

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KECEPATAN, KAPASITANSI DAN BEBAN PADA GENERATOR INDUKSI SATU FASA DENGAN MODEL RANGKAIAN EKIVALEN TIPE Γ

Amir Hamzah

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293
amir_hzh@unri.ac.id

Abstrak

Pada tulisan ini dilakukan analisis dan pemodelan generator induksi satu fasa penguatan sendiri. Analisis dilakukan dengan memasukkan pengaruh kejenuhan inti. Untuk bisa melakukan analisis yang akurat dibutuhkan rangkaian ekivalen yang akurat juga. Pada tulisan ini diturunkan rangkaian ekivalen bentuk Γ . Rangkaian ekivalen ini lebih sederhana dan dalam menentukan parameternya tidak membutuhkan asumsi reaktansi bocor stator sama dengan reaktansi bocor rotor. Sehingga penentuan parameter dapat dilakukan lebih teliti dan memperoleh karakteristik kejenuhan inti yang mendekati keadaan sebenarnya. Analisis transient terhadap proses eksitasi sendiri, perubahan beban, dan perubahan kecepatan terhadap kinerja tegangan generator induksi satu fasa dilakukan dalam tulisan ini. Beberapa hasil eksperimen ditunjukkan untuk memverifikasi analisis. Tegangan puncak generator induksi pada kecepatan 1700 rpm adalah 394 V dan pada kecepatan 1600 rpm adalah 308 V. Tegangan puncak pada beban nol adalah 394 V dan pada saat pembebanan adalah 340 V.

Keyword: Generator induksi satu fasa, Kejenuhan inti, Rangkaian ekivalen tipe Γ .

I. Pendahuluan

Generator induksi satu fasa sangat menguntungkan untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik, khususnya pada penggunaan dengan daya listrik rendah. Dengan menggunakan sumber daya energi mikrohidro dan angin sebagai penggerak mulanya yang merupakan energi ramah lingkungan. Pembangkit listrik ini dapat diterapkan di daerah-daerah terpencil dan terisolir. Kelebihan dari generator induksi satu fasa yaitu konstruksi sederhana, tidak membutuhkan sikat, andal, biaya dan perawatan rendah.

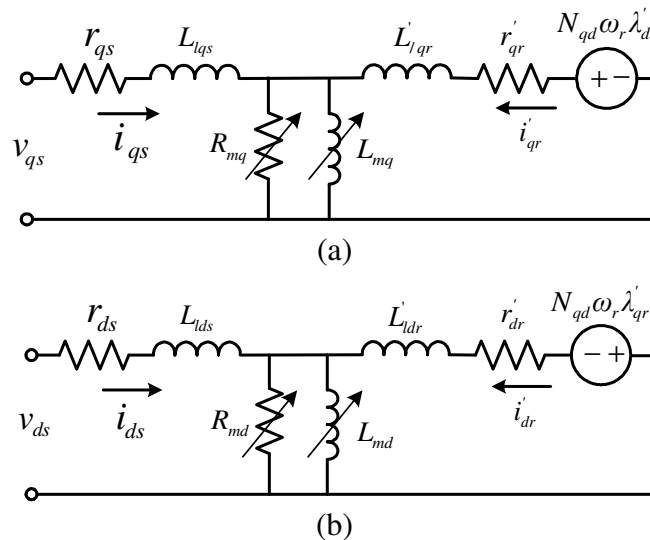
Untuk menganalisa generator induksi satu fasa, kita tidak dapat mengabaikan pengaruh kejenuhan inti. Representasi persamaan kejenuhan inti dalam persamaan model sangat penting dalam memprediksi kinerja, desain dan proses pembangkitan tegangan hingga kerja pada kondisi stabil dari generator induksi satu fasa. Untuk memperoleh persamaan kejenuhan inti ini, harus dilakukan dengan membuat model rangkaian ekivalennya. Selanjutnya dalam tulisan ini dibahas kinerja generator induksi terhadap pengaruh perubahan kecepatan dan beban.

Beberapa studi sebelumnya telah membahas kinerja generator induksi satu fasa kondisi transient dan mantap dengan menggunakan rangkaian ekivalen kerangka referensi d-q konvensional dengan memasukkan pengaruh kejenuhan inti dan rugi-rugi inti [1-3]. Dalam tulisan ini dilakukan penyederhanaan rangkaian ekivalen yang telah ada.

II. Tinjauan Pustaka

Rangkaian Ekivalen Mesin Induksi Satu Fasa

Rangkaian ekivalen mesin induksi satu fasa seperti terlihat pada gambar 1, umum digunakan dalam analisa kinerja mesin [8]. Dalam persamaan ini rugi-rugi inti diabaikan terlebih dulu. Rangkaian ekivalen q-d mesin induksi satu fasa ini bentuknya mirip huruf T, oleh karena itu sering disebut rangkaian ekivalen bentuk T. Rangkaian ekivalen ini adalah rangkaian yang umum digunakan dalam analisis mesin induksi satu fasa.



Gambar 1. Rangkaian ekivalen mesin induksi satu fasa bentuk T.
(a) sumbu q, (b) sumbu d.

Persamaan rangkaian mesin induksi satu fasa dapat ditulis sebagai fungsi induktansi sebagai berikut:

$$v_{qs} = r_{qs}i_{qs} + pL_{sq}i_{qs} + pL_{mq}i'_{qr} \quad (1)$$

$$v_{ds} = r_{ds}i_{ds} + pL_{sd}i_{ds} + pL_{md}i'_{dr} \quad (2)$$

$$0 = r'_{qr}i'_{qr} - N_{qd}\omega_r(L'_{rd}i'_{dr} + L_{md}i_{ds}) + pL'_{rq}i'_{qr} + pL_{mq}i_{qs} \quad (3)$$

$$0 = r'_{dr}i'_{dr} + N_{dq}\omega_r(L'_{rq}i'_{qr} + L_{mq}i_{qs}) + pL'_{rd}i'_{dr} + pL_{md}i_{ds} \quad (4)$$

dengan:

$$L_{sq} = L_{lqs} + L_{mq}$$

$$L_{sd} = L_{lds} + L_{md}$$

$$L'_{rq} = L'_{lqr} + L_{mq}$$

$$L'_{rd} = L'_{ldr} + L_{md}$$

Dari persamaan (1)-(4) dapat ditulis persamaan fluksi lingkup sebagai berikut:

$$\lambda_{qs} = L_{sq} i'_{qs} + L_{mq} i'_{qr} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = L_{sd} i'_{ds} + L_{md} i'_{dr} \quad (6)$$

$$\lambda'_{qr} = L'_{rq} i'_{qr} + L_{mq} i'_{qs} \quad (7)$$

$$\lambda'_{dr} = L'_{rd} i'_{dr} + L_{md} i'_{ds} \quad (8)$$

Daya rugi-rugi pada rotor q dan d dihitung sebagai berikut:

$$P_{qr} = i'^2_{qr} r'_{qr} \quad (9)$$

$$P_{dr} = i'^2_{dr} r'_{dr} \quad (10)$$

Dengan menggunakan persamaan daya ini akan dilakukan manipulasi persamaan dalam persamaan generator. Selama besaran yang terukur tidak berubah, yaitu besaran resistansi belitan utama dan bantu stator, maka kita dapat merubah besaran rotor dengan bebas. Untuk itu, didefinisikan besaran rotor baru sebagai berikut:

$$\lambda_{QR} = k_q \lambda_{qr} \quad (11)$$

$$\lambda_{DR} = k_d \lambda_{dr} \quad (12)$$

$$i'_{QR} = \frac{i'_{qr}}{k_q} \quad (13)$$

$$i'_{DR} = \frac{i'_{dr}}{k_d} \quad (14)$$

Dimana k_q dan k_d adalah konstanta sembarang. Dengan besaran rotor yang baru ini, daya tidak boleh berubah sehingga:

$$i'^2_{qr} r'_{qr} = i'^2_{QR} r'_{QR} \quad (15)$$

$$i'^2_{dr} r'_{dr} = i'^2_{DR} r'_{DR} \quad (16)$$

Dengan menggunakan besaran rotor yang baru, persamaan fluksi lingkup stator berubah menjadi:

$$\lambda_{qs} = L_{sq}i_{qs} + k_q L_{mq}i'_{QR} \quad (17)$$

$$\lambda_{ds} = L_{sd}i_{ds} + k_d L_{md}i'_{DR} \quad (18)$$

Dan persamaan fluksi lingkup rotor yang baru adalah:

$$\lambda'_{QR} = k_q L_{mq}i_{qs} + k_q^2 L'_{rq}i'_{QR} \quad (19)$$

$$\lambda'_{DR} = k_d L_{md}i_{ds} + k_d^2 L'_{rd}i'_{DR} \quad (20)$$

Dengan menggunakan persamaan (17)-(20), maka persamaan tegangan stator dan rotor generator induksi satu fasa dari persamaan (1)-(4) berubah menjadi seperti pada persamaan (21)-(24):

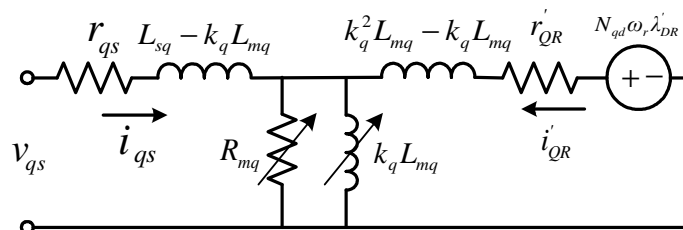
$$v_{qs} = r_{qs}i_{qs} + p(L_{sq} - k_q L_{mq})i_{qs} + pk_q L_{mq}(i_{qs} + i'_{QR}) \quad (21)$$

$$v_{ds} = r_{ds}i_{ds} + p(L_{sd} - k_d L_{md})i_{ds} + pk_d L_{md}(i_{ds} + i'_{DR}) \quad (22)$$

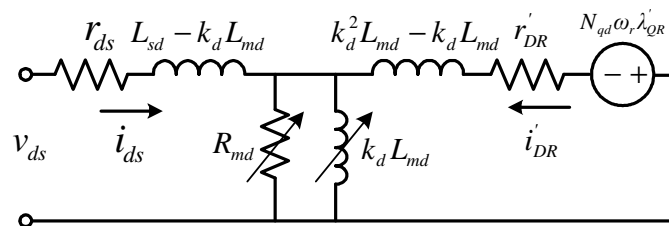
$$0 = r'_{QR}i'_{QR} - N_{qd}\omega_r \frac{k_q}{k_d} \lambda'_{DR} + p(k_q^2 L'_{rq} - k_q L_{mq})i'_{QR} + pk_q L_{mq}(i_{qs} + i'_{QR}) \quad (23)$$

$$0 = r'_{DR}i'_{DR} + N_{dq}\omega_r \frac{k_d}{k_q} \lambda'_{QR} + p(k_d^2 L'_{rd} - k_d L_{md})i'_{DR} + pk_d L_{md}(i_{ds} + i'_{DR}) \quad (24)$$

Dari persamaan (21)-(24), maka rangkaian ekivalen generator induksi satu fasa dapat digambarkan menjadi seperti gambar 2. Dari persamaan tersebut, akurasi yang didapat dengan menggunakan rangkaian ekivalen di gambar 2 adalah sama dengan yang didapat dengan menggunakan rangkaian ekivalen bentuk T di gambar 1.



(a)



(b)

Gambar 2. Rangkaian ekivalen mesin induksi satu fasa bentuk T (a) sumbu q, (b) sumbu d.

III. Metode Penelitian

Dari persamaan tegangan stator dan rotor, nilai k_q dan k_d bisa dipilih secara sembarang. Kalau dibuat nilai k_q dan k_d sama dengan satu maka persamaan akan kembali ke persamaan semula yaitu pada persamaan (1)-(4).

Nilai k_q dan k_d pada tulisan ini adalah sebagai berikut:

$$k_q = \frac{L_{sq}}{L_{mq}} \quad (25)$$

$$k_d = \frac{L_{sd}}{L_{md}} \quad (26)$$

Dengan nilai konstanta k_q dan k_d ini, maka persamaan (21)-(24) berubah menjadi:

$$v_{qs} = r_{qs}i_{qs} + p\lambda_{Mq} \quad (27)$$

$$v_{ds} = r_{ds}i_{ds} + p\lambda_{Md} \quad (28)$$

$$0 = r_{QR}'i_{QR}' - N_{qd}\omega_r \frac{k_q}{k_d} \lambda_{DR}' + p\lambda_{QR}' \quad (29)$$

$$0 = r_{DR}'i_{DR}' + N_{dq}\omega_r \frac{k_d}{k_q} \lambda_{QR}' + p\lambda_{DR}' \quad (30)$$

