusnya berbentuk sinusoidal murni tetapi akibat penggunaan penyearah maka timbulah harmonisa sehingga gelombang arus tersebut mengalami distorsi.

Gambar 5 memperlihatkan hasil perancangan filter aktif. Dengan menentukan nilai pada rangkaian kontrol filter aktif di atas yang di tuliskan dalam tabel 6. Alur kerja filter aktif terlihat pada gambar 6.



Gambar 5. Analisa dan desain filter aktif satu fasa

Tabel 1. *Setting* nilai parameter kontrol filter aktif

| Parameter | Simbol | Nilai | Satuan |
|------------------------|--------|--------|--------|
| DC Link Voltage | Vdc | 412 | Volt |
| Band Pass Filter | Fc | 50 | Hz |
| Passing Band | Fb | 10000 | Hz |
| Sinusoidal Voltage | Vac | 55 | Volt |
| Konstanta Proporsional | Kp | 0.18 | - |
| Konstanta Integral | Ti | 2.25 | T |
| R | R | 0.1 | - |
| L | L | 825uH | H |
| C | C | 1000uF | F |
| Modulation Index | Mi | 1 | - |

Diagram alir tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut ;

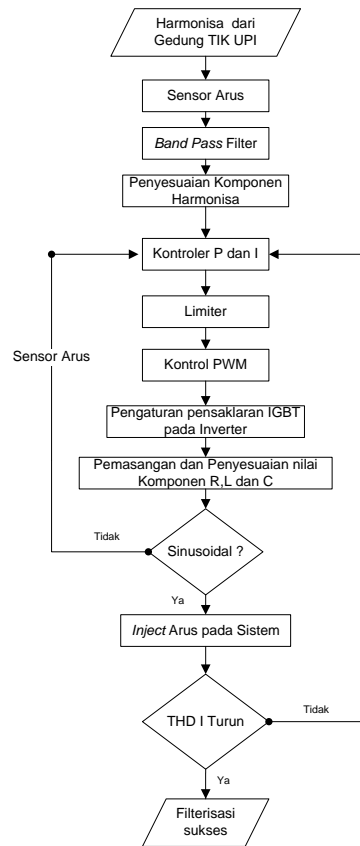
1. Arus harmonisa $i(t)$ pada sistem termasuk arus fundamental dideteksi menggunakan sensor arus.
2. Dari sensor arus kemudian arus harmonisa tersebut diolah dengan *band pass* filter untuk ditetapkan batas orde harmonisa yang akan direduksi.

$$i(\text{band pass}) = i(t) \left(\frac{kBs}{s^2 + Bs + \omega_0^2} \right) \quad (\text{Sumber ; PSIM versi 9.0.3})$$

3. Karena arus keluaran dari *band pass* filter masih mengandung komponen fundamental. maka tahap selanjutnya adalah menghilangkan komponen fundamental tersebut dengan cara dikurangkan dengan arus referensi. Sehingga hasil keluaran merupakan komponen harmonisanya saja.

$$i_{ref} = i_1 - i(\text{band pass}) = i_1 - i(t) \left(\frac{kBs}{s^2 + Bs + \omega_0^2} \right)$$

4. Pengaturan nilai kontroler P dan I akan memperbaiki amplitudo dari i_{ref} .
5. Sebelum masuk ke komparator sinyal i_{ref} akan dibatasi dengan menggunakan limiter.
6. Input bagi komparator adalah dengan diaktifkannya SPWM. Cara kerjanya adalah dengan membandingkan arus i_{ref} terhadap sinyal *carrier* dan selanjutnya baru masuk ke dalam komparator .
7. Perbandingan magnitudo (indeks modulasi $\frac{i_{ref}}{i_c}$) akan menentukan tegangan keluaran dari inverter. Sedangkan perbandingan frekuensi i_{ref} terhadap *carrier* menentukan harmonisa yang akan dihasilkan.



Gambar 6. Alur Kerja Filter Aktif

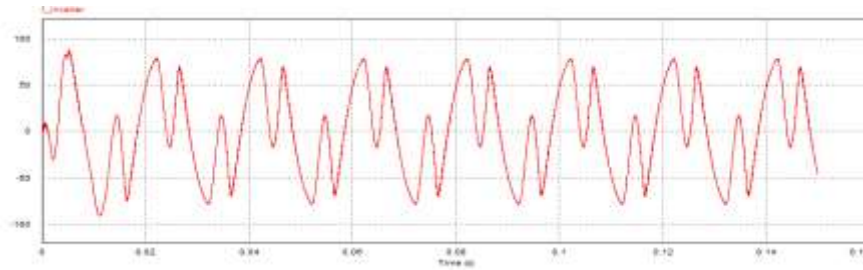
8. Sinyal keluaran dari komparator akan menjadi sinyal masukan bagi gerbang IGBT. Dengan kombinasi pensaklaran IGBT maka akan dihasilkan *output* pada inverter.
9. *Output* dari inverter ini akan di *feedback* terlebih dahulu melalui sensor arus yang kemudian dimasukkan sebelum kontroler P dan I untuk kembali diatur sehingga dihasilkan sinyal referensi berbentuk sinus.
10. Dengan dihasilkannya sinyal yang lebih baik maka inverter VSI dengan *kontrol* SPWM akan menginjeksikan arus ke dalam sistem. Sebelum diinjeksikan, pada keluaran inverter dipasang komponen R, L dan C yang berfungsi menyesuaikan nilai THD I.
11. Arus yang diinjeksikan ke dalam sistem mengandung harmonisa yang berlawanan dengan nilai THD I yang hampir sama.
12. Jika nilai THD I pada sistem telah mengalami penurunan dan sesuai dengan standar IEEE maka desain model filter aktif berhasil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

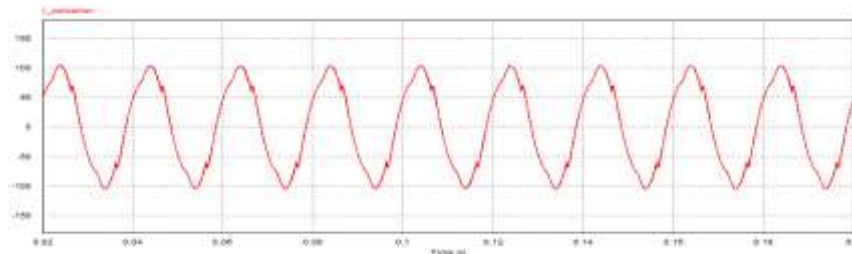
Gambar 7, 8, dan 9 memperlihatkan hasil arus keluaran dari filter aktif dan arus perbaikan sistem setelah pemasangan filter aktif. Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa harmonisa orde 3,5,7,9 dst hampir hilang diakibatkan oleh injeksi arus lawan dari filter aktif. Sedangkan untuk komponen fundamental mengalami peningkatan hingga dua kali lipat, hal ini disebabkan oleh penambahan arus fundamental dari filter aktif. Berikut tabel hasil perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan filter aktif.

Tabel 2. Perbandingan harmonisa sebelum dan sesudah pemasangan filter aktif

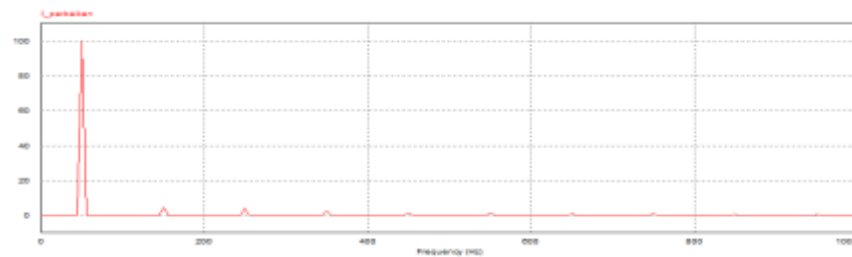
| Kondisi | THD I |
|---|-------|
| Harmonisa Sebelum dipasang Filter Aktif | 84% |
| Harmonisa dari Filter Aktif | 114% |
| Harmonisa Setelah Dipasang Filter Aktif | 5.12% |



Gambar 7. Bentuk gelombang arus output inverter



Gambar 8. Gelombang setelah pemasangan filter aktif



Gambar 9. Spektrum frekuensi sistem setelah pemasangan filter aktif

KESIMPULAN

1. Karakteristik harmonisa yang terjadi di gedung TIK UPI yang diakibatkan oleh penggunaan beban non linear seperti lampu TL dan komputer memiliki harmonisa dominan pada orde 3,5,7,9,11,13,15,17,19 dan yang terbesar berada pada orde 3. Total distorsi harmonisa yang terjadi pada gedung Direktorat TIK UPI sebesar 84 %. Nilai THD I ini sangat tinggi dan melebihi batas standar yang ditentukan oleh IEEE 1992-519.
2. Desain filter aktif yang sesuai untuk mereduksi harmonisa di gedung TIK UPI adalah menggunakan filter aktif dengan kontrol SPWM, pengendali proporsional (K) dengan nilai K_p 0.18 dan Integral (I) dengan nilai T_i 2.25 serta dipilihnya pemakaian IGBT sebagai komponen pensaklaran.
3. Hasil filterisasi yang dilakukan oleh filter aktif dianggap cukup berhasil karena nilai THD I akhir setelah dipasang filter mencapai 5.12 % . Jika dibandingkan dengan nilai THD I sebelum dipasang

filter yaitu 84% nilai THD I setelah pemasangan filter aktif jauh lebih baik. Walaupun demikian hasil ini belum mencapai standar yang ditetapkan oleh IEEE 1992-519 yaitu dibawah 5 %. Hal ini terjadi salah satunya karena harmonisa arus mula-mula di gedung Direktorat TIK UPI memiliki nilai yang sangat besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Odinanto, T., Winardi, S., Hadi Saputra, K.(2013). Perencanaan Filter Aktif Tiga Fasa Menggunakan Kontrol Propotional Integral Derivative (PID) Untuk Mereduksi Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik. Tersedia:jurnal.itats.ac.id/wp-content/uploads/2013/.../FILTER-AKTIF-3-Fasa.pdf. [diakses: 3 Maret 2014].
- [2]. Liahng Jou, H, Chang Wu, J, Der Wu, K, Hung Li, C, Pin Hsu, W. (2008). Novel configuration for three-phase hybrid power filter. Electric Power Sistem Research, 78, hlm. 1153-1160
- [3]. C De La Rosa, F .(2006). Harmonics and Power Systems. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Lampiran : Data Pengukuran Harmonisa Arus

| Pukul 11.00 | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Fasa | R | S | T |
| I _{eff} (A) | 1.89 | 1.87 | 1.87 |
| V _{eff} (V) | 223.9 | 221.9 | 225.1 |
| f (Hz) | 50 | 50 | 50.1 |
| I _m | 2.65 | 2.63 | 2.63 |
| P (Kw) | 0.127 | 0.136 | 0.269 |
| S (KVA) | 0.423 | 0.414 | 0.420 |
| PF | 0.301 lead | 0.329 lag | 0.641 lead |
| Hrn ke- | I _R (%) | I _S (%) | I _T (%) |
| 1 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 0.7 | 1.3 | 0.8 |
| 3 | 87.7 | 87.2 | 87.4 |
| 4 | 1 | 1.1 | 1.1 |
| 5 | 66.9 | 66.7 | 67.1 |
| 6 | 0.9 | 0.8 | 1.1 |
| 7 | 40.3 | 40 | 40.5 |
| 8 | 0.6 | 0.6 | 0.9 |
| 9 | 17.3 | 16.8 | 17.3 |
| 10 | 0.3 | 0.3 | 0.4 |
| 11 | 2.6 | 2.1 | 2.1 |
| 12 | 0.2 | 0.2 | 0 |
| 13 | 8.5 | 9.1 | 8.8 |
| 14 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| 15 | 9.5 | 9.9 | 10.1 |
| 16 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| 17 | 6.2 | 6.3 | 6.7 |
| 18 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 19 | 2.5 | 2.6 | 2.4 |
| 20 | 0.1 | 0 | 0 |

| Pukul 11.30 | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Fasa | R | S | T |
| I _{eff} (A) | 1.86 | 1.87 | 1.89 |
| V _{eff} (V) | 223.8 | 222.8 | 227.1 |
| I _m | 2.61 | 2.63 | 2.65 |
| f (Hz) | 50 | 50 | 50.1 |
| P (Kw) | 0.127 | 0.137 | 0.271 |
| S (KVA) | 0.416 | 0.416 | 0.429 |
| PF | 0.307 lag | 0.330 lag | 0.633 lead |
| Hrn ke- | I _R (%) | I _S (%) | I _T (%) |
| 1 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 1.4 | 1.1 | 1.3 |
| 3 | 86.9 | 87.4 | 87.4 |
| 4 | 0.8 | 1.8 | 1.9 |
| 5 | 66.2 | 67.4 | 67 |
| 6 | 0.5 | 1.7 | 1.9 |
| 7 | 39.3 | 41.3 | 40.6 |
| 8 | 0.2 | 1.3 | 1.4 |
| 9 | 16.3 | 18.3 | 17.7 |
| 10 | 0.4 | 0.5 | 0.4 |
| 11 | 2 | 2.4 | 2.2 |
| 12 | 0.4 | 0.3 | 0.4 |
| 13 | 8.7 | 7.7 | 8.1 |
| 14 | 0.4 | 0.5 | 0.8 |
| 15 | 9.3 | 9.3 | 9.4 |
| 16 | 0.2 | 0.6 | 0.6 |
| 17 | 5.8 | 6.4 | 6.3 |
| 18 | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| 19 | 2.4 | 2.6 | 2.7 |
| 20 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |

| Pukul 12.00 | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Fasa | R | S | T |
| I _{eff} (A) | 1.86 | 1.86 | 1.85 |
| V _{eff} (V) | 228.1 | 227.4 | 232.7 |
| I _m | 2.61 | 2.61 | 2.59 |
| f (Hz) | 50.1 | 50.2 | 50.2 |
| P (Kw) | 0.126 | 0.145 | 0.271 |
| S (KVA) | 0.424 | 0.422 | 0.430 |
| PF | 0.29 lead | 0.345 lag | 0.631 lead |
| Hrn ke- | I _R (%) | I _S (%) | I _T (%) |
| 1 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 0.6 | 1.4 | 0.4 |
| 3 | 87.5 | 87.5 | 87.1 |
| 4 | 0.5 | 0.9 | 0.4 |
| 5 | 67.4 | 67.7 | 66.9 |
| 6 | 0.4 | 0.5 | 0.2 |
| 7 | 40.9 | 41.3 | 40.2 |
| 8 | 0.3 | 0 | 0.2 |
| 9 | 17.9 | 18.3 | 17.2 |
| 10 | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| 11 | 2.3 | 2.6 | 2.2 |
| 12 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| 13 | 8.4 | 8.2 | 8.6 |
| 14 | 0 | 0.3 | 0.1 |
| 15 | 10 | 10 | 9.8 |
| 16 | 0.2 | 0.2 | 0 |
| 17 | 6.9 | 6.9 | 6.4 |
| 18 | 0.2 | 0.4 | 0 |
| 19 | 3 | 2.8 | 2.5 |
| 20 | 0.1 | 0.2 | 0 |

| Fasa | R | S | T |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| I _{eff} (A) | 2.05 | 2.07 | 2.07 |
| V _{eff} (V) | 228.4 | 226.3 | 230.3 |
| I _m | 2.87 | 2.91 | 2.9 |
| f (Hz) | 50 | 50.1 | 50.2 |
| P (Kw) | 0.140 | 0.163 | 0.304 |
| S (KVA) | 0.468 | 0.468 | 0.476 |
| PF | 0.301 lag | 0.349 lag | 0.639 lead |
| Hrn ke- | I _R (%) | I _S (%) | I _T (%) |
| 1 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 1.2 | 2.1 | 1 |
| 3 | 86.9 | 86.4 | 86.5 |
| 4 | 1.9 | 1.8 | 0.9 |
| 5 | 65.8 | 1.22 | 65.3 |
| 6 | 1.8 | 1.4 | 0.7 |
| 7 | 38.9 | 37 | 38.1 |
| 8 | 1.3 | 0.8 | 0.3 |
| 9 | 15.9 | 13.6 | 15.3 |
| 10 | 0.6 | 0.4 | 0.3 |
| 11 | 1.9 | 2.5 | 1.9 |
| 12 | 0.5 | 0.6 | 0.4 |
| 13 | 8.7 | 10.4 | 8.6 |
| 14 | 0.8 | 0.8 | 0.5 |
| 15 | 9.3 | 10.7 | 9 |
| 16 | 0.9 | 0.6 | 0.3 |
| 17 | 5.8 | 6.5 | 5.5 |
| 18 | 0.4 | 0.3 | 0 |
| 19 | 2.6 | 2 | 2.9 |
| 20 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |