

RANCANG BANGUN KENDALI KECEPATAN MOTOR BERBASIS LOGIKA *FUZZY* UNTUK SISTEM PROPULSI ELEKTRIK PADA KAPAL MENGGUNAKAN *PULSE WIDTH MODULATION (PWM)*

Abd Gafur¹⁾, Iradiratu Diah P.K²⁾, Belly Yan Dewantara³⁾

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Dan Ilmu Kelautan,

Universitas Hang Tuah Surabaya, Indonesia

Jl. Arif Rahman Hakim, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur

e-mail : abdgafur6666@gmail.com

ABSTRACT

Sistem propulsi kapal adalah suatu mekanisme yang akan memutar baling-baling. Pada perkembangan saat ini motor induksi 3 fasa banyak digunakan untuk kendaraan elektrik baik untuk mobil listrik maupun propulsi pada kapal. Disamping keunggulannya motor induksi memiliki kelemahan yaitu sulitnya mengatur kecepatan motor induksi dikarenakan sifatnya yang tidak linier. Pada prinsipnya motor induksi dioperasikan pada kecepatan yang konstan, bila beban berubah kecepatan motor juga berubah. Dari permasalahan tersebut dalam penelitian ini dirancang alat kendali kecepatan motor berbasis logika fuzzy untuk sistem propulsi elektrik pada kapal menggunakan pulse width modulation. Untuk mengetahui kinerja alat maka dilakukan beberapa pengujian, pengujian pertama dengan membandingkan respon kecepatan motor menggunakan logika fuzzy dan tanpa logika fuzzy dimana hasilnya adalah untuk respon kecepatan motor tanpa menggunakan kontrol logika fuzzy rata-rata dapat menempuh 23 detik untuk stady state, sedangkan untuk penggunaan kontrol logika fuzzy rata-rata mampu mencapai stady state dengan waktu 17 detik. Untuk nilai rata-rata error stady state tanpa penggunaan kontrol logika fuzzy yaitu sebanyak 97 rpm, sedangkan untuk penggunaan kontrol logika fuzzy rata-rata nilai error stady state adalah 78 rpm. Dimana untuk rise time sendiri tanpa menggunakan logika fuzzy rata-rata adalah 4 detik dan untuk penggunaan kontrol logika fuzzy memerlukan waktu rata-rata 2 detik.

Keywords: *Propulsi, Motor Induksi, Fuzzy, PWM*

1. PENDAHULUAN

Sistem penggerak kapal merupakan suatu mekanisme yang akan

memutar baling-baling. Sistem penggerak yang paling sederhana adalah dengan menggunakan tenaga manusia yang disalurkan lewat dayung, perkembangan

berikutnya menggunakan tenaga angin yang dipekerjakan melalui layar. Dan kini sistem penggerak kapal lebih maju dari sebelumnya, yaitu menggunakan alat mekanis atau mesin untuk memutar baling-baling.

Pengaturan kecepatan kapal dapat dilakukan dengan mengatur kondisi baling-baling secara mekanis, tetapi hal ini sangat sulit dilakukan karena menyangkut kondisi fisik baling-baling itu sendiri yang tidak mungkin setiap saat harus dirubah-rubah besarnya. Oleh karena itu yang paling mudah adalah dengan mengendalikan penggeraknya. Dimana pengaturan kecepatan kapal atau putaran baling-baling itu merupakan kondisi peralihan gerak kapal yang berkaitan dengan motor dan baling-baling. (Afandi, 2004).

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan manusia. Dalam penggunaan rumah tangga, motor induksi satu fasa antara lain digunakan pada pompa air, kipas angin, *air conditioner* dan sebagainya. Di dunia industri, motor industri tiga fasa berjenis rotor sangkar tupai banyak digunakan sebagai penggerak peralatan seperti *conveyor*, pompa besar, dan peralatan-peralatan lainnya. Belakangan ini, motor induksi tiga fasa juga banyak digunakan

pada aplikasi kendaraan elektrik, baik untuk mobil listrik, maupun untuk propulsi pada kapal. (Adi dan Anisa, 2015).

Penggunaan motor listrik induksi sebagai pengganti motor bakar tidak hanya menghemat penggunaan bahan bakar minyak yang semakin berkurang, namun juga membantu mengendalikan emisi gas buang di alam. Disamping keunggulan diatas kelemahan dari motor induksi adalah sulitnya mengatur kecepatan karena karakteristik motor induksi itu sendiri sifatnya tidak linier. Pada prinsipnya motor induksi dioperasikan pada kecepatan yang konstan, bila beban berubah kecepatan motor juga akan berubah. Karena itu untuk mempertahankan agar kecepatan tetap konstan maka tegangan dan frekuensi harus diatur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Propulsi Kapal

Secara prinsip sistem propulsi terdiri dari tiga bagian utama yaitu: penggerak utama (*main engine*), sistem transmisi (*gear box*) dan alat penggerak kapal (*propeller*). Perancangan ketiga bagian ini sangat tergantung dari tipe kapal, ukuran utama, kecepatan kapal, model lambung serta model buritan kapal.

(Andi, Hasnawiyah dan Muhammad 2014).

Sejumlah keunggulan sistem propulsi elektrik ini dibanding sistem propulsi konvensional diantaranya adalah sistem propulsi ini dapat mengurangi konsumsi bahan bakar, biaya perawatan sistem yang murah. Secara teknis sistem propulsi ini memiliki torsi yang besar, khususnya saat kapal berkecepatan rendah, memiliki kemampuan *steering* dan *maneuvering* yang baik, serta memiliki tingkat getaran dan kebisingan yang rendah.

B. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan, karena konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerjanya yang baik. Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator bagian yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara yang jaraknya sangat kecil. (Rico dan Iradiratu, 2018).

Motor induksi merupakan peralatan yang sangat sering digunakan dalam proses operasi industri. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki banyak keunggulan. Adapun kelebihan motor induksi adalah konstruksi yang lebih sederhana, kehandalan yang lebih

tinggi, biaya yang relatif lebih murah dibandingkan motor jenis lain, perawatannya mudah, dan tidak memerlukan motor lain untuk stator awal. Tetapi dibalik kelebihan motor induksi disamping itu juga ada kekurangan dari motor induksi, diantaranya adalah sulitnya pengaturan putaran motor dan frekuensi motor agar tetap konstan.

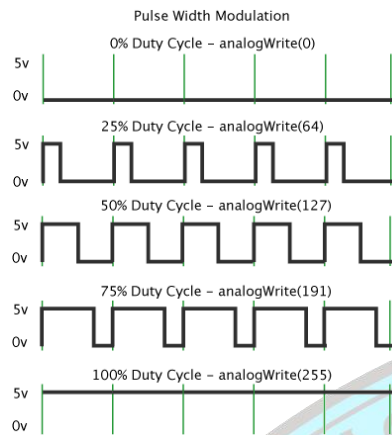


Gambar 1. Motor Induksi

C. Pulse Width Modulation (PWM)

Metode *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah metode yang cukup efektif untuk mengendalikan kecepatan motor AC. PWM ini bekerja dengan cara membuat gelombang persegi yang memiliki perbandingan pulsa high terhadap pulsa low yang telah tertentu, biasanya diskalakan dari 0 hingga 100%. Gelombang persegi ini memiliki frekuensi tetap (biasanya max 10 KHz) namun lebar pulsa high dan low dalam 1 periode yang akan diatur. Perbandingan pulsa *high* terhadap *low* ini akan menentukan jumlah daya yang diberikan ke motor AC. Pada gambar kita dapat melihat bagaimana

pengendalian dengan *Pulse Width Modulation* (PWM). (Iradiratu dan Restu, 2018).



Gambar 2. *Pulse Width Modulation* (PWM)

D. Kontrol Logika Fuzzy

Fuzzy logic adalah metodologi sistem kontrol pemecahan masalah, yang cocok untuk diimplementasikan pada sistem, mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, *embedded system*, jaringan PC, *multi channel* atau *workstation* berbasis akuisisi data, dan sistem kontrol. (Maher dan Iradiratu, 2018).

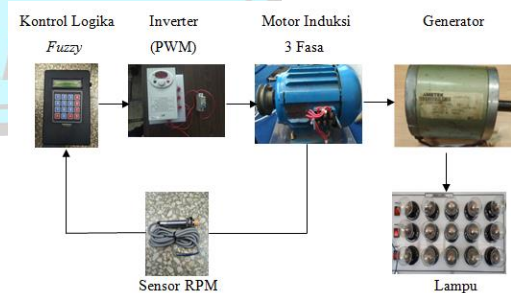
Teori *Fuzzy* mulai dikembangkan pertama kali oleh Profesor Lotfi Zadeh pada tahun 1965 di University of California, Berkeley. Teori *Fuