

Kontrol Arus pada *Inverter* Satu Fasa Tipe *Full Bridge* menggunakan DSPF28069M dengan Metode Proporsional Integral

Rizqy Amrullah Purwanto¹, Herman Hariyadi², Ratna Ika Putri³

[Submission: 23-11-2021, Accepted: 11-05-2022]

Abstract — Recently, many DC direct current power plants have been developed for the sake of electricity consumption. Most household electricity consumption uses AC electricity, so an inverter is needed to convert DC electricity into AC electricity. In this research, a current control is designed on a full bridge inverter using Dsp F28069m with proportional integral control method. The purpose of this research is to design the PI method of current control on a full bridge inverter so as to produce an inverter output with a controlled stable current. The ZMPT101B sensor is used to detect the inverter output voltage and then it is fed back to the controller to adjust the inverter input so that it produces an output that matches the given setpoint. The inverter input adjustment is carried out using a mosfet circuit with a PWM duty cycle variation to determine the on-off performance of the mosfet so that the Vrms voltage can be adjusted. The results prove that the PI control is an appropriate control and is capable of being used as an AC voltage control. Determination of control parameters using the trial and error method with the results of the values of $K_P = 1$ and $K_i = 0.9$ showing the most optimal results with a set point achievement of 4.5 seconds.

Keywords – PI Control, DSP F28069m, Setpoint

Abstrak — Belakangan ini banyak dikembangkan pembangkit listrik arus searah DC demi kebutuhan konsumsi listrik. Konsumsi listrik rumah tangga sebagian besar menggunakan listrik AC, maka diperlukan adanya inverter untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC. Dalam penelitian ini dirancang sebuah kontrol arus pada inverter full bridge menggunakan Dsp F28069m dengan metode kontrol proporsional integral. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang kontrol arus metode PI pada inverter full bridge sehingga menghasilkan output inverter dengan arus yang stabil terkontrol. Sensor ZMPT101B digunakan untuk mendeteksi tegangan keluaran inverter kemudian diumpun balik ke kontroler untuk menyesuaikan masukan inverter sehingga menghasilkan keluaran yang sesuai dengan setpoint yang diberikan. Penyesuaian masukan inverter dilakukan menggunakan rangkaian mosfet dengan variasi duty cycle PWM untuk menentukan kinerja on-off mosfet sehingga tegangan Vrms dapat diatur besarnya. Hasil membuktikan kontrol PI merupakan kontrol yang tepat dan mampu untuk digunakan sebagai pengendalian tegangan AC. Penentuan parameter kontrol menggunakan metode trial and error dengan hasil nilai $K_P=1$ dan $K_i=0.9$ menunjukkan hasil paling optimal dengan capaian setpoint selama 4,5 detik.

Kata Kunci – Kontrol PI, DSP F28069m, Setpoint

I. PENDAHULUAN

Keperluan listrik saat ini dibeberepa sektor seperti rumah tangga, industri, kesehatan, dan yang lain tidak sebanding dengan energi listrik yang tersedia sehingga mengakibatkan kebutuhan akan energi listrik tidak sepenuhnya terpenuhi. Energi listrik di Indonesia cenderung meningkat terus setiap tahunnya dengan laju pertumbuhan 9% per tahun [1]. Oleh karena itu energi terbarukan yang berkelanjutan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi hal ini. Konsumsi listrik dalam kehidupan sehari-hari umumnya menggunakan sumber tegangan listrik bolak-balik (*Alternating Current/AC*). Beberapa tahun ini telah dikembangkan sumber penghasil listrik yang menghasilkan tegangan listrik searah (*Direct Current/DC*).

Energi listrik pada arus searah akan disimpan terlebih dahulu pada suatu penyimpan seperti aki. Energi tersebut kemudian dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Namun, karena peralatan listrik yang digunakan umumnya menggunakan tegangan AC, listrik yang telah disimpan pada aki tidak dapat digunakan secara langsung. Harus dikonversi terlebih dahulu dari tegangan DC menjadi tegangan AC. Rangkaian inverter mampu mengkonversi listrik tegangan DC menjadi tegangan AC yang berbentuk gelombang kotak (*square wave*), gelombang sinusoidal yang tidak sempurna, (*modified sine wave*), dan gelombang sinusoidal murni (*pure sine wave*). Dibandingkan dengan yang lain, inverter gelombang sinus murni memiliki keuntungan lebih yaitu distorsi harmonisa rendah dan *noise* yang lebih kecil [2].

Telah dilakukan penelitian mengenai perancangan inverter satu fasa yang menghasilkan output tegangan DC lima level dengan distorsi harmonisa yang kecil. Inverter yang dirancang dengan tipe *inverter full-bridge* satu fasa dilengkapi satu sistem switching dibagian depan yang terhubung dengan sumber DC. Dengan menggunakan modifikasi *Pulse Width Modulation* (PWM) maka nilai harmonisa akan kecil dan menghasilkan tegangan dan arus keluaran yang relatif konstan [3]. Perancangan inverter menggunakan metode SPWM telah digunakan pada rangkaian inverter 1 fasa yang menghasilkan tegangan keluaran antara 25 V – 100V dengan variasi frekuensi tegangan keluaran 25Hz – 50Hz [4]. Penelitian mengenai rangkaian inverter dengan tegangan keluaran berupa gelombang kotak tipe H-Bridge satu fasa telah didesain menggunakan PWM dengan program di Arduino [5]. Rangkaian inverter 1 fasa juga telah didesain untuk menghasilkan gelombang keluaran inverter berupa sinyal

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

¹Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang, Jawa Timur, 65141, Indonesia; e-mail: rizqyamrullah@gmail.com

^{2,3}Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang, Jawa Timur, 65141, Indonesia; e-mail: herman.hariyadi@polinema.ac.id, ratna.ika@polinema.ac.id



sinusoidal murni dan mengetahui pengaruh perubahan nilai m sebagai parameter kecepatan respon penurunan fungsi error pada *dynamic evolution control* terhadap gelombang keluaran inverter. Penelitian ini hanya dilakukan melalui simulasi menggunakan Simulink Matlab untuk mengevaluasi performansi rangkaian *inverter* yang telah didesain [6].

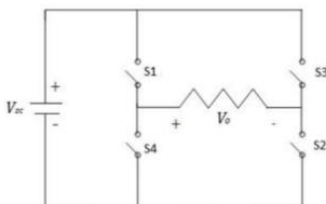
Penelitian ini merancang kontrol arus pada *inverter* satu fasa tipe *full bridge*. Pengontrolan arus dilakukan menggunakan metode kontrol Proporsional Integral (PI) melalui pengolahan sinyal oleh DSP F28069M. Dengan *output* arus yang dapat dikontrol akan menghasilkan harmonisa dan distorsi arus yang kecil sehingga membuat penggunaan piranti elektronika dengan sumber catu daya dari *inverter* yang dirancang dari lebih aman dan mengurangi resiko kerusakan. Selain itu perancangan *inverter* dengan metode kontrol *proportional integral* ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam memahami kontrol arus dari *inverter* 1 fasa tipe *full bridge* serta *output* gelombang dari *inverter* 1 fasa tipe *full bridge*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berikut ini merupakan beberapa tinjauan pustaka yang memiliki keterkaitan dengan sistem yang dirancang.

A. Inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengkonversi daya listrik searah (*Direct current/ DC*) menjadi bentuk daya listrik bolak-balik (*Alternating current/ AC*). Prinsip kerja inverter menggunakan rangkaian dengan sumber masukan tegangan dc dan memiliki empat saklar yang telah dirangkai seperti di bawah ini dengan pengoperasian waktu saklar yang telah diatur yaitu waktu operasi saklar 1 (S1) dan saklar 2 (S2) sama, waktu operasi saklar 3 (S3) dan saklar 4 (S4) sama, dan antara saklar 1 (S1) saklar 2 (S2) dan saklar 3 (S3) saklar 4 (S4) memiliki waktu operasi yang berbeda.



Gambar 1. Rangkaian Inverter Empat Saklar [4]

Perbedaan waktu operasi saklar tersebut yang menimbulkan rekayasa aliran listrik yang mengalir pada rangkaian di atas. Ketika S1 dan S2 dalam keadaan *on* (Close) dan S3 serta S4 dalam keadaan *off* (Open) maka aliran dari *dc supply* akan mengalir melalui S1 kemudian melewati positif beban setelah itu mengalir melalui S2 dan menuju *dc supply*, aliran listrik pada rangkaian saat keadaan ini ditunjukkan oleh gambar 2.3 sehingga pada keadaan tersebut keluaran gelombang pada beban akan berada di posisi positif [7].

B. Digital Signal Processor (DSP)

Digital signal processor (DSP) merupakan mikroprosesor yang memiliki arsitektur untuk mengoptimalkan kebutuhan operasional pemrosesan sinyal digital dengan cepat. DSP dapat memproses data secara *real-time*, sehingga sangat ideal untuk aplikasi yang tidak mentolerir adanya keterlambatan. Dalam awal pemrosesan data pada DSP, data diterima dalam sinyal analog berbentuk sinyal kontinyu dan kemudian sinyal kontinyu tersebut diubah menjadi sinyal digital dengan cara mencuplik (Sampling) sinyal kontinyu sehingga menjadi sinyal diskrit, keseluruhan proses tersebut terjadi di unit ADC (*Analog to Digital Converter*) [8].

C. Piccolo TMS320F28069

Keluarga mikrokontroler (MCU) F2806x Piccolo memberikan kekuatan inti C28x dan CLA yang digabungkan dengan periferil kontrol yang sangat terintegrasi dalam perangkat dengan jumlah pin yang rendah. Keluarga ini kompatibel dengan kode dengan kode berbasis C28x sebelumnya, dan juga menyediakan integrasi analog tingkat tinggi. Regulator tegangan internal memungkinkan pengoperasian rel tunggal. Penyempurnaan telah dilakukan pada modul High-resolution Pulse Width Modulator (HRPWM) untuk memungkinkan kontrol dua sisi (modulasi frekuensi). Pembanding analog dengan referensi 12-bit internal telah ditambahkan dan dapat diarahkan langsung untuk mengontrol keluaran ePWM. ADC mengonversi dari 0 menjadi 3,3-V rentang skala penuh tetap dan mendukung referensi rasio-metrik VREFHI / VREFLO. Antarmuka ADC telah dioptimalkan untuk overhead dan latensi rendah [9].



Gambar 2. DSP Launchpad F28069M

D. MOSFET

Transistor merupakan semikonduktor yang dapat dipakai sebagai penguat, atau sebagai saklar (*switch*), bahkan bisa digunakan untuk penstabil tegangan dan modulasi sinyal [10]. MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) merupakan salah satu jenis transistor yang memiliki impedansi masukan (*gate*) sangat tinggi sehingga dengan menggunakan MOSFET sebagai saklar elektronik (metode *switching*), memungkinkan untuk menghubungkannya dengan semua jenis gerbang logika. Untuk membuat MOSFET sebagai saklar maka hanya menggunakan MOSFET pada kondisi saturasi (*ON*) dan kondisi *cut-off* (*OFF*). Dengan menjadikan MOSFET sebagai saklar, maka dapat digunakan untuk mengendalikan tegangan V_{rms} dari sumber AC melalui



pengaturan waktu delay on/off mosfet. Karakteristik MOSFET pada daerah *cut-off* antara lain sebagai berikut:

- a. *Input gate* (V_{gs}) tidak mendapat tegangan bias karena terhubung ke ground (0V).
- b. Tegangan *input gate* (V_{gs}) lebih rendah dari tegangan *threshold* ($V_{gs} < V_{th}$).
- c. Tidak ada arus *drain* yang mengalir pada MOSFET.
- d. Tegangan *output* $V_{out} = V_{ds} = V_{dd}$.
- e. Pada daerah *cut-off* MOSFET dianalogikan seperti saklar yang terbuka.

E. Sensor ZMPT101B

Pada penelitian ini digunakan sensor tegangan ZMPT101B. Data *output* dari sensor ini adalah data analog berupa tegangan yang nantinya data tersebut akan diproses terlebih dahulu pada ADC microcontroller [11]. Agar dapat ditransmisikan pada Arduino untuk diproses. Output ZMPT101B akan di konversikan ke dalam tegangan yang dapat di baca mikrokontroler yaitu nol sampai lima volt. Lalu tegangan diterjemahkan menjadi satuan digital melalui mikrokontroler agar dapat diproses lebih lanjut. Gambar 3 merupakan bentuk fisik modul sensor ZMPT101B.



Gambar 3. Modul Sensor ZMPT101B

F. Sensor ACS712

ACS712 adalah Hall Effect current sensor. Hall effect allegro ACS712 merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Pada umumnya aplikasi sensor ini biasanya digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik, switched-mode power supplies dan proteksi beban berlebih [12]. Sensor ini dipasang seri dengan beban yang akan diukur. bentuk fisik dari sensor ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Modul Sensor ACS712

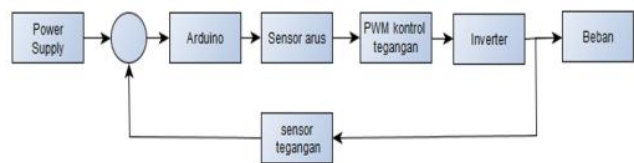
Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian low-offset linear hall dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh integrated hall IC dan

diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan hall transducer secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan Bi CMOS Hall IC yang didalamnya yang telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dan perancangan sistem kontrol arus inverter *full-bridge* 1 fasa dengan DSP F28069M adalah sebagai berikut.

A. Diagram Kontrol Arus Inverter Full Bridge 1 Fasa



Gambar 5. Blok Diagram Perancangan Inverter

Gambar 5 merupakan blok diagram rangkaian *inverter* satu fasa yang dirancang. Input tegangan berasal dari *power supply* yang mana tegangan ini akan dikontrol oleh Arduino menggunakan metode Proporsional Integral (PI) sebelum masuk menuju *input* tegangan *inverter*. Kontroler PI mengendalikan rangkaian PWM kontrol tegangan dengan memberikan sinyal PWM pada *input* rangkaian PWM kontrol tegangan. Sinyal PWM yang di berikan bervariasi dalam hal *duty cycle*-nya. Variasi *duty cycle* sinyal PWM ini akan mempengaruhi besar kecil tegangan *output* blok PWM kontrol tegangan. Variasi *duty cycle* yang dihasilkan Arduino melalui metode kontrol PI memiliki resolusi 10bit yang berarti dapat bervariasi mulai dari 0% (pemberian nilai analog 0) sampai 100% (pemberian nilai analog 255). Dengan memberikan nilai tersebut Arduino akan mengkondisikan kebutuhan tegangan yang masuk ke dalam *inverter* sehingga drop tegangan akan dapat diatasi dengan adanya kontrol *feedback* ini.

B. Perancangan Kontrol Tegangan

Rangkaian kontrol tegangan digunakan untuk mengontrol tegangan *input inverter* satu fasa yang dirancang. Pengontrolan tegangan *input inverter* ini dilakukan melalui sinyal PWM 8bit yang dihasilkan Arduino pada pin 9. Dalam mengatur variasi tegangan melalui rangkaian kontrol, sinyal PWM ini dapat bervariasi dalam hal *duty cycle*-nya mulai dari 0% (nilai analog 0) sampai 100% (nilai analog 255). Kemudian sinyal tersebut digunakan untuk mengaktifkan optocoupler dan MOSFET.

Optocoupler yang digunakan adalah tipe PC817 yang memiliki karakteristik tegangan *collector* ke *emitter* $V_{ce} = 6V$, tegangan bias maju pada komponen optikalnya $V_f = 1,4V_{DC}$, dan arus bias maju $I_f = 0,02A$. *Power supply* yang digunakan memiliki nilai maksimum 17V. Dari keterangan tersebut dapat ditentukan nilai R8 dengan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut,



$$R8 = \frac{V_{cc} \text{ Catu Daya} - V_{ce}}{I_f}$$

$$R8 = \frac{17V - 6V}{0,02A} \quad (1)$$

$$R8 = 550 \Omega$$

Kemudian untuk mencari nilai R7 yang tepat ialah menggunakan persamaan 2 sebagai berikut,

$$R7 = \frac{V_{in} - V_f}{I_f}$$

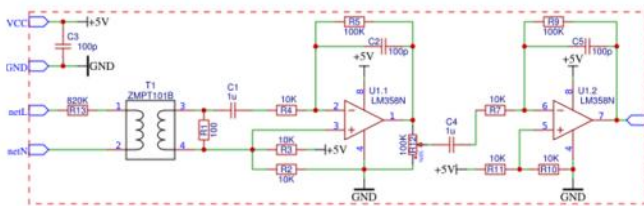
$$R7 = \frac{5V - 1,4V}{0,02A} \quad (2)$$

$$R8 = 180 \Omega$$

Maka nilai R1 dan R2 pada sistem dipilih sebesar 550Ω dan 180Ω berturut-turut dikarenakan resistor-resistor tersebut memiliki nilai mendekati perhitungan dan mudah ditemukan di pasaran.

C. Perancangan Sensor Tegangan

Pada sistem ini ZMPT101B dirancang untuk mendeteksi tegangan *output inverter* dan mengumpukan balikan data tegangannya ke kontroler Proporsional Integral dan menampilkan tegangan terbaca ke LCD. ZMPT101B dipilih karena sensor ini mampu mendeteksi tegangan AC sampai 250V, sesuai dengan perancangan spesifikasi elektronik dimana tegangan *output inverter* maksimal yang dirancang adalah 220VAC. Terdapat 4 pin dalam pengaplikasian sensor tegangan yaitu: Vcc untuk sumber catu daya sensor; dua pin Gnd, dan pin Out untuk data tegangan keluaran analog sensor. Pin Out ZMPT101B mengeluarkan tegangan analog yang dideteksi Arduino melalui pin A1. Tegangan analog ini dibaca Arduino dalam rentang resolusi 10 bit nilai analog (0-1023). Ketika ZMPT101B dicatu dengan tegangan 5VDC dengan tegangan *input* 0V maka tegangan analog pada *output* akan senilai setengah dari Vcc atau sebesar 2,5VDC. Jika terjadi peningkatan tegangan *input* maka level tegangan *output* akan meningkat pula dengan besar yang proporsional. Level tegangan ini sudah dapat dibaca Arduino jadi tidak membutuhkan pengkondisi sinyal lagi. Gambar 6 di bawah merupakan rangkaian skematik modul sensor ZMPT101B.



Gambar 6. Rangkaian Sensor Tegangan ZMPT101B

Dalam pengaplikasian ZMPT101B, diperlukan kalibrasi untuk menemukan hubungan antara tegangan yang diukur dengan nilai bit ADC yang terbaca Arduino. Dengan membandingkan hasil pembacaan analog bit tegangan keluaran sensor dengan pembacaan tegangan RMS melalui multimeter digital maka akan didapatkan hubungan tersebut yang akan digunakan program Arduino dalam menentukan

tegangan terbaca. Tabel 1 merupakan data kalibrasi nilai ADC *microcontroller* dengan pembacaan tegangan oleh multimeter.

TABEL I
 DATA KALIBRASI ADC SENSOR ZMPT101B

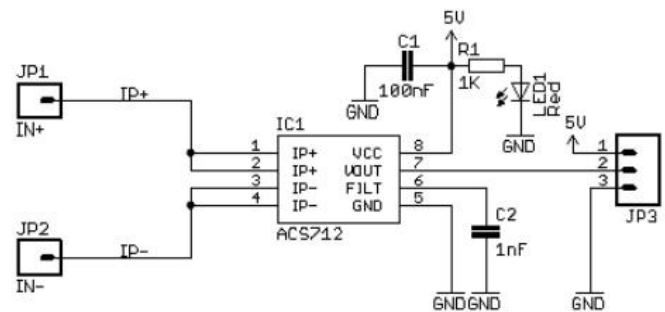
Tegangan RMS	Nilai ADC
0	0
20	5
40	10
60	15
80	20
93	24
114	29
161	40
165	41
180	45
200	50
220	55

Tabel 1 dapat diimplementasikan ke dalam bentuk grafik pada *Microsoft Excel* untuk mendapatkan rumus persamaan garis yang menunjukkan nilai tegangan terhadap ADC. Dari data

kalibrasi kemudian ditarik garis lurus sehingga mendapatkan persamaan yang digunakan dalam program Arduino yaitu: $y = 4,0641x - 1,7192$, dengan y adalah tegangan RMS yang dideteksi dan x adalah nilai bit analog *output* sensor. Berdasarkan algoritma ini sensor ZMPT101B yang dirancang memiliki rata-rata sensitivitas pembacaan tegangan berdasarkan nilai ADC sebesar 4V tiap bit nilai analog. Nilai ini dapat diubah dengan mengubah nilai R potensiometer pada modul ZMPT101B yang mana perubahan nilai R ini berdampak pada level tegangan analog *output* sensor.

D. Perancangan Sensor Arus

ACS712 digunakan sebagai sensor arus dalam skripsi ini dikarenakan karakteristiknya yang sesuai jika diaplikasikan ke dalam sistem *inverter* satu fasa yang dirancang. Sensor ini mampu mendeteksi arus AC atau DC dengan pengaplikasian dalam skripsi ini untuk mendeteksi arus AC yang masuk pada beban. ACS712 yang digunakan adalah tipe ELCTR-05B-T yang mampu mendeteksi arus sampai maksimal ± 5 A dengan sensitifitas 185mV/A. *Error* pemacaan arus oleh ACS712 adalah sebesar tidak lebih dari 1,5%. Dengan rentang arus inverter yang akan diukur menggunakan sensor ACS712 ialah 0 - 2 A.



Gambar 7. Rangkaian Sensor Arus



Seperti ditunjukkan pada Gambar 7 di atas, rangkaian kapasitor akan mengurangi *noise* tegangan catu ACS712. Resistor dan LED berfungsi mengindikasikan adanya tegangan *supply*. *Output* ACS712 pada pin 7 *V_{out}* adalah berupa tegangan analog yang nilainya proporsional dengan arus *input* pada pin 1,2 dan 3,4 yang melewati konduktor tembaga di dalam chip IC. Sesuai *datasheet*, *output* tegangan analog sensor ini akan bernilai 2,5 V jika arus input sensor sama dengan 0 A. Arduino menerjemahkan nilai tegangan *output* tegangan sensor melalui pin A0 sebagai data nilai analog mulai dari 0 sampai 1023 (resolusi 10bit). Nilai tegangan *output* 2,5V sensor tersebut akan dibaca oleh pin A0 ADC Arduino Uno sebesar 512 nilai analog. Kemudian untuk mencari nilai setiap tegangan yang naik menggunakan persamaan 3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nilai Setiap Tegangan} &= \frac{V_{cc}(\text{Arduino})}{\text{Nilai Analog pada pin A0}} \\ \text{Nilai Setiap Tegangan} &= \frac{5V}{1023} \\ \text{Nilai Setiap Tegangan} &= 0,0049V \end{aligned} \quad (3)$$

Jadi setiap kenaikan tegangan *output* sensor yang dibaca pin A0 Arduino 0,0049V akan menambah nilai analog sebesar 1. Menurut *datasheet* ACS712, perubahan *output* tegangan sensor ACS712 terhadap arus *input* sensor adalah sebesar 185mV/A dengan arus *input* sensor 0A akan menghasilkan 2,5V tegangan *output* sensor. Dengan demikian mulai dari 2,5V sampai 5V data tegangan yang dapat diolah Arduino dapat diketahui menggunakan persamaan 4 seperti berikut.

$$\begin{aligned} \text{Arus Terbaca Oleh Arduino} &= \frac{V_{cc}(\text{Arduino}) - V_{out} \text{ Sensor}}{\text{Sensitifitas Arus Sensor}} \\ \text{Arus Terbaca Oleh Arduino} &= \frac{5V - 2,5V}{0,185} \\ \text{Arus Terbaca Oleh Arduino} &= 13,5135 A \end{aligned} \quad (4)$$

Maka data tegangan yang dapat diolah Arduino mulai dari 2,5V hingga 5V jika diterjemahkan menjadi arus adalah 0A hingga 13,5135A. Ini berarti dalam rentang 2,5V (atau dalam rentang 512 nilai analog ADC) mewakili 13,5135A. Untuk mencari nilai arus disetiap 1 nilai analog yang terbaca oleh Arduino dapat diketahui menggunakan persamaan 5.

$$\begin{aligned} \text{Arus tiap analog} &= \frac{\text{Data Arus yang terbaca oleh Arduino}}{\text{Nilai Analog ADC}} \\ \text{Arus tiap analog} &= \frac{13,5135A}{512} \\ \text{Nilai Arus dalam 1 Analog} &= 0,026 A \end{aligned} \quad (5)$$

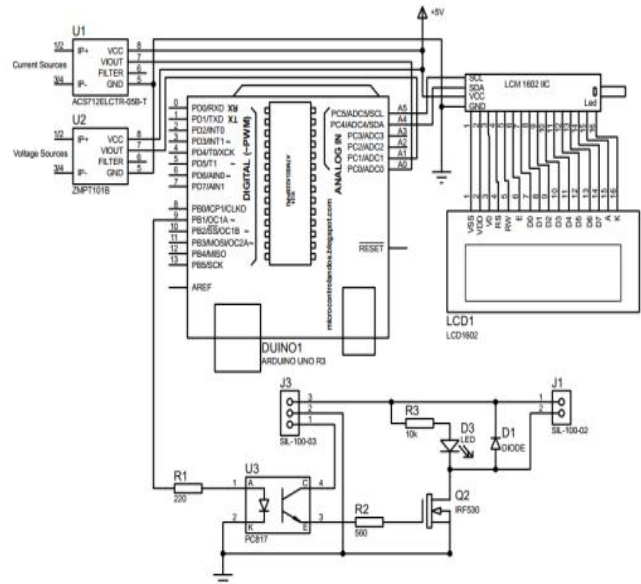
Maka tiap nilai analog yang dibaca Arduino mewakili nilai ampere sebesar 0,0264 A. Dengan demikian dapat dirumuskan program Arduino dalam membaca nilai arus berdasarkan nilai analog yaitu dengan persamaan berikut:

$$\text{Arus Terbaca} = (\text{Nilai ADC} - 512) \times 0,026 \quad (6)$$

Perumusan algoritma pembacaan arus berdasarkan nilai analog tersebut akan diimplementasikan dalam program Arduino untuk membaca arus melalui sensor ACS712.

E. Perancangan Arduino

Pada perancangan Arduino terdapat beberapa komponen utama yang dirangkai yaitu sensor tegangan, sensor arus, dan kontrol tegangan. Perancangan arduino ini berguna untuk mempermudah pembuatan program, pembuatan elektrik, dan memudahkan saat melakukan error check apabila terjadi gangguan. Gambar 8 menunjukkan rangkaian Arduino sistem kontrol tegangan *inverter* satu fasa. Dibawah ini dijelaskan penggunaan dari pin-pin yang ada pada tersebut:



Gambar 8. Rangkaian Skematik Arduino
 PIN A0 : Sensor Arus ACS712
 PIN A1 : Sensor Tegangan ZMPT101B
 PIN 9 : Output PWM Kontrol Tegangan
 PIN A4 : SDA (I2C LCD)
 PIN A5 : SCL (I2C LCD)
 GND : Ground
 VCC : Sumber 5V

F. Perancangan Kontrol PI

Kontroler PI memiliki dua parameter yaitu nilai K_p dan K_i . Untuk mencapai respon sistem yang paling optimal dibutuhkan nilai parameter yang tepat. Pada skripsi ini nilai parameter tersebut ditentukan dengan metode *trial and error* dimana kombinasi nilai K_p dan K_i dimasukan mulai dari nol dan seterusnya untuk mendapatkan respon sistem paling optimal. Untuk mencari nilai optimal dari nilai K_p dan nilai K_i dilakukan tiga kali percobaan hingga mendapatkan nilai yang paling tepat. Dari beberapa pengujian yang dilakukan, diketahui bahwa grafik dengan pencapaian *setpoint* tercepat dan stabil ada pada pengujian dengan nilai $K_p=1$ dan $K_i=0.9$.

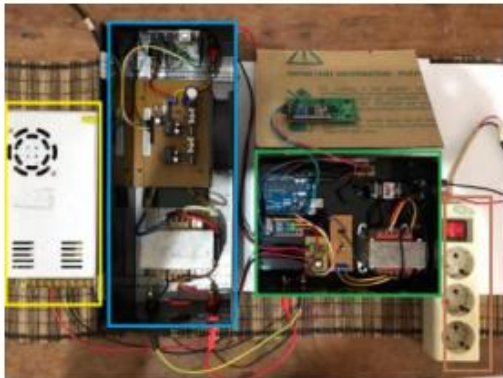
IV. Hasil dan Analisa

Hasil data dan pembahasan dilakukan dengan diperolehnya data pengukuran alat sehingga diperoleh data secara riil. Berikut beberapa hasil pengujian alat dan data yang diperoleh:



A. Hasil Rancang Bangun Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari *Power Supply* dan *Box* alat yang di dalamnya terdapat rangkaian dari sistem yang dirancang. Rangkaian *Microcontroller* akan bertindak sebagai pusat olah data menggunakan metode kontrol PI dengan input *Power Supply* bertegangan DC dan output akhir tegangan AC. Pengujian dan pengambilan data selanjutnya meliputi sensor arus, control tegangan, dan output tegangan yang keluar dari inverter setelah diberikan control. Pada gambar 9 merupakan gambar keseluruhan dari alat yang dirancang.



Gambar 9. Hasil Rancangan Alat

Masukan *inverter* berupa power supply 17 VDC untuk dirubah menjadi tegangan AC dengan nilai yang dapat ditentukan. Output tegangan AC tersebut dideteksi menggunakan sensor tegangan, untuk mengetahui apakah nilai *output*-nya sesuai *setpoint* yang ditentukan. Jika tidak sesuai, maka sensor tegangan akan memberikan *feedback* ke *microcontroller* untuk menambah atau mengurangi nilai PWM menggunakan metode *control* PI untuk memperbaiki *output* agar sesuai *setpoint*.

B. Pengujian Sensor Arus



Gambar 10. Pengujian Sensor Arus Pada Simulink Matlab IDE

Pemrograman sensor arus pada *DSP Launchpad F28069M* dilakukan melalui *Simulink Matlab* yang berperan sebagai IDE (*Integrated Development Encironment*)-nya. Blok diagram yang tersedia di *Simulink* berfungsi sebagai instruksi-instruksi yang harus dijalankan *DSP Launchpad F28069M*. Gambar 10 di bawah merupakan blok diagram pengujian sensor arus menggunakan *DSP Launchpad F28069M*.

Pada pengujian ini, *input Power Supply* masuk ke *DSP Launchpad F28069M*, *DSP* akan mengolah data menggunakan metode *control* PI, kemudian PWM akan mengontrol data yang diolah *DSP* menuju *inverter*. Arus yang dihasilkan

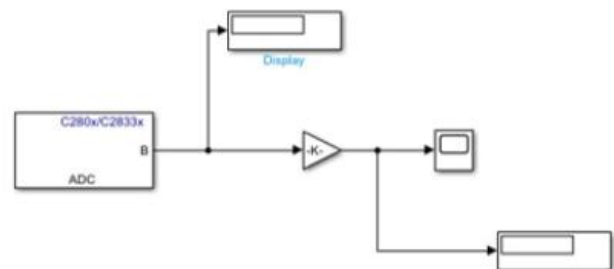
inverter ini yang diambil datanya untuk melihat kestabilan dan kinerja *Inverter*. Pengujian arus menggunakan solder 40 Watt dengan catu daya *inverter* yang dirancang. Output tegangan inverter dibahas pada sub-bab 4 dan didapatkan sebesar 188 VAC. Tabel II merupakan hasil dari pengujian yang telah dilakukan.

TABEL II
 HASIL PENGUJIAN SENSOR ACS712

No.	Waktu (s)	Sensor Arus (A)	Ampermeter (A)	Error (%)
1.	10	0,203	0,209	2,8
2.	20	0,203	0,209	2,8
3.	30	0,203	0,207	1,9
4.	40	0,203	0,207	1,9
5.	50	0,203	0,208	2,3

Dari Tabel II data sensor arus diketahui bahwa nilai rata-rata arus *output inverter* yang mengalir beban solder 40 Watt adalah 0.203 A dengan rata-rata *error* pembacaan sebesar 2.34 % dilihat dari pembacaan *Amperemeter*. Menurut teori daya yang menyebutkan bahwa daya adalah hasil perkalian antara tegangan dengan arus, maka dari hasil tersebut di atas daya yang mensuplai solder adalah sebesar 38.164 Watt. Dengan spesifikasi daya solder senilai 40 Watt, terjadi *error* sebesar 4.5 %. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor arus mampu bekerja sesuai dengan yang diharapkan yaitu membaca nilai arus *output inverter* dengan rerata *error* pembacaan sebesar 2.34 %.

C. Hasil Output Inverter Tanpa Filter



Gambar 11. Pengujian Sensor Tegangan

Pemrograman sensor tegangan pada *DSP Launchpad F28069M* dilakukan melalui *Simulink Matlab* yang berperan sebagai IDE (*Integrated Development Encironment*)-nya. Blok diagram yang tersedia di *Simulink* berfungsi sebagai instruksi-instruksi yang harus dijalankan *DSP Launchpad F28069M*. Gambar 11 merupakan blok diagram pengujian sensor tegangan menggunakan *DSP Launchpad F28069M*.

Pengujian ini menggunakan dua komponen utama yaitu sensor tegangan ZMPT101B dan *DSP Launchpad F28069M* sebagai *microcontroller* pemroses data. ZMPT101B mendeteksi



tegangan *output inverter* melalui terminal input miliknya. *Output* dari ZMPT101B berupa data analog yang akan diproses oleh DSP Launchpad F28069M menjadi nilai tegangan dalam satuan Volt. Pengujian dilakukan pada *output inverter* dengan tanpa memberikan beban. Hasil pengujian ini akan dibandingkan dengan pembacaan nilai tegangan menggunakan voltmeter sebagai alat ukur referensi untuk melihat nilai *error* yang terjadi. Tabel III merupakan data hasil pengujian.

TABEL III
 HASIL PENGUJIAN SENSOR ZMPT101B

No.	Waktu (s)	VoltMeter (V)	Sensor Tegangan (V)	Error (%)
1.	10	237	234	1,2
2.	20	237	235	0,8
3.	30	237	235	0,8
4.	40	236	234	0,8
5.	50	236	235	0,4

Dari Tabel III data sensor tegangan diketahui bahwa rerata nilai tegangan yang dihasilkan *output inverter* tanpa beban adalah sebesar 234.6 VAC. Dibandingkan dengan pembacaan *Voltmeter*, terdapat rerata *error* pembacaan sebesar 1.0 %. Nilai *error* ini bias disebabkan karena ketidak idealan komponen yang dipakai karena memiliki nilai toleransi. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor tegangan ZMPT101B mampu membaca nilai tegangan *output inverter* sesuai dengan yang diharapkan dengan rerata *error* pembacaan tegangan sebesar 1.0 %.

D. Pengujian Kontrol Tegangan

TABEL IV
 PENGUJIAN KONTROL TEGANGAN

No.	Input (VDC)	PWM	Output
1.	17,06	25	1,67
2.	17,06	50	3,34
3.	17,06	127	8,5
4.	17,06	200	13,4
5.	17,06	255	16,9

Pengujian kontrol tegangan bertujuan untuk mengetahui output tegangan ketika diberikan nilai PWM yang dihasilkan *microcontroller*. Nilai PWM yang diberikan bervariasi mulai dari 25 sampai nilai maksimal yaitu 255. Dari variasi nilai PWM tersebut, dapat di hasilkan output keluaran dari control tegangan seperti pada Tabel IV.

Dari pengujian tersebut diketahui bahwa kontrol tegangan melalui *microcontroller* berjalan sesuai harapan. Nilai tegangan dapat diatur dan diubah-ubah nilainya sesuai yang diinginkan melalui variasi nilai PWM yang dihasilkan

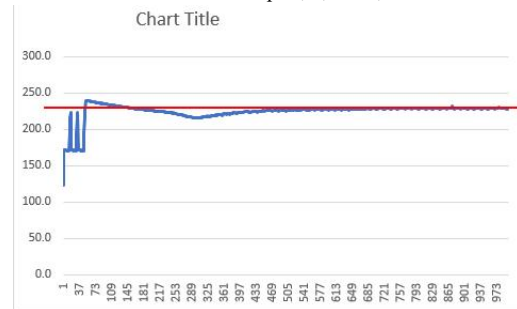
microcontroller. *Input*-nya bernilai konstan yaitu sebesar 17.06 VDC, kemudian diberikan variasi nilai pwm dari 50 sampai dengan 225, semakin besar nilai PWM semakin besar juga tegangan output yang dihasilkan. Dari Tabel IV diketahui bahwa nilai tegangan maksimal adalah sebesar 16.9 VDC, nilai ini diberikan oleh PWM dengan nilai 255, yang juga merupakan nilai maksimal PWM yang dapat dijangkau.

E. Pengujian Output Inverter Menggunakan Kontrol PI

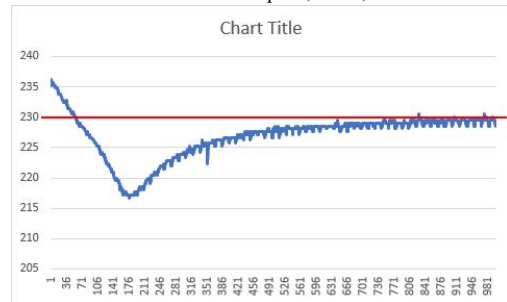
Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai Kp dan Ki sistem kontrol yang menghasilkan *output* sistem yang paling baik. Baik disini dalam hal kestabilan dan kecepatan dalam mencapai nilai *setpoint*. *Setpoint* sistem ditentukan sebesar 230 VAC dengan nilai Kp dan Ki yang bervariasi. Di bawah ini merupakan ringkasan data pengujian variasi nilai Kp dan Ki.



Gambar 12. Kp=0,8 ; Ki=0,9



Gambar 13. Kp=1 ; Ki=0,9



Gambar 14. Kp=1,2 ; Ki=1

Pada grafik pengujian di atas, diketahui tegangan *output inverter* mengalami *overshoot* sebesar 239 VAC, kemudian turun sampai 216 VAC, lalu mencapai kestabilan sistem pada 230 VAC pada detik ke 780. Pada grafik pengujian 2



diketahui

sistem mencapai kestabilan pada nilai 230 VAC di detik ke 510.

Sedangkan pada pengujian 3 nilai *overshoot* mencapai 237 VAC dengan waktu pencapai kestabilan *setpoint* selama 920 detik. Dari ketiga pengujian di atas, diketahui bahwa grafik dengan pencapaian *setpoint* tercepat dan stabil ada pada pengujian 2 dengan nilai $K_p=1$ dan $K_i=0.9$.

V. Penutup

Dari hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan bahwa system kontrol arus dan tegangan pada inverter satu fasa tipe *Full Bridge* menggunakan metode PI telah berhasil dan sesuai harapan yang dirancang. Berdasarkan akuisi data yang di uji untuk penelitian dapat diambil kesimpulan:

1. Sebelum diberikan control tegangan, dan masih menggunakan system open loop inverter memiliki nilai vac sebesar 239 yang mana hasil tersebut tergantung dengan input power supply yang digunakan.
2. Setelah diberikan kontrol PI, tegangan mampu mencapai setpoint yang ditentukan yaitu senilai 230VAC.
3. Penentuan nilai KP dan KI menggunakan metode trial & error dan nilai tersebut harus sesuai, dikarenakan terlalu banyak nilai KP.
4. Penentuan nilai KP dan KI menggunakan metode trial & error dan nilai tersebut harus sesuai, dikarenakan terlalu banyak nilai KP.
5. Penentuan nilai KP dan KI menggunakan metode trial & error dan nilai tersebut harus sesuai, dikarenakan terlalu banyak nilai KP.

REFERENSI

- [1] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [2] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [3] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [4] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [5] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [6] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.

- [7] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [8] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [9] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [10] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [11] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [12] BPPT (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.

