

EVALUASI PEMANFAATAN STORAGE TERHADAP KINERJA GENERATOR INDUKSI PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK BEBAN RUMAH TANGGA

Hasyim Asy'ari dan Aris Budiman

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. Ahmad Yani, Tromol Pos 1, Pabelan, Surakarta, 57102
asy_98ari@yahoo.com

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) sangat cocok untuk daerah pantai karena kaya potensi alam berupa angin, generator induksi merupakan jenis pembangkit listrik alternatif yang cocok untuk skala kecil atau beban rumah tangga (450 Va). Hal ini disebabkan karena harga generator induksi relatif lebih murah dibanding dengan generator sinkron. Kelemahan generator induksi adalah kinerjanya sangat dipengaruhi oleh beban. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan storage terhadap kinerja generator induksi. Parameter motor induksi yang digunakan sebagai generator induksi adalah jenis rotor sangkar, 3 fase, dan 2 HP. Pengujian ini digunakan 4 buah kapasitor (@ 12 mF) dipasang pada setiap fase, inverter, converter, dan accu 120 Ah sebagai storage. Pengujian kinerja generator induksi dilakukan dengan pemasangan kapasitor tiap fase secara bertahap dan memonitoring keluaran generator induksi (tegangan, frekuensi, dan rpm) pada saat dibebani dan tanpa beban, pengujian ini dilakukan pada saat tanpa menggunakan storage dan menggunakan storage. Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan penurunan kinerja generator induksi (pengujian tanpa storage). Pada saat kapasitas kapasitor terpasang 12 iF, tegangan keluaran mengalami penurunan sebesar 63% (tanpa beban 6,3 volt, berbeban 60 watt = 2,2 volt). Kapasitas 24 iF, 36 iF, dan 48 iF tegangan mengalami penurunan sebesar 2,7%, 1,6%, dan 1,5%. Untuk rpm dan frekuensi secara keseluruhan (12 iF, 24 iF, 36 iF, dan 48 iF) hanya mengalami penurunan sebesar 0,1% dan 0,2%. Sedangkan pengujian dengan menggunakan storage hasilnya menunjukkan bahwa dengan adanya storage tegangan output, rpm dan frekuensi tidak mengalami penurunan (pada saat berbeban dan tanpa beban), karena arus yang diserap oleh beban terpasang diambil dari storage atau accu sehingga beban tidak mempengaruhi keluaran generator induksi.

Kata Kunci: generator induksi, storage, drop tegangan, rpm, frekuensi.

ABSTRACT

Wind-Electric Power System is very suitable for beach area because the area is rich with a natural resource, namely, wind. An induction generator is an alternative power system that appropriate for small scale or domestic load (450 Va). It is because the generator price is relatively less expensive than synchronous generator. Weakness of induction generator is its performance is very affected by load. Parameters of induction motor used as an induction generator are squirrel-cage rotor, 3 phases and 2 HP. The testing uses 4 capacitors

(@ 12 mF) installed on every phase, inverter, converter, and battery of 120 Ah as a storage. Testing of induction generator's performance is conducted by installing capacitor of each phase in step by step manner and monitoring output of the induction generator (voltage, frequency, and rpm) with and without a load. The testing is performed with using storage and without using storage. Results of the research at a whole indicated a reduced performance of the induction generator (testing without use of storage). When capacity of the installed capacitor was 12 iF, output voltage experienced reduction of 63% (without load=6.3 volt and with a load of 60 watt=2.2 volt). With capacities of 24 iF, 36 iF, and 48 iF, reductions of the voltage were 2.7%, 1.6% and 1.5% , respectively. Rpm and frequency at a whole (12 iF, 24 iF, 36 iF, and 48 iF) were only experiencing reduction of 0.1% and 0.2%, respectively. While, results of the testing with the use of storage indicated that output voltage, rpm, and frequency were not reduced (with load and without load) because electric current absorbed by applied load was taken from storage or battery so that the load did not affect output of induction generator.

Key words: induction generator, storage, voltage drop, rpm, frequency.

PENDAHULUAN

Sumber energi primer pada pembangkit listrik milik PLN (PLTU, PLTD, PLTG, PLTGU) merupakan jenis energi tidak terbarukan (batubara, minyak dan gas bumi) yang jumlahnya kian menipis, hal ini mendorong untuk berpaling dan melakukan penelitian secara lebih intensif, terarah pada energi alternatif yang cukup tersedia di bumi ini yang dapat diharapkan keberlanjutannya. Energi terbarukan merupakan suatu pilihan tepat yang sesuai dengan potensi alam persada nusantara yang diuntungkan oleh letak dan kondisi geografisnya. Yang termasuk golongan energi terbarukan adalah energi matahari, angin, air, biomasa, dan panas bumi (PSE UGM, 2002).

Cadangan minyak dunia yang semakin menipis dan kebutuhannya yang semakin tinggi membuat harga minyak dunia semakin tinggi juga. Saat ini harga minyak dunia mencapai US \$ 105 per barel. Ketergantungan PT. PLN terhadap minyak dan gas bumi sebagai sumber utama

pembangkitan listrik menuntut PT. PLN untuk selalu berusaha menyesuaikan Tarif Dasar Listrik (TDL) (Kedaulatan Rakyat, 2008). Kondisi demikian menuntut mencari dan mengkaji pemanfaatan sumber-sumber energi lain yang lebih murah dan berkelanjutan.

Penggunaan motor induksi sebagai generator memiliki beberapa keunggulan, antara lain harga dan biaya perawatannya jauh lebih murah dibanding jenis mesin sinkron, konstruksinya kuat dan bentuk yang sederhana, banyak tersedia dalam berbagai ukuran daya, memerlukan sedikit pemeliharaan dan mudah dalam pengoperasian (Capallaz, 1992).

Penggunaan generator induksi sebagai pembangkit tenaga listrik *stand-alone* sudah cukup luas di luar negeri, antara lain sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Di daerah pertanian Altamont Pass, US, semua turbin angin menggunakan generator induksi jenis sangkar tupai. Demikian juga di Kanada dan Belanda.

Sugiarmadji dan Djojohardjo (1990) dalam penelitiannya mengenai perancang-

an kincir angin sudu majemuk untuk pemompaan air/pertanian jenis EN-SM-03 menyatakan bahwa dengan kincir angin sudu majemuk dapat memberikan kapasitas 50 l/menit untuk tinggi pemompaan 6 m pada kecepatan angin 3 m/s – 4 m/s.

Pada saat motor induksi berfungsi sebagai generator tegangan yang diinduksikan (E2) lebih besar dari pada tegangan terminal yang diberikan ke beban atau jaringan listrik. Peningkatan daya magnetisasi dapat dilakukan dengan memperbesar daya reaktif yang dibutuhkan sesuai peningkatan beban. Peningkatan daya reaktif dapat dilakukan dengan penambahan kapasitas kapasitor sebagai sumber daya reaktif pada generator induksi. Peningkatan daya magnetisasi diperbolehkan selama generator belum mengalami saturasi magnetik (Ojo, 1995 dan 2001).

Sebuah kapasitor pada prinsipnya terdiri dari dua keping penghantar yang dipisahkan oleh medium isolasi yang biasa disebut dengan bahan dielektrik. Kapasitor digunakan untuk menyimpan muatan listrik pada sumber listrik arus searah (DC), serta sebagai beban kapasitif pada listrik bolak-balik

Besar kapasitas kapasitor tergantung pada medium yang terdapat dalam kapasitor tersebut. Semakin besar ukuran mediumnya maka kapasitas akan semakin besar, dan sebaliknya. Kapasitas kapasitor merupakan perbandingan antar muatan listrik (Q) dari salah satu penghantarnya terhadap beda potensial (V) kedua keping penghantar tersebut. Dirumuskan sebagai berikut :

$$C = Q V \text{ [Coulomb/ Volt = Farad]} \quad (1)$$

Perhitungan menurut Chapallaz dilakukan antara lain dengan :

- a. Penentuan daya listrik mekanik motor maksimum (P_{elm})

$$P_{elm \max} = \frac{P_n}{\eta_m} \text{ watt} \quad (2)$$

dengan P_n = daya nominal motor (watt)
 η_m = efisiensi motor induksi

- b. Penentuan daya listrik generator maksimum

$$P_{elg \max} = P_{elm \max} + P_n \left(\frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \text{ watt} \quad (3)$$

- c. Penentuan efisiensi generator maksimum

$$\eta_{g \max} = \frac{P_{elg \max}}{P_{mek \max}} \quad (4)$$

- d. Penentuan daya reaktif yang dibutuhkan saat sebagai motor (Q_m)

$$Q_m = P_{el} \times \tan (\text{arc cos } j) \text{ VAR} \quad (5)$$

- e. Penentuan daya reaktif yang dibutuhkan saat sebagai generator (Q_g)

$$Q_g = Q_m \left(\frac{\sin \phi_g}{\sin \phi_m} \right) \text{ VAR} \quad (6)$$

Daya reaktif generator ditentukan + 40% dari daya nominal pada name plate motor induksi.

- f. Penentuan kapasitas kapasitor hubungan segitiga (delta/fase)

$$C_{\Delta / \text{fase}} = \frac{Q_g}{3 \times V_L^2 \times 2\pi f} \text{ mF} \quad (7)$$

Kapasitor ini merupakan gabungan antara kapasitor eksitasi dan kapasitor kompensasi beban.

- g. Penentuan kapasitor eksitasi saat generator induksi dioperasikan tanpa beban

$$C_{\Delta / fase} = \frac{Q_m}{3xV_L^2 x 2\pi f} \text{ mF} \quad (8)$$

$$C_Y / fase = 3xC_{\Delta / fase} \quad (9)$$

METODE PENELITIAN

Pengujian dilakukan beberapa tahap dalam dua kondisi yaitu kondisi sistem tanpa *storage* dan kondisi sistem menggunakan *storage*. Tahapan pengujian sebagai berikut:

a. Motor Induksi sebagai Generator Induksi pada Percobaan tanpa Beban

Percobaan penelitian ini menggunakan 2 buah motor induksi, sebuah motor induksi digunakan sebagai *prime mover* (penggerak awal) dan sebuah motor induksi difungsikan sebagai generator induksi. Motor induksi yang digunakan sebagai penggerak awal disuplai dengan regulator tegangan 3 fase dengan kapasitas 6 Kva dan motor induksi yang difungsikan sebagai generator induksi dirangkai dengan kapasitor untuk eksitasi sebagai penyedia daya reaktif.

1. Naikkan tegangan input motor induksi (penggerak awal) sampai generator

induksi membangkitkan tegangan.

2. Catat penunjukan alat ukur, berupa tegangan, frekuensi, dan kecepatan putar mesin.
3. Naikkan tegangan input motor induksi (penggerak awal) sehingga kecepatan putar generator induksi meningkat secara bertahap, dan catat penunjukan alat ukur.

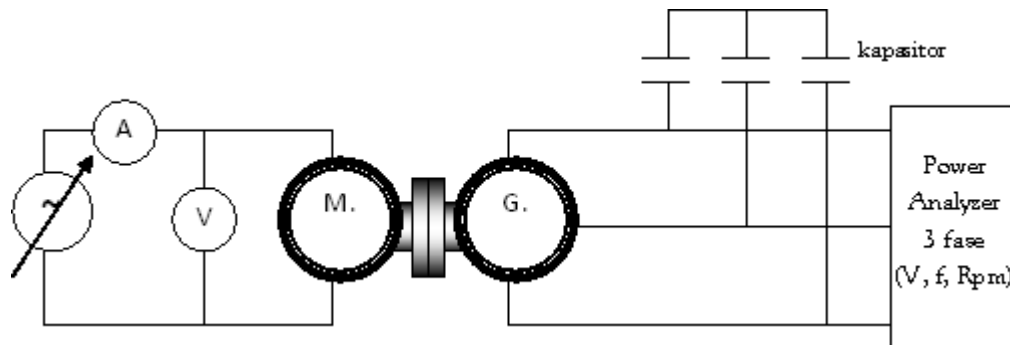
b. Generator induksi tanpa beban dengan variasi kapasitor kompensasi

Lakukan percobaan a dengan menambahkan kapasitor secara bertingkat sebagai perbaikan faktor daya. Catat penunjukan oleh alat ukur.

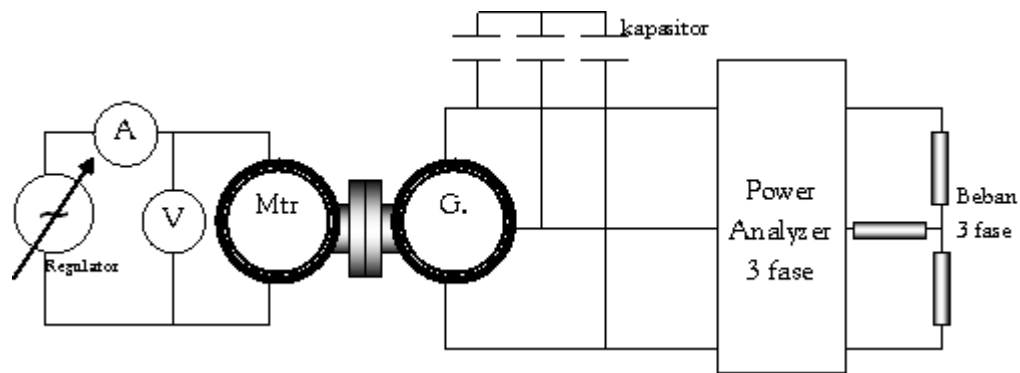
c. Generator induksi berbeban resistif tanpa menggunakan *storage*

Percobaan ini untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan resistif terhadap tegangan, frekuensi, dan putaran generator induksi. Pada percobaan ini tetap digunakan kapasitor eksitasi sebesar yang di percobaan a sebagai sumber daya reaktif eksitasi. Berilah beban lampu pijar yang terhubung bintang di keluaran generator.

1. Naikkan beban resistif (lampu pijar) generator induksi secara bertahap dan catat penunjukan alat ukurnya (tegangan, frekuensi, dan putaran mesin).



Gambar 1. Pengujian Generator Induksi Tanpa Beban



Gambar 2 Rangkaian Uji Generator Berbeban Tanpa Storage

d. Generator induksi berbeban resistif-induktif tanpa menggunakan storage

Percobaan ini tujuannya serupa dengan percobaan c, namun beban generator induksi diganti beban resistif-induktif berupa lampu fluoresen dan lampu pijar. Variasikan besar beban dan catat juga penunjukkan alat ukur. Lakukan juga langkah percobaan d (variasi kapasitor) dengan beban resistif-induktif ini.

generator induksi setelah menggunakan storage. Pada percobaan ini tetap digunakan kapasitor eksitasi sebesar yang di percobaan a sebagai sumber daya reaktif eksitasi. Berilah beban lampu pijar yang terhubung bintang di keluaran generator.

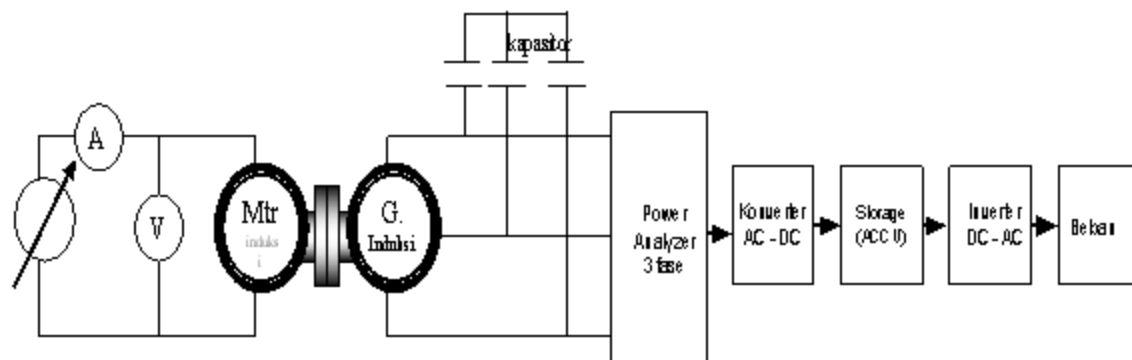
1. Naikkan beban resistif (lampu pijar) generator induksi secara bertahap dan catat penunjukan alat ukurnya (tegangan, frekuensi, dan putaran mesin).

e. Generator induksi berbeban resistif dengan storage

Percobaan ini untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan resistif terhadap tegangan, frekuensi, dan putaran

f. Generator induksi berbeban resistif-induktif dengan storage

Percobaan ini tujuannya serupa dengan percobaan e, namun beban generator induksi diganti beban resistif-induktif

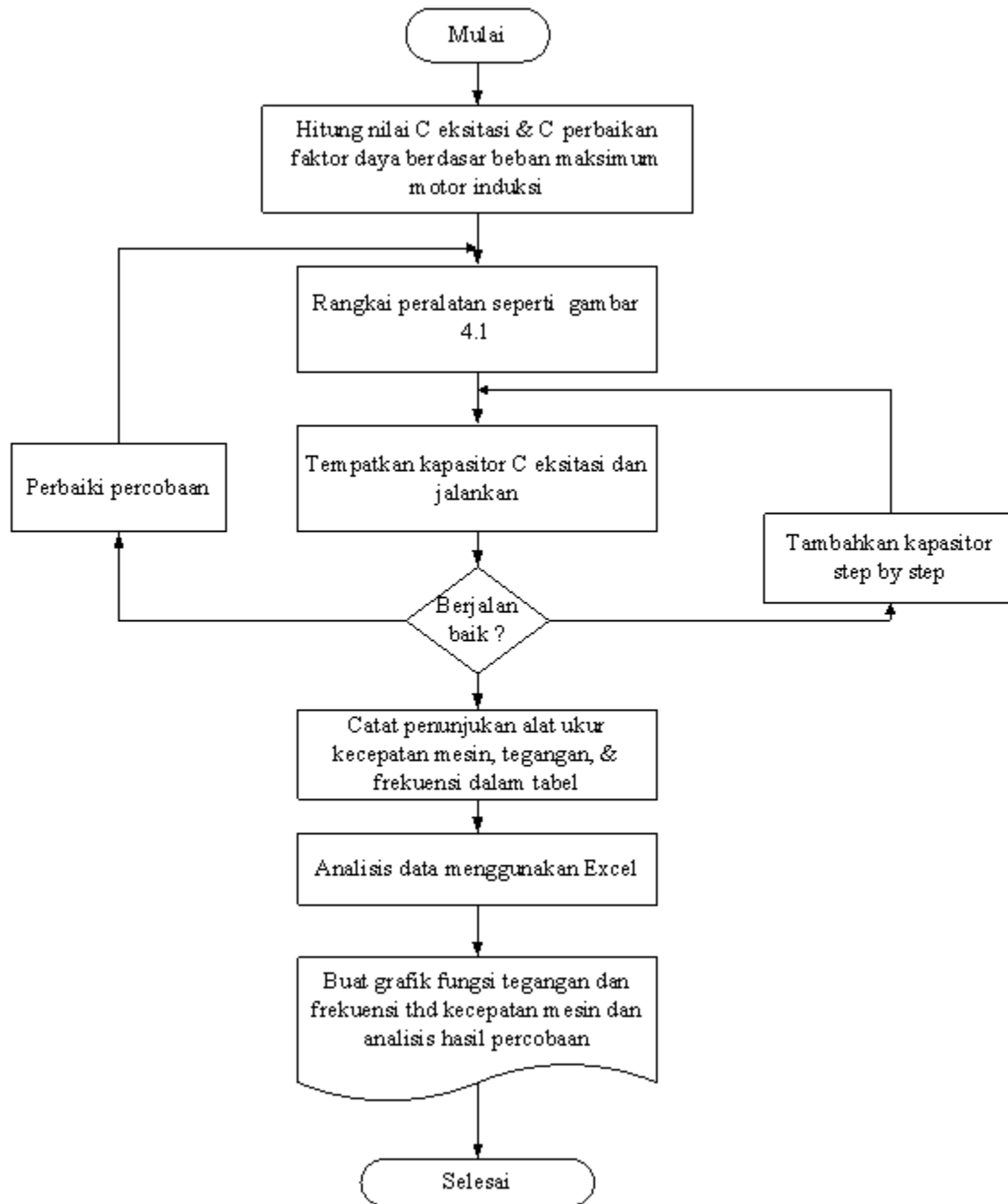


Gambar 3 Rangkaian uji generator berbeban dengan storage

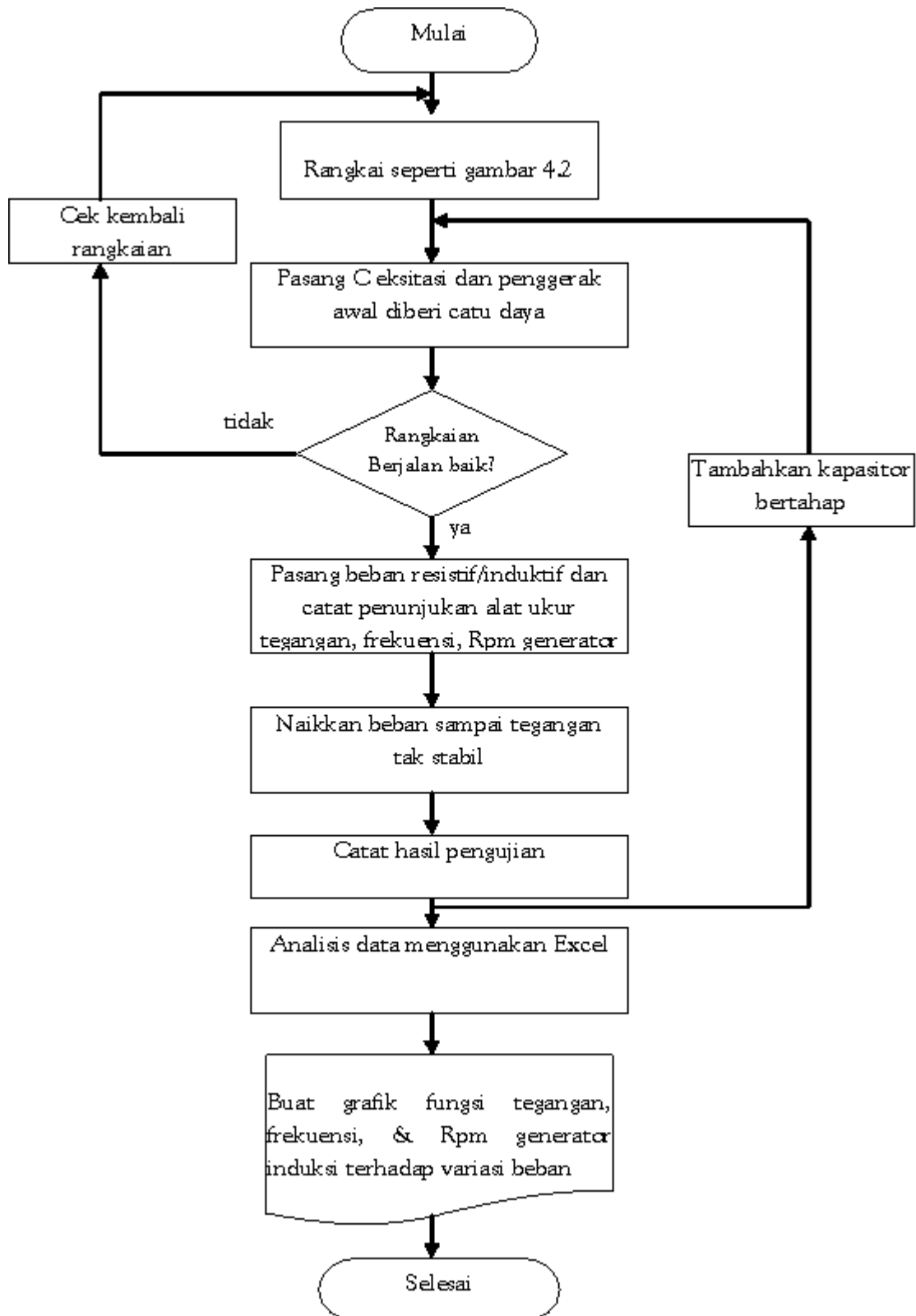
berupa lampu fluoresen dan lampu pijar. Variasikan besar beban dan catat juga penunjukan alat ukur. Lakukan juga langkah **percobaan d** (variasi kapasitor) dengan beban resistif-induktif ini.

g. Diagram Alir Penelitian

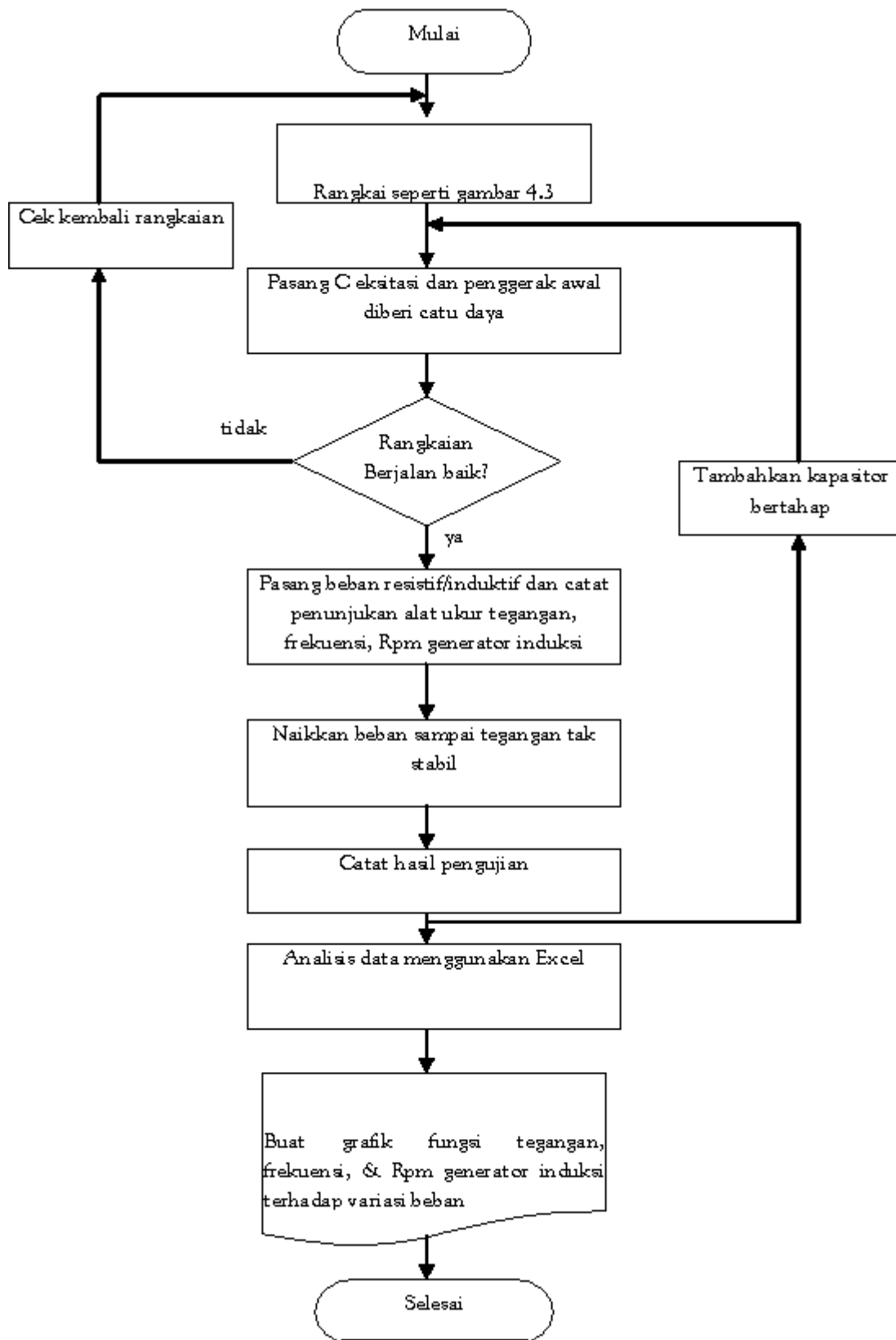
Urutan penelitian dan analisis data dituangkan pada diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 4, gambar 5, dan gambar 6. Perhitungan dan analisis data.



Gambar 4 Diagram Alir Uji Generator Induksi Tanpa Beban



Gambar 5 Diagram Alir Generator Induksi Berbeban Tanpa Storage



Gambar 6. Diagram Alir Generator Induksi Berbeban Dengan Storage

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian tegangan keluaran generator induksi sebelum menggunakan *storage* dibandingkan dengan setelah menggunakan *storage* untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan *storage* terhadap nilai tegangan keluaran ketika beban ditambahkan, perbandingan tegangan keluaran generator induksi tanpa dan dengan menggunakan *storage* dapat dilihat pada gambar 7.

