

Rancang Bangun Modul Bipolar 60 Degrees-Pulse Width Modulation Fasa Tunggal

Ary Cristyadi 1¹), Nanang Mulyono 2²), Dwi Septiyanto 3³)
^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung
ary.cristyadi.tlis19@polban.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan elektronika daya banyak dimanfaatkan sebagai perangkat energi terbarukan. Untuk memanfaatkan energi listrik salah satunya yaitu menggunakan alat inverter. Inverter merupakan komponen yang berperan untuk mengkonversikan *Direct Current* menjadi *Alternating Current*. Ada berbagai macam metode yang digunakan untuk mengontrol inverter, salah satunya yaitu dengan menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk *switching* inverter dalam lingkup teknologi energi baru dan terbarukan berbasis bipolar 60 Degrees *Pulse Width Modulation* satu fasa. Metode yang digunakan untuk menghasilkan sinyal 60 degrees yang dibuat dari sinyal sinusoidal dan sinyal *carrier* segitiga yang dipotong pada sudut 60° sampai 120°. Sinyal input berupa sinusoidal satu fasa dengan frekuensi 50 Hz, masuk ke rangkaian penggeser fasa untuk menghasilkan rangkaian sinusoidal dengan menggeser sudut 60°. *Output* sinyal penggeser fasa masuk ke rangkaian komparator untuk menghasilkan sinyal kotak. *Output* rangkaian komparator masuk ke rangkaian pembuat 60 degrees untuk menghasilkan sinyal kotak dan sinyal segitiga dengan berbeda 60 derajat. *Output* pembuat 60 degrees masuk ke rangkaian bipolar untuk menghasilkan sinyal pulsa. *Output* rangkaian bipolar masuk ke rangkaian pemisah polaritas untuk menghasilkan sinyal PWM dengan memisahkan positif dan negatif. Hasil dari penelitian yaitu sinyal pulsa dengan penggeseran 60°, dengan sinyal sinusoidal satu fasa sebagai referensi dengan amplitudo yang dapat diatur dari 4 Vpp sampai 8 Vpp dengan nilai frekuensi 50 Hz. Spesifikasi sinyal 60 Degrees *Pulse Width Modulation* dengan tegangan *input* sebesar 5 Vpp, tegangan *output* sebesar 6,88 Vpp dan frekuensi 974 Hz yang berbeda sudut sebesar 60°.

Keywords: *Pulse Width Modulation, 60 Degrees, Bipolar, Frekuensi.*

I. PENDAHULUAN

Energi Listrik adalah salah satu kebutuhan pokok manusia yang setiap saat akan semakin maju untuk membantu dan mempermudah kebutuhan manusia. Sumber energi listrik itu sendiri dibedakan antara sumber energi tak terbarukan dan sumber energi terbarukan, dimana sumber energi tak terbarukan merupakan sumber energi yang ketersediaan energinya semakin lama akan semakin menipis dengan mengkomsumsi sumber daya alamnya [1].

Inverter adalah salah satu peralatan elektronika yang berfungsi sebagai perubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Penggunaan inverter baik di kendaraan, di rumah atau di kantor dimanfaatkan sebagai penyedia listrik cadangan seperti *emergency power* dimana aliran listrik dari PLN tidak menyalurkan energi karena gangguan ataupun pemeliharaan. Inverter terdapat dalam peralatan rumah tangga seperti lampu, komputer, TV, kipas angin hingga keperalatan pertukangan seperti gerinda, bor dan lainnya, dimana sistem atau sumber suplai tenaga listrik di daerah terpencil sehingga inverter bermanfaat dalam kebutuhan kehidupan sehari-hari sebagai alternatif energi listrik di daerah terpencil atau disaat sumber listrik seperti PLN padam pada malam hari. Selain itu, inverter juga banyak digunakan di industri-industri sebagai mengontrol kecepatan motor.

Rangkaian inverter satu fasa sederhana adalah inverter satu fasa tidak terkendali dimana pulsa yang dihasilkan diperoleh dari umpan balik kolektor transistor satu ke basis

transistor lainnya sehingga untuk membuat inverter dengan frekuensi yang diinginkan diperlukan pembangkit pulsa yang dapat dikendalikan sesuai kebutuhan. Sinyal PWM satu fasa yang dirancang merupakan jenis PWM sinusoidal yang dibangkitkan menggunakan sebuah sinyal sinus dan dua buah sinyal segitiga.

Dalam merancang dan membuat inverter, dipilih sebuah teknik untuk *switching* inverter yaitu dengan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). *Output* dari sebuah inverter yang menggunakan metode PWM adalah sinyal gelombang sinusoidal. 60 Degrees *Pulse Width Modulation* merupakan sebuah metode yang dimana saat PWM tidak aktif, maka akan dipotong. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang dapat divariasikan dengan mengubah besarnya *duty cycle* sinyal PWM yang dibangkitkan. Sedangkan untuk frekuensi yang dapat divariasikan, dapat dilakukan dengan cara mengubah jarak antara satu *duty cycle* dengan *duty cycle* lainnya.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Karya Ilmiah Sejenis Sebelumnya

Metode yang digunakan untuk memperoleh sinyal DPWM tersebut, dilakukan dengan pengkondisian sinyal secara analog dan bersumber dari sebuah sinyal sinusoidal menjadi tiga buah sinyal sinusoidal yang memiliki beda fasa 0°, 120° dan 240° dengan frekuensi 50Hz. Ketiga sinyal tersebut digunakan sebagai sinyal referensi. Sedangkan sinyal *carrier* bersumber dari sinyal segitiga yang diolah menggunakan prinsip penggeseran fasa, pemotongan dan penjumlahan sinyal secara analog. Hasil pengolahan kedua

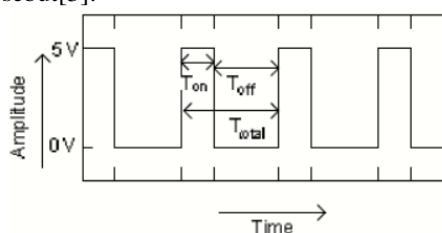
sumber sinyal tersebut selanjutnya dibandingkan dan dipisahkan polaritasnya secara analog. Hasil penelitiannya menghasilkan tegangan output DPWM sebesar 5,1Vpp dan frekuensi 100Hz dengan sumber sinyal sinusoidal dan segitiga sebesar 3Vpp. Berdasarkan penelitian tersebut modul yang dibuat memiliki rasio frekuensi 0,5. Hal tersebut akan mempengaruhi nilai tegangan keluaran inverter yang fluktuasi. [6]

Metode yang digunakan adalah mengubah sinyal sinusoidal kedalam bentuk *trapezium* dengan menggunakan rangkaian analog. Sinyal input berupa sinusoidal satu fasa disuapkan ke rangkaian penggeser fasa guna menghasilkan sinyal sinusoidal 3 fasa berbeda fasa 120°. Output modul penggeser fasa kemudian disuapkan ke rangkaian *zero crossing* untuk menghasilkan sinyal kotak 3 fasa. Sinyal kotak tersebut disuapkan ke modul converter untuk menghasilkan sinyal *trapezium* 3 fasa. Output modul converter 3 fasa disuapkan ke modul pengatur amplitudo untuk menghasilkan sinyal *trapezium* 3 fasa yang variable. Output sinyal modul pengatur amplitudo disuapkan ke modul komparator guna menghasilkan sinyal PWM. Output modul komparator kemudian disuapkan ke modul pemisah polaritas guna menghasilkan sinyal PWM yang berbeda polaritas. Hasil yang didapat yaitu sinyal TPWM tiga fasa yang berbeda 120° listrik dengan amplitudo pada saat ON atau pada polaritas positif sebesar 4,142 V dan frekuensinya sebesar 204,734 Hz, dan pada saat OFF atau polaritas negatif dengan amplitudonya sebesar 4,196 V dan frekuensinya sebesar 209,720 Hz. [3]

B. Pulse Width Modulation (PWM)

PWM adalah teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang konstan[2]. Modulasi lebar pulsa digunakan untuk mengontrol frekuensi dan besarnya tegangan AC melintasi beban dan untuk mengurangi isi harmonik dalam tegangan atau arus keluaran. Ada beberapa teknik PWM, tetapi jenis yang paling umum adalah PWM sinusoidal. Satu siklus pulsa merupakan kondisi *high* lalu berada di zona transisi ke kondisi *low*. [3]

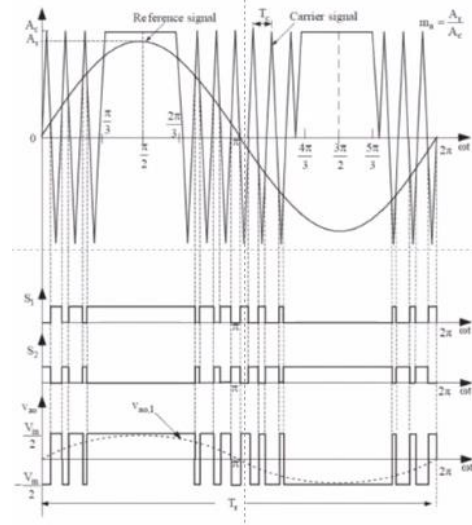
Modulasi lebar pulsa atau PWM dapat diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang siklus kerja atau *duty cycle* gelombangnya dapat berubah-ubah untuk mendapatkan suatu tegangan output yang bervariasi, yaitu nilai rata-rata dari gelombang tersebut. Pulsa PWM dibangkitkan dari perbandingan sinyal referensi (V_{ref}) dan sinyal kontrol (V_{cont}). Sinyal PWM ini digunakan untuk melakukan pengontrolan besarnya waktu T_{on} dan T_{off} yang merupakan representasi dari perbandingan kedua sinyal tersebut[3].



