

SIX-STEP INVERTER UNTUK MENGENDALIKAN MOTOR 3 FASA ARUS SEARAH TANPA SIKAT BERBASIS ARDUINO

Mamal Daputra^{1*}, Zulwisli²

¹Prodi Pendidikan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Jurusan Teknik Elektronika Universitas Negeri Padang

Jl. Prof. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang

*Corresponding author e-mail : mamal.daputra12@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilatar belakangi oleh banyaknya kebutuhan dalam penggunaan motor listrik. Motor listrik dengan tegangan DC yang sering digunakan pada saat ini kurang efektif dan efisien karena penggunaan *brush* yang akan habis saat digunakan. Untuk mengatasi kelemahan motor DC ini, maka digunakan Motor Arus Searah Tanpa Sikat (MASTS). MASTS adalah motor AC tiga fasa. Pada pengaplikasian tetap, dapat digunakan langsung sumber tegangan AC tiga fasa. Dalam pengaplikasian bergerak, dibutuhkan tegangan AC yang bersumber dari tegangan DC. Untuk itu dirancang inverter yang dapat merubah tegangan DC menjadi AC tiga fasa. Metode dalam pengendalian MASTS adalah *six-step inverter* yaitu merubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang berbentuk kotak atau *trapezoid*. Inverter ini menggunakan MOSFET IRF3205 dan mikrokontroler arduino. Untuk mengetahui kinerja dari inverter, maka dilakukan pengukuran tegangan driver MOSFET, pengukuran arus keluaran, serta pengukuran kecepatan MASTS yang dihasilkan. Dari hasil pengukuran, saat tegangan dinaikkan arus pada rangkaian dan kecepatan MASTS akan meningkat.

Kata kunci : Inverter, MASTS, Fasa, Six-Step.

ABSTRACT

This research is motivated by the many needs in the use of electric motors. Electric motors with DC voltages that are often used today are less effective and efficient because of the use of brushes that will run out when used. To overcome the weaknesses of this DC motor, then used Brushless Direct current Motor (MASTS). MASTS is a three phase AC motor. In a fixed application, a three phase AC voltage source can be used directly. In a mobile application, it takes an AC voltage sourced from a DC voltage. For this reason, an inverter is designed to convert DC voltage into three phase AC. The method in controlling MASTS is a six-step inverter that is changing the DC voltage to AC voltage in the form of a box or trapezoid. This inverter uses MOSFET IRF3205 and Arduino microcontroller. To find out the performance of the inverter, MOSFET driver voltage measurements, measurement of the output current, and measurement of the resulting MASTS speed. From the measurement results, when the voltage is increased the current in the circuit and the speed of the MASTS will increase.

Keywords: Inverter, MASTS, Phase, Six-Step.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam berbagai bidang tidak lepas dari penggunaan motor. Salah satu motor yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah motor listrik. Motor listrik DC yang sering digunakan membutuhkan biaya perawatan yang tinggi karena menggunakan *brush*

dalam komutasi motor. Brush pada motor DC akan cepat mengalami kerusakan seiring dengan penggunaannya. Untuk mengatasi masalah tersebut maka digunakan Motor Arus Searah Tanpa Sikat (MASTS).

Kelebihan MASTS adalah memiliki karakteristik kecepatan dan torsi yang lebih baik,

tanggapan dinamis yang tinggi, efisiensi tinggi, tahan lama dan rendahnya tingkat noise dibanding dengan motor listrik konvensional[1]. MASTS adalah motor sinkron AC 3 fasa. Hal ini berarti bahwa motor bekerja dengan kecepatan tetap pada sistem frekuensi tertentu. Walaupun bergerak dengan tegangan AC 3 fasa, motor ini tetap disebut MASTS karena MASTS tetap menggunakan tegangan DC yang kemudian dirubah ketegangan AC tiga fasa[2].

Pada pengaplikasiannya, MASTS sering digunakan pada kendaraan seperti sepeda listrik, motor listrik, maupun mobil listrik[3]. Pada kendaraan yang bergerak, penyimpanan energi yang sering digunakan adalah baterai. Baterai dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk tegangan DC. Akan tetapi, MASTS bergerak menggunakan sumber listrik AC tiga fasa. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah inverter. Inverter yaitu suatu perangkat elektronika yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC[4]. Tegangan AC yang dibutuhkan adalah tegangan AC dengan tiga buah fasa.

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah inverter yang dapat merubah tegangan DC menjadi tegangan AC tiga fasa dengan metode *six-step* yang menggunakan MOSFET IRF3205 sebagai komponen utamanya.

Motor Arus Searah Tanpa Sikat (MASTS)

Perbedaan MASTS dengan motor arus searah yaitu, pada MASTS rotor terbuat dari magnet permanen dan stator terbuat dari magnet yang berasal dari kumparan yang dialiri arus listrik[5]. Sedangkan pada motor listrik arus searah stator dari magnet permanen dan rotor dari magnet yang berasal dari kumparan. Perbedaan lainya yaitu, MASTS tidak menggunakan sikat untuk komutasinya tetapi menggunakan sensor hall yang dihubungkan ke kontroler yang akan dihubungkan ke transistor untuk mengganti polaritas magnet pada stator MASTS.

Rotor MASTS bergerak akibat adanya gaya tarik dan dorong oleh stator motor. Untuk itu, stator motor diharuskan hanya dua fasa yang tersuplai dan satu lagi tidak tersuplai. Fasa motor yang terhubung ke positif *power supply* akan menghasilkan kutub utara magnet dan fasa motor yang terhubung ke negatif *power supply* akan menghasilkan kutub selatan magnet. Sedangkan fasa yang tidak terhubung ke power suplai akan berada pada kondisi *floating*.

Pendeteksian Komutasi

Pendeteksian komutasi berfungsi untuk menentukan timing yang tepat untuk mengganti polaritas stator pada MASTS. Pendeteksian komutasi terbagi menjadi 2 yaitu menggunakan sensor dan tanpa menggunakan sensor. Pendeteksian

menggunakan sensor biasanya menggunakan sensor hall dan encoder, sedangkan pendeteksian tanpa menggunakan sensor adalah mendeteksi BEMF dan zero crossing. Pendeteksian komutasi tanpa menggunakan sensor hanya dapat digunakan pada metode *six-step* yang berjalan pada kecepatan tinggi. Sedangkan pendeteksian dengan menggunakan sensor dapat digunakan pada semua metode dengan kecepatan rendah ataupun tinggi[6].

1. BEMF dan Zero Crossing

BEMF (Back Electro Motive Force) dan zero crossing merupakan pendeteksian perubahan komutasi tanpa menggunakan sensor melainkan dengan cara mendeteksi tegangan pada salah satu fasa yang dalam kondisi *floating*. Kondisi *floating* terjadi bergantian pada setiap fasa dengan rentang 60 derajat. Pendeteksian menggunakan BEMF hanya dapat digunakan pada pengendalian metode *six-step*[7].

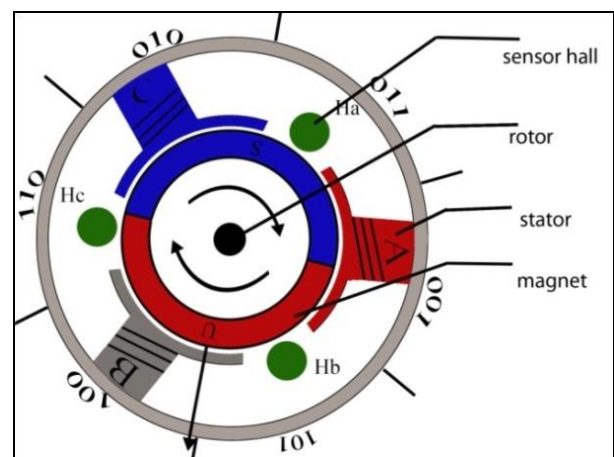
2. Encoder

Pendeteksian komutasi dengan encoder biasanya digunakan pada motor komersial. Encoder dilakukan dengan cara membaca *disk code* menggunakan sebuah sensor *optic*.

3. Sensor Hall

Sensor hall merupakan pendeteksian komutasi yang sering digunakan. Pada MASTS biasanya menggunakan 3 buah sensor hall. Dari 3 buah sensor hall akan menghasilkan 6 buah kombinasi yang berbeda yang akan menentukan 6 buah step dari MASTS. Posisi dari sensor hall harus presisi agar *timing* dari keenam step dapat terjadi dengan tepat. Apabila *timing* tidak tepat maka akan dapat terjadi slip sehingga putaran MASTS tidak dapat bekerja dengan maksimal. Sensor hall diletakkan terpisah 120 derajat pada MASTS yang menggunakan 6 buah pole.

Sensor hall bekerja dengan mendeteksi medan magnet. Saat sensor hall mendeteksi kutub selatan magnet maka sensor hall akan bernilai high("1"). Saat sensor hall mendeteksi kutub utara magnet maka sensor hall akan bernilai low("0").



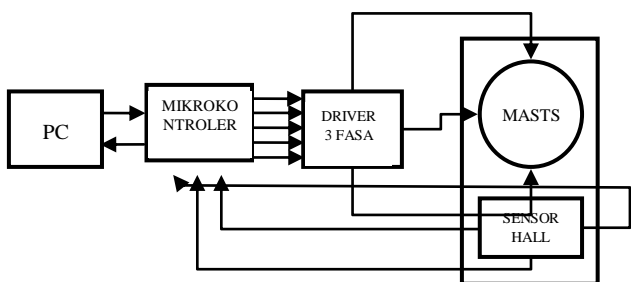
Gambar 1. Motor Arus Searah Tanpa Sikat

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada sistem ini menggunakan arduino sebagai kontroler utama. Arduino berfungsi untuk mengetahui posisi rotor melalui 3 buah sensor hall dan kemudian akan memberikan sinyal ke inverter 3 fasa Sehingga MASTS dapat berputar.

1. Diagram Blok Rangkaian

Dalam pengendalian MASTS menggunakan metode *six-step* inverter, dibutuhkan suatu diagram blok yang terdiri dari mikrokontroler arduino, driver tiga fasa, dan 3 buah sensor hall. Berikut adalah diagram blok keseluruhan sistem yang dirancang:



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Berdasarkan gambar diagram blok pada gambar 2, terdapat beberapa blok yang masing-masing memiliki fungsi sebagai berikut:

a. Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino. Arduino berfungsi sebagai pengendali MASTS berdasarkan pembacaan dari sensor hall yang terletak pada MASTS kemudian Arduino akan menghasilkan sinyal digital yang diteruskan ke driver motor.

b. Driver Tiga Fasa

Driver 3 fasa merupakan rangkaian inverter yang dapat merubah sinyal DC menjadi sinyal AC yang berbentuk square atau trapezoid. Driver tiga fasa terbuat dari 3 pasang transistor mosfet IRF3205. Transistor ini dapat bekerja sampai dengan tegangan 100 volt dan arus 33 ampere.

c. Sensor Hall

Sensor hall berfungsi untuk menentukan timing perubahan komutasi dan menentukan posisi dari magnet rotor. Sensor hall terletak di dalam motor. Jarak sensor hall disesuaikan dengan jumlah pole pada motor tersebut dengan rumus:

$$\text{letak sensor} = 120/(\text{jml pasang pole})$$

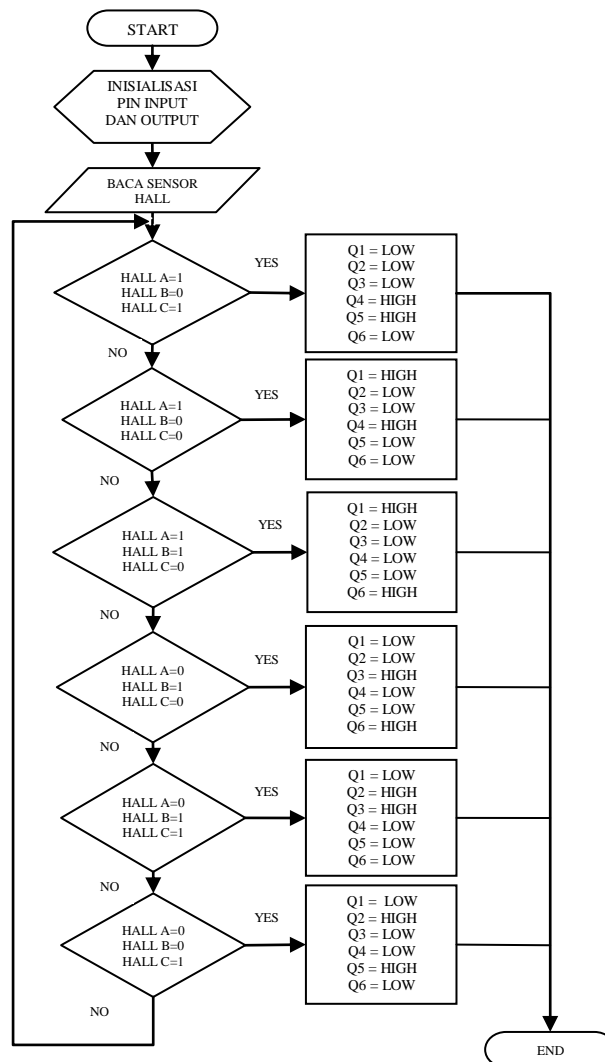
d. MASTS

MASTS yang digunakan adalah Motor listrik U-winfly 500w BLDC ebike dengan daya 500 watt. Motor listrik ini bekerja pada tegangan 48v dengan maksimal kecepatan 350RPM.

e. PC

PC berfungsi sebagai tempat penulisan sketch program yang akan dimasukkan ke arduino.

2. Flowchart Sistem



Gambar 3. Flowchart Algoritma Pengendali

3. Prinsip Kerja Alat

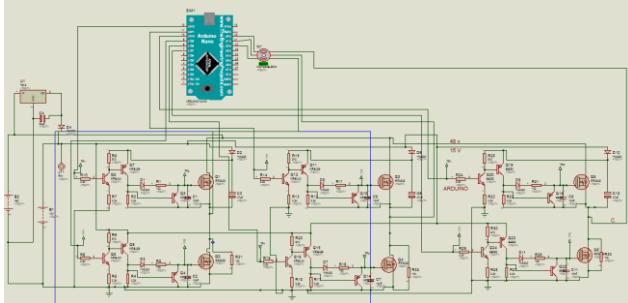
Berdasarkan perancangan sistem blok diagram dan flowchart dapat dideskripsikan bahwa pengendalian MASTS tiga fasa dengan menggunakan metode *six step inverter* ini dikendalikan dengan arduino. Tiga pin ADC pada arduino dihubungkan dengan sensor hall pada MASTS, dan 6 pin digital dihubungkan dengan driver tiga fasa.

Arduino akan membaca *timing* perubahan komutasi MASTS melalui pembacaan dari sensor hall. Berdasarkan *timing* perubahan komutasi, arduino akan mengalirkan sinyal ke driver motor 3 fasa. Driver motor akan menginverter sinyal DC menjadi sinyal AC berbentuk *square* atau *trapezoid* dari arduino. Sinyal AC yang berbentuk *square* atau *trapezoid* dihubungkan ke stator MASTS sehingga

stator akan menghasilkan gaya elektromagnet. Elektromagnet stator akan menarik magnet rotor sehingga rotor akan berputar sesuai dengan sinyal *six-step* yang dihasilkan arduino.

4. Rancangan Rangkaian Keseluruhan Sistem

Rancangan rangkaian keseluruhan sistem untuk menggerakkan MASTS dengan menggunakan six-step inverter dapat dilihat pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Rangkaian Keseluruhan Sistem

Gambar 4 merupakan rangkaian keseluruhan sistem penggerak MASTS dengan menggunakan metode *six-step inverter* yang dirancang menggunakan aplikasi proteus 8.8.

5. Penentuan Komponen Elektronik

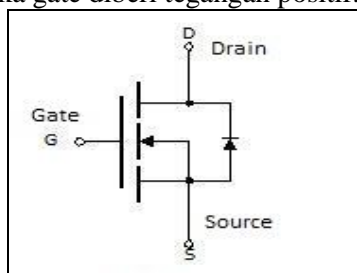
Pada alat ini terdapat 3 komponen utama yaitu mikrokontroler, MASTS, dan inverter tiga fasa. Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino nano dan MASTS yang digunakan adalah Motor listrik U-winfly 500w BLDC ebike dengan daya 500 watt. Sedangkan untuk inverter tiga fasa, akan dirancang menggunakan MOSFET IRF3205 sebagai komponen dayanya.

Inverter tiga fasa digunakan untuk mengkonversi sinyal DC menjadi sinyal AC. Rangkaian inverter terdiri dari rangkaian daya MOSFET dan rangkaian driver MOSFET.

a. Rangkaian Daya MOSFET

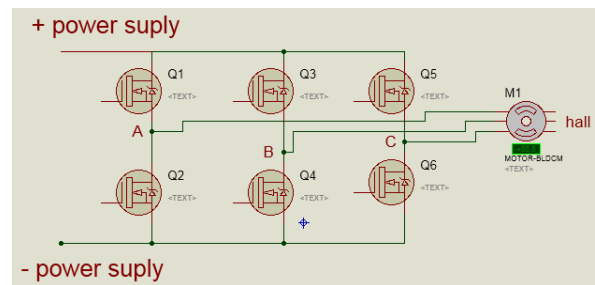
Rangkaian Daya MOSFET terdiri dari 6 buah transistor MOSFET yang akan aktif secara bergantian sesuai dengan sinyal yang diterima dari kontroler.

Jenis MOSFET yang digunakan pada rangkaian ini adalah MOSFET IRF3205 yang mampu mengalirkan arus sampai dengan 110 Amper dan tegangan 55 Volt. MOSFET ini memiliki 3 buah kaki yaitu drain, source dan gate. Pada MOSFET kanal N, arus akan mengalir dari drain menuju source ketika gate diberi tegangan positif.



Gambar 5. Simbol MOSFET kanal N

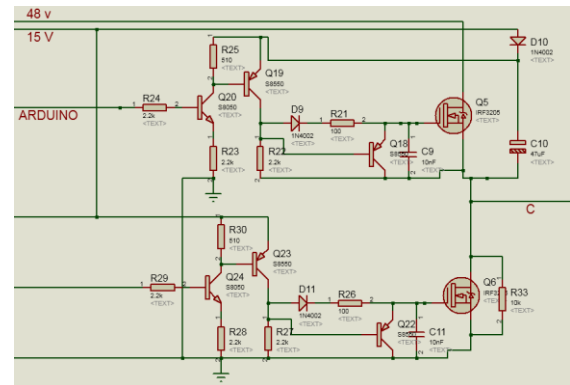
Gambar 5 merupakan simbol dari MOSFET kanal N. Pada inverter tiga fasa, menggunakan 6 buah MOSFET yang akan aktif 2 buah secara bergantian.



Gambar 6. Rangkaian Inverter Tiga Fasa

b. Rangkaian Driver MOSFET

Agar sinyal dari arduino dapat diterima oleh MOSFET maka, sinyal dari arduino terlebih dahulu dikuatkan oleh transistor-transistor yang berfungsi sebagai driver dari MOSFET.

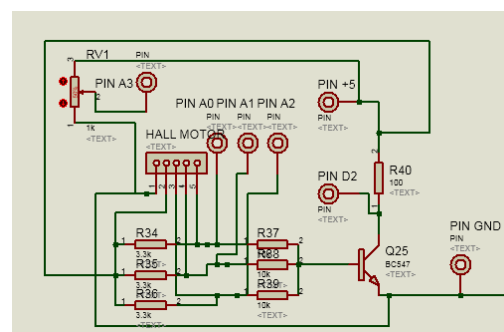


Gambar 7. Driver MOSFET

Driver MOSFET berfungsi sebagai penguat arus yang dihasilkan oleh arduino. Pada kaki gate MOSFET dibutuhkan tegangan 12-15 VDC agar MOSFET bekerja. Pada rangkaian driver mosfet digunakan 2 macam transistor dengan tipe s8050 npn dan s8550 pnp.

c. Input Sensor Hall

Agar sensor hall dapat terbaca dengan tepat oleh arduino maka output dari sensor hall diparalelkan dengan resistor 3k3 dan dihubungkan ke +5V pada arduino.

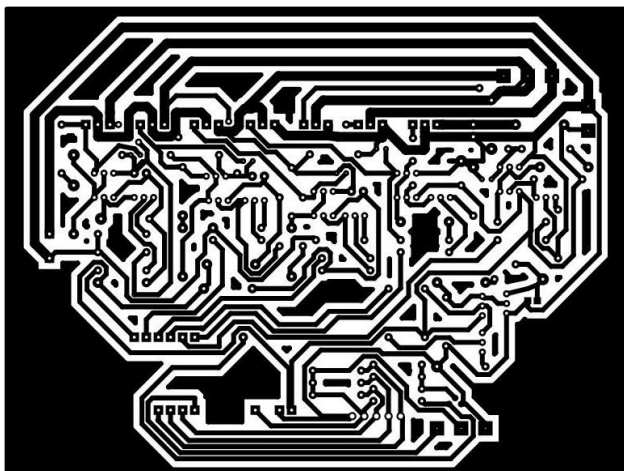


Gambar 8. Pembacaan Sensor Hall

Rangkaian ini berfungsi agar sinyal input dari sensor hall akan tetap bernilai “HIGH” ketika sensor hall mendeteksi kutub selatan dan tetap bernilai “LOW” saat mendeteksi kutub utara. Nilai dari sensor hall dibaca melalui pin A0, A1, dan A2 oleh arduino.

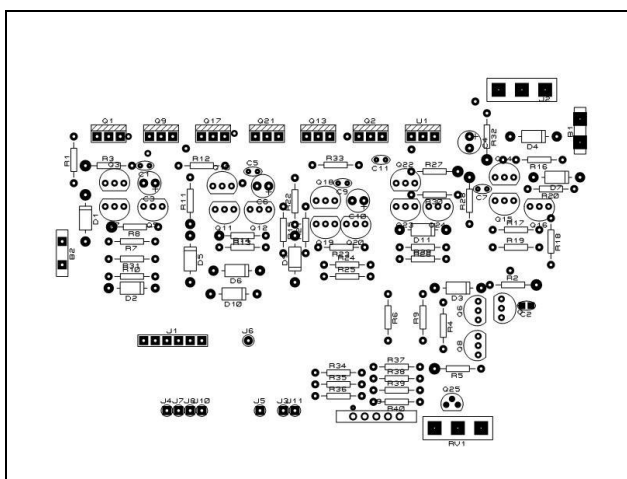
6. Pembuatan Alat

Layout inverter tiga fasa dibuat menggunakan aplikasi proteus 8.8. aplikasi proteus dapat digunakan untuk membuat simulasi dari rangkaian dan dapat di konversi menjadi *layout* dari rangkaian tersebut.



Gambar 9. Layout Inverter Keseluruhan

Setelah pembuatan layout selanjutnya *layout* tersebut ditempelkan di papan PCB dan dilakukan pelarutan. Setelah dilarut komponen dirangkai sesuai dengan tata letak komponen pada gambar 10.



Gambar 10. Tata Letak Inverter Keseluruhan

Secara keseluruhan inverter tiga fasa, komponen-komponen yang digunakan pada inverter tiga fasa ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Komponen Inverter Tiga Fasa

No	Komponen	Spesifikasi	Keterangan
1	MOSFET	IRF3205	6 buah Komponen daya
2	Transistor NPN	S8050	6 buah pada driver MOSFET
3	Transistor PNP	S8550	Penguat dan penganman MOSFET
4	Dioda	1n4002	Penganman MOSFET
5	Resistor	510,2k2,100 Ω	Penganman transistor
6	Kapasitor mika	10nF	6 buah
7	Elco	47uF	Filter tegangan input
8	Pin header	2 kaki dan 3 kaki	Input power supply dan output ke MASTS
9	Mikrokontroler	Arduino Nano	pengendali

Tabel 1 merupakan komponen-komponen yang dibutuhkan dalam inverter. Komponen-komponen tersebut memiliki fungsi masing-masing agar inverter dapat merubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

Dalam penelitian ini dibutuhkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian. Alat-alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu:

Tabel 2. Alat-Alat Yang Digunakan

No	Alat	Spesifikasi	Keterangan
1	Power Supply	Protek PL-3005T	Sumber Tegangan DC
2	Osilloscope	GW Instek GDS-806S	Pengukur Gelombang
3	Multimeter	DT-9205A	Pengukur Arus Dan Tegangan
4	Tachometer	DT-6236B	Pengukur Kecepatan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dilakukan untuk mengetahui kinerja dari MASTS dengan menggunakan inverter tiga fasa yang dirancang. Apakah kinerja rangkaian sudah sesuai dengan tujuan yang diinginkan atau belum.

A. Hasil Alat

Setelah inverter selesai, maka semua alat dihubungkan agar MASTS dapat berjalan. Yaitu MASTS dihubungkan ke inverter tiga fasa dan inverter dihubungkan ke sumber tegangan DC. motor MASTS yang digunakan adalah U-Winfly 500 Watt Butterfly. Motor MASTS ini dapat bekerja sampai tegangan 48 volt dan arus 15 amper. Gambar 11 merupakan bentuk dari motor MASTS U-Winfly dengan daya 500watt.

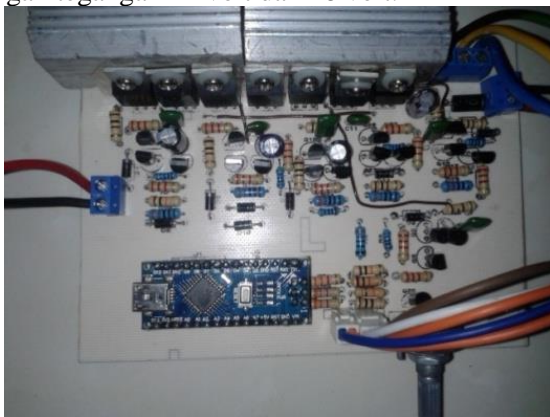
Mikrokontroler yang digunakan pada inverter 3 fasa ini adalah arduino nano. Arduino nano menggunakan chip ATmega 328p dan dilengkapi dengan usb tipe mini-b yang berfungsi sebagai input program ke arduino. Usb tersebut juga dapat berfungsi untuk komunikasi arduino dengan PC. Yaitu untuk menampilkan data pembacaan

arduino sekaligus dapat memberikan input kepada arduino.



Gambar 11. Motor MASTS U-Winfly

Gambar 12 merupakan gambar inverter keseluruhan yang dilengkapi dengan arduino nano. Inverter memiliki 3 buah output ke MASTS, 3 buah input sensor hall, dan 2 buah *input power supply* dengan tegangan 12 volt dan 48 volt.



Gambar 12. Rangkaian Inverter Keseluruhan

Dalam menjalankan MASTS, motor dihubungkan ke inverter tiga fasa. Sumber DC yang digunakan menggunakan *power supply* dengan tipe Protek PL-3005T yang dapat menghasilkan tegangan DC 30 Volt 5 amper. *Power supply* ini memiliki 3 buah *channel output*. Dalam rangkaian ini digunakan 2 buah sumber tegangan yaitu 12 volt untuk driver MOSFET dan 10-30 volt untuk input daya ke drain MOSFET IRF3205.



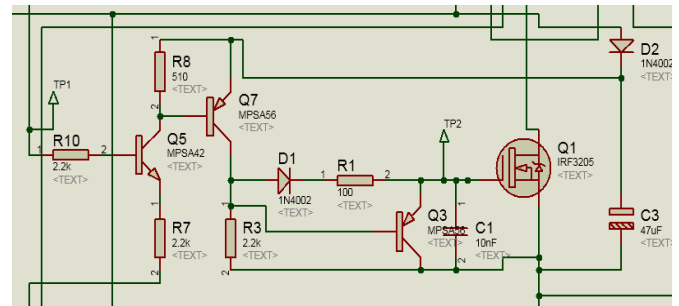
Gambar 13. Power Supply Protek PL-3005T

B. Pembahasan

Setelah pembuatan alat selesai, maka dilakukan pengukuran pada rangkaian untuk mengetahui kinerja dari inverter yang telah dirancang. Pengukuran yang dilakukan yaitu pengukuran pada rangkaian inverter dan pengukuran keluaran inverter.

1. Pengujian Driver Mosfet

Pengukuran tegangan pada inverter dilakukan ketika inverter tanpa beban. Pengukuran tegangan dilakukan pada 3 titik yaitu TP1 dan TP2.



Gambar 14. Pengukuran Driver Mosfet

Driver MOSFET diberikan tegangan input sebesar 12 volt DC. TP1 merupakan tegangan yang dihasilkan oleh arduino dan TP2 adalah tegangan pada kaki gate MOSFET. Pengukuran tegangan dilakukan pada transistor yang aktif tiap step-nya. Pengukuran dilakukan pada step 1 sampai step 6.



Gambar 15. Proses Pengukuran Driver Mosfet

Gambar 15 merupakan proses pengukuran driver mosfet yang diukur pada inverter pada D11 keluaran arduino. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui transistor yang aktif pada setiap stepnya. Untuk mengetahui step dari motor tersebut, nilai sensor hall ditampilkan di serial monitor.

Cara yang sama juga dilakukan untuk mengukur tegangan pada D8, D10, D7, D9, D6, beserta tegangan pada Q1 sampai Q6. Hasil pengukuran pada driver MOSFET adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tegangan Driver MOSFET Saat Step 1

MOS FET	Pin Arduino	Input Driver MOSFET (V)	Gate MOSFET (V)
Q1	D11	0	0
Q2	D8	0	0
Q3	D10	0	0
Q4	D7	4.4	12
Q5	D9	4.4	11.5
Q6	D6	0	0

Tabel 3 merupakan pengukuran tegangan pada driver MOSFET pada saat step 1. Pengukuran dilakukan pada saat kondisi sensor hall “101”. Dari hasil pengukuran dapat dilihat pada step 1 MOSFET yang aktif adalah MOSFET Q4 dan Q5.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan Driver MOSFET Saat Step 2

MOS FET	Pin Arduino	Input Driver MOSFET(V)	Gate MOSFET(V)
Q1	D11	0	0
Q2	D8	4.4	12
Q3	D10	0	0
Q4	D7	0	0
Q5	D9	4.4	11.5
Q6	D6	0	0

Tabel 4 merupakan pengukuran tegangan pada driver MOSFET pada saat step 2. Pengukuran dilakukan pada saat kondisi sensor hall “001”. Dari hasil pengukuran dapat dilihat pada step 2 MOSFET yang aktif adalah MOSFET Q2 dan Q5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Tegangan Driver MOSFET Saat Step 3

MOS FET	Pin Arduino	Input Driver MOSFET (V)	Gate MOSFET (V)
Q1	D11	0	0
Q2	D8	4.4	12
Q3	D10	4.4	11.5
Q4	D7	0	0
Q5	D9	0	0
Q6	D6	0	0

Tabel 5 merupakan pengukuran tegangan pada driver MOSFET pada saat step 3. Pengukuran dilakukan pada saat kondisi sensor hall “011”. Dari hasil pengukuran dapat dilihat pada step 3 MOSFET yang aktif adalah MOSFET Q2 dan Q3.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Tegangan Driver MOSFET Saat Step 4

MOS FET	Pin Arduino	Input Driver MOSFET (V)	Gate MOSFET (V)
Q1	D11	0	0
Q2	D8	0	0
Q3	D10	4.4	11.5
Q4	D7	0	0
Q5	D9	0	0
Q6	D6	4.4	12

Tabel 6 merupakan pengukuran tegangan pada driver MOSFET pada saat step 4. Pengukuran dilakukan pada saat kondisi sensor hall “010”. Dari hasil pengukuran dapat dilihat pada step 4 MOSFET yang aktif adalah MOSFET Q3 dan Q6.

Tabel 7. Hasil Pengukuran Tegangan Driver MOSFET Saat Step 5

MOS FET	Pin Arduino	Input Driver MOSFET (V)	Gate MOSFET (V)
Q1	D11	4.4	11
Q2	D8	0	0
Q3	D10	0	0
Q4	D7	0	0
Q5	D9	0	0
Q6	D6	4.4	12

Tabel 7 merupakan pengukuran tegangan pada driver MOSFET pada saat step 5. Pengukuran dilakukan pada saat kondisi sensor hall “110”. Dari hasil pengukuran dapat dilihat pada step 5 MOSFET yang aktif adalah MOSFET Q1 dan Q6.

Tabel 8. Hasil Pengukuran Tegangan Driver MOSFET Saat Step 6

MOS FET	Pin Arduino	Input Driver MOSFET (V)	Gate MOSFET (V)
Q1	D11	4.4	11
Q2	D8	0	0
Q3	D10	0	0
Q4	D7	4.4	12
Q5	D9	0	0
Q6	D6	0	0

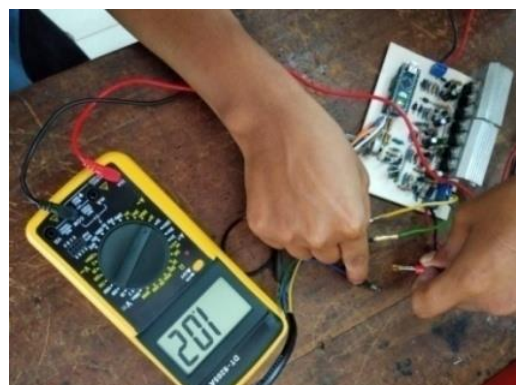
Tabel 8 merupakan pengukuran tegangan pada driver MOSFET pada saat step 6. Pengukuran dilakukan pada saat kondisi sensor hall “100”. Dari hasil pengukuran dapat dilihat pada step 6 MOSFET yang aktif adalah MOSFET Q1 dan Q4.

2. Pengukuran keluaran inverter

Untuk mengetahui pengaruh perubahan tegangan input inverter terhadap motor maka dilakukan pengujian terhadap 3 tingkat tegangan input. Tegangan yang diberikan adalah 10, 20, dan 30 volt DC. Input tegangan menggunakan power suplay variable dengan tegangan 0 sampai 30 volt dan arus sampai 5 Amper. Pengukuran yang dilakukan yaitu pengukuran arus keluaran inverter yang menuju motor pada tiga fasa, pengukuran bentuk gelombang tiga fasa dan pengukuran kecepatan motor.

a. Pengukuran arus keluaran inverter

Pengukuran arus keluaran inverter pada setiap fasa diukur menggunakan ammeter AC. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan ammeter diserikan dengan inverter dan MASTS.



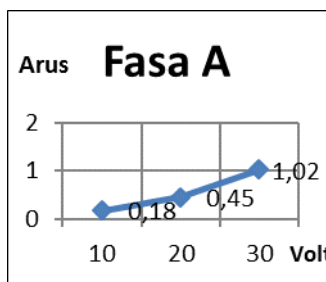
Gambar 16. Proses Pengukuran Driver Mosfet

Gambar 16 merupakan proses pengukuran arus pada keluaran fasa A inverter. Pengukuran dilakukan ketika motor bergerak dengan inverter diberikan tegangan 10, 20, dan 30 VDC. Pengukuran juga dilakukan pada fasa B dan fasa C. Hasil pengukuran arus keluaran pada 3 fasa motor dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengukuran Arus Pada Ketiga Fasa

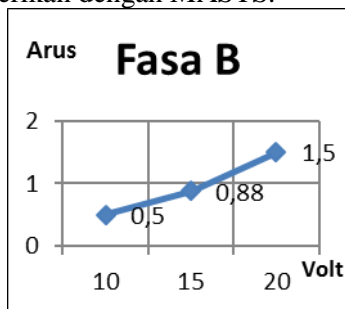
No	Tegangan (V)	Arus (A)		
		Fasa A	Fasa B	Fasa C
1	10	0.18	0.5	0.47
2	20	0.45	0.88	0.75
3	30	1.02	1.57	1.31

Dari hasil pengukuran arus tiga fasa pada tabel 9 dapat dilihat arus pada output inverter akan meningkat ketika tegangan input inverter dinaikkan. Hal ini dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



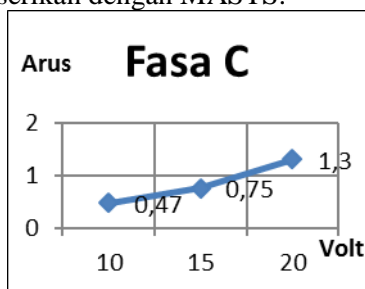
Gambar 17. Grafik Perubahan Tegangan Terhadap Arus Pada Fasa A

Gambar 17 merupakan hasil pengukuran arus pada fasa A dengan menggunakan amper meter ac yang diseriikan dengan MASTS.



Gambar 18. Grafik Perubahan Tegangan Terhadap Arus Pada Fasa B

Gambar 18 merupakan hasil pengukuran arus pada fasa B dengan menggunakan amper meter ac yang diseriikan dengan MASTS.



Gambar 19. Grafik Perubahan Tegangan Terhadap Arus Pada Fasa C

Gambar 19 merupakan hasil pengukuran arus pada fasa C dengan menggunakan amper meter AC yang diseriikan dengan MASTS. Dari gambar 17, 18, dan 19 dapat dilihat perubahan arus meningkat ketika tegangan input pada inverter dinaikkan.

b. Pengukuran Gelombang Keluaran Inverter

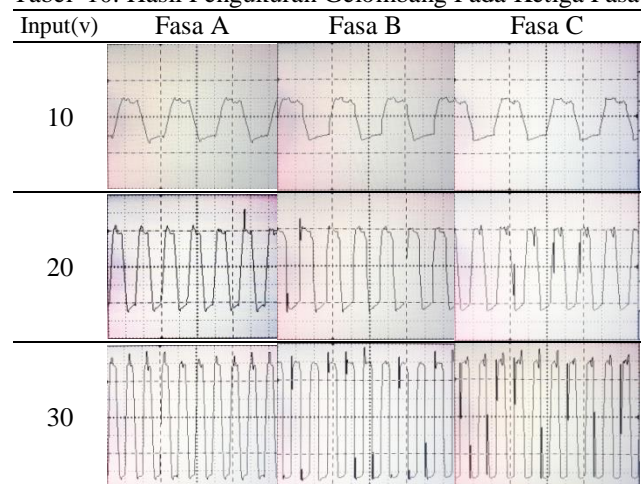
Pengukuran gelombang keluaran inverter tiga fasa dilakukan dengan menggunakan osiloscope. Osiloscope yang digunakan yaitu osiloscope digital dengan tipe GW Instek GDS-806S. osiloscope ini memiliki 2 chanel input. Proses pengukuran gelombang output inverter dapat dilihat pada gambar 20 berikut.



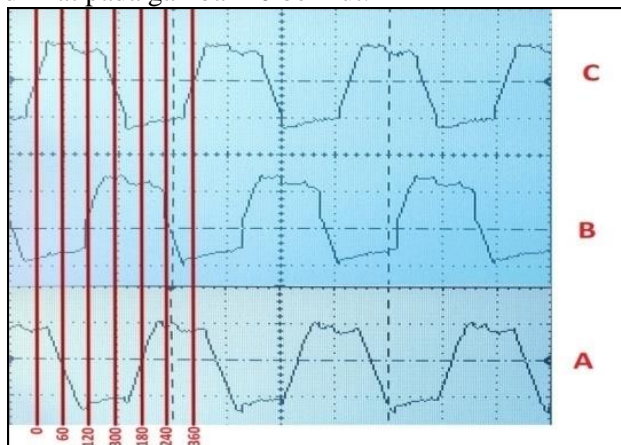
Gambar 20. Proses Pengukuran Gelombang Keluaran Inverter Pada Fasa A

Gambar 20 merupakan proses pengukuran gelombang keluaran inverter tiga fasa yang dilakukan pada fasa A. pengukuran dilakukan dengan menghubungkan probe negatif osiloskop ke ground inverter dan probe positif ke keluaran pada fasa A yaitu pada kabel biru. Cara yang sama juga dilakukan untuk mengukur gelombang pada fasa B dan C. yaitu pada kabel kuning untuk fasa B dan kabel hijau untuk fasa C. Bentuk gelombang keluaran inverter pada ketiga fasa dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengukuran Gelombang Pada Ketiga Fasa



Gelombang keluaran pada ketiga fasa akan terpisah sejauh 120° . Perbedaan fasa tersebut dapat dilihat pada gambar 20 berikut:



Gambar 21. Perbedaan Fasa Pada Keluaran Inverter

Pada gambar 21 terlihat perbedaan fasa antara gelombang C dan B adalah 120° begitu juga dengan gelombang B dan A juga terpisah 120° .

Dari hasil pengukuran gelombang pada ketiga fasa, juga didapat nilai frekuensi yang terukur pada gelombang tiga fasa tersebut. Perubahan frekuensi pada gelombang tiga fasa dapat dilihat pada tabel 11 berikut:

Tabel 11. Perubahan Frekuensi gelombang pada ketiga fasa.

Tegangan Input(V)	Frekuensi Gelombang 3 Fasa(Hz)		
	Fasa A	Fasa B	Fasa C
10	34.86	34.82	35.09
20	69.32	70.62	69.32
30	103.10	104.10	99.67

Pada tabel 11 dapat dilihat frekuensi gelombang pada tiap fasa akan meningkat sesuai dengan perubahan tegangan yang diberikan ke inverter tiga fasa.

c. Pengukuran Kecepatan MASTS

Pengukuran kecepatan motor diukur menggunakan tachometer dengan tipe DT-6236B. Tachometer ini dilengkapi dengan pengukuran kecepatan dengan menggunakan laser.



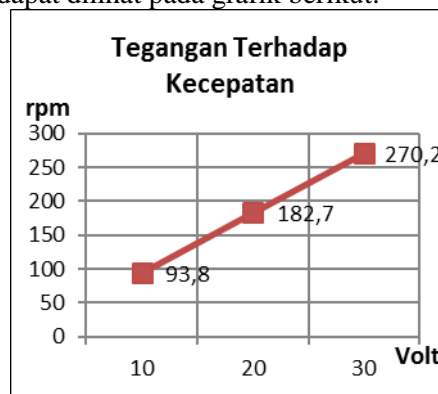
Gambar 22. Proses Pengukuran Kecepatan MASTS

Gambar 22 merupakan proses pengukuran kecepatan MASTS dengan menggunakan tachometer. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui perubahan kecepatan MASTS dari perubahan tegangan yang diberikan ke inverter tiga fasa. Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 12 berikut.

Tabel 12. Hasil Pengukuran Kecepatan MASTS

Tegangan Input(V)	Frekuensi(Hz)	Kecepatan Motor(rpm)
10	34.92	93.8
20	69.75	182.7
30	102.29	270.2

Tabel 12 merupakan hasil pengukuran kecepatan MASTS dengan menggunakan tachometer. Pada tabel dilengkapi dengan rata-rata frekuensi dari tabel 11 pada setiap perubahan tegangan. Dari hasil pengukuran, ketika tegangan dinaikkan maka frekuensi gelombang pada tiga fasa akan meningkat. Sehingga kecepatan MASTS juga akan meningkat. Pada tabel 12 dapat dilihat perubahan tegangan berpengaruh terhadap kecepatan dari MASTS. Pengaruh tegangan terhadap kecepatan motor dapat dilihat pada grafik berikut:

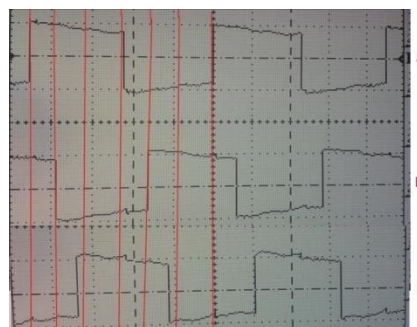


Gambar 23. Grafik Pengaruh Tegangan Terhadap Kecepatan MASTS

Pada grafik dapat dilihat kenaikan tegangan akan berpengaruh terhadap kecepatan motor. Semakin tinggi tegangan yang diberikan maka akan semakin tinggi pula kecepatan MASTS.

d. Pengukuran Gelombang Sensor Hall

Pengukuran sensor hall dilakukan menggunakan osiloskop yang dihubungkan ke kaki arduino input sensor hall yaitu pada pin A0, A1, A2 pada arduino.



Gambar 24. Gelombang Sensor Hall

Dari gelombang pembacaan sensor hall pada gambar 24, didapat kombinasi sensor pada 6 step MASTS yang dapat dilihat pada tabel 12 berikut.

Tabel 13. Kombinasi sensor hall pada 6 step

Step	Hall A	Hall B	Hall C
1	1	1	0
2	1	0	0
3	1	0	1
4	0	0	1
5	0	1	1
6	0	1	0

Tabel 13 merupakan kombinasi dari sensor hall yang didapat dari pengukuran dengan menggunakan osiloscope pada keluaran sensor hall. Kombinasi dari sensor hall akan menentukan posisi dari rotor MAST dan menentukan komutasi dari motor tersebut.

Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa inverter yang dirancang dapat menggerakkan MASTS. Sensor hall telah dibuktikan mampu menentukan komutasi pada MASTS. Dibuktikan dengan tegangan MOSFET pada inverter yang aktif sesuai dengan kombinasi pembacaan sensor hall. Arduino dapat mengontrol inverter dengan membaca nilai sensor hall dan memberikan sinyal ke MOSFET sesuai dengan kombinasi pembacaan sensor hall. Keluaran pada inverter merupakan tegangan AC yang berbentuk kotak atau trapezoid. Kecepatan MASTS dipengaruhi oleh frekuensi tegangan AC tiga fasa yang diberikan. Ini diperoleh dengan mengatur besarnya tegangan DC yang diberikan ke inverter. Arus keluaran inverter akan berubah sesuai dengan tegangan input yang diberikan ke inverter.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis penggunaan Six-Step inverter untuk mengendalikan motor arus searah tanpa sikat dapat ditarik kesimpulan, antara lain:

1. Perangkat keras dan perangkat lunak inverter tiga fasa dapat menggerakkan motor MASTS dengan menggunakan metode six-step inverter.
2. Arduino dapat mengontrol inverter tiga fasa dengan memberikan sinyal square yang dihubungkan ke gate MOSFET yang terlebih dahulu dikuatkan oleh driver MOSFET.
3. Tegangan input inverter mempengaruhi perubahan kecepatan pada MASTS, yaitu ketika tegangan dinaikan maka kecepatan motor akan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yedamale, P. (2003). Brushless DC (BLDC) motor fundamentals. Microchip Technology Inc, 20, 3-15.
- [2] Andika, R. J., Rusdinar, A., & Wibowo, A. S. (2018). Perancangan dan Implementasi Driver Motor Tiga Fasa untuk Pengendali Kecepatan

Motor BLDC berbasis PWM pada Mobil Listrik. eProceedings of Engineering, 5(1).

- [3] Ridhwan, M. T. Rancang Bangun Penggerak Daya Motor Brushless Dc 350w/48v Design And Implementation Of Power Driver Brushless Direct Current Motor 350w/48v.
- [4] Jatmiko, J., Basith, A., Ulinuha, A., Muhlasin, M. A., & Khak, I. S. (2018). Analisis Perofoma Dan Konsumsi Daya Motor Bldc 350 W Pada Prototipe Mobil Listrik Ababil. Emitor: Jurnal Teknik Elektro, 18(2), 14-17.
- [5] Arsyah, N. R., Suryoatmojo, H., & Anam, S. (2016). Design Of Speed Control Bruhless Dc Motor Based Power Factor Correction (Pfc) Using Single Ended Primary Inductance Converter (Sepic). Jurnal Teknik ITS, 5(2), B76-B82.
- [6] Azzumar, M. (2012). Pemodelan dan simulasi brushless DC motor kecil untuk aplikasi aktuator sirip roket. Depok: Universitas Indonesia.
- [7] Said, F. S. (2017). Rancang Bangun Kontrol Kecepatan Motor Bldc Menggunakan Pid Controller Pada Wind Tunnel Sebagai Prototipe Pengujian Turbin Angin. Jember: Universitas Jember.