Gambar 7. menunjukkan perbandingan tegangan keluaran generator induksi tanpa *storage* dan dengan *storage*, dari gambar 7 sebagai berikut :

Data dari gambar 7 :

V_{out} tanpa beban	: 2,22 volt
V_{out} beban resistif	: 1,52 volt
V_{out} beban resistif-induktif	: 2,169 volt
V_{out} beban kombinasi	: 1,662 volt

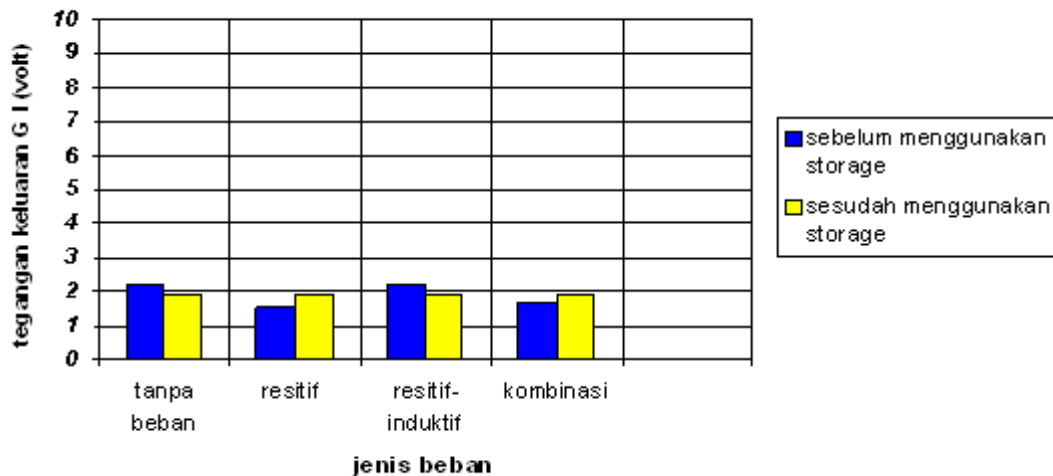
- Penurunan tegangan saat dibebani resistif = $0,346 \times 100\% = 1,5\%$
- Penurunan tegangan saat dibebani resistif-induktif = $0,027 \times 100\% = 2,7\%$

- Penurunan tegangan saat dibebani kombinasi = $0,249 \times 100\% = 24,9\%$

Sesuai dengan gambar 7, karakteristik tegangan keluaran generator induksi tanpa *storage* ketika beban ditambahkan terjadi penurunan secara berturut-turut, beban resistif turun 31,5% dari nilai tegangan semula, beban resistif-induktif turun 2,7% dari tegangan semula, dan beban kombinasi terjadi penurunan sebesar 24,9%. Sedangkan karakteristik tegangan keluaran generator induksi dengan *storage* tidak terjadi penurunan tegangan keluaran ketika beban ditambahkan, baik beban resistif, resistif-induktif, maupun kombinasi. Hal ini karena beban tidak dibebankan ke generator induksi melainkan dipikul oleh baterai sehingga penambahan beban tidak mempengaruhi karakteristik tegangan keluaran generator induksi (dengan catatan beban tidak melebihi kapasitas dari baterai).

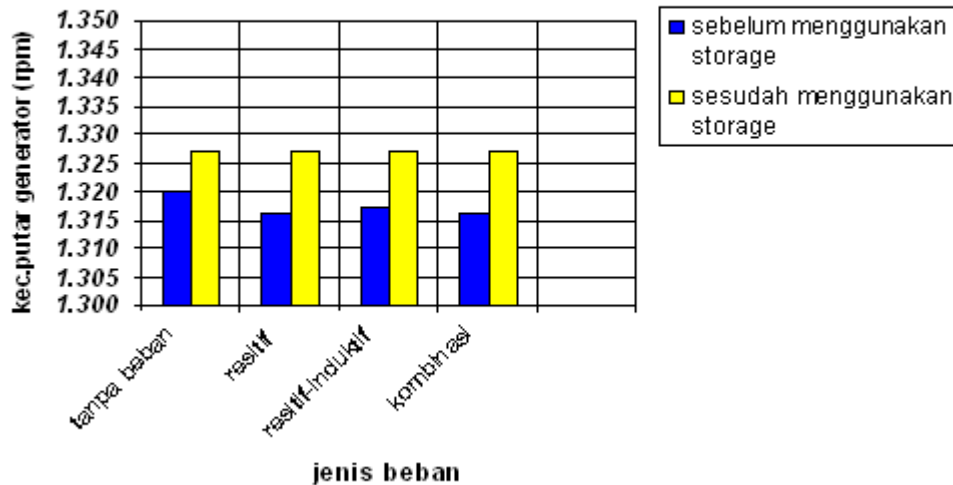
Perbandingan Kecepatan Putar GI tanpa dan dengan *Storage*

Hasil dari pengujian kecepatan putar generator induksi tanpa *storage* dibanding-



Gambar 7. Perbandingan Tegangan Keluaran Generator Induksi Tanpa dan Dengan Menggunakan *Storage*.

kec. putar generator vs beban



kan dengan *storage* adalah untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan *storage* terhadap kecepatan putar generator induksi ketika beban ditambahkan, perbandingan kecepatan putar generator induksi sebelum dan setelah menggunakan *storage* dapat dilihat pada gambar 8.