Gambar 1. Bentuk Gelombang Pulsa [3]

C. Modulasi 60 Degrees-Pulse Width Modulation

Modulasi 60 *degrees*-PWM ini digunakan untuk mendapatkan informasi pada gelombang *carrier*. Modulasi ini sinyal referensinya adalah sinyal sinusoidal. Sinyal sinusoidal diubah menjadi sinyal segitiga. Dengan menggunakan rangkaian analog, sinyal segitiga terpotong pada sudut 60° sampai dengan 120° sehingga terbentuk sinyal 60 *degrees* dapat dilihat pada gambar 1.

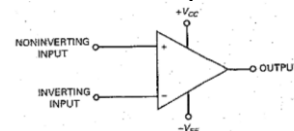


Gambar 2. Modulasi 60 Degrees Pulse Width Modulation

D. Penguat Tegangan dengan OPAMP

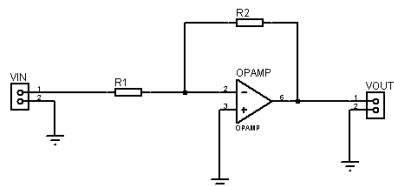
Penguat Operasional atau *Operational Amplifier* (biasa dikenal dengan Op-Amp) merupakan sebuah komponen elektronika yang tersusun dari resistor, diode, dan transistor. Penyusunan dari Op-Amp tersebut disusun dalam sebuah rangkaian yang terintegrasi atau yang biasa dikenal dengan *Integrated Circuit* (IC). Op-Amp dalam aplikasinya biasa digunakan sebagai penguat.)[4].

Op-Amp digunakan sebagai operator matematis dari suatu tegangan listrik, yang mempunyai dua fungsi yaitu sebagai penguat pembalik dan sebagai penguat tidak membalik. Op-Amp sebagai penguat mempunyai ciri yaitu sebuah tahanan umpan balik luar dihubungkan di antara terminal input dan terminal *output*.



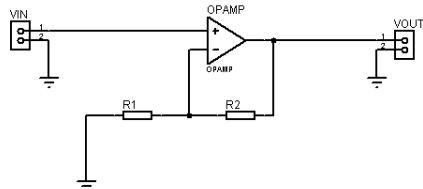
Gambar 3. Operational Amplifier [5]

Dalam penggunaannya Op-Amp dibagi menjadi dua jenis, yaitu penguat linier dan penguat tidak linier. Penguat linier merupakan penguat yang tetap mempertahankan bentuk sinyal masukan, yang termasuk dalam penguat ini antara lain penguat *non-inverting*, penguat *inverting*, penjumlah diferensial dan penguat instrumentasi. Sedangkan penguat tidak linier merupakan penguat yang bentuk sinyal keluarannya tidak sama dengan bentuk sinyal masukannya, diantaranya komparator, integrator, diferensiator, pengubah bentuk gelombang dan pembangkit gelombang.[5]



Gambar 4. Rangkaian Penguat *Inverting*

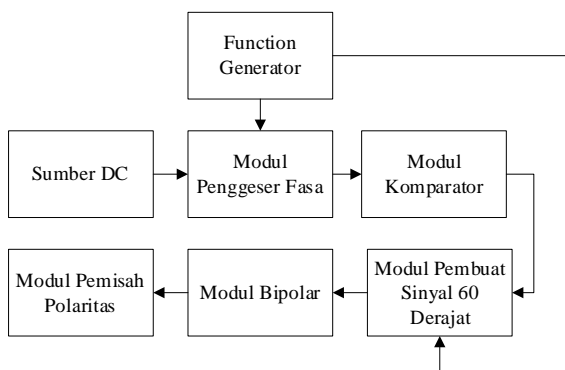
Sedangkan penguat tidak membalik adalah penggunaan op-amp sebagai penguat sinyal dimana sinyal *output* sefasa dengan sinyal *input*.



Gambar 5. Rangkaian Penguat *Non-Inverting*

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah modul *switching* inverter berbasis *60 Degrees Pulse Width Modulation*. Perancangan modul ini akan disesuaikan dengan batasan masalah. Tahapan dari runtutan kinerja alat ini dapat diuraikan sebagai berikut. Dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 6. Diagram Runtutan Kinerja Modul Bipolar *60 Degrees Pulse Width Modulation*

Penjelasannya adalah sebagai berikut.

1. Sumber DC

Sumber yang digunakan berupa *power supply* karena OP-AMP yang digunakan membutuhkan *input* positif (+), negatif (-) dan *ground*. Nilai tegangannya 12 volt dengan frekuensi 50 Hz. Tegangan masuk ke modul penggeser fasa.

2. Function Generator/ Pembangkit Sinyal

Sinyal tersebut berupa sinyal sinusoidal dan sinyal segitiga yang frekuensinya dapat diatur, sebagai sinyal referensi dan sinyal *carrier*. Sinyal sinusoidal masuk ke modul penggeser fasa dan sinyal segitiga masuk ke modul pembuat sinyal 60 derajat.

3. Modul Penggeser Fasa

Pada modul ini penggeser sudutnya diatur pada nilai 60 derajat dengan menggunakan opamp, kapasitor, transistor, diode, dan resistor, lalu masuk ke modul komparator.

4. Modul Komparator

Pada modul ini, kedua sinyal (sebelum dan setelah penggeser fasa) akan dibandingkan tersebut sehingga menghasilkan sinyal kotak, kemudian sinyal kotak tersebut masuk ke modul pembuat sinyal 60 derajat.

5. Modul Pembuat Sinyal 60 Derajat

Pada modul ini, yaitu menggabungkan sinyal kotak dan segitiga yang menghasilkan sinyal keluarannya segitiga dan kotak dengan perpotongan 60 derajat. Lalu masuk ke rangkaian bipolar.

6. Modul Bipolar

Pada modul ini, mengubah sinyal kotak dan sinyal segitiga menjadi sinyal keluarannya sinyal pulsa, setelah itu masuk ke modul pemisah polaritas.

7. Modul Pemisah Polaritas

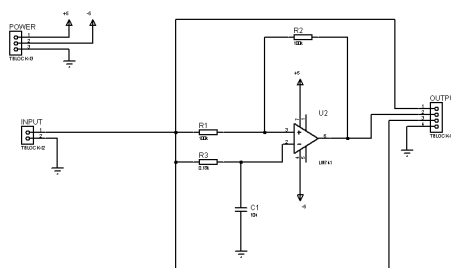
Pada modul ini, digunakan untuk memisahkan sinyal positif dan sinyal negatif, pada modul pemisah polaritas keluarannya sinyal pulsa.

Alat tersebut memiliki spesifikasi tegangan keluaran output sebesar 6,88 Vpp dan frekuensi 974 Hz yang berbeda sudut sebesar 60°.

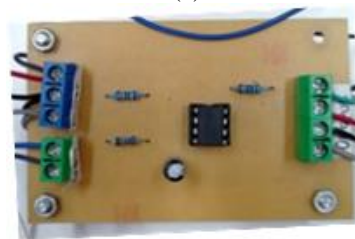
A. Modul Penggeser Fasa

Setelah mendapatkan sinyal sinusoidal, sinyal sinusoidal tersebut diatur berbeda fasa 60° menggunakan resistor dengan nilai 181 Ohm dan kapasitor 10 mikroFarad dengan frekuensi 50 Hz. Besarnya keluaran penggeser fasa 60° ditentukan menggunakan persamaan (1).

$$\theta = 2 \arctan 2\pi fRC \dots \dots \dots (1)$$



(a)

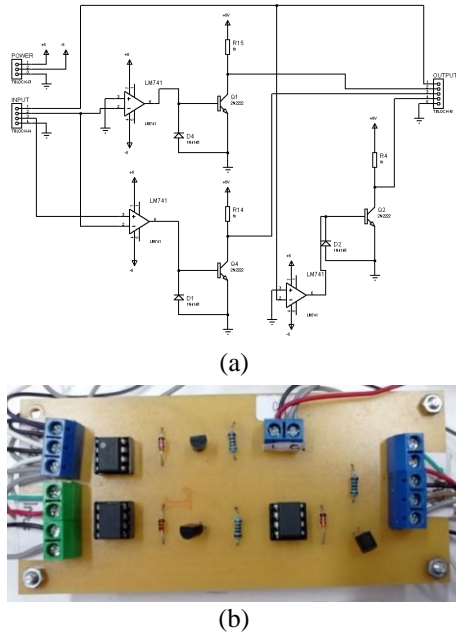


(b)

Gambar 7. a) Rangkaian Penggeser Fasa, b) Realisasi Modul Penggeser Fasa

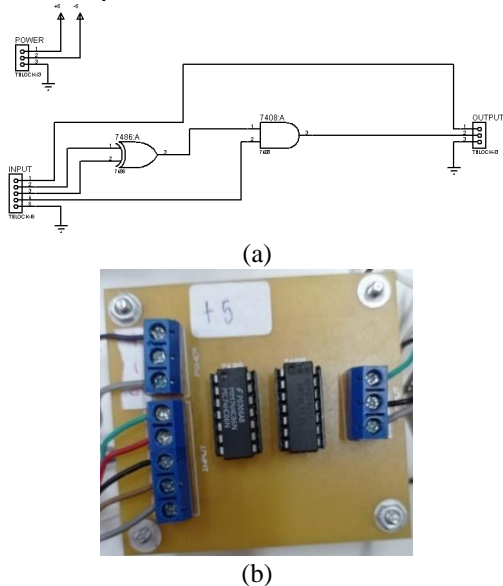
B. Modul Komparator

Modul komparator ini membutuhkan positif (+), negatif (-), dan *ground*. Pada saat masuk ke gerbang logika hanya membutuhkan positif (+) dan *ground*. Setelah mendapat sinyal sinusoidal berbeda fasa 60 derajat maka masuk ke modul komparator. Pada gambar 8. ini merupakan 3 buah rangkaian komparator ketika setelah melakukan penggeser fasa dengan keluaran sinyal kotak dengan berbeda-beda fasanya. PCB rangkaian komparator memiliki ukuran 12 x 6,7 cm.



Gambar 8. a) Rangkaian Komparator, b) Realisasi Modul Komparator

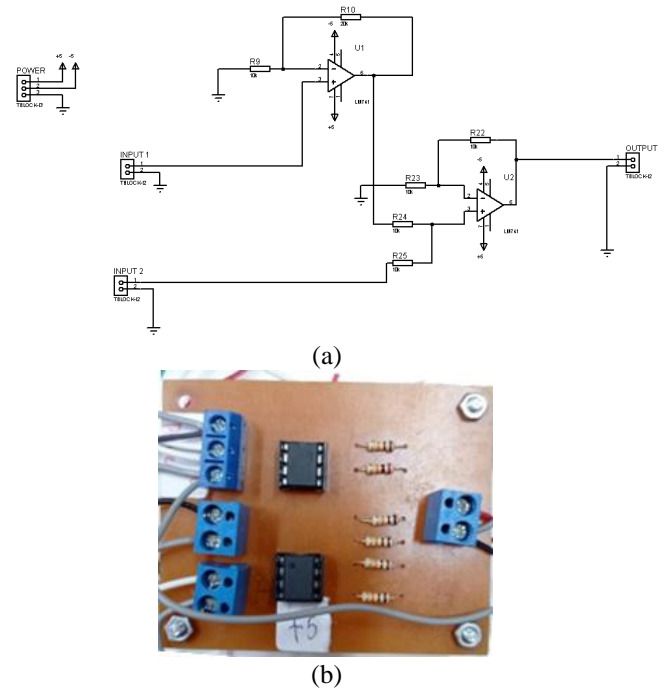
Pada gambar 9. merupakan rangkaian komparator setelah menggabungkan ketiga sinyal kotak menjadi satu menggunakan gerbang logika. Kemudian pada gambar 9. merupakan PCB dari rangkaian komparator setelah dijumlahkan menggunakan gerbang logika. Pada PCB rangkaian komparator ini memiliki ukuran 6,6 x 6 cm.



Gambar 9. a) Rangkaian Komparator dengan 2 Input dan 1 output, b) Realisasi Modul Komparator

C. Modul Pembuat Sinyal 60 Degrees

Modul pembuat modul ini membutuhkan sumber positif (+), negatif (-), dan *ground*. Bentuk sinyal *output* komparator ini berbentuk sinyal segitiga dan perpotongan sinyal kotak pada sudut 60 derajat.

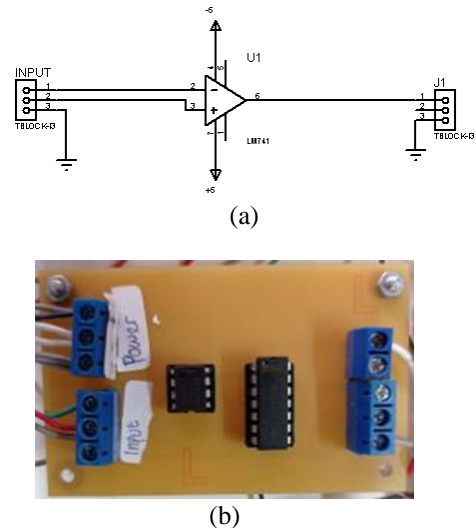


Gambar 10. a) Rangkaian Pembuat Sinyal 60 Degrees, b) Realisasi Modul Pembuat Sinyal 60 Degrees

Modul ini, tahapan yang dilakukan yaitu menentukan model sistem/ spesifikasi dan sistem yang dipilih yaitu modul pembangkit sinyal 60 degrees yang *input* sinyalnya berupa sinyal kotak dan sinyal segitiga dan sinyal keluarannya berupa sinyal segitiga yang terpotong pada sudut 60° s/d 120°.

D. Modul Bipolar

Modul bipolar yang pertama harus menentukan spesifikasi/ sistem yang dipilih dan sistem yang dipilih yaitu modul bipolar yang *output* sinyalnya berupa sinyal pulsa/ kotak.

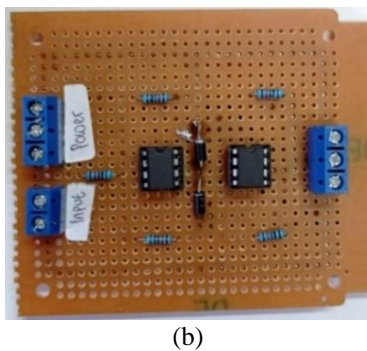
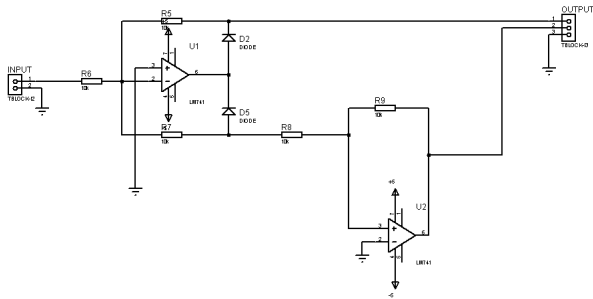


Gambar 11. a) Rangkaian Bipolar, b) Realisasi Modul Bipolar

Pengujian dilakukan dengan memeriksa sinyal *output* pada *oscilloscope*. Setelah mendapat sinyal 60 degrees, selanjutnya sinyal masuk ke modul bipolar.

E. Modul Pemisah Polaritas

Modul pemisah polaritas ini membutuhkan sumber positif (+), negatif (-), dan *ground*. Pengujian dari modul pemisah polaritas adalah untuk mendapatkan sinyal kotak yang dibeda polaritaskan dan berasal dari modul pembuat 60 degrees. Sehingga sinyal dapat bekerja pada siklus positif dan juga siklus negatif, dan akan terjadi kondisi dimana pada saat siklus positif maka siklus negatif tidak akan bertegangan begitu juga sebaliknya.

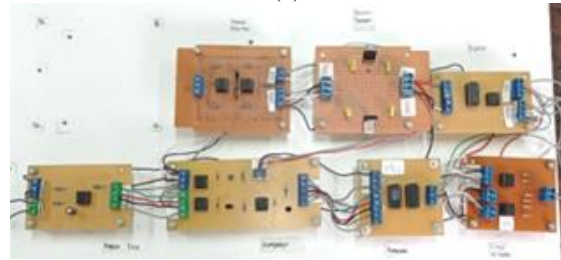
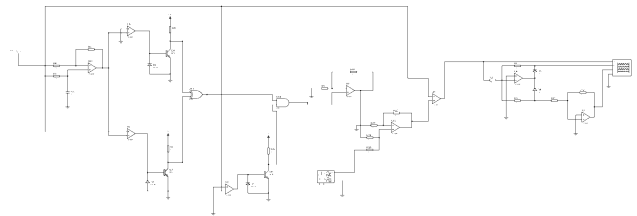


Gambar 12. a) Rangkaian Pemisah Polaritas, b) Realisasi Modul Pemisah Polaritas

Modul pemisah polaritas ini berfungsi membedakan polaritas dari keluaran komparator yang nantinya keluaran tersebut berbeda fasa 60°. Tujuan dari pemisah polaritas untuk memisahkan siklus positif dan siklus negatif. Rangkaian pemisah polaritas pada tugas akhir ini menggunakan IC OPAMP LM741, diode 1N4007, dan resistor 10kΩ. Setelah merangkai pada PCB dan disolder, *output* dari rangkaian pemisah polaritas ini dapat dilihat pada *oscilloscope*.

F. Modul Keseluruhan

Pada tahap pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan seluruh modul yang sudah dibuat. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendapatkan hasil akhir dari modul bipolar 60 degrees pulse width modulation, yaitu bentuknya berupa sinyal pulsa yang berasal dari modul komparator yang berbeda 60 derajat, lalu dibedakan polaritasnya menggunakan modul pemisah polaritas.



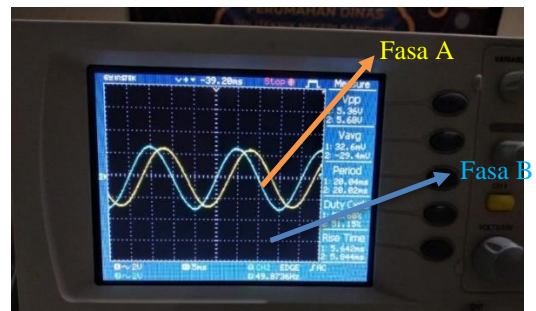
Gambar 13. a) Rangkaian Keseluruhan Modul, b) Realisasi Modul Bipolar 60 Degrees Pulse Width Modulation

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil penelitian secara lengkap, tentang hasil pengujian setiap modul dan hasil keseluruhan modul yang telah dibuat.

A. Hasil Pengujian Modul Penggeser Fasa

Pada gambar 14. merupakan hasil dari modul penggeser fasa yang ditunjukkan oleh *oscilloscope*. Berdasarkan hasil pengujian, terbukti bahwa fasa yang bergeser adalah 60°. Sinyal fasa A yang berada pada posisi 0° dan sinyal fasa B yang berada pada posisi 60°.

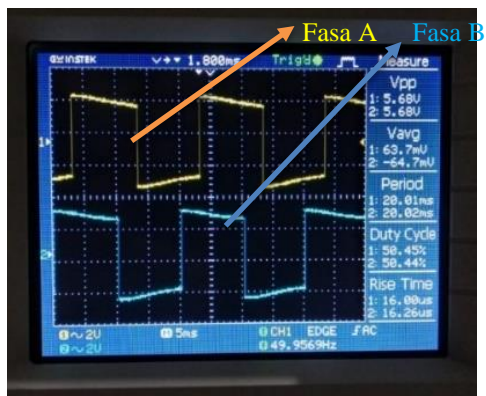


Gambar 14. Sinyal *Output* Penggeser Fasa 60°

Berdasarkan dari gambar 14. *Output* dari modul penggeser fasa menghasilkan V_{pp1} yaitu 5.36 V dan V_{pp2} yaitu 5.68 V dengan nilai frekuensinya 49.8 Hz.

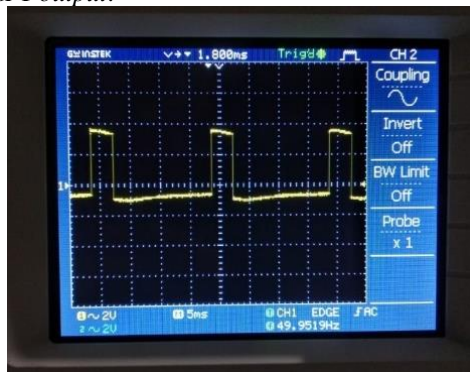
B. Hasil Pengujian Modul Komparator

Bentuk sinyal *output* komparator ini berbentuk sinyal kotak. Hasil pengujian modul ini dapat dilihat pada gambar 15. menunjukkan sinyal kotak A yang berada pada posisi 0° dan sinyal berwarna biru merupakan sinyal kotak B yang berada pada posisi 60° dengan nilai V_{pp} A dan V_{pp} B adalah 5.68 V dan nilai frekuensinya 49.9 Hz. Pada gambar 16. ini menunjukkan hasil keluaran dari modul komparator yang berbentuk sinyal kotak yang bergeser 60 derajat, dengan nilai keluarannya V_{pp} adalah 5,68 volt dan nilai frekuensinya 49.9 Hz.



Gambar 15. Sinyal Output Komparator

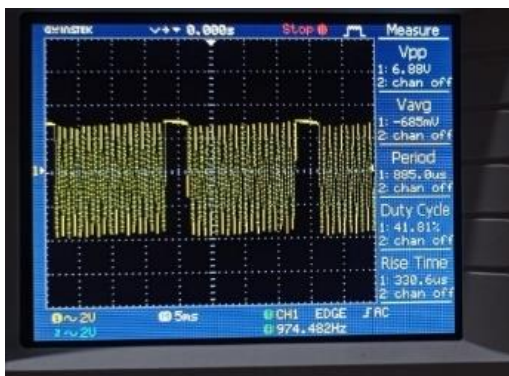
Pada gambar 16. menunjukkan masuk ke gerbang logika XOR dan AND untuk menggabungkan 2 sinyal input menjadi 1 output.



Gambar 16. Sinyal Output Modul Komparator dengan 2 Input dan 1 Output

C. Hasil Pengujian Modul Pembuat Signal 60 Degrees

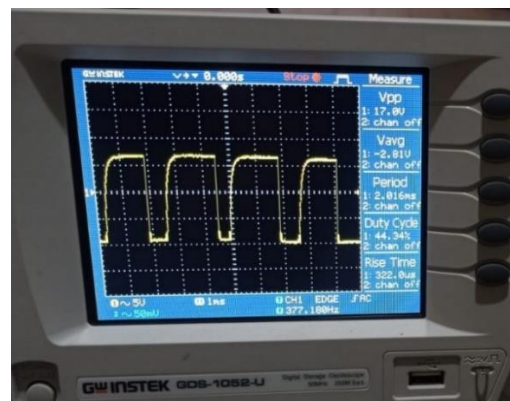
Pada gambar 17. ini menunjukkan hasil keluaran dari modul pembuat 60 degrees dengan nilai Vpp adalah 6,88 volt dan nilai frekuensi 974 Hz.



Gambar 17. Output Sinyal 60 Degrees

D. Hasil Pengujian Modul Bipolar

Bentuk sinyal output bipolar berbentuk sinyal kotak siklus positif lalu dilanjutkan sinyal kotak siklus negatif dan seterusnya secara bergantian yang berbeda fasa 60°.

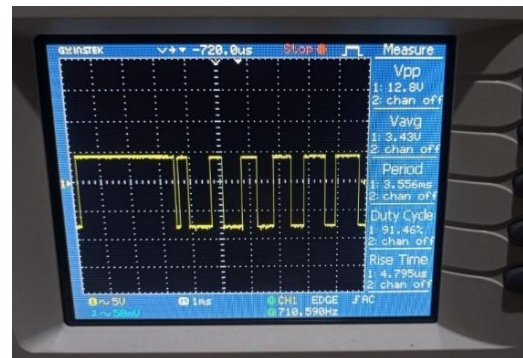


Gambar 18. Sinyal Output Modul Bipolar

Pada gambar 18. ini menunjukkan sinyal keluaran bipolar, dengan nilai Vpp 17,8 volt.

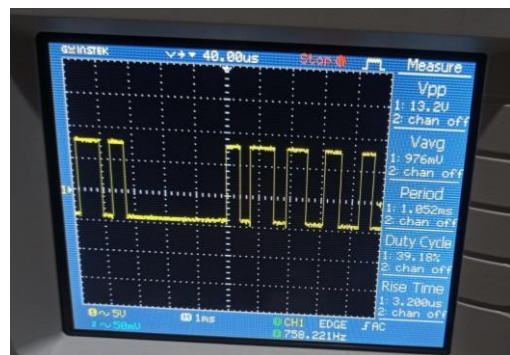
E. Hasil Pengujian Modul Pemisah Polaritas

Bentuk sinyal output pemisah polaritas berbentuk sinyal kotak yang berbeda fasa 60°. Output yang diukur yaitu terminal keluaran pin 1 pada gambar 19 dan pin 2 pada gambar 20.



Gambar 19. Sinyal Output Modul Pemisah Polaritas Positif

Pada gambar 19. menunjukkan keluaran sinyal siklus positif dengan nilai Vpp 12,8 volt dan nilai frekuensinya 710,59 Hz.



Gambar 20. Sinyal Output Modul Pemisah Polaritas Negatif

Pada gambar 20. menunjukkan keluaran sinyal siklus negatif dengan Vpp 13,2 volt dan nilai frekuensinya 750,221 Hz.

Berdasarkan hasil pengujian, sumber sinyal sinusoidal menunjukkan bentuk sinyal pulsa yang diinginkan. Oleh karena itu, tegangan pada sumber sinyal dibatasi sebesar 22V sesuai dengan tegangan input maksimal pada IC yang digunakan, berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa spesifikasi dari sumber sinyal seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Sumber Sinyal

No.	Variabel	Nilai
1.	Tegangan Output Sinusoidal	5 Vpp
2.	Tegangan Output Segitiga	8 Vpp
3.	Frekuensi Output Gelombang Sinusoidal	50 Hz
4.	Frekuensi Output Gelombang Segitiga	50 Hz – 1 kHz

Setelah spesifikasi pada sumber sinyal ditentukan, maka dapat ditentukan spesifikasi sinyal *60 degrees pulse width modulation* yang didapatkan dari rangkaian kontrol adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Spesifikasi 60 Degrees PWM

No.	Variabel	Nilai
1.	Input	12 V
2.	Output	6.88 Vpp
3.	Frekuensi 60 Degrees PWM	974.482 Hz

Setelah mendapatkan spesifikasi pada sinyal *60 degrees pulse width modulation*, maka dapat disimpulkan bahwa spesifikasi dari sinyal pulsa pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Sinyal Pulsa

No.	Variabel	Nilai
1.	Tegangan Output Pulsa Positif	12.8 Vpp
2.	Tegangan Output Pulsa Negatif	13.2 Vpp
3.	Frekuensi Output Gelombang Pulsa	50 Hz – 1 kHz

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil realisasi alat dan pengujian, maka dapat disimpulkan telah dihasilkan modul bipolar *60 Degrees Pulse Width Modulation* satu fasa yang digunakan sebagai *switching* inverter satu fasa, dengan menghasilkan sinyal *60 degrees* yang dibuat dari sinyal sinusoidal dan sinyal *carrier* segitiga yang dipotong pada sudut 60° sampai 120° . Hasil yang didapat yaitu sinyal sinusoidal satu fasa sebagai referensi dengan amplitudo yang dapat diatur dari 4 Vpp sampai 8 Vpp dengan nilai frekuensi 50 Hz. Sinyal *60 Degrees Pulse Width Modulation* dengan tegangan *input* sebesar 5 Vpp, tegangan *output* sebesar 6,88 Vpp dan frekuensi 974 Hz yang berbeda sudut sebesar 60° .

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui Wakil Direktur Bidang Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan penelitian nomor B/209/PL1/HK.02.00/2022 kelompok A1).

REFERENSI

- [1] M. A. Basri and K. Naim, "Rancang Bangun Electronic Load Control Generator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Mikrokontroler dan IoT," no. September, pp. 288–293, 2021.
- [2] D. Saripurna, A. Calam, Y. Yusnidah, and Z. Lubis, "Sistem Cerdas Pemanggang Jagung Semi Otomatis Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Metode PWM (Pulse Width Modulation)," *J. SAINTIKOM (Jurnal Sains Manaj. Inform. dan Komputer)*, vol. 18, no. 1, p. 82, 2019.
- [3] I. F. Muhamad, D. Septiyanto, and N. Mulyono, "Rancang Bangun Modul Trapesium Pulse Width Modulation (TPWM)," *Pros. SEMNASTERA (Seminar Nas. Teknol. dan Ris. Ter., pp. 274–281, 2021.*
- [4] E. P. Sitohang, D. J. Mamahit, and N. S. Tulung, "Rancang Bangun Catu Daya Dc Menggunakan Mikrokontroler Atmega 8535," *J. Tek. Elektro dan Komput., vol. 7, no. 2, pp. 135–142, 2018.*
- [5] L. E. Nuryanto, "Penerapan Dari Op-Amp (Operational Amplifier)," *Orbith*, vol. 13, no. 1, pp. 43–50, 2017.
- [6] N. Sihombing, D. Septiyanto, and N. Mulyono, "Rancang Bangun Modul Discontinue Pulse Width Modulation (DPWM)," *Pros. SEMNASTERA (Seminar Nas. Teknol. dan Ris. Ter., pp. 128–137, 2021.*