

# Analisis Perangkat Sinkronisasi Otomatis Untuk Dual Generator Elektrik Berdasarkan Protokol CAN (Controller Area Network)

Sandy Wijaya, M. Tony Prasetyo, Arief Hendra Saptadi

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Semarang  
Jl. Kasipah no 10-12 Semarang – Indonesia  
Email: [swijaya87@gmail.com](mailto:swijaya87@gmail.com)

## Abstraksi

*Sinkronisasi Otomatis secara luas bekerja untuk menghubungkan lebih dari satu generator sinkron. Peran utama dari sistem sinkron adalah untuk membaca tegangan, frekuensi, dan phase yang berbeda dalam generator secara akurat dan cepat. Tugas Akhir ini memperkenalkan sebuah perangkat baru untuk sinkronisasi otomatis generator ganda berdasarkan CAN (Controller Area Network) Protocol. Perangkat ini terdiri dari 3 modul mikrokontroler yang terhubung dengan CAN Protocol. Salah satunya disebut dengan pemutus sirkuit control (circuit control breaker) yang bertanggung jawab untuk menutup circuit breaker diantara generator.*

*Dua modul bekerja untuk menangkap tegangan frekuensi dan perbedaan phase dari setiap generator yang disebabkan oleh referensi sinyal dan mengatur perintah generator dapat menerima lebih dari ambang batas. Karena kecepatan dan teknik dideteksi dari kesalahan CAN protocol, kemungkinan untuk memutuskan kesalahan sinkronisasi dapat diminimalkan, di mana hal tersebut merupakan kontribusi utama dari tugas akhir ini. Oleh sebab itu, keutamaan dari sinkronisasi meningkat. Perkembangan dari sinkronisasi otomatis sangat cepat, efektif biaya, dapat diandalkan dan tepat digunakan sebagai monitoring pengukuran dan pengoperasian paralel generator sinkron.*

Kata kunci : Sinkronisasi genset, dual generator elektrik, protocol CAN

## 1. Pendahuluan

Sistem daya elektrik utamanya terdiri dari sebuah generator. Jalur transmisi dan distribusi beban . Dalam banyak kasus dibutuhkan untuk menghubungkan lebih dari satu generator ke system. Beberapa keuntungan untuk memakai system multi generator secara parallel termasuk untuk menambah kehandalan,meningkatkan kapasitas,fleksibel dan efisien . Sistem operasi generator parallel dapat menambah efisiensi yang tinggi terhadap beban. (Colak I,2013).

Ketika menghubungkan sebuah generator yang saling berhubungan ke dalam system yang berisi banyak generator,tegangan,phase dan frekuensi ke terminal harus disamakan satu dengan yang lainnya. Generator akan rusak jika generator dioperasikan terpisah dari system tersebut. Oleh karena itu perangkat sinkronisasi mempunyai peran yang penting dalam sinkronisasi generator. Bertahun tahun para peneliti telah memberikan perhatian yang besar untuk mengembangkan perangkat sinkronisasi performa tinggi.( Z. Ying, D. Cun-Lu, J. Chong-Peng, C. Li,2009) Masalah utama dari menghubungkan sinkronisasi generator ke system elektrik untuk mencapai batas yang aman dari setiap delta phase angle,delta frekuensi,dan delta tegangan magnitude yang dapat disimpulkan sebagai berikut (R. A. EVANS,1990):

- 1) Delta Phase Angle (Sudut phase delta)

Menghubungkan generator ke sistem electric dengan perbedaan delta

phase yang tinggi dan generator dipaksa dihubungkan secara langsung ke system diantara generator dalam sistem menyebabkan kejutan pada generator dan system . Kejutan ini menyebabkan tekanan pada motor utama generator sehingga generator lebih cepat rusak karena kumparan pada motor generator cepat panas.

- 2) Delta Frekuensi

Delta frekuensi mengacu pada frekuensi relative dari generator yang sehubungan dengan sistem. Terlalu banyak perbedaan frekuensi selama sinkronisasi akan mengakibatkan kejutan . Namun kejutan ini tidak separah dengan sudut phase delta,dikombinasikan secara bersama sama dapat mengakibatkan efek negative di masing masing parameter.( Power O and M. Bulletin,1957)

- 3) Delta Voltage Magnitude (Delta Tegangan Magnitude)

Tegangan terminal generator yang sangat rendah pada masa pengoneksian dapat menyebabkan masalah stabilitas karena kelemahan sirkuit magnetic diantara generator dan system. Di sisi lain,tekanan terminal generator yang tinggi selama koneksi akan membuat daya reaktif yang besar mengalir dari system ke generator. Di mana hal tersebut dapat merusak poros generator dan kejutan mekanik ke

gulungan stator yang dapat mengakibatkan aliran daya reaktif sesaat.

Oleh sebab itu, sangat penting untuk menjaga tiga parameter sinkronisasi kritis dalam batas yang dapat diterima. Sebuah perlindungan harus dapat disediakan ke generator selama proses sinkronisasi, hal tersebut dilakukan dengan mengukur parameter parameter generator sebelum secara fisik dihubungkan ke system. Ada beberapa metode tersedia untuk mengukur parameter generator. Sebagian besar dikategorikan berdasarkan metode berbasis hardware maupun berbasis software. (H. Chun, J. Yaqun, J. Yan, C. Li, 2006)

Tugas Akhir ini akan membahas sebuah system sinkronisasi otomatis yang baru untuk mengukur rangkaian frekuensi, tegangan, dan sudut phase berdasarkan modul PIC yang dihubungkan dengan CAN (Controller Area Network) Protocol, yang dipilih komunikasi serial untuk mengurangi kerumitan pengkabelan dan masalah pemeliharaannya. Selain itu tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan kecepatan sinkronisasi pada multigenerator dengan data komunikasi real time.

## 2. Landasan Teori

Dalam bab ini, akan diperkenalkan latar belakang teoritis dari elemen utama perangkat hardware dan protocol yang digunakan dalam implantansi

proyek tugas akhir ini. Pertama kita memperkenalkan konsep generator sinkron. Struktur dan teori sinkronisasi dalam system tenaga disajikan dalam dua bagian. Di bagian berikutnya kita membahas kerusakan pada system generator, pada bagian empat menggambarkan metode sinkronisasi dan Controller Area Network (CAN) yang digunakan dalam transfer data.

### 2.1 Generator Sinkron

Pada bagian ini kami menjelaskan konstruksi mekanikal dan operasi listrik dari generator AC yang kita sebut sebagai alternator atau generator sinkron.

#### 2.1.1 definisi

Arus bolak-balik (ac) generator biasanya disebut sebagai sinkron generator atau alternator.

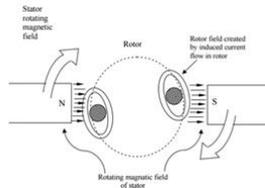
Sebuah mesin sinkron, apakah itu adalah generator atau motor, beroperasi di kecepatan sinkron, yaitu, pada kecepatan di mana medan magnet yang diciptakan oleh kumpulan kumparan berputar. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 ekspresi untuk sinkron kecepatan N, diputaran per menit (rpm) (Bhag S. Guru, Hiiseyin R. Hiziroglu, 2001)

$$N = 120 f / P \quad (2.1)$$

Dimana f adalah frekuensi dalam hertz (Hz) dan P adalah jumlah kutub di mesin. Dengandemikian, untuk generator sinkron 4-tiang untuk menghasilkan listrik pada 50 Hz, kecepatan rotasi harus 1.500 rpm. Di sisi lain, motor sinkron 4-tiang yang beroperasi dari sumber 50-Hz berjalan pada 1500 rpm

## 2.1.2 Konstruksi dari mesin sinkron

Sebuah mesin sinkron terdiri dari stator, yang merupakan tempat konduktor, dan rotor, yang menyediakan bidang yang diperlukan seperti pada Gambar 2.1



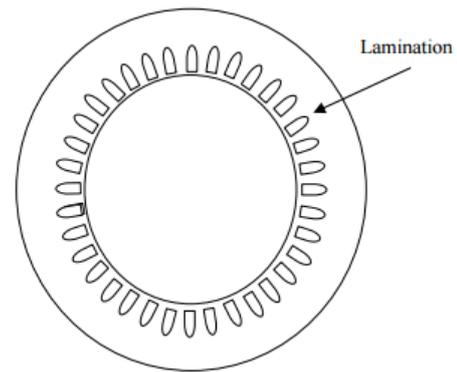
Gambar.2.1

Sepasang Kutub dalam pola tertentu yang menghubungkan utara ke selatan medan gaya

### 2.1.1.1 Stator

Stator atau Dinamo terdiri dari bahan yang dibungkus bahan baja yang sangat tipis untuk mengurangi rugi-rugi ini seperti tampak pada gambar 2.2

Bingkai stator memegang dan mengelompokkan laminasi stator bisa dibuat dari besi cor atau pelat baja ringan. Bingkai stator dirancang untuk tidak membawa aliran tetapi untuk mendukung secara mekanik generator sinkron (Bhag S. Guru, Hiiseyin R. Hiziroglu, 2001). Slot di dalam stator adalah sebagai rumah yang tebal untuk dinamo konduktor baik berupa kumparan ataupun gulungan. Untuk membentuk poli fase yang seimbang konduktor dinamo yang simetris diatur.



Gambar 2.2 Konstruksi Stator

Ada beberapa catatan yang harus dipertimbangkan (Bhag S. Guru, Hiiseyin R. Hiziroglu, 2001):

- Emf induksi per fase generator sinkron besar dalam kilo volt (kv)
- Sebuah kapasitas penangan daya di Mega volt ampere (Mva)

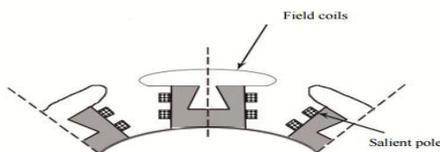
Panjang aksial generator dapat dibagi menjadi dua bentuk tergantung pada kecepatan generator . untuk generator lambat kecepatan panjang aksial stator pendek. Generator ini mempunyai banyak kutub dan dibiarkan terbuka pada kedua ujungnya untuk dapat melakukan pendinginan mandiri (self cooling). Generator seperti ini biasanya dipasang di pembangkit listrik tenaga air. Di sisi lain, untuk kecepatan tinggi pembangkit yang mempunyai dua atau empat kutub panjang aksial bisa berkali lipat diameternya.

Selain generator lambat (Slow speed) , generator kecepatan tinggi (high speed) juga dibutuhkan untuk menutup sirkulasi udara pada pendinginan dan memastikan benar benar tertutup. Hal ini digunakan ketika rotor digerakkan oleh gas atau uap turbin.

### 2.1.1.2 Rotor

Rotor terdiri dari kutub yang sama dengan jumlah kutub stator aliran arusnya Dc ,gulungan medan ini biasanya menerima aliran dari generator dc 115- atau 230 V. Rotor digerakkan oleh penggerak utama pada kecepatan sinkronnya . Dc generator dapat didorong oleh penggerak generator sinkron maupun dengan motor listrik terpisah .Oleh karena itu agar dapat menghasilkan aliran konstan per kutub dc generator harus memiliki lilitan lapisan ganda untuk membawa arus dc.

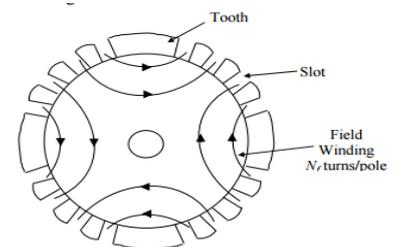
Rotor bisa berbentuk silinder atau jenis kutub yang menonjol. Generator dengan kecepatan rendah,medium,cepat menggunakan rotor yang kutub yang menonjol karena hilangnya windage kecil pada kecepatan ini. (Bhag S. Guru, Hiiseyin R. Hiziroglu, 2001) Kutub rotor terdiri dari perangkat yang memproyeksikan kutub dilaminasi. Setiap kutub dirancang sehingga cocok menjadi niche berbentuk baji atau melesat ke roda magnetik yan disebut laba laba . Kumbaran diletakkan disekaliling kutub seperti gambar 2.3 . Kutub harus bergantian dalam polaritas.



Gambar. 2.3 Kutub rotor yang menonjol ( A salient pole rotor) Gambar (2.3) Sebuah kutub rotor menonjol ,di sisi lain kecepatan tinggi turbo generator

menggunakan rotor silinder. Rotor silinder terbuat dari silinder baja padat yang ditempa dengan halus dengan sejumlah slot dipinggiran luarnya . Slot ini dirancang untuk mengakomodasi kumparan medan seperti ditunjukkan gambar (2.4). Penggunaan silinder dapat mempunyai manfaat seperti berikut (Bhag S. Guru, Hiiseyin R. Hiziroglu, 2001):

1. Hasilnya operasi yang tenang dengan kecepatan yang tinggi.
2. Menyediakan keseimbangan yang lebih baik dari kutub rotor (salient pole rotor)
3. Mengurangi kerugian windage



Gambar 2.4 Rotor berbentuk silindris

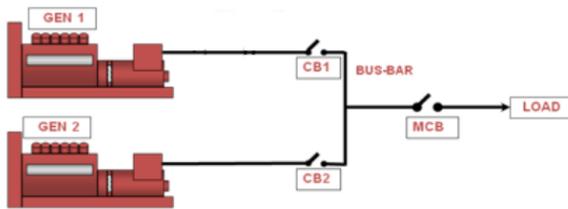
### 2.2. Sinkronisasi

Generator dapat dihapus atau dihubungkan dari layanan karena beberapa factor seperti variasi beban ,pemeliharaan dan keadaan darurat. Setiap generator dihubungkan ke power system harus disinkronkan sebelum interkoneksi breaker dapat ditutup.

Definisi

Sinkronisasi dalam bentuk yang paling sederhana adalah proses

menghubungkan listrik dan pencocokkan pada generator ganda satu sama lain seperti ditunjukkan gambar 2.5 .Tepatnya sinkronisasi adalah suatu tindakan untuk mencocokkan besarnya tegangan,sudut phase,dan frekuensi dari generator pertama dengan variable generator kedua.



Gambar.2.5 Pengkoneksian

dua generator

Untuk menggambarkan definisi sinkronisasi kita menggunakan fungsi volt,komponen yang disediakan oleh generator tersebut adalah sebagai berikut :

$$V = A \cos (\omega t + \Theta)$$

(2,2)

Jika tegangan dari generator pertama adalah  $A_1 \cos (\omega_1 t + \Theta_1)$  dan tegangan dari generator kedua adalah  $A_2 \cos (\omega_2 t + \Theta_2)$ ,kemudian jika kita menghubungkan dua generator dalam satu bus . Komponen tegangan masing masing harus harus sama seperti yang disebutkan dalam definisi di atas ini menyiratkan bahwa

$$A_1 \cos (\omega_1 t + \Theta_1) = A_2 \cos (\omega_2 t + \Theta_2)$$

(2,3)

Dari persamaan 2,3 kita dapatkan

$$A_1 = A_2$$

amplitude

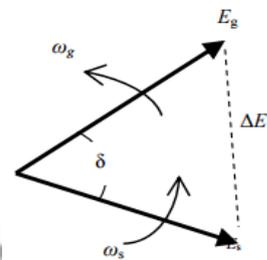
$$\omega_1 = \omega_2 \rightarrow$$

$$f_1 = f_2 \text{ frekuensi}$$

$$\Theta_1 = \Theta_2$$

phase

Ini mengkonfirmasi kondisi definisi di atas. Untuk membahas ketidakcocokan kondisi, Gambar 2.6 adalah representasi vektor dari variabel yang terkait dengan sinkronisasi. generator tegangan pertama  $E_s$  dan kecepatan (frekuensi)  $\omega_s$  ditetapkan oleh daya sistem. Selama proses sinkronisasi, frekuensi dari dua generator dapat berbeda satu sama lain.



Gambar.2.6

Sinkronisasi variable

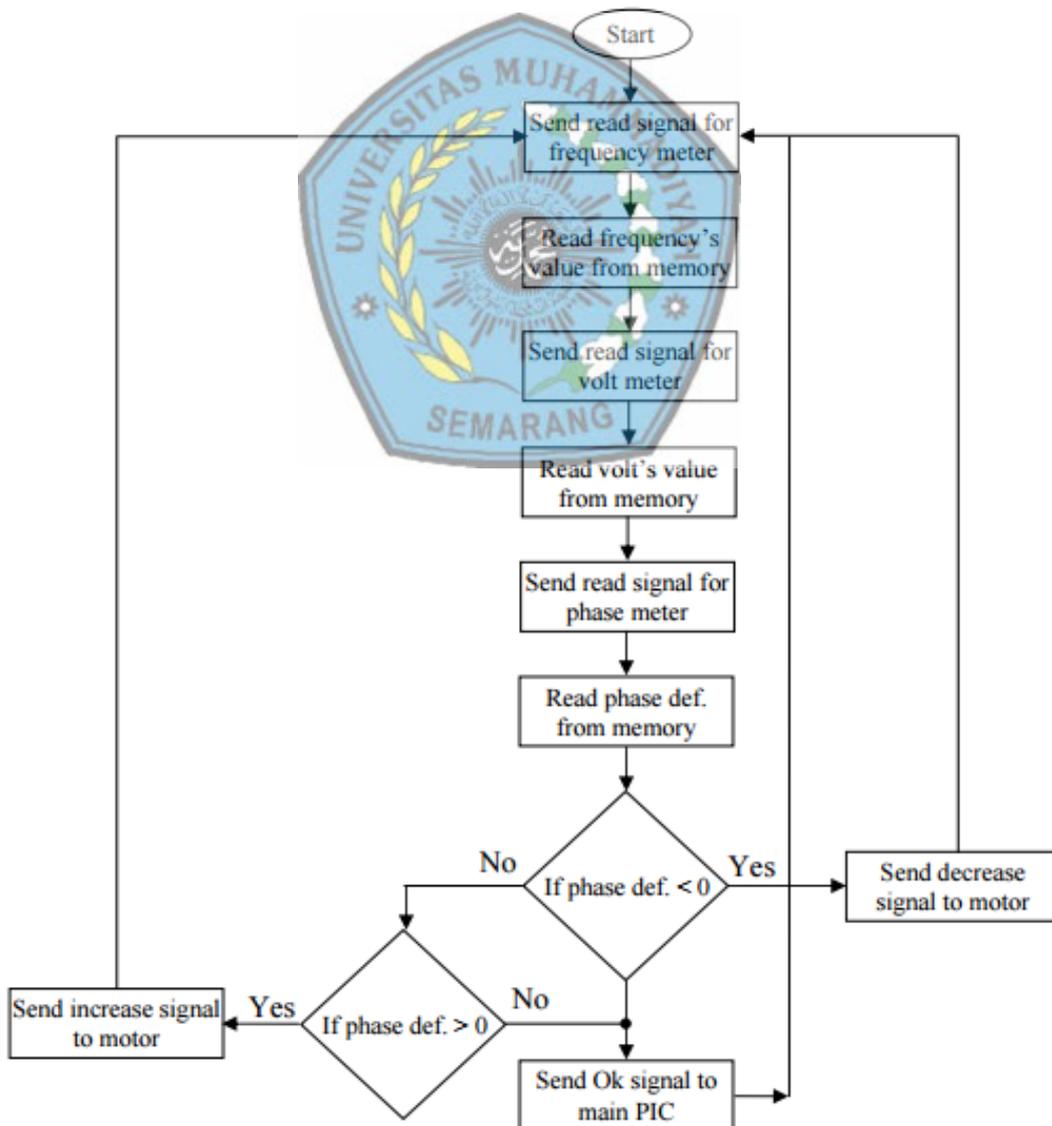
Jika generator kedua diasumsikan pada kecepatan yang lebih tinggi daripada generator pertama, tegangan generator kedua misalnya akan berputar .Vektor tetap pada diagram tegangan generator pertama di arah yang berlawanan, frekuensi slip  $(\omega_s - \omega_g)$  menjadi perbedaan antara generator pertama, frekuensi generator kedua. Sudut fase  $\delta$  dan perbedaan tegangan  $\Delta E$  antara dua generator akan bervariasi di slip frekuensi .

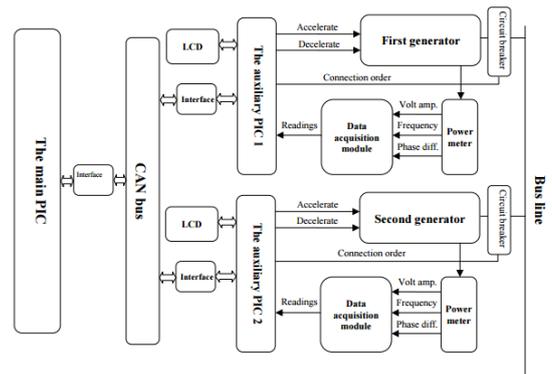
Dari pembahasan di atas, kita mendapatkan bahwa: idealnya, generator pertama dan generator kedua baik tegangan di kedua sisi pemutus sinkronisasi terbuka harus sama besarnya dan frekuensi juga fase keselarasan

sempurna pada closure breaker instant.(  
Reimert, Donald, 2006)

Sebuah sinkronisasi yang sempurna mengakibatkan tidak ada transien system listrik ,maka tidak ada tekanan pada generator. Dalam prakteknya kedua system listrik dan mekanik dapat bertoleransi terhadap penyimpangan kecil dari sinkronisasi yang sering tidak selaras dengan frekuensi dan tegangan.

Alur penelitian





Gambar 4.1 . Keseluruhan sistem diagram

#### 4.1 Breaker Closing Control Unit (Unit pengontrol catu daya)

Banyak perangkat yang dapat menyingkronkan generator ke system tenaga atau generator yang lain. Alat tersebut harus terlebih dahulu menguji apakah tegangan, frekuensi dan phase antara dua generator dalam batas yang dapat diterima kemudian menghubungkannya. Perangkat sinkronisasi mempunyai prinsip-prinsip yang berbeda. Ada yang terletak dititik persimpangan (crossing point) atara dua system yang perlu disinkronkan , pada system yang lainnya perangkat harus terdapat di sisi system. Misalnya SYNCHROTECT 5 ditunjukkan pada Gambar 4.2 (a) adalah generasi kelima sinkronisasi peralatan yang diproduksi oleh ABB, produk SYNCHROTECT digunakan untuk sinkronisasi otomatis generator dengan jaringan listrik dan untuk paralelisasi dari garis sinkron. Alat tersebut dirancang untuk operasi otomatis penuh oleh dual channel atau sistem single-channel [15].

#### 4. Pembahasan

Dalam bab ini akan dijelaskan seluruh system untuk sinkronisasi dua generator . Sistem ini terdiri dari tiga komponen yang utama . Pertama adalah Unit pengontrol catu daya (breaker closing control unit) yang digunakan untuk mengambil keputusan untuk breaker closing ketika dua generator melakukan kondisi sinkronisasi. Generator unit control membaca output daya meteran yang disediakan oleh modul akuisi data untuk masing- masing generator dan mengaturnya untuk memenuhi nilai-nilai referensi . Komponen ketiga adalah modul akuisi data dan modul power meter, yang terbentuk dari meteran sirkuit. Gambar (4.1) menunjukkan diagram dari system secara keseluruhan.

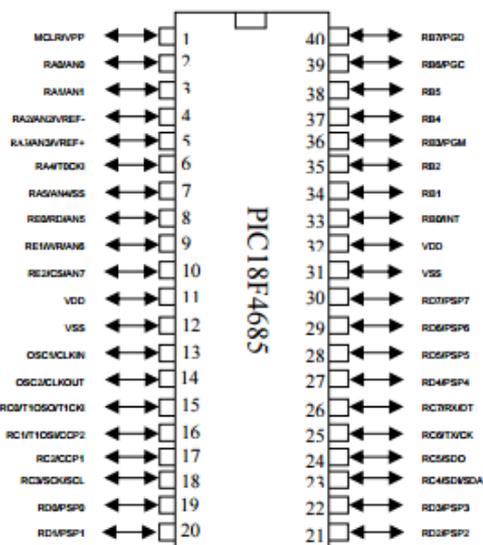


Gambar (4.2) Peralatan Sinkronisasi

Contoh lain ditunjukkan pada gambar diatas (b) telah dikembangkan untuk pengoperasian parallel dari generator AC yang terisolasi grid. Koneksi dari satu sinkronisasi untuk setiap generator memang sangat dibutuhkan karena memungkinkan untuk berbagi fungsi dan beban [35]Komponen utama dari desain ini adalah PIC8F4685 . PIC ini memiliki program 8 K bit memori, dioperasikan dengan 4 MHz osilator, waktu loop setiap perintah adalah 1µs,Pembanding ADC , Timer -1 modul dan A,B port E mikrokontroller telah digunakan dalam aplikasi. Konfigurasi port dari mikrokontroller yang digunakan untuk penelitian ini adalah ditunjukkan pada gambar (4.3) 3328 byte SRAM dan 1024 byte EEPROM.

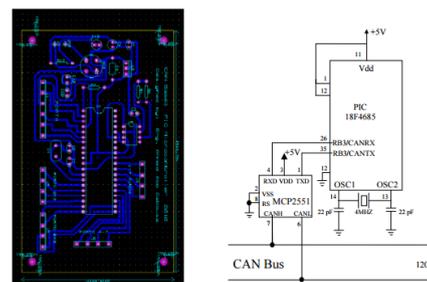
PIC utama “18F4685”

mengendalikan PIC tambahan “18F4685” untuk setiap generator untuk menangkap sinyal tegangan, frekuensi dan sudut fase dari modul pengukuran. Setelah itu, PIC tambahan untuk setiap generator mengirimkan sinyal ok, yang berarti bahwa mengukur data dalam batas yang dapat diterima.



Gambar (4.3) Pin diagram dari PIC 18F465

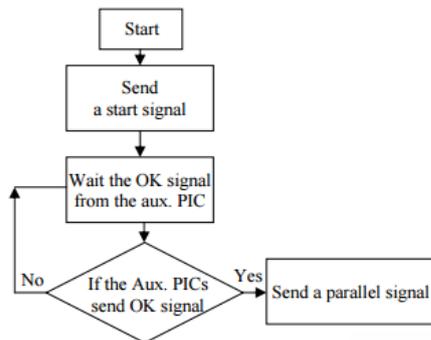
PIC melakukan paralellisasi generator yang merupakan fungsi utama dari system sinkronisasi ketika tegangan, frekuensi , perbedaan phase berada dalam bats yang dapat diterima. Sebuah relay melakukan koneksi parallel dengan terhubung ke nomer input 4 dari port B. Letak ,gambaran dan koneksi pin PIC utama ditunjukkan pada gambar (4.4)



Gambar (4.4) Layout dari PIC utama PIC18F4685

Gambar 4.5 menunjukkan Diagram alir dari program perangkat lunak utama. Perangkat lunak ini upload di PIC utama. Seperti ditunjukkan dalam diagram alir; PIC utama mengirim sinyal awal ke PIC pembantu untuk memulai mengendalikan generator untuk mencapai

batas yang dapat diterima kondisi koneksi paralel. PIC utama menunggu kedua PICs tambahan untuk mengirim 'OK' sinyal mereka dan kemudian mengeluarkan perintah penutupan.



Gambar (4.5) Diagram alir dari program perangkat lunak

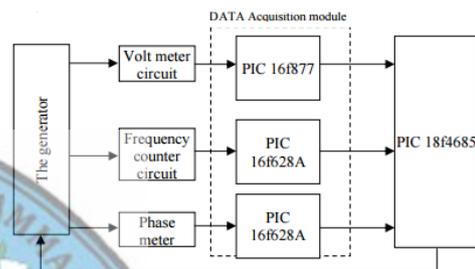
## 1.2 Generator Control Unit (Unit Kontrol generator)

Dalam rangka meminimalkan sirkuit eksternal dan tidak kehilangan waktu chip utama.

Tambahan PIC18F4685 digunakan sebagai timer dan pengontrol tambahan untuk setiap generator. Hal ini memberikan ruang untuk waktu tambahan untuk pengendali utama untuk menyelesaikan kontrol dan fungsi komunikasi. Oleh karena itu, sistem yang lengkap memiliki akurasi yang lebih tinggi, kehandalan, dan kecepatan. Output voltmeter, frekuensi meter dan fase meteran dijelaskan secara rinci dalam Bab 3 terhubung ke input dari PIC tambahan melalui akuisisi data modul yang akan dijelaskan secara rinci dalam bagian 4.3.

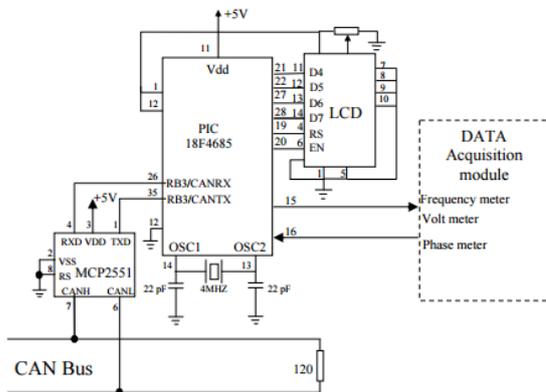
PIC tambahan mengeluarkan perintah ke modul akuisisi data untuk

meningkatkan atau menurunkan masing-masing nilai diukur dalam rangka mewujudkan diterima yang telah ditetapkan margin. PIC tambahan akan mengirimkan sinyal 'OK' ke PIC utama ketika margin telah dicapai. Koneksi diagram antara auxiliary PIC dan akuisi data modul akan ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar (4.6) Koneksi sirkuit dari Auxiliary PIC 18F4685 dengan data modul akuisisi

Letak PC tambahan sama seperti PIC utama dan Pin koneksi dari PIC tambahan adalah sama untuk PIC utama kecuali jika ia memiliki koneksi ke LCD untuk menampilkan data yang diukur dan juga memiliki koneksi dengan data modul akuisisi seperti tampak berikut :



Gambar (4.7) Koneksi pin PIC tambahan dengan akuisisi data modul dan LCD

## 5. Kesimpulan.

1. Ada banyak masalah dalam pendistribusian daya listrik dalam generator. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dirancang sebuah ide untuk melakukan sinkronisasi generator. Sinkronisasi generator adalah menghubungkan dua atau lebih generator secara bersama-sama. Sinkronisasi mempunyai beberapa kelebihan seperti keandalan, upgrade, dan fleksibilitas. Untuk melakukan sinkronisasi volt, frekuensi dan perbedaan phase antara generator harus diperhitungkan. Di mana tegangan, frekuensi dan perbedaan phase harus dalam parameter yang dapat diterima. Sinkronisasi yang salah dapat membuat generator, peralatan listrik dan system mekanik

2. Ada dua metode utama untuk menyingkronkan generator yaitu secara otomatis dan manual. Metode manual sangat tergantung pada operator yang harus terlatih sedangkan metode otomatis lebih tergantung pada perangkat berbasis software maupun hardware. Proses sinkronisasi membutuhkan kecepatan, ketepatan data (real time) komunikasi data sehingga protocol CAN merupakan bahasan utama dari skripsi ini. Perangkat sinkronisasi yang dibahas dalam skripsi ini adalah perangkat otomatis berbasis CAN protocol. Perangkat tersebut mencakup tiga unit control untuk membaca karakteristik dari dua generator dan menyesuaikan generator agar dapat menjadi identic satu sama lain. Tiga unit control yang dibangun dari PIC18F4680 terhubung melalui protocol CAN. Dua unit bisa menjadi mirip satu sama lain dan disebut generator control unit. Generator Control unit tersebut dapat membaca karakteristik dari generator dan mengatur perbedaan phase relative terhadap sinyal referensi dan mengirim sinyal OK untuk unit ketiga melalui protocol CAN. Unit ketiga adalah rangkaian control pemutus yang menunggu sinyal OK dari unit control generator untuk

memerintahkan generator menutup pemutus sirkuit. Sistem ini diimplementasikan, diuji dan telah memiliki hasil yang dapat diterima.

## 5.2. Saran

Perangkat sinkronisasi yang dikembangkan dalam penelitian ini perlu menambahkan control volt dan control frekuensi untuk controller yang membuat perangkat untuk menyesuaikan volt dan frekuensi dalam batas yang dapat diterima dari proses sinkronisasi untuk mendapatkan control penuh generator. Hal terpenting adalah menggeneralisasi perangkat untuk menyingkronkan generator yang lebih besar . Perlu menambahkan SCADA system characteristic untuk pengawasan control dan akuisisi data.

## Daftar Pustaka

- [1] Colak I., Synchronous Machines, 2003, Seckin Press, In Ankara-Turkish.
- [2] Abu Generac Power Systems Inc, Generator Paralleling-Technical Perspective, 2006, In USA.
- [3] Z. Ying, D. Cun-Lu, J. Chong-Peng, C. Li “Design of Generator Synchronizing Device Based on PIC16F877 and FPGA”. ISA 2009 “Intelligent Systems and Applications 2009”, Wuhan, 978-1-4244-3893-8, IEEE 2009.
- [4] R. A. EVANS, “A Manual/Automatic Synchronization Circuit for a 37.5-MVA Steam-Turbine-Driven Generator”. IEEE Transaction on Industry Applications. vol. 26, no 6, November/December 1990.
- [5] “Power O and M. Bulletin” No. 27, US Dept., of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1957.
- [6] H. Chun, J. Yaqu, J. Yan, C. Li “Novel Automatic Synchronizer Based on Dual Principles and Dual Microprocessors”, 10.1109/ICPST.2006.321439 International Conference on Power System Technology 2006.
- [7] L. C. Gross, L. S. Anderson, and R. C. Young, “Avoid generator and system damage due to a slow synchronizing breaker” in Proc. 24th Annu. Western Protective Relay Conf., Oct. 21–23, 1997, pp. 1–20, 1997.
- [8] W. G. Hartmann, “Automatic synchronizing for generation and tie lines” in Proc. 18th Annu. Western Protective Relay Conf., Oct. 22–24, 1991, pp. 1–28, Aug 2002.
- [9]. Bhag S. Guru, Hiiseyin R. Hiziroglu, “Electric Machinery and Transformers”, Oxford University Press, New York, In USA, 2001.
- [10]. Reimert, Donald., “Protective Relay for Power Generation System”, CRC Press, New York, In USA, 2006.
- [11] Michael J. Thompson, “Fundamentals and Advancements in Generator Synchronizing Systems”. Power-GEN International, in Las Vegas, 2011.
- [12] IEEE Standard for Salient-Pole 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators and Generator/Motors for Hydraulic Turbine Applications Rated 5 MVA and Above, IEEE Standard C50.12-2005.
- [13] <http://www.scribd.com/doc/22987422/Introduction-to-Automatic-Synchronizing>

[14] Dogan Ibrahim, “Advanced PIC Microcontroller Projects in C”, Oxford University Press, In USA, 2008.

[15] Wai P. Aung, , “Implementation of PIC based Digital Frequency Counter”, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008.

[16] <http://embedded-lab.com/blog/?p=396>

[17]

[http://www.allaboutcircuits.com/vol\\_3/chpt\\_8/3.html](http://www.allaboutcircuits.com/vol_3/chpt_8/3.html)

[18] ABB Switzerland Ltd, SYNCHROTECT® 5 Synchronizing and Paralleling Equipment and Systems for Synchronous Machines and Networks, [www.abb.com/synchrotact](http://www.abb.com/synchrotact), Inc.2010.

[19] SELCO Ltd, synchronizer E7600. [36] <http://www.mikroe.com/eng/home/index/>