Gambar 8 menunjukkan perbandingan kecepatan putar generator induksi tanpa dan dengan *storage*, dari gambar 8 sebagai berikut :

Data dari gambar 8 :

Kec. putar generator induksi tanpa beban: 1320 rpm

Kec. putar generator induksi berbeban resitif: 1316 rpm

Kec. putar generator induksi berbeban resitif-induktif: 1317 rpm

Kec. putar generator induksi berbeban kombinasi: 1316 rpm

- Penurunan kec.putar generator saat dibebani resitif = $0,003 \times 100\% = 0,3\%$
- Penurunan kec.putar generator dibebani resitif-induktif = $0,002 \times 100\% = 0,2\%$
- Penurunan kec.putar generator dibebani kombinasi = $0,003 \times 100\% = 0,3\%$

Data dari gambar 8:

Kec. putar generator induksi tanpa beban : 1327 rpm

Kec. putar generator induksi berbeban resitif : 1327 rpm

Kec. putar generator induksi berbeban resitif-induktif : 1327 rpm

Kec. putar generator induksi berbeban kombinasi : 1327 rpm

- Penurunan kec.putar generator dibebani resitif = $0 \times 100\% = 0\%$
- Penurunan kec.putar generator dibebani resitif-induktif = $0 \times 100\% = 0\%$
- Penurunan kec.putar generator dibebani kombinasi = $0 \times 100\% = 0\%$

Hasil analisa dari gambar 8, menunjukkan kecepatan putar generator induksi tanpa *storage*, akan mengalami penurunan yang berbeda-beda tergantung jenis beban yang ditambahkan. Beban resitif dan kombinasi resitif dengan resitif akan menyakibatkan kecepatan putar generator induksi turun 0,3 % dari kecepatan sebelum beban ditambahkan, sedangkan beban restif-induktif mengakibatkan kecepatan turun 0,2 % dari kecepatan se-

mula. Kecepatan generator induksi dengan *storage* tidak mengalami penurunan ketika beban ditambahkan, karena beban dipikul oleh baterai dengan catatan beban tidak melampaui kapasitas baterai.

SIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan kapasitas kapasitor akan menaikkan kinerja generator induksi

(tegangan *output*, putaran rotor dan frekuensi), dengan data penelitian bahwa kapasitas kapasitor yang paling optimal adalah antara 36 μF sampai dengan 48 μF .

2. Penggunaan *storage* pada pemanfaatan generator induksi menjadikan tegangan *output*, putaran rotor dan frekuensi menjadi stabil pada saat pembebanan dilakukan dibandingkan pada saat tanpa menggunakan *storage* (kinerja generator induksi sangat dipengaruhi oleh pembebanan).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, 1986, *Mesin Tak Serempak*, Penerbit Djambatan, Jakarta
- Amirullah, M, 2000, *Pengaruh Pemasangan Kapasitor pada Untai Belitan tator terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fase Sangkar Tupai*, skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Anthony, Z, 2001, *Kinerja Pengoperasian Motor Induksi 3 Fase pada Sistem 1 Fase dengan Menggunakan Kapasitor*, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Berahim, H, 1994, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Andi Offset, Yogyakarta
- Berahim, H, 1997, *Pengaruh Aspek Ratio pada Perancangan Motor Induksi*, Tesis, Gadjah Mada, Yogyakarta
- Chapallaz, J.M. 1992, *Manual on induction Motors Used as Generators*, Deutches Zentrum fur Entwicklungstechnologien- GATEm Braunschweig, Germany
- Fitzgerald, 1997, *Mesin-mesin Listrik*, alih bahasa oleh Djoko Achyanto, penerbit Erlangga, Surabaya
- Ginting, Dines., 1990, *Pengkajian Energi Listrik Yang Dihasilkan Turbin Angin 200 W Untuk Penggunaan Pada Rumah Tangga di Pedesaan*, Warta LAPAN No. 32/33
- Hanselman, D, 2002, *MATLAB BahasaKomputasi Teknis*, Pearson education Asia Ltd, andi Offset, Yogyakarta
- Himran, Syukri., 2001, *Utilization of Wind Energy*, CIRERD 2001, Denpasar Bali
- Ojo, O.; Bhat, I., 1995, *An analysis of single-fase self-excited induction generators: model development and steady-state calculations*, IEEE Transactions on Energy Conversion

- Perdana, IK, 2004, *Penggunaan Kapasitor untuk Perbaikan Unjuk Kerja Motor Induksi Sebagai Generator*, Tesis, Universitas Gadjag Mada, Yogyakarta
- Soeripan, 1990, *Uji Coba Pemanfaatan Sistem Konversi Angin Untuk Pengairan Sawah di Desa Tenjoayu Wilayah Koperasi Unit Desa Tirtayasa Timur Kabupaten Serang Jawa Barat*, Majalah LAPAN NO. 60/61
- Sugiarmadji, Djojodihardjo, Harijono., 1990, *Perancangan Kincir Angin Sudu Majemuk Untuk Pemompaan Air/Pertanian Jenis EN-SM-03*, Pustegan LAPAN, Jakarta
- Tumiran, 2002, *Kualitas Energi Listrik Menyongsong Pembahasan RUU Ketenagalistrikan*, Majalah Energi, Edisi 16 (Juni-Agustus 2002), Pusat Studi Energi UGM, Yogyakarta