

PENGGUNAAN MOTOR LISTRIK 3 PHASA SEBAGAI GENERATOR LISTRIK 1 PHASA PADA PEMBANGKIT LISTRIK BERDAYA KECIL

Arwadi Sinuraya*)

Abstrak

Pembangunan pembangkit listrik dengan daya antara 1kW – 10 kW banyak dilaksanakan di daerah-daerah yang jauh dari jaringan distribusi listrik PLN dengan biaya yang terbatas. Pembangkit listrik dengan kapasitas daya seperti ini biasanya mempunyai karakter beban satu phasa, yaitu lebih banyak digunakan untuk jenis beban lampu penerangan. Harga generator satu phasa yang relatif mahal, sering menjadi kendala dalam pembangunannya. Penggunaan motor listrik tiga phasa yang banyak ditemukan di pasaran Indonesia dengan harga lebih murah dibandingkan dengan harga generator satu phasa, ternyata bisa menggantikan fungsi generator satu phasa. Dengan menggunakan perangkat pengatur elektronik dan ballast load pada sistem pengaturannya, dapat diperoleh tegangan keluaran dan frekuensi yang konstan.

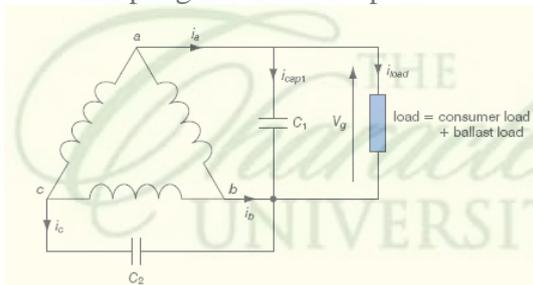
Kata kunci: Motor tiga phasa, Generator satu phasa, Ballast Load, Perangkat Pengatur Elektronik

Pendahuluan

Motor listrik tiga phasa atau sering disebut dinamo tiga phasa di pasaran, bisa digunakan menjadi generator listrik satu phasa. Metode ini sering digunakan di pembangkit listrik tenaga air berskala piko hidro karena selain motor listrik jenis ini banyak tersedia di pasar sehingga lebih murah harganya, biaya distribusi listrik yang dibangkitkannya juga relatif murah. Untuk tetap meminimalkan biaya modal pembangkitan maka digunakanlah teknik pengaturan frekuensi dan tegangan karena pengaturan kecepatan rotor

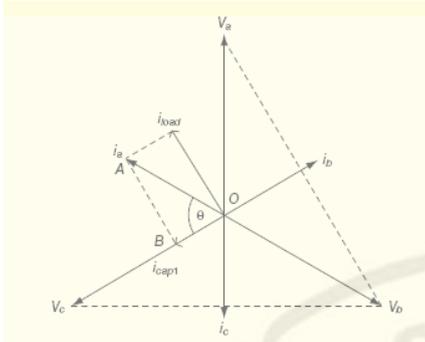
generator untuk mendapatkan tegangan dan frekuensi yang konstan, saat ini masih berbiaya tinggi. Teknik pengaturan tegangan seperti ini memerlukan perangkat yang disebut *ballast load*. *Ballast load* adalah suatu perangkat yang bersifat variabel resistif murni, sehingga jika ada kelebihan daya yang dibangkitkan, maka akan disalurkan atau dibuang kepada *ballast load*. *Ballast load* akan dirangkaikan parallel dengan beban konsumen.

Detail rangkaian sistem yang digunakan dalam pembangkitan listrik jenis ini dilihat pada gambar 1, 2 dan 3.

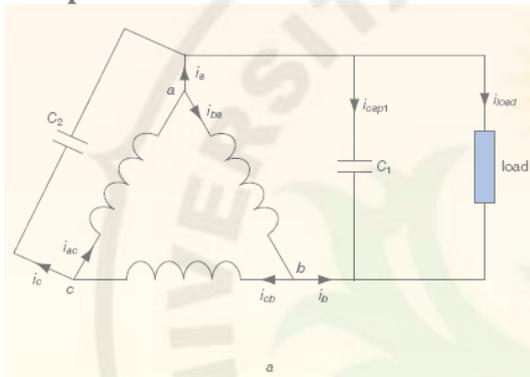


Gambar 1 Rangkaian ekivalen motor tiga phasa yang digunakan menjadi generator satu phasa

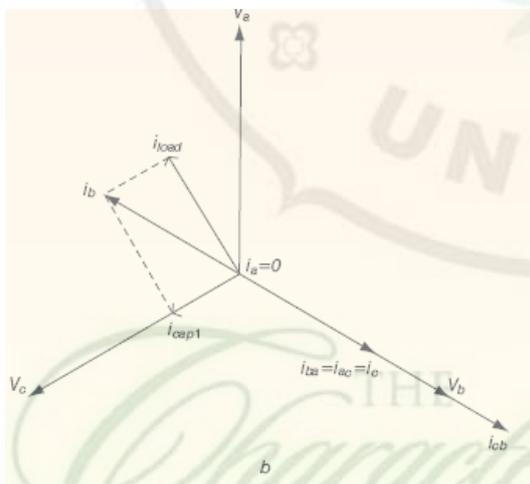
*)Arwadi Sinuraya,ST.,MT adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro FT Unimed



Gambar 2. Diagram phasor hubungan satu fasa



Gambar 3a. Rangkaian C_2 yang terhubung salah



Gambar 3b. Diagram phasor dari rangkaian C_2 yang terhubung salah

Metode Penelitian

Sebuah motor tiga fasa dapat digunakan menjadi generator satu fasa, yang menghasilkan daya keluaran kira-kira 80% dari rating motor tiga fasa tersebut, dengan menghubungkan 2 (dua)

buah kapasitor, seperti yang terdapat pada gambar 1. Untuk menganalisa rangkaian yang terdapat pada gambar 1, kita mengasumsikan beban sudah terhubung dengan generator. Dimana beban tersebut adalah total penjumlahan dari beban pelanggan dan *ballast load* dimana beban tersebut bersifat konstan dan bersifat resistif. Asumsi ini mendekati kenyataan karena beban listrik dapat diseragamkan hanya lampu-lampu pijar saja. Dari gambar 1,

$$\vec{i}_a = \vec{i}_{load} + \vec{i}_{cap1} \tag{1}$$

$$\vec{i}_b = -(\vec{i}_a + \vec{i}_c) \tag{2}$$

Dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) dan dengan mengasumsikan bahwa generator beroperasi sebagaimana sebuah mesin tiga fasa yang setimbang, maka diagram phasornya dapat digambarkan seperti pada gambar 2.

Kapasitor C_2 dihubungkan dengan fasa b dan fasa c, i_c tegak lurus dengan vector tegangan V_{bc} . Guna mendapatkan operasi setimbang, 2 (dua) kondisi sebagai berikut harus di penuhi, yaitu:

$$\Theta = 60^\circ \text{ dan } \vec{i}_c = \vec{i}_a \tag{3}$$

Ketika kedua kondisi tersebut di atas telah dipenuhi, contohnya, $\vec{i}_a = I \angle 0^\circ$ dan $\vec{i}_c = I \angle -240^\circ$, maka dari persamaan (2), $\vec{i}_b = I \angle -120^\circ$ (dimana I adalah nilai rms dari arus tiga fasa keadaan setimbang).

Kondisi operasi setimbang dapat dinyatakan dalam bentuk arus seperti pada persamaan (4) dan (5). Turunan dari persamaan-persamaan ini dapat dilihat pada lampiran.

$$\vec{i}_c = 2 \vec{i}_{cap1} \tag{4}$$

$$\vec{i}_{load} = \sqrt{3} \vec{i}_{cap1} \tag{5}$$

Itulah sebabnya untuk mendapatkan operasi setimbang pada motor tiga fasa, besar kapasitor C_1 harus dipilih sesuai dengan persamaan (5) dan juga seperti pada persamaan (4), kapasitor C_2 harus sama dengan $2 C_1$.

Ketika sebuah motor tiga fasa hendak digunakan dengan cara seperti ini, kita harus memperhatikan rangkaian penempatan kapasitor C_2 seperti yang telah dijelaskan di atas. Kapasitor C_2 harus dihubungkan diantara fasa a dan fasa c, dan bukan diantara fasa c dan fasa b. Jika Kapasitor C_2 dihubungkan diantara fasa c dan fasa b, seperti pada gambar 3a, maka resultan diagram fhasornya akan seperti yang terdapat pada gambar 3b. Dalam gambar 3b, dapat kita lihat arus yang mengalir dalam salah satu belitan fasa generator induksi 3 fasa tersebut, besarnya akan menjadi dua kali lebih besar dari besaran arus pada belitan lainnya. Sehingga generator induksi tersebut akan beropersai pada keadaan tidak setimbang. Kemudian, dalam kondisi tidak setimbang ini maka belitan-belitan ini akan menjadi panas. Oleh karena itu penempatan C_2 dalam rangkaian menjadi suatu hal yang sangat menentukan.

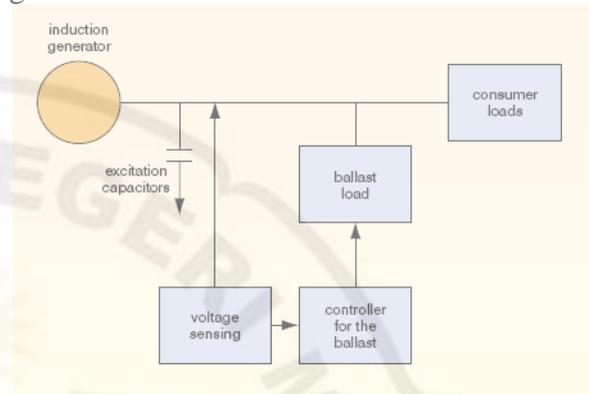


Gambar 4. Gambar motor 3 fasa yang digunakan menjadi generator satu fasa

Hasil dan Pembahasan

Dalam sistem pembangkitan listrik tenaga air skala kecil, turbin yang digunakan bergantung pada debit air (liter/detik) dan tinggi jatuh air (meter). Debit air yang masuk ke dalam turbin sulit diatur besar kecilnya untuk mendapatkan putaran rotor generator yang konstan pada saat beban konsumen

yang berubah-ubah. Pembangkit listrik tenaga air berskala kecil ini dapat digambarkan skemanya seperti pada gambar.4.

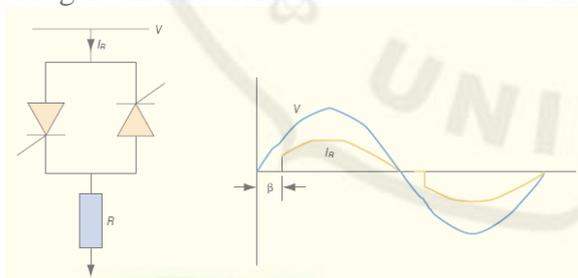


Gambar 5. Diagram blok rangkaian pengatur tegangan generator menggunakan ballast load

Pintu air pada pembangkit ini, di operasikan secara manual dan cenderung konstan, sehingga jika beban generator berubah-ubah maka tegangan dan frekuensi juga akan berubah-ubah. Jika beban generator sangat kecil maka kecepatan rotor generator dapat berubah menjadi tinggi sekali. Kecepatan rotor generator yang tinggi akan mengakibatkan frekuensi yang tinggi juga. Agar tegangan dan frekuensi selalu berada pada batas ratingnya, digunakanlah teknik pengaturan dengan menggunakan ballast load. Ballast load adalah sebuah perangkat yang tahanannya dapat berubah-ubah (variable resistor) Ballast load akan dihubungkan parallel dengan beban kostumer. Dengan demikian dapat dilihat pada gambar 5, total beban generator adalah penjumlahan tahanan ballast load dan tahanan beban pelanggan. Jika beban pelanggan berubah menjadi kecil maka arus yang berlebih tersebut akan dibuang ke ballast load, sehingga akan didapatkan beban generator yang konstan. Karena tegangan output generator harus dijaga konstan maka ditempatkanlah sebuah sensor yang berfungsi untuk merasakan perubahan

tegangannya. Jika sensor merasakan adanya perubahan tegangan, maka sensor akan mengirim sinyal ke perangkat pengatur tahanan ballast load untuk mengubah besaran tahanan ballast load.

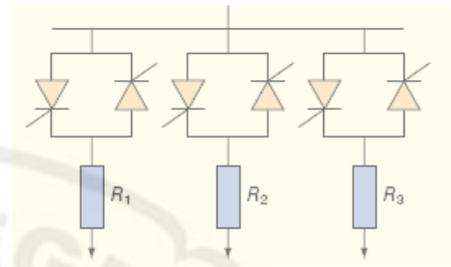
Ballast load bisa dirangkai dengan beragam konfigurasi. Salah satu konfigurasi yang optimum digunakan adalah seperti pada gambar 6. Konfigurasi ini menggunakan resistor dengan dua thyristor anti parallel. Thyristor ini berfungsi untuk merubah-ubah besar tahanan ballast load. Dengan merubah-ubah sudut tembak β , maka nilai arus dasar yang masuk ke dalam rangkaian resistor-thyristor dapat diatur. Ketika $\beta = 0^\circ$, arus akan mengalir penuh ke dalam rangkaian resistor-thyristor sehingga memberikan nilai beban yang maksimum. Ketika $\beta = 180^\circ$ maka arus yang mengalir pada rangkaian resistor-thyristor akan nol. Untuk nilai β berada pada antara $0 - 180$ maka arus yang mengalir pada rangkaian resistor-thyristor akan bervariasi diantara maksimum dan nol, sehingga berfungsi sebagai variable resistor.



Gambar 6 Teknik pengaturan fase thyristor untuk mengatur ballast load.

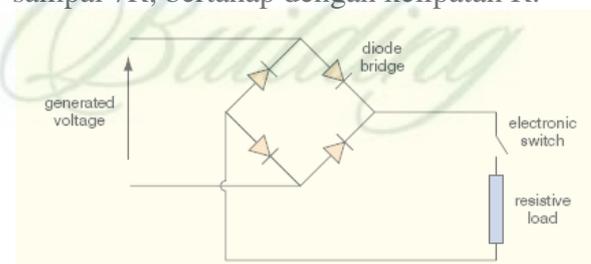
Ketika β bertambah besar, factor pemindahan (*displacement factor*) dari rangkaian resistor-thyristor juga bertambah besar, sehingga menyerap daya reaktif. Pada kondisi seperti ini, rangkaian resistor-thyristor menarik arus reaktif dari kapasitor eksitasi sehingga mengurangi kapasitansi efektif yang tersedia untuk mencatu arus magnetisasi ke dalam generator. Hal

ini akan menyebabkan pengurangan penguatan tegangan di generator.



Gambar 7 Rangkaian switched menggunakan beberapa thyristor untuk mengatur ballast load.

Sebuah rangkaian lainnya, yang tidak mengakibatkan penyerapan arus pemindahan (*displacement current*) menggunakan beberapa resistor dengan skema thyristor switched. Skema diagram rangkaiannya dapat dilihat di gambar 7. Pada rangkaian ini, sepasang *back-to-back thyristor* dioperasikan baik untuk menutupa maupun membuka. Sehingga beban bisa menjadi variabel dengan mengatur jumlah parallel rangkaian resistor-thyristor dimana semuanya pada kondisi *on*. Dengan demikian, dapat diperoleh perubahan beban bertahap yang halus. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari rangkaian seperti gambar 7, resistor-resistor dapat dipilih mengikuti urutan biner. Jika $R_1 = R$, $R_2 = 2R$ dan $R_3 = 3R$ maka beban dapat bervariasi dari 0 sampai $7R$, bertahap dengan kelipatan R .



Gambar 8 Rangkaian jembatan dioda untuk mendapatkan high-frequency ballast

Seperti yang telah dijelaskan di atas,

rangkaian dasar thyristor memiliki beberapa kelemahan. Rangkaian yang menunjukkan variasi *ballast load* dengan faktor daya per unit ditunjukkan pada gambar 8. Pada rangkaian ini, *switch* elektronik dibutuhkan untuk mengoperasikan frekuensi tinggi sehingga memotong penyearah tegangan. Tahanan efektif *ballast load* dapat diubah-ubah dengan mengatur ratio perbandingan *switch* elektronik tersebut. Gambar 9 menunjukkan tegangan pada *ballast load* dan arus yang ketika beban konsumen hanya 50% dari rating beban mesin. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 9 pada waktu induksi dibangkitkan dalam generator, arus yang dihasilkan generator hampir membentuk sinusoidal dengan komponen riak *super-imposed high frequency*.



Gambar 9. Gambar tegangan pada ballast load dan arus pada ballast load frekuensi tinggi dengan beban 50% dari rating daya mesin

Switch elektronik yang bisa digunakan dalam perangkat pengatur elektronik

dapat berupa perangkat transistor, perangkat MOSFET ataupun perangkat IGBT. Kebanyakan perangkat sekarang menggunakan perangkat IGBT. Namun perangkat IGBT harus memperhatikan khusus masalah kejutan puncak yang dihasilkan pada saat *switching transient* yang dapat dengan mudah merusak perangkat IGBT itu sendiri.

Penentuan Besar Kapasitansi Kapasitor C_1 dan C_2

Prosedur merancang Perangkat Pengatur Tegangan Keluaran Motor Tiga Fasa yang digunakan sebagai Generator Satu Fasa dijelaskan secara detail pada referensi 1 dan 2. Komponen utama untuk dapat mengoperasikan Motor Tiga Fasa sebagai Generator Satu Fasa adalah kapasitor C_1 dan kapasitor C_2 . Besar nilai C_1 dan C_2 dimana $C_2 = 2C_1$, menentukan besar daya output generator dan besar tegangan terminal generator.

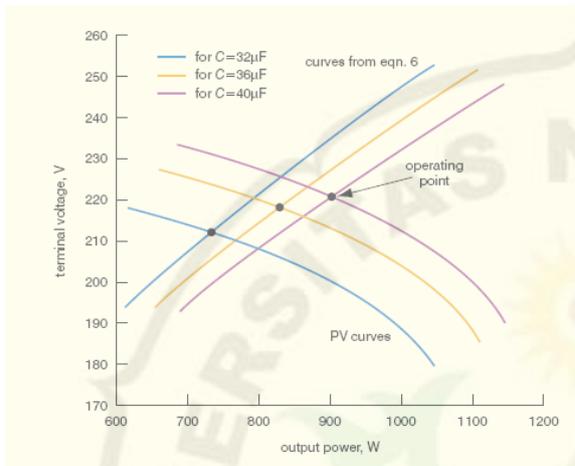


Gambar 10. perangkat pengatur tegangan generator dengan menggunakan ballast load

Dari persamaan 5, untuk dapat mengoperasikan Motor Tiga Fasa menjadi Generator Satu Fasa dengan kondisi setimbang maksimum, Daya output generator dan nilai kapasitor C_1 yang dihubungkan dengan beban, harus mengikuti persamaan :

$$\text{Daya Generator} = V_g i_{load}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{3} V_g i_{\text{kapasitor}} \\
 &= \sqrt{3} V_2 \omega C_1
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

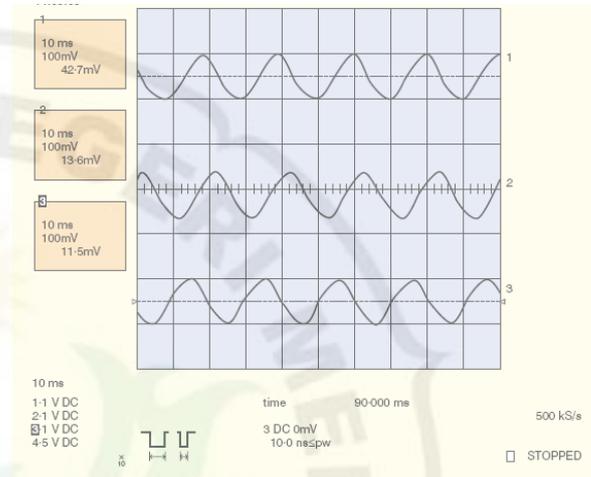


Gambar 11 Karakteristik Daya dengan tegangan terminal (PV) untuk nilai C_1 yang berbeda-beda.

Dalam kondisi yang diberikan oleh persamaan 6, dapat kita asumsikan Motor Tiga Fasa beroperasi mendekati kondisi setimbang. Oleh karena itu, karakteristik tegangan terminal generator akan memberikan karakteristik kurva PV untuk nilai-nilai kapasitor yang digunakan dalam rangkaian. Kurva PV juga menggambarkan reaktansi magnet saturasi dari generator. Dalam membentuk kurva PV, nilai beban dan besar kecepatan putar rotor generator sangat mempengaruhi. Perpotongan garis karakteristik tegangan terminal dengan garis karakteristik yang diperoleh dengan menggunakan persamaan 6, memberikan titik operasi generator yang memenuhi rangkaian ekuivalen setimbang dan persamaan 6.

Metode perancangan seperti ini telah digunakan pada pembangkit listrik tenaga air skala kecil kapasitas 1,1 kW, tegangan 240V dan frekuensi 50 Hz. Gambar 11 menunjukkan grafik kurva PV dan grafik kurva menggunakan persamaan 6 untuk beberapa nilai

kapasitor eksitasi (C_1) yang berbeda. Dapat dilihat dari gambar 11, jika nilai kapasitor eksitasi 40µF, maka generator menghasilkan daya sebesar 900 W (atau 82% dari rating output) pada tegangan 220 V.

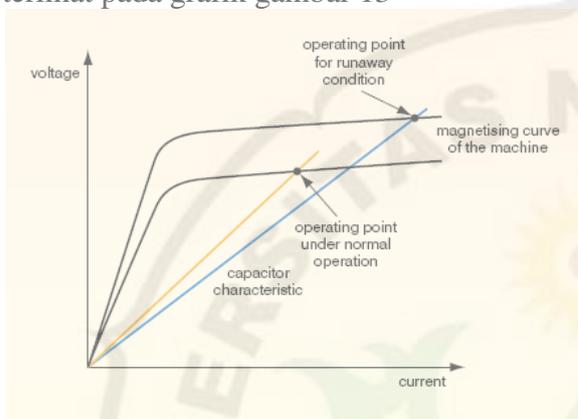


Gambar 12 Arus tiga phasa dari motor tiga phasa yang digunakan menjadi generator satu phasa.

Pengamanan Generator Dari Gangguan Tegangan Lebih Akibat Beban Yang Sangat Kecil Mendekati Kondisi Tak Berbeban

Pada keadaan beban yang sangat kecil atau hampir tidak ada beban, jika *ballast load* gagal maka hanya sedikit energi mekanik yang dikonversikan menjadi energi listrik yang digunakan beban. Karena kecepatan turbin tidak diatur dengan pengaturan debit air yang masuk ke turbin, maka jika kondisi ini terjadi maka rotor generator akan berputar dengan kecepatan yang tak berhingga dalam waktu yang singkat saja. Ketika rotor generator berputar dengan kecepatan yang tak berhingga maka energi listrik yang sangat besar ini diserap oleh gulungan generator dan akan menimbulkan panas yang dapat merusak isolasi gulungan rotor dan stator. Sehingga akan menimbulkan kerusakan hebat dalam generator itu. Kecepatan tak berhingga generator ini akan bergantung jenis turbin yang

digunakan. Untuk jenis turbin cross-flow, kecepatan tak berhingga ini berkisar 170% dari kecepatan optimum mesin. Dalam kondisi seperti ini, tegangan generator juga akan naik seperti yang terlihat pada grafik gambar 13



Gambar 13. Grafik tegangan terhadap arus pada generator

Tegangan yang timbul ini juga akan dapat merusak kapasitor eksitasi yang terhubung saat itu.

Untuk mengamankan kondisi yang tidak diinginkan ini, rangkaian pengatur tegangan generator ini juga dilengkapi dengan sistem proteksi tegangan lebih. Ketika lonjakan tegangan tiba-tiba terjadi maka sistem proteksi tegangan lebih, akan memutuskan terlebih dulu kapasitor eksitasi dari rangkaian sehingga tidak ada tegangan lagi yang timbul di terminal output generator.

Kesimpulan

Motor tiga fasa yang banyak beredar di pasaran, bisa digunakan menjadi generator satu fasa dengan menggunakan dua buah kapasitor yang terhubung pada fasa a, b dan c motor tersebut. Untuk mendapatkan kondisi setimbang maka harus diperhatikan besaran kapasitor-kapasitor yang digunakan.

Metode seperti ini telah banyak digunakan pada pembangkit-pembangkit listrik tenaga air berskala daya kecil di Indonesia untuk meminimalisir biaya

modal awal pembangunannya.

Lampiran :

Dari segitiga OAB pada gambar 2, dengan menggunakan kondisi yang diberikan persamaan 3, dapat diperoleh hasil berikut :

$$\tan \theta = \frac{\overline{i_{load}}}{\overline{i_{cap1}}} = \sqrt{3} \quad (7)$$

$$\cos \theta = \frac{\overline{i_{cap1}}}{\overline{i_a}} = \frac{\overline{i_{cap1}}}{\overline{i_c}} = \frac{1}{2} \quad (8)$$

Daftar Pustaka

SMITH, N.P.A.: "Motors as generators for micro-hydro power", Intermediate Technology Development Group publication, 1994.

SMITH, N.P.A. : "Induction Generator for stand-alone micro-hydro sistem, Proceeding of the international Conference on Power Electronics, Drives and EnergiSistem for Industrial Growth, 1996,2,pp.669-673

<http://www.microhydropower.net/download/manuals.html>

WAGNER, C.F. : "Self excitation of induction motors", AIEE transaction, 1939,58,pp. 77-51