dengan:

$$\lambda_{QR}' = L_{iq}i_{QR}' + L_{Mq}(i_{qs} + i_{QR}')$$

$$\lambda_{DR}' = L_{id}i_{DR}' + L_{Md}(i_{ds} + i_{DR}')$$

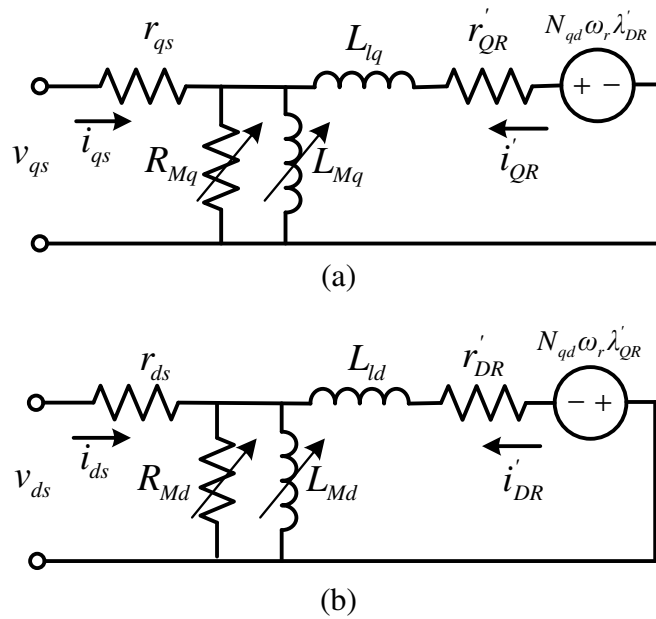
$$\lambda_{Mq} = L_{Mq}(i_{qs} + i_{QR}')$$

$$\lambda_{Md} = L_{Md}(i_{ds} + i_{DR}')$$

$$L_{Mq} = k_q L_{mq}$$

$$L_{Md} = k_d L_{md}$$

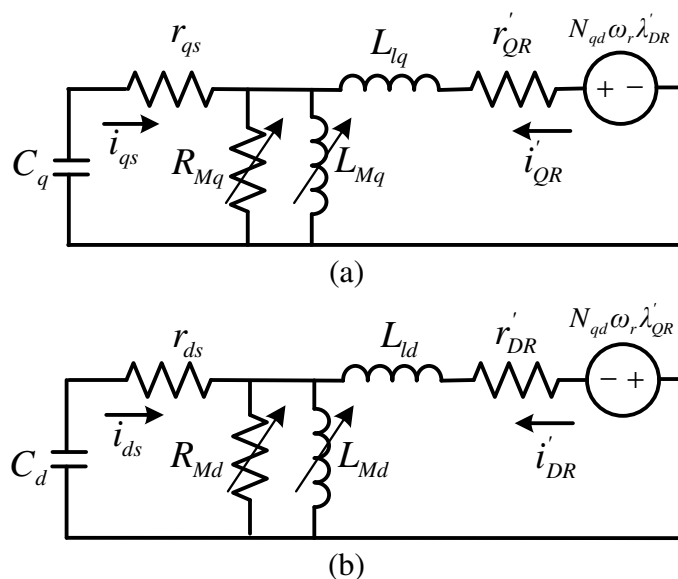
Berdasarkan persamaan (27)-(30) dapat dibuat rangkaian ekivalen baru mesin induksi satu fasa dengan bentuk Γ seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian ekivalen generator induksi satu fasa bentuk Γ .
(a) sumbu q, (b) sumbu d.

Analisis dan Pengujian Generator Induksi Satu Fasa Beban Nol

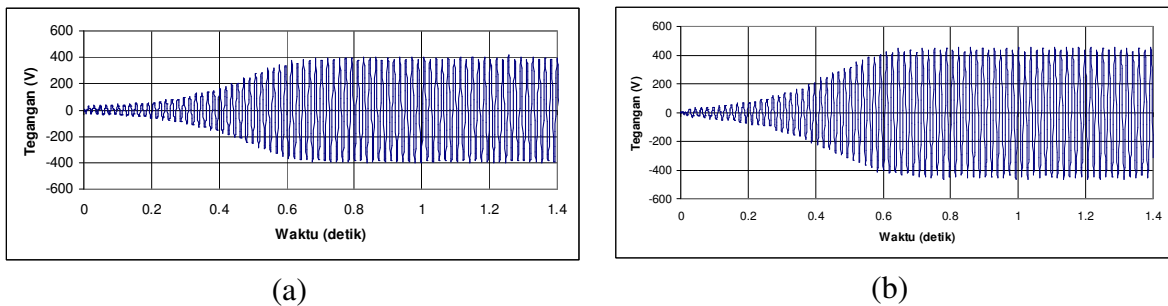
Analisis dilakukan dengan bantuan simulasi, dengan menggunakan rangkaian ekivalen d-q bentuk Γ seperti pada gambar 4. Kapasitor dihubungkan pada kedua belitan utama dan bantu serta generator dalam kondisi tanpa beban. Dengan menggunakan simulasi Matlab dan dengan memasukkan nilai kecepatan sama dengan 1700 rpm, nilai C_q sama dengan $30 \mu\text{F}$, nilai C_d sama dengan $15 \mu\text{F}$, diperoleh proses pembangkitan dari generator induksi satu fasa, seperti pada gambar 5. Dari gambar terlihat bahwa tegangan mulai stabil pada saat waktu 0,7 detik.



Gambar 4. Rangkaian ekivalen generator induksi satu fasa bentuk Γ .
(a) sumbu q, (b) sumbu d.

Dengan menggunakan motor induksi satu fasa start kapasitor yang diperlakukan sebagai generator. Penggerak mula yang digunakan yaitu motor dc dengan kecepatan 1700 rpm. Dengan memasang kapasitor pada belitan utama dengan nilai $30 \mu\text{F}$ dan belitan bantu $15 \mu\text{F}$. Dari eksperimen ini diperoleh gelombang tegangan proses pembangkitan dari generator induksi satu fasa, seperti pada gambar 5.

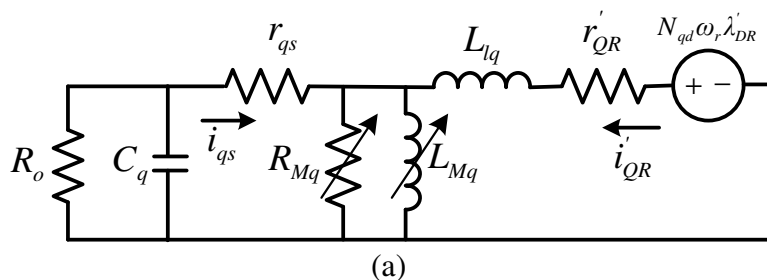
Dari hasil eksperimen terlihat bahwa tegangan generator mulai stabil saat waktu 0,7 detik. Pada saat tegangan stabil, besar tegangan puncak hasil eksperimen pada belitan utama sebesar 394 V sedangkan pada hasil perhitungan sebesar 392 V. Pada belitan bantu, besar tegangan puncak hasil eksperimen sebesar 455 V sedangkan pada hasil perhitungan sebesar 461 V. Dari bentuk penaikan gelombang tegangan yang dihasilkan, hasil eksperimen sesuai dengan nilai hasil perhitungan. Hal ini menunjukkan analisis yang diperoleh cukup valid.

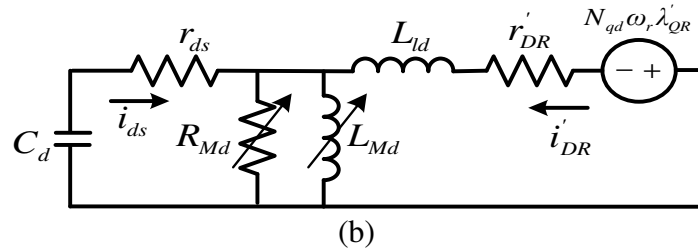


Gambar 5. Hasil pengujian proses pembangkitan tegangan generator induksi satu fasa,
(a) tegangan belitan utama, (b) tegangan belitan bantu.

Analisis dan Pengujian Generator Induksi Satu Fasa Berbeban

Analisis dilakukan dengan bantuan simulasi. Simulasi yang dilakukan selanjutnya yaitu dengan menggunakan rangkaian ekivalen d-q bentuk Γ seperti pada gambar 6 dan menghubungkan beban secara paralel dengan kapasitor pada belitan utama.

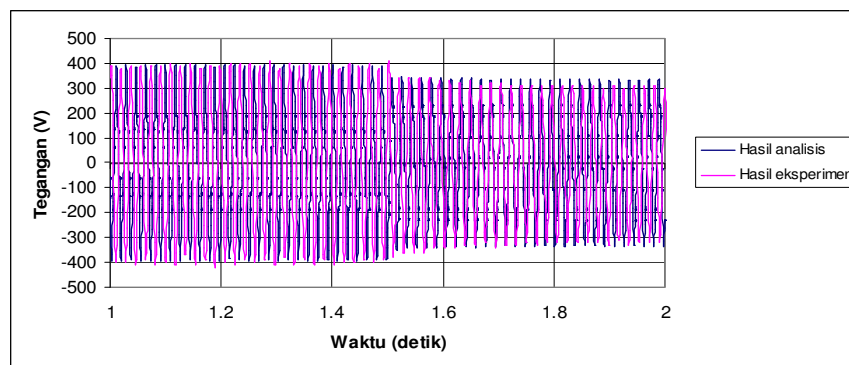




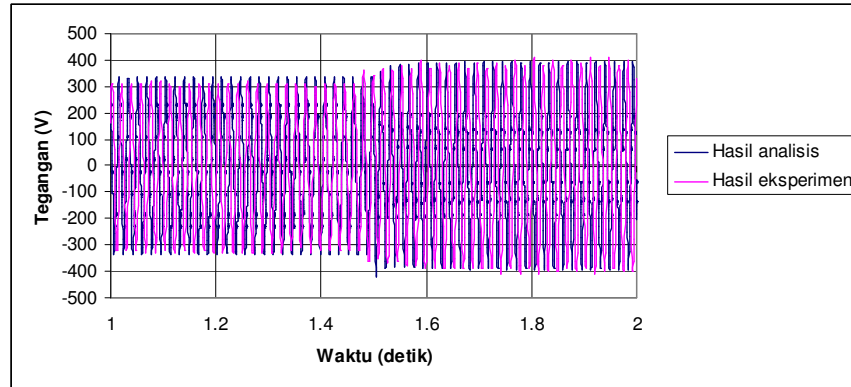
Gambar 6. Rangkaian ekivalen generator induksi satu fasa berbeban bentuk Γ .
(a) sumbu q, (b) sumbu d.

Analisis berbeban dilakukan dengan memasukkan nilai kecepatan sama dengan 1700 rpm, nilai C_q sama dengan $30 \mu\text{F}$, nilai C_d sama dengan $15 \mu\text{F}$. Setelah kondisi generator dalam kondisi stabil diberikan beban resistif secara langsung dengan besar 220 ohm. Dari simulasi diperoleh gelombang tegangan seperti pada gambar 7.a. Pada gambar 7.b dilakukan hal yang sebaliknya, yaitu melepas beban secara tiba-tiba. Pada saat pemberian beban, tegangan generator mengalami penurunan tegangan. Begitu juga hal sebaliknya ketika melepas beban, tegangan generator akan naik kembali.

Dengan menggunakan motor induksi satu fasa yang diperlakukan sebagai generator. Penggerak mula yang digunakan yaitu motor dc dengan kecepatan 1700 rpm dan memasang kapasitor pada belitan utama dengan nilai $30 \mu\text{F}$ dan belitan bantu $15 \mu\text{F}$. Perubahan beban dilakukan pada waktu 1,5 detik. Dari eksperimen ini diperoleh gelombang perubahan tegangan V_{qs} dari generator induksi satu fasa, seperti pada gambar 7, dari tegangan 394 V menjadi 340 V. Terlihat dari gelombang tegangan yang dihasilkan, hasil eksperimen mendekati dengan nilai hasil perhitungan. Hal ini menunjukkan analisis yang diperoleh cukup valid.



(a)

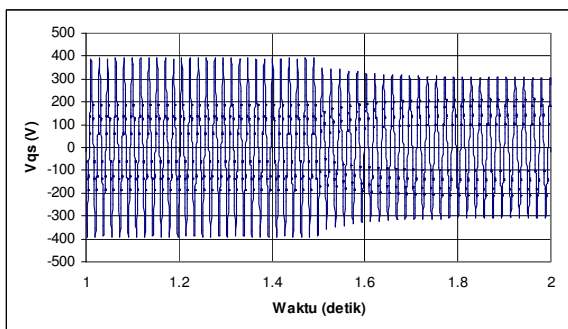


(b)

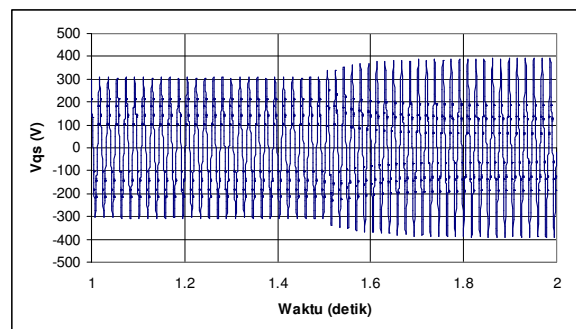
Gambar 7. Perubahan tegangan belitan utama generator induksi satu fasa,
(a) pemberian beban, (b) pelepasan beban.

Analisis Perubahan Kecepatan pada Generator Induksi Satu Fasa

Analisis kinerja generator induksi satu fasa terhadap perubahan kecepatan dilakukan dengan rangkaian ekivalen bentuk Γ seperti pada gambar 8. Analisis dilakukan untuk melihat pengaruh perubahan tegangan terhadap perubahan kecepatan. Kecepatan keadaan mantap dibuat dengan kecepatan 1700 rpm dan dilakukan dengan merubah kecepatan menjadi 1600 rpm. Dari simulasi ini diperoleh tegangan generator induksi seperti pada gambar 8. Terjadi penurunan tegangan saat kecepatan berubah dari 1700 rpm menjadi 1600 rpm, yaitu dari tegangan puncak 394 V menjadi 308 V. Begitu juga bila kebalikannya, ketika kecepatan dinaikkan maka tegangan generator akan naik.



(a)



(b)

Gambar 8. Perubahan tegangan V_{qs} generator induksi satu fasa
(a) penurunan kecepatan, (b) kenaikan kecepatan

IV. Kesimpulan

Model rangkaian ekivalen bentuk Γ memiliki jumlah parameter yang lebih sedikit, sehingga dalam penentuan parameter rangkaian ekivalennya tidak membutuhkan asumsi reaktansi bocor stator sama dengan reaktansi bocor rotor.

Karakteristik kejenuhan inti yang diperoleh dengan menggunakan rangkaian ekuivalen bentuk Γ mendekati keadaan yang sebenarnya. Kinerja generator induksi terhadap perubahan kecepatan, pada kecepatan 1700 rpm tegangan puncak adalah 394 V dan pada kecepatan 1600 rpm tegangan puncak adalah 308 V. Kinerja generator induksi terhadap perubahan beban, pada saat tanpa beban tegangan puncak sebesar 394 V dan pada saat pembebanan tegangan puncak menjadi 340 V.

Daftar Pustaka

1. Olorunfemi Ojo. (1995), The Transient and Qualitative Performance of a Self-Excited Single-Phase Induction Generator, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 10, No. 3, 493-501.
2. Olorunfemi Ojo. (1995), Minimum Airgap Flux Linkage Requirement for Self Excitation in Stand Alone Induction Generators, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 10, No. 3, 484-492.
3. Olorunfemi Ojo. (1996), Performance of Self Excited Single-Phase Induction Generator with Shunt, Short-Shunt and Long-Shunt Excitation Connection, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 10, No. 3, 477-482.
4. Pekik Argo Dahono, Kinerja Motor Arus Bolak-Balik yang Dipasok Inverter, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB.
5. Olorunfemi Ojo, Obasohan Omozusi, Michael Omoigui, A. A. Jimoh, (2001) Parameter Estimation of Single-phase Induction Machines, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 0-7803-7116-X/01/ 2280-2287.
6. E. R. Collins, Jr, P. B. Boyd, (1993) Improved Methods for Determining the Equivalent Circuit Parameters for Single-Phase Induction Motor Models, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 0-7803-1462-x/93.
7. C van der Merwe, F S van der Merwe (1995), A Study of Methods to Measure the Parameters of Single Phase Induction Motors, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 10, No. 2.
8. Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff. (1995), *Analysis of Electric Machinery*, Mc-Graw-Hill.