

Pengembangan *Monitoring System* dan *Electronic Load Controller (ELC)* pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai (PLTAS)

^{1,2}Dominikus Sulistiono*), ¹Seno. D. Panjaitan, ¹Managam. R, ³Alfeus Sunarso,

³Agato, ³IG. Gunawan Widodo, ²Halasan Sihombing

¹Jurusan Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak

²Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak

³Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak

*E-mail : domi_polnep@yahoo.com**)

Abstrak

Paper ini menggambarkan pengembangan *electronic load controller (ELC)* yang dilengkapi dengan sistem pemantau (*monitoring system*) parameter kelistrikan pada sistem PLTAS. Sistem ini dikembangkan dengan tujuan untuk menjaga frekuensi generator sinkron konstan pada frekuensi 50 Hz. Di sini generator sinkron dapat menghasilkan frekuensi dan tegangan yang konstan jika beban listrik dan debit air terjaga konstan. Pada kondisi daya yang dibangkitkan lebih besar dari beban konsumen, maka ELC menjaga frekuensi dan tegangan konstan dengan menambahkan beban penyeimbang pada terminal generator. ELC yang dikembangkan ini menggunakan teknik *zero crossing detector (ZCD)* dan *phase angle regulation* dalam melakukan pengaturan daya beban penyeimbang (*ballast load*). Sistem pemantau melengkapi ELC sebagai alat bantu dalam melihat karakteristik parameter pembangkit dan pola konsumsi beban, serta mempermudah dalam *troubleshooting*. Saat ini sistem sudah dioperasikan di PLTAS Nanga Manjang Kabupaten Sekadau Provinsi Kalimantan Barat. Dari data dalam tiga hari yang tercatat pada *sd card* menunjukkan, bila arus pada beban pengguna rendah, maka arus pada beban penyeimbang meningkat, sehingga tegangan yang dihasilkan konstan dan frekuensi tidak melebihi dari 50,5 Hz.

Kata Kunci: PLTAS, Generator sinkron, Electronic Load Controller, Ballast load, Monitoring system.

1 Pendahuluan

Di Indonesia berdasarkan data dari Dirjen EBTKE (2013), sumber energi mini-mikrohidro berpotensi sebesar 769,7 MW sementara yang terpasang sebesar 512 MW. Untuk wilayah Kalimantan Barat sendiri berdasarkan data dari Masyarakat Ketenagalistrikan Indonesia (MKI) bahwa potensi kelistrikan teoritis untuk pembangkit listrik tenaga air sebesar 359,585 MW yang tersebar di tujuh kabupaten. Sementara potensi untuk pembangkit listrik dengan head rendah ($\text{head} \leq 4$ meter) berdasarkan survei dari Tim PENPRINAS MP3EI POLNEP banyak terdapat pada daerah pedalaman terisolir yang belum terjangkau jaringan listrik dari PT.PLN. Potensi pembangkit dengan memanfaatkan head rendah ini cocok jika dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai (PLTAS) berpenggerak kincir air [1][2].

Permasalahan utama pada pembangkit listrik tenaga air termasuk juga pada pembangkit listrik tenaga arus sungai (PLTAS) adalah fluktuasi frekuensi dan tegangan pada generator karena fluktuasi beban konsumen. Mengendalikan tegangan dan frekuensi pada generator dapat dilakukan dengan menjaga keseimbangan daya aktif antara daya generator dengan daya beban konsumen. Fluktuasi frekuensi dan tegangan yang terjadi merupakan salah satu efek yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan kelistrikan. Untuk itu, maka

Electronic Load Controller (ELC) digunakan untuk menyelesaikan permasalahan fluktuasi frekuensi tersebut [2][3]. Agar diperoleh frekuensi generator konstan dilakukan pengaturan ballast load dengan beberapa teknik seperti phase angle regulation, binary load [4][6]. Pengaturan seperti tersebut biasa dilakukan pada ballast load dengan sumber tegangan AC. Pada metode lain pengaturan dilakukan dengan merubah sumber AC menjadi DC, sehingga beban yang digunakan beban DC dengan dioda tak terkontrol mau pun terkontrol. Kelebihan teknik ini memiliki hasil pengaturan yang cukup baik dengan respon yang cepat [7][8]. Pengaturan frekuensi juga dapat dilakukan dengan melakukan pengaturan governor kecepatan turbin, namun memiliki kelemahan yaitu lambat dibandingkan dengan menggunakan ballast load [5]. Pada penelitian yang dilakukan ini ELC dikembangkan dengan dilengkapi monitoring system sebagai alat dukung dalam operasi dan perawatan pembangkit. Monitoring system ini berfungsi mengamati pola penggunaan beban konsumen dengan mencatat data arus dan tegangan pada sd card setiap 10 detik pembacaan.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan masyarakat desa akan teknologi lokal, sehingga masyarakat memiliki kemampuan dalam memenuhi kebutuhan sendiri baik dalam hal melakukan perawatan dan perbaikan, bahkan juga jika akan membangun sendiri pembangkit listrik tenaga air. Hal ini juga selaras dengan tantangan yang sedang kita hadapi ke depan yaitu tantangan dalam menghadapi pasar bebas ASEAN.

2 Metode

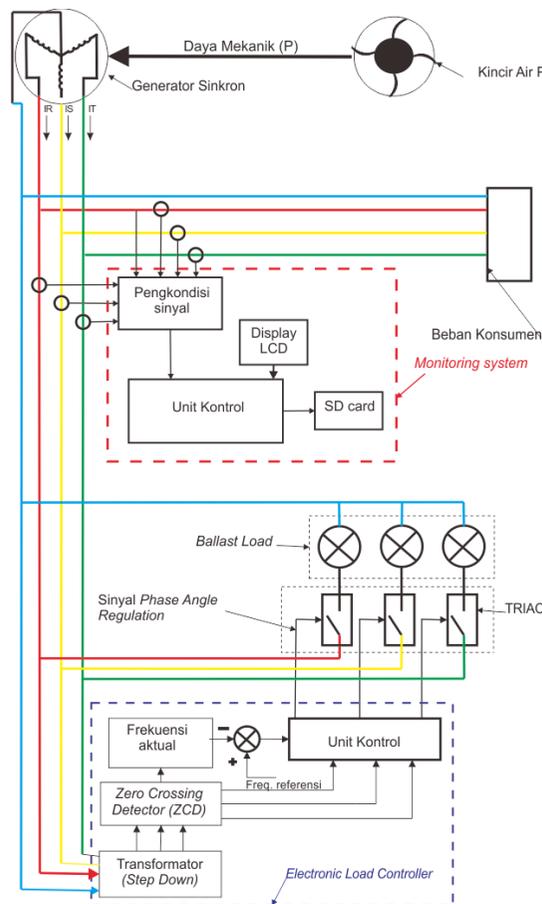
Penelitian ini melakukan Pengembangan *Monitoring System* dan *Electronic Load Controller* pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai (PLTAS). Metode untuk mewujudkan itu dilakukan dalam tiga tahapan yaitu : perancangan, implementasi dan uji unjuk kerja. Masing-masing tahapan memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Perancangan berfungsi untuk mencari disain rangkaian yang baik dan memilih komponen-komponen sesuai dengan rating yang dibutuhkan serta mudah diperoleh.
2. Implementasi berfungsi untuk mewujudkan prototipe sesuai disain yang sudah dibuat. Dimulai dengan disain PCB menggunakan software eaglepcb kemudian memindahkan print out disain PCB ke plastik transparan yang selanjutnya disetrika pada papan PCB. Papan PCB yang sudah menempel gambar disain selanjutnya dilakukan etsa (etching). PCB yang telah di etsa kemudian pada setiap kaki komponennya dibor sesuai dengan ukuran kaki komponen. Setelah PCB dalam kondisi benar komponen disolder pada papan PCB. Program akhir kemudian ditanamkan pada minimum system ELC dan monitoring system untuk kemudian dilakukan pengujian.
3. Uji Unjuk Kerja dilakukan untuk melihat fungsi per bagian blok ELC dan monitoring system, serta fungsi secara keseluruhan. Pengujian fungsi blok ELC dilakukan mulai dari input proses kendali dan output. pengujian input untuk mengetahui kerja rangkaian ZCD. Pengujian proses untuk mengetahui fungsi pembacaan frekuensi dan proses aktifasi TRIAC terhadap perubahan frekuensi. Pengujian blok monitoring system diawali dengan melakukan kalibrasi sensor arus dengan membandingkan alat ukur referensi dan sensor arus yang dihubungkan dengan beban terkontrol. Beban diberikan meningkat secara bertahap dengan besar beban setiap tahap 100 watt. Setiap perubahan beban dicatat, data ini kemudian diregresi, persamaan dari hasil regrasi ini dijadikan persamaan dalam menginterpretasi nilai arus yang diukur oleh sensor. Setelah setiap blok berfungsi dengan baik kemudian dirakit pada panel kontrol untuk

kemudian dilakukan pengujian lapangan yaitu pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai.

3 Perancangan

Skema dari pengembangan sistem pemantau parameter kelistrikan dan ELC terlihat seperti Gambar 1. Sistem yang dikembangkan ini digunakan pada pembangkit dengan daya target 2 KW. Generator yang digunakan jenis generator sinkron tiga phase, 220V/380V, empat kutub hubungan Y (way), 20 kW, yang digerakkan oleh kincir air jenis *breast shoot*.



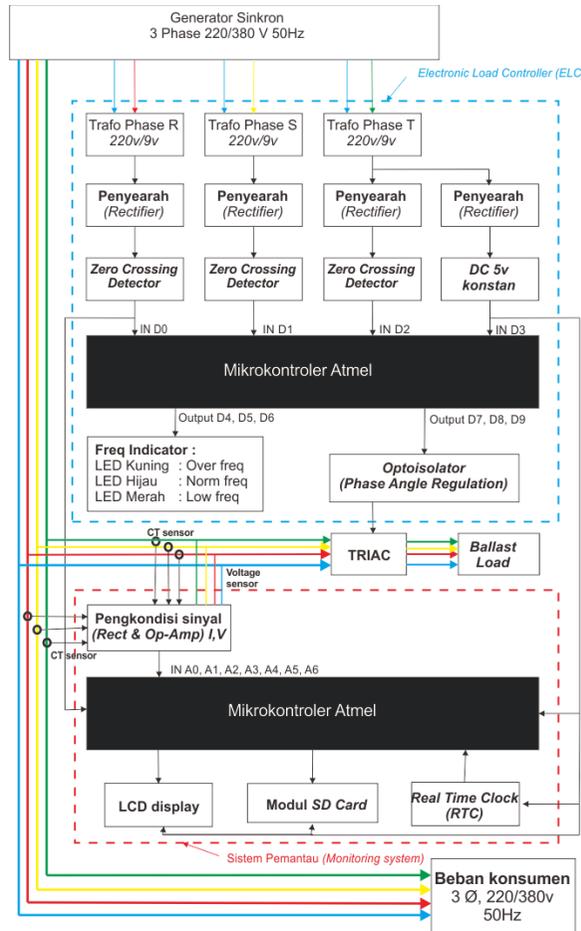
Gambar 1 Diagram pengawatan *monitoring system* dan *ELC*

Pada sistem pembangkit berpengerak air daya generator dipengaruhi oleh debit air, sedangkan daya konsumen bervariasi. Agar frekuensi tetap maka putaran generator harus dijaga tetap pada 1500 rpm. ELC bertugas menjaga agar beban keseluruhan sama dengan daya yang dibangkitkan generator, walaupun beban konsumen bervariasi. Jika beban konsumen berkurang, maka kekurangan daya di konsumen akan ditambahkan oleh ELC pada *ballast load*, sehingga daya input sama dengan daya output. Untuk melakukan itu

maka beban konsumen dan *ballast load* dihubungkan paralel pada terminal generator. Proses penyeimbangan beban tersebut seperti pada persamaan (1).

$$P_G = P_C + P_B \tag{1}$$

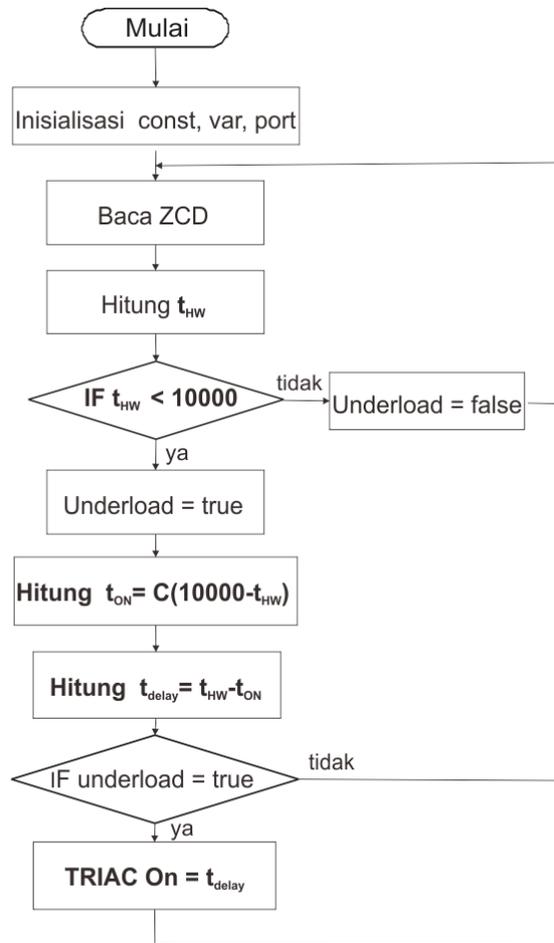
Dimana, P_G = Daya yang dibangkitkan generator (yang selalu dijaga konstan), P_C = beban konsumen, dan P_B = *ballast load*. *Ballast load* merupakan beban resistive, bisa berupa lampu pijar atau *heater*.



Gambar 2 Rancangan sistem keseluruhan

Seperti ditunjukkan Gambar 2, ELC yang dirancang terdiri dari trafo penurunan tegangan pada setiap phase, penyearah gelombang penuh, mikrokontroler, saklar elektronik (TRIAC) dan *ballast load*. Proses pengendalian dilakukan oleh mikrokontroler seperti pada Gambar 3, yaitu dengan membaca sinyal ZCD, kemudian menghitung periode setengah gelombang yang berbanding terbalik dengan frekuensi listrik. Perlu diperhatikan bahwa bahwa pada frekuensi standar 50 Hz, periode setengah gelombang adalah 10.000 mikrodetik. Jika periode setengah gelombang yang terjadi kurang dari 10.000 mikrodetik, berarti daya kincir

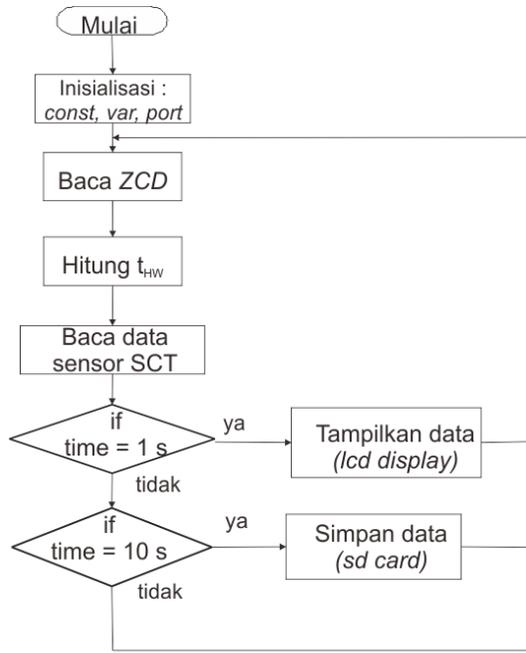
lebih besar dari beban konsumen, sehingga frekuensi melebihi 50 Hz dan tegangan phase melebihi 220V/380V. Untuk menjaga frekuensi dan tegangan konstan pada kondisi normal, maka mikrokontroler akan mengaktifkan TRIAC yang terhubung pada *ballast load* pada periode tertentu sehingga frekuensi dan tegangan yang berlebihan turun. Jika frekuensi dan tegangan turun di bawah nilai standar, maka TRIAC dinonaktifkan dan *ballast load* terputus dari jalur daya. Selang waktu TRIAC pada kondisi aktif ditentukan berdasarkan selisih antara periode setengah gelombang standar (10.000 mikrodetik) dengan periode setengah gelombang sesaat. Semakin besar selisih periode, semakin besar selang waktu TRIAC dalam keadaan aktif. Perlu diperhatikan bahwa pengendalian TRIAC dilakukan setiap periode setengah gelombang untuk masing-masing phase.



Gambar 3 Diagram alir ELC

Pada blok *monitoring system* sensor arus dan tegangan adalah input sistem. Data yang terukur itu ditampilkan pada layar LCD yang kemudian disimpan dalam sebuah *sd card*. Periode yang digunakan agar mikrokontroler menampilkan data pada layar LCD yaitu setiap

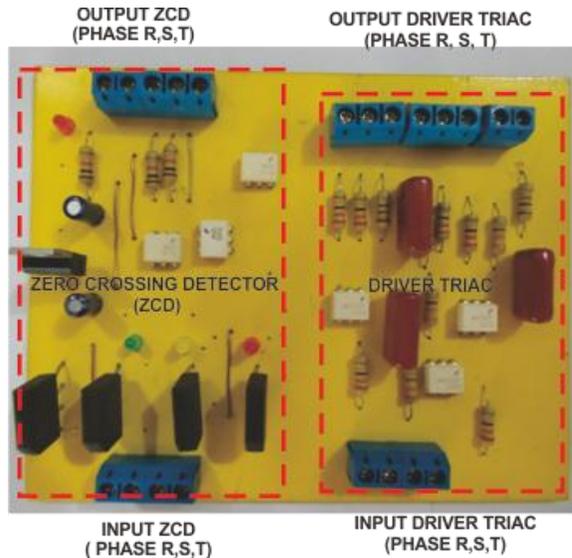
satu detik, sedangkan periode penyimpanan data ke dalam sd card adalah setiap 10 detik. Diagram alir dari proses monitoring system ini seperti terlihat pada Gambar 4.



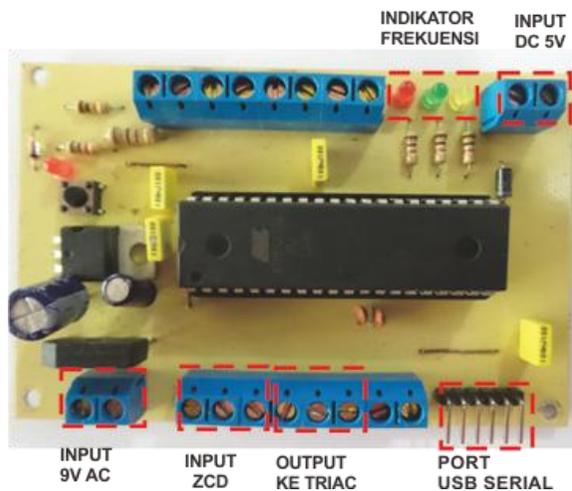
Gambar 4. Diagram alir *monitoring system*.

4 Implementasi

Untuk mengimplementasikan rancangan ELC, rangkaian elektronik dibuat pada dua buah PCB, PCB I/O seperti Gambar 5 dan PCB untuk mikrokontroler seperti Gambar 6.

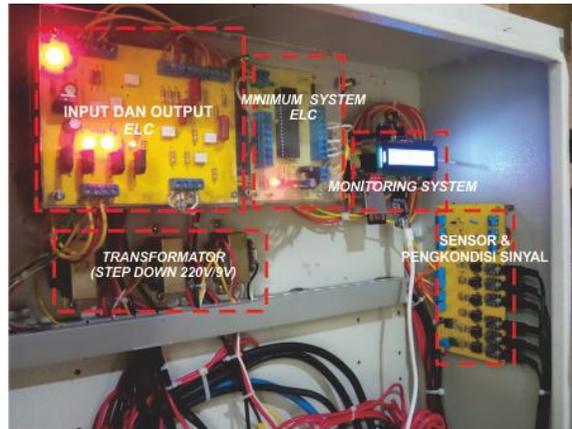


Gambar 5 PCB input dan output ELC



Gambar 6 Minimum system ELC

Pada rangkaian mikrokontroler seperti Gambar 6, terdapat lampu indikator frekuensi yang fungsinya memberikan indikasi frekuensi yang terukur pada saat ELC beroperasi. Jika LED merah menyala mengindikasikan frekuensi lebih besar dari 50,5 Hz, dan jika LED kuning menyala mengindikasikan frekuensi di bawah 49,5 Hz, sedangkan jika frekuensi normal pada 49,5 – 50,5 Hz LED hijau menyala. Pada rancangan *monitoring system* juga dibuat pada dua buah PCB, yaitu PCB untuk mikrokontroler (LCD display, modul *sd card*, RTC dan PCB pengkondisi sinyal sensor).



Gambar 7 Pengujian ELC

Setelah ELC, rangkaian proteksi dan *monitoring* system selesai dirakit, dilakukan pengecekan untuk memastikan bahwa rangkaian telah sesuai dengan rancangan dan kemudian dilakukan uji unjuk kerja seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pengujian ELC dilakukan dengan menghubungkan sisi input sistem dengan jaringan tiga phase serta menghubungkan sisi output sistem dengan beban. Kemudian pada mikrokontroler ditanamkan program khusus yang membaca periode setengah gelombang input untuk mengaktifkan TRIAC. Dengan program ini dipastikan bahwa input dan output dapat bekerja dengan baik, ditandai dengan beban lampu yang menyala dengan kondisi berkedip. Pengujian *monitoring* system dilakukan untuk memastikan setiap sinyal dari sensor dapat terbaca, tampil pada layar LCD dan dapat tersimpan ke dalam *sd card*. Selain itu, pembacaan sensor arus dan tegangan dikalibrasi dengan membandingkan pembacaan sensor dengan tang ampere dan voltmeter.



Gambar 8 Pengujian sistem elektronik

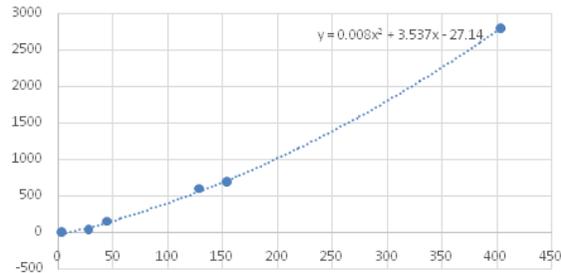


Gambar 9 Pengujian pada PLTA

Setelah pengujian berkerja sesuai rencana, pengujian dilanjutkan dengan uji unjuk kerja pada sistem pembangkit listrik tenaga arus sungai. Pada pengujian unjuk kerja ELC dibebani dengan beban terkontrol, yaitu dengan menggunakan lampu pijar pada beban konsumen. Beban diberikan meningkat secara bertahap. Setelah pengujian untuk kerja berjalan dengan baik, barulah beban konsumen sesungguhnya dihubungkan.

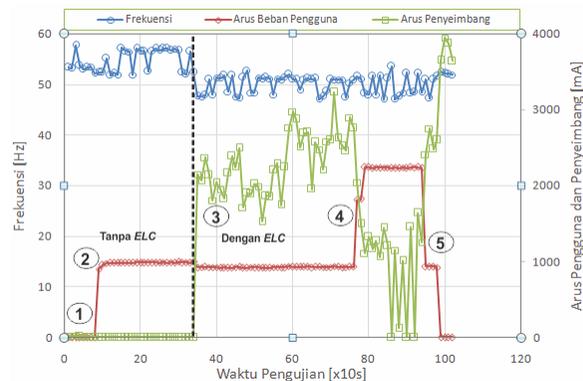
5 Uji Unjuk Kerja

Berdasarkan pengujian yang dilakukan diperoleh data di antaranya yaitu : data kalibrasi sensor arus, data unjuk kerja ELC dan data keseimbangan arus beban. Data unjuk kerja ini merupakan data hasil pengukuran yang tersimpan di dalam *sd card monitoring system*.



Gambar 10 Grafik kalibrasi sensor arus

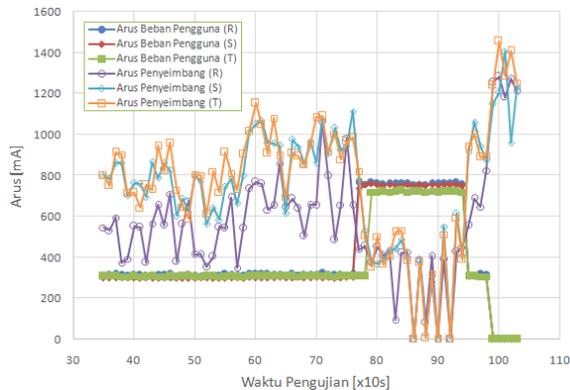
Data kalibrasi sensor arus yang telah dilakukan terlihat pada grafik seperti Gambar 10, data ini diregresi sehingga dihasilkan persamaan untuk menghitung arus oleh mikrokontroler.



Gambar 11. Grafik unjuk kerja ELC.

Tahapan pengujian unjuk kerja ELC pada PLTAS tampak seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9, pengujian dilakukan dengan dua kondisi, yaitu saat PLTAS beroperasi tanpa ELC dan saat PLTAS beroperasi dengan ELC seperti pada grafik gambar 11. Saat PLTAS beroperasi tanpa ELC (1) terlihat jika beban konsumen tidak aktif frekuensi naik tinggi di atas normal. Namun disaat beban konsumen aktif (2) hingga 2000 miliampere atau sebesar 400 watt, frekuensi mulai terlihat turun sesaat kemudian naik berfluktuasi di atas normal. Dari kondisi ini terlihat bahwa pembangkit tanpa terpasang ELC maka frekuensinya tidak akan terkendali. Pada periode berikutnya saat PLTAS beroperasi dengan ELC aktif (3) dan beban konsumen tetap, frekuensi mulai turun dan berfluktuasi pada kisaran 50 Hz, hal ini terjadi karena mikrokontroler mengaktifkan TRIAC sehingga daya dibuang pada *ballast load* sebesar kekurangan daya yang dibutuhkan. Pada saat ELC aktif arus *ballast load* meningkat berfluktuatif di atas 1500 miliampere. Grafik menunjukkan saat ELC aktif,

frekuensi generator pada PLTAS tidak melebihi 50,5 Hz, walau pun beban konsumen berubah-ubah (3,4,5). Namun pada grafik juga terlihat bahwa frekuensi bisa turun di bawah 49,5 Hz.



Gambar 12. Grafik arus beban.

Berdasarkan data pada *sd card* terlihat keseimbangan phase pada beban konsumen dan *ballast load* seperti terlihat pada Gambar 12. Data ini sangat berguna bagi operator dalam melakukan operasi dan perawatan. Salah satunya sebagai rujukan dalam pengaturan keseimbangan antar phase pada beban konsumen.

6 Kesimpulan

Dari hasil pengujian per bagian dan uji unjuk kerja dapat disimpulkan bahwa alat *monitoring System* dan *Electronic Load Controller (ELC)* yang dikembangkan dapat berfungsi dan bekerja dengan baik sesuai dengan rencana. Pada saat ELC aktif, walau pun beban konsumen berubah-ubah, frekuensi konstan tidak lebih dari 50,5 Hz. Namun penurunan frekuensi di bawah 49,5 Hz terjadi dan tidak dapat dikontrol oleh ELC. Ini terjadi kemungkinan disebabkan pada saat beban bertambah cukup besar pada saluran kincir terjadi turbulensi dan kincir lambat meningkatkan putarannya ke putaran nominal (1500 rpm). Sedangkan fungsi *monitoring system* juga sesuai dengan rencana, ini ditunjukkan bahwa *monitoring system* dapat membaca arus setiap phase, dapat menampilkan pada LCD, dan dapat menyimpan data ke dalam *sd card*.

7 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat terlaksana berkat dukungan dana dari DIKTI, PEMDA Sekadau dan PEMDA Bengkayang melalui skema penelitian PENPRINAS MP3EI tahun 2012-2014.

8 Daftar Pustaka

- [1] Gerald Muller. "Performance Characteristics of Water Wheels", *Journal of Hydrolic Research*. Vol. 42, No.5(2004), pp. 451-460.
- [2] James Senior, Patrick Wiemann, Gerald Muller."The Rotary Hydraulic Pressure Machine for Very Low Head Hydropower Sites". *Civil Engineering, University of Southampton, UK*.

- [3] W.L.chen, and Y.Y.Hsu, "Experimental Evaluation of an Isolated Induction Generator with Voltage and Frequency Control," in *IEEE 2006 International Symposium on Power Electronic, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2006, pp. 497-502.
- [4] D.Henderson. "An Advanced Electronic Load Governor for Control of Micro Hydroelectric Generation", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol.13, no.3, pp. 300-304, sep.1998.
- [5] Lucas. G. Scherer and Robinson. F de Camargo. "Frequency and Voltage Control of Micro Hydro Power Stations Base On Hydrolic Turbine's Linier Model Applied On Induction Generators", *IEEE*
- [6] Nam Win Aung, Aung Ze Ya. Microcontroller Based Electrical Parameter Monitoring System of Electronic Load Controller Used in Micro Hydro Power Plant. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*. Vol.3, No. 5, 2015, pp. 97-109.doi: 10.11648/j.jeee.20150305.11.
- [7] B,Singh, S.S. Murthy and S. Gupta. "Analysis and Implementation of an electronic load controller for a self-excited induction generator", *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib*, Vol. 151, No.1, January 2004.
- [8] Bhim Singh, Gaurav. K. Kasal, Sanjay Gairola."Power Quality Improvement in Conventional Electronic Load Controller for an Isolated Power Generation". *IEEE Trans. On Energy Conv*. Vol. 23, No. 3, September 2008.