DESAIN IGC PADA SISTEM PLTMH BERBASISKAN MIKROKONTROLER PIC16F877

Tarmizi
Jurusan Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala
Tarmizi_ee@yahoo.com

Abstrak

Pada penelitian di desain sebuah IGC (Induction Generator Control) yang berbasiskan mikrokontroler PIC16F877 untuk mengatur kestabilan tegangan dan frekuensi beban pada sistem PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro). Sistem IGC ini menggunakan *buck-converter* sebagai rangkaian daya yang dikombinasikan dengan rele sinyal PWM dan pengontrolan rele di atur oleh mikrokontroler PIC16F877. Mikrokontroler ini bekerja berdasarkan sinyal referensi dari sensor tegangan dan sensor arus yang dipasang pada keluaran generator jalur beban. IGC ini dapat digunakan pada daya *generator sampai* dengan 10 kW dan dapat di tingkatkan dengan kelipatan 2kW dengan menambah rele, Ballast dan menambah (memprogram ulang) mikrokontroler PIC16F877. Dari hasil ekperiment, diperoleh kestabilan tegangan beban pada 220V dengan fluktuasi -5.9% sampai dengan +3.64 % dan kestabilan frekuensi pada 50Hz dengan fluktuasi -2,2% sampai +1.8 %. Hasil ini sesuai dengan standar sistem kelistrikan di Indonesia.

Kata Kunci : PLTM , IGC, buck-converter , Mikrokontroller PIC 16F87 ,PWM

1. Pendahuluan

Krisis energi listrik di Indonesia telah menjadi isu nasional dan menjadi kekhawatiran masyarakat terutama bagi kalangan industri. Tingginya pertumbuhan permintaan akan energi listrik setiap tahun tidak dapat diimbangi oleh pertumbuhan penyediaan tenaga listrik sehingga menyebabkan kondisi krisis energi listrik. Kondisi ini diperparah oleh menyusutnya cadangan minyak bumi nasional, serta naiknya harga minyak dunia hingga mencapai di atas 100 USD per barel, dimana pengbangkit listrik di Indonesia 54% masih menggunakan minyak bumi.

Untuk menjamin keamanan pasokan energi dalam negeri dan untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan, pemerintah telah mengambil kebijakan melaui Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dengan kebijakan ini diharapkan dapat terwujud energi (primer) mix yang optimal pada tahun 2025 dimana peranan minyak bumi dapat menurun kurang dari 20 %, peranan gas bumi meningkat lebih dari 30%, peranan batubara meningkat lebih dari 33% dan peran energi baru dan terbarukan (EBT) meningkat lebih dari 17%. Komposisi 17 % EBT terdiri dari bahan bakar babati (biofuel) sebesar 5%, panas bumi 5%, biomasa, nuklir, air, surya, dan angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%.

Di Indonesia mempunyai potensi EBT dari air (hydro) cukup besar, dimana untuk PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) mencapai 74.976 MW dan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) 458,75MW. PLTMH mempunyai kapasitas berkisar antara 1kW hingga 100kW, walaupun kadang-kadang diatas 100kW masih dikelompokan ke dalam PLTMH asal teknologi yang digunakan tetap teknologi PLTMH.

PLTMH berpotensi dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan listrik lokal masyarakat yang jauh dari akses listrik PLN. Selain itu membangun PLTMH adalah upaya konstruktif untuk mengajak masyarakat peduli dengan lingkungan hidup secara riil. Memanfaatkan air untuk memutar turbin pembangkit listrik, maka mau tidak mau debit air harus tetap terjaga. Menjaga kuantitas hutan adalah pilihan mutlak bagi masyarakat di sekitar yang memanfaatkan hutan untuk hidup dan berharap listrik dari mikrohidro. Menjaga hutan berarti juga mempertahankan debit air sungai sebagai pembangkitnya.

Teknologi pengaturan beban pada PLTMH tidak seperti pada PLTA yang mengatur debit air. Pada PLTMH pengaturan daya beban dengan mengimbangi daya generator yang menggunakan ballast load. Daya yang disuplai ke ballast load dikontrol oleh IGC (Induction Generator Control) atau ELC (Electronic Load Control).

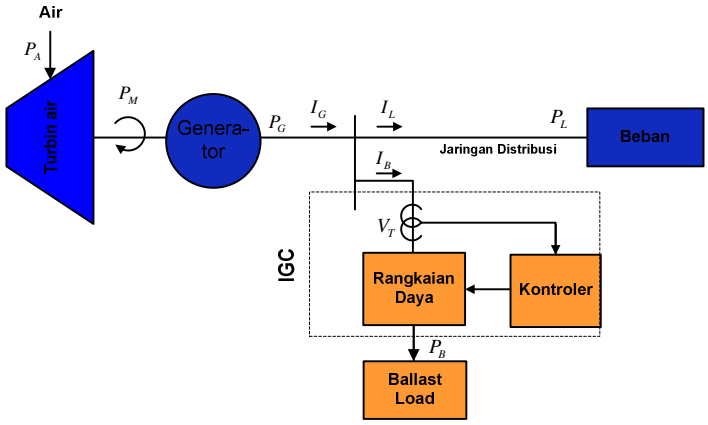
2. Sistem IGC pada PLTMH

Sebuah PLTMH mempunyai komponen yang terdiri dari debit air , turbin, dan elektrik (generator dan pengaturan daya beban). Bila yang digunakan generator sinkron maka pengaturan daya beban menggunakan ELC (Electronic Load Control, sedangkan bila menggunakan generator asinkron pengaturan daya beban menggunakan IGC (Induction Generator Control).

Sistem PLTMH yang menggunakan sistem IGC seperti pada gambar 2. Debit air (P_A) untuk menggerakan turbin dan daya mekanik (P_M) yang dihasilkan turbin relatif konstan. Daya makanik (P_M) ini menggerakan generator asinkron dan menghasilkan daya keluaran listrik

$$P_G = \eta . P_M \qquad (2)$$

Dimana η = efisiensi generator, P_M = daya mekanik dan P_G = daya keluaran generator.



Gambar 2. Sistem IGC pada PLTMH

Dari persamaan diatas, daya mekanik yang konstan akan dihasilkan daya generator yang konstan. Bila daya yang di serap beban (P_L) lebih rendah dari daya generator (P_G) maka arus akan turun, hal ini akan mengakibatkan tegangan naik. Sebaliknya bila daya beban lebih tinggi dari generator arus akan naik maka tegangan generator akan turun sesuai dengan persamaan3.

$$V_G = \frac{P_G}{I_G} \tag{3}$$

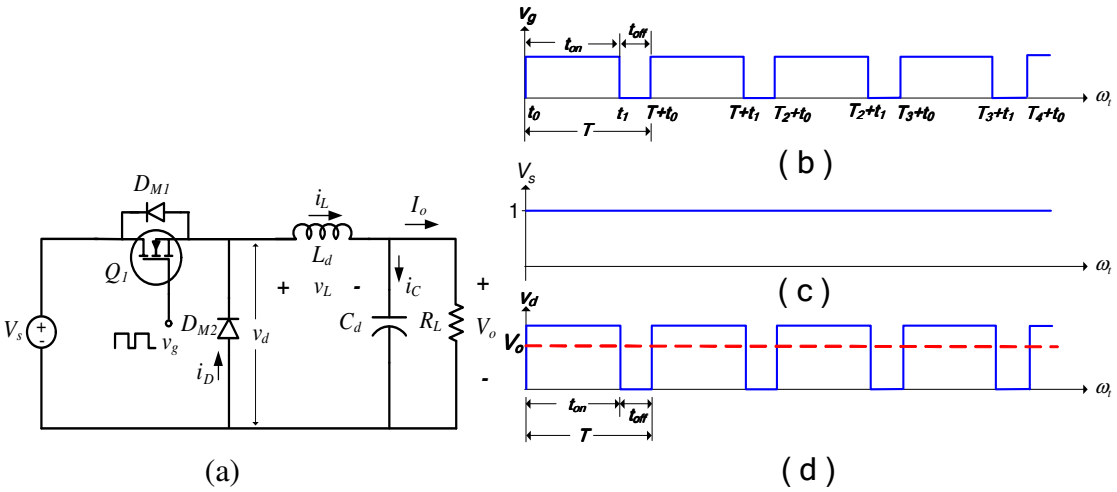
Disisi lain, bila generator terbebani lebih rendah dari kemampuan generator nominal dan daya mekanik (P_M) tetap konstan maka putaran generator akan lebih cepat. Hal ini akan mengakibatkan naiknya frekuensi suplai generator, hubungan ini dapat ditunjukkan dengan persamaan kecepatan sinkron (η_s).

$$\eta_s = \frac{120 f}{p} \tag{4}$$

$$f = \frac{\eta_s p}{120} \tag{5}$$

Dimana η_s = kecepatan sinkron, f = frekuensi generator dan P = jumlah kutub.

Sebuah sistem IGC seperti yang diperlihatkan pada gambar 2 terdiri dari rangkaian daya, kontroler, ballast load dan sensor tegangan (V_T). Rangkaian daya dapat menggunakan thyristor (*ac-controller atau penyearah*) atau buck konverter. Buck konverter adalah pengubah tegangan dc ke dc dengan tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan (step down). Rangkian buck konverter seperti diperlihatkan pada gambar 3a dan bentuk gelombang diperlihatkan pada gambar 3b, 3c dan 3d.



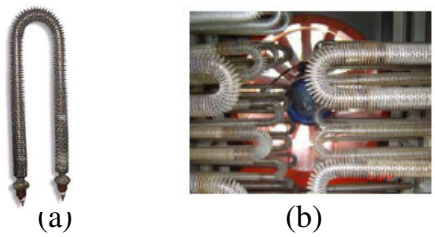
Gambar 3. Buck konverter (a) rangkaian (b) sinyal pengerak PWM (c) gelombang input (d) gelombang output

Komponen *switching* Q_1 bekerja dalam dua kondisi yaitu on dan off sesuai dengan sinyal trigger V_g dalam bentuk PWM (*Pulse width modulation*) seperti diperlihatkan pada gambar 3b, sedangkan gambar 3c adalah gelombang masukan v_s dan gambabr 3d adalah gelombang keluaran v_o. Bila dianggap Q_1 *switching* ideal, maka tegangan output adalah :

$$V_o = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{T+t_0} V_0(\omega t) = \frac{1}{T}\int_{0}^{t_1} V_s d(\omega t) = \frac{t_1 - t_0}{T} V_s = \frac{t_{on}}{T} V_s = DV_s \qquad (6)$$

Dimana V_0 = Tegangan Output dc dan V_S = Tegangan Sumber

Ballast load adalah beban resitif, biasanya digunakan elemen pemanas air. Elemen pemanas yang banyak digunakan sebagai ballast pada sistem PLTMH seperti ditunjukan pada gambar 4. Elemen pemanas ini dipasang paralel untuk memperoleh kemampuan daya yang besar.



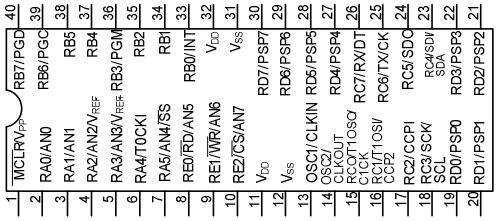
Gambar 4. Ballast Load (a) sebuah elemen pemanas 2 kW
(b). elemen yang dipasang paralalel

Besarnya daya yang di suplai ke ballast load (elemen pemanas) adalah :

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{7}$$

Dimana P= daya di serap elemen, V= daya pada terminal elemen dan R = tahanan elemen. Nilai tahanan yang dimiliki elemen adalah konstan, oleh karenan itu daya berubah berbanding dengan perubahan tegangan diatur oleh rangkaian daya

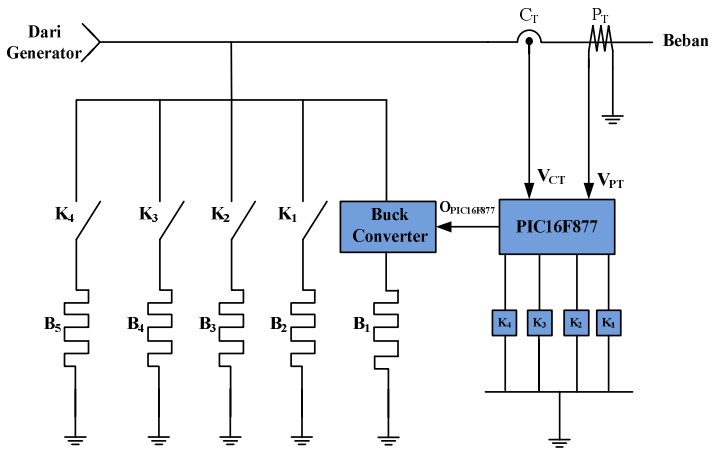
Kontroler pada sistem IGC berkerja mengatur rangkaian daya, bila rangkian daya yang digunakan adalah buck konverter maka kontroler ini membangkitkan sinyal PWM yang besar *duty cycle* nya berdasarkan referensi dari sensor tegangan (V_T). Rangkaian kontroler ini dapat menggunakan mikrokontroller PIC16F877. Mikrokontroller ini sagat simple tidak banyak rangkaian tambahan, mempunyai input analog pada port A (AN0-AN7) yang memungkinkan keluaran sensor tegangan dapat langsung dihubungkan dengan ke port A tanpa menggunkaan ADC (*Analog Digital Converter*). Selain itu, mikrokontroller tersebut juga memiliki port CCP (*Capture, Compare dan PWM*) yang dapat menghasilkan sinyal PWM dengan cara hadware. Untuk pemograman, mikrokontroller ini di dukung oleh bahasa pemograman seperti C dan Basic Pro. Konfigurasi mikrokontroller PIC16F877 seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Konfigurasi mikrokontroler PIC16F877

3. Desain IGC

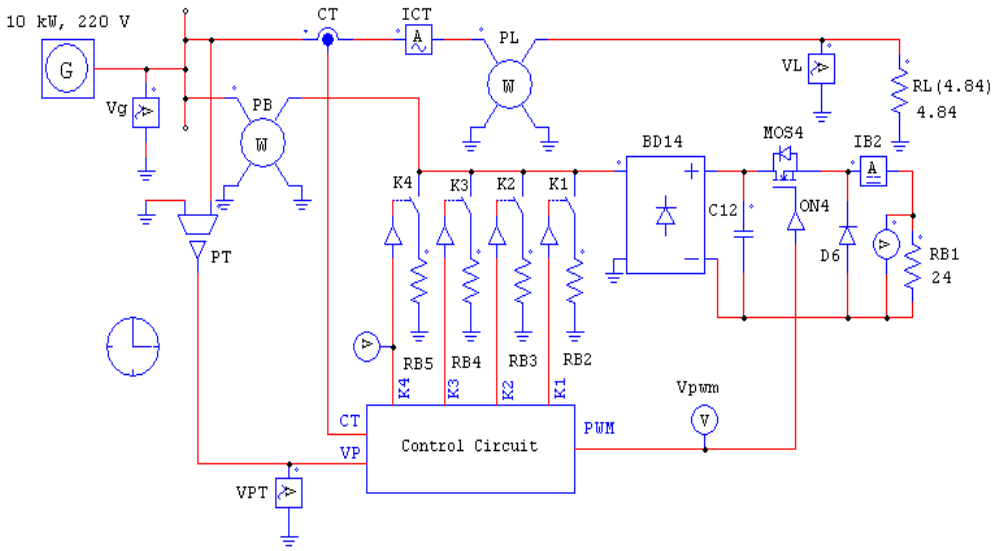
Sistem *Induction Generator Control* (IGC) yang menggunakan PIC16F877 dan buck konverter kombinasi dengan saklar sekuensial (*switch*) untuk PLTMH seperti diperlihatkan pada gambar 6. Tranformator arus (CT) berfungsi untuk mengukur arus beban dan transformator tegangan (PT) berfungsi untuk mengukur tegangan. Kedua nilai ini akan dikakulasi oleh mikrokontroller PIC16F877. Mikrokontroller ini menggerakan buck konverter dan rele K_1-K_4 berdasarkan referensi tegangan dan daya yang dihasilkan oleh CT dan PT. Setiap ballast load mempuyai rating daya 2 kW.



Gambar 6. Diagram sistem IGC

Pada kondisi daya beban 10 kW buck konverter dan K_1-K_4 tidak bekerja, pada daya beban 8 kW buck konverter dan K_1-K_4 tidak bekerja. Bila daya beban 6 kW buck konverter dan K_1,sedangkan K_2-K_4. Daya beban 4kW buck konverter, K_1 dan K_2 bekerja sedangkan K3 dan K4 tidak bekerja. Bila daya baban 2 kW buck konverter, K1,K2 dan K3 bekerja sedangkan K_4 tidak bekerja. Buck konverter dan K_1-K_4 bila daya beban dibawah 2 kW

Langkah awal dari perencanaan adalah simulasi rangkaian dengan menggunakan software PSIM. Rangkaian simulasi yang digunakan untuk perancangan ini bertujuan untuk menghasilkan gelombang tegangan keluaran sesuai dengan perubahan daya beban dan pengoperasian saklar sekuensial (*switch*). Bentuk rangkaian simulasi diperlihatkan oleh Gambar 7.

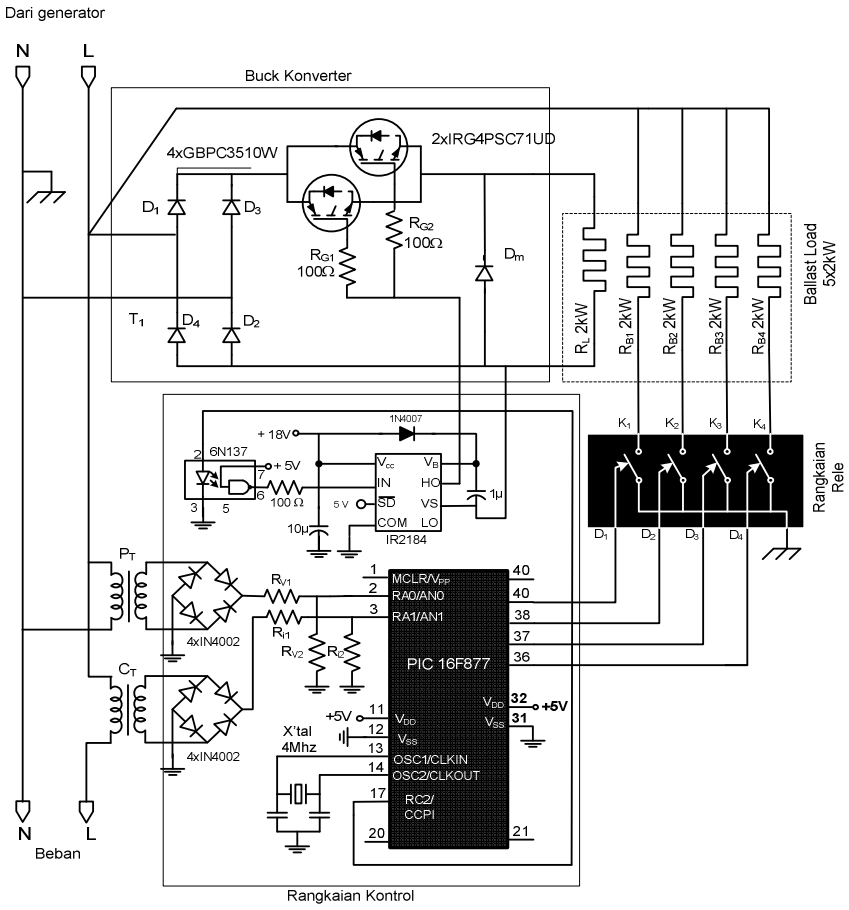


Gambar 7. Blok simulasi perencanaan rangkaian sistem kontrol IGC.

Generator G adalah jenis asinkron, dengan rating daya nominal 10 kW, tegangan nominal 220 Volt dan frekuensi 50Hz. Pada busbar, jalur beban generator terbagi menjadi 2, yaitu jalur beban RL dan jalur ballast load RB1-RB5. Pada masing-masing jalur beban ini dipasang watt meter PL dan PB. Vg, VL dan VPT adalah alat ukr tegangan rms, sedangkan Vpm dan V adalah alat ukur tegangan sesaat (*voltage probe)*. Sensor arus CT dan sensor tegangan PT merupakan masukan referensi bagi rangkaian kontrol. Rangkaian kontrol ini akan menghasilkan sinyal PWM untuk menggerakan mosfet Mos4 pada buck konverter serta sinyal kontrol untuk meggerakan relai K1-K4. BD14 adalah penyearah diode jembatan penuh.

Setiap dijalankan simulasi, nilai beban ballast load RB1, RB2,RB3 dan RB4 di seting tetap pada 24Ω, sedangkan nilai beban RL diatur dari 48,4Ω hingga 4,48Ω untuk dapat memperoleh daya beban dari 1kW hingga 10kW.

Rangkaian eksperimen untuk IGC diperlihatkan pada gambar 8. Penyearah jembantan penuh (*full bridge*) menggunakan sebuah dioda *bridge* GBPC3510W, dioda mampu bekerja pada arus maksimum 35A dan tegangan puncak 1kV.

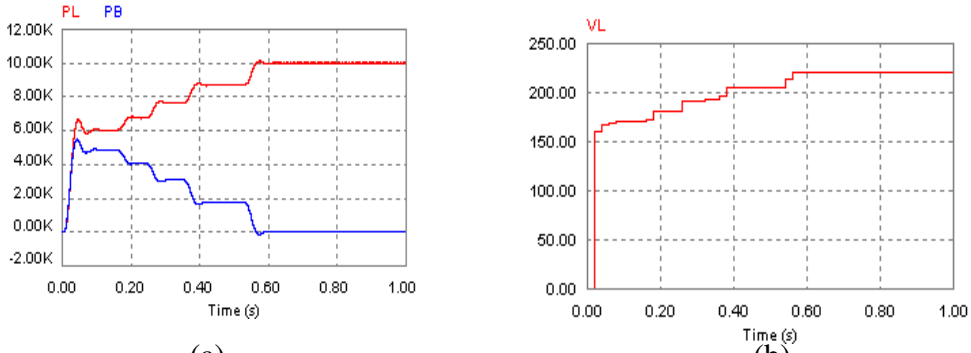


Gambar 8. Rangkaian eksperimen IGC berbasis Mikrokontroler PIC16F877

Buck konverter menggunakan 2 buah mosfet IRG4PSC7S1UD untuk dapat bekerja pada rating daya 2kW. Kedua mosfet ini di gerakan oleh pengerak (*drive*) IR2184, masukan penggerak ini di isolasikan oleh *optocoupler* 6N137 antara rangkaian daya dengan rangkaian kontrol. Mikrokontroler PIC16F877 menerima sinyal referensi tegangan dan arus melalui transformator PT dan CT pada port 1 (RA0) dan port 2 (RA1). Tahanan R_{V1}, R_{V2} dan R_{i1}, R_{i2} adalah rangkaian pembagi tegangan, agar tegangan yang masuk kedalam mikrokontroler ini tidak melebihi dari 5 volt. Mikrokontroler ini akan menghasilkan sinyal PWM pada port 17 (CCP1) dengan duty cycle berdasarkan tegangan referensi pada port 2. Mikrokontroler ini juga menghasilkan sinyal kontrol tinggi (5V) atau rendah (0V) pada port 36, 37, 38 dan 39 untuk menggerakan rangkaian rele. Rangkian rele terdiri dari 4 penguat rele dan 4 buah *Solid State Relay* Omron G3PA-220B-VD.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi rangkaian sistem kontrol IGC untuk daya beban 10kW seperti pada gambar 9a. Pada beban 10kW ini daya pada ballast load adalah 0 kW. Tegangan beban RL 220V seperti pada gambar 9b dan frekuensi 50Hz. Daya beban PL 10kW ini diperoleh dengan mengatur tahanan RL pada 4.84 Ω.

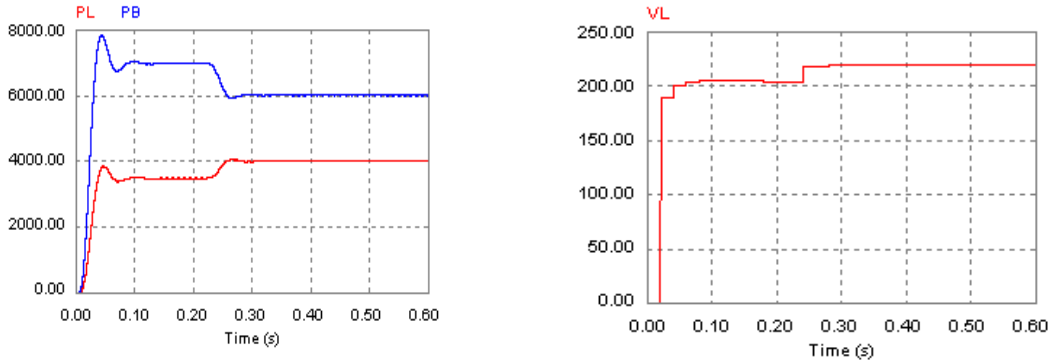


(a) (b)

Gambar 9. Gelombang beban pada 10kW (a) daya pada beban dan ballast load (b) tegangan beban

Untuk daya beban 6 kW nilai beban RL diatur pada 8.08 Ω, diperoleh daya beban PL 6kW dan daya ballast load PB 4kW seperti pada gambar 10a, daya ballast load 4 kW ini mengalir ke PB1 2kW dan PB2 2kW. Tegangan pada beban RL diperoleh sebesar 219 volt

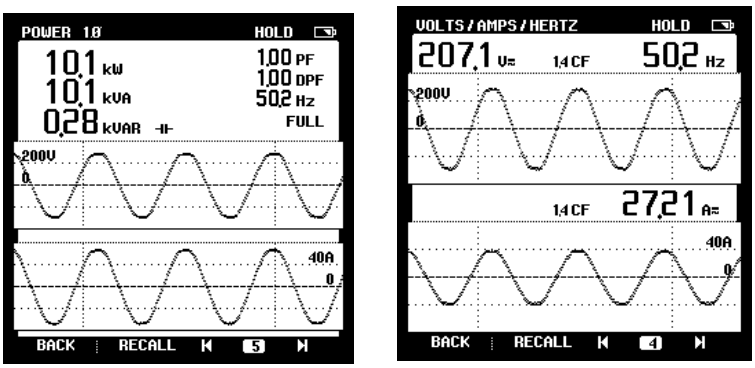
seperti pada gambar 10b dan frekuensi 50,1 Hz. Untuk daya beban yang lain, perubahan tegangan ditunjukan pada gambar 13 dan perubahan frekuensi pada gambar 14.



(a) (b)

Gambar 10. Gelombang beban pada 4kW (a) daya pada beban dan ballast load (b) tegangan beban

Hasil eksperimen untuk daya 10kW ditunjukan pada gambar 11. Dalam eksperimen ini, untuk beban R_L 10kW menggunakan 5 buah elemen pemanas dimana masing-masing mempunyai ranting daya 2kW. Dari hasil pengukuran pada gambar 11a, terbaca bahwa pada daya beban 10kW, tegangan sebesar 207 volt dan frekuensi 50.2Hz seperti pada gambar 11b.

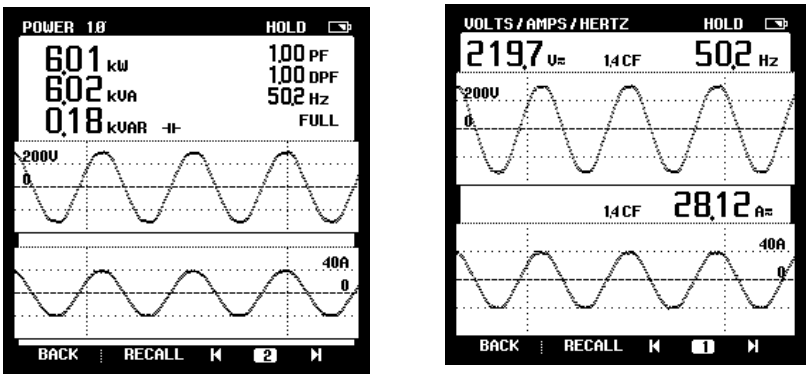


(a) (b)

Gambar 11. Hasil eksperimen pada daya 10kW (a) daya beban 1 (b) tegangan beban

Untuk daya beban 6kW digunakan 3 buah elemen pemanas, hasil pengukuran daya seperti pada gambar 12a. Tegangan beban R_L 219 volt dan frekuensi 50.2 Hz seperti diperlihatkan pada gambar 12b.. Untuk daya beban yang bervariasi, perubahan tegangan

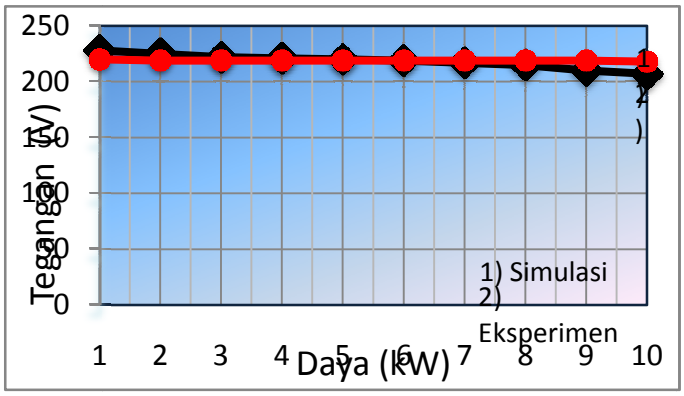
beban diperlihatkan pada garik gambar 13 dan perubahan frekuensi beban diperlihatkan pada garik gambar 14.



(a) (b)

Gambar 12. Hasil eksperimen pada daya beban 6kW (a) daya beban (b) tegangan beban

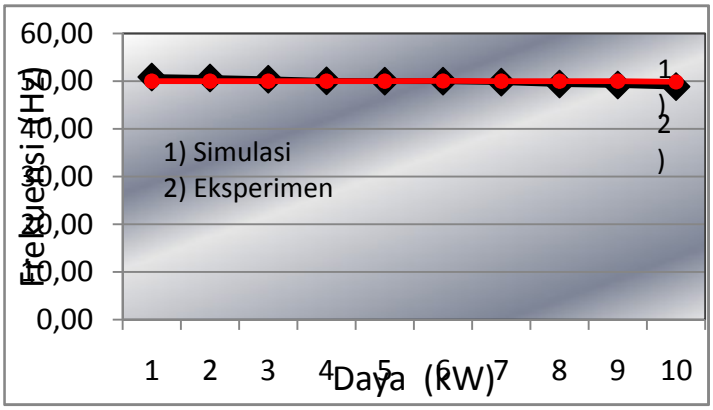
Perubahan tegangan beban hasil simulasi dan eksperimen untuk variasi beban dari 1 kW sampai 10kW diperlihatkan pada gambar 13



Gambar 13. Gragfik perubahan tegangan terhadap daya beban

Hasil simulasi menujukan tegangan beban relatif konstan, hanya berubah (turun) 2 volt (0.9%) dari tegangan nominal 220 volt. Sedangkan hasil eksperimen adanya perubahan terhadap daya dengan kisaran dari 217 hingga 228V. Dimana naik +8V (3.64%) dan turun -13V (5.9%) dari tegangan nominal beban 220 volt. Perubahan ini masih terpenuhi standart kelistrikan yaitu fluktuasi tegangan -10% sampai +5%.

Frekuensi hasil simulasi dan eksperimen relatif lebih stabil seperti diperlihatkan pada gambar 14, hasil eksperimen hanya berfluktuasi -2,2% sampai +1.8 % (48,9Hz-50,9Hz).



Gambar 14. Gragfik perubahan frekuensi terhadap perubahan daya beban

5. Kesimpulan

1) Kestabilan tegangan beban diperoleh 220V dengan fluktuasi -5.9% sampai dengan +3.6 % dan kestabilan frekuensi pada 50Hz dengan fluktuasi -2,2% sampai dengan +1.8 %.
2) IGC ini dapat digunakan pada daya generator dari 1kW sampai dengan 10 kW dan dapat di tingkatkan dengan kelipatan 2kW dengan menambah rele, ballast load dan menambah (memprogram ulang) mikrokontroler PICF877
3) Mikrokontroler PICF877 yang digunakan disini dapat bekerja dengan baik mengatur sinyal PWM buck konverter dan menggerakan rangkaian penguat rele dan *Solid State Relay* Omron G3PA-220B-VD.

Daftar Pustaka

1. Adam H. 1993. *Micro-Hydro Design Manual*. Intermediate Technology publications.
2. Barry Arbetter and Gragan Maksimmovic.1997." Feedforward Pulse With Modulators for switching Power Converters". *IEEE Transactions on Power Electronics,* 12 (2): 361-368.
3. Issa Batarseh. 2004. *Power Electronic Circuit*. John Wiley & Sons, United States of America.

4. Riza Muhida, Aman Mostavan and Kenji Matsuura. 2001. " The 10 years operation of a PV-micro-hydro hybrid system in Taratak, Indonesia". *Elseiver Solar Energy Materials & Solar Cells*, 68(1-4) 621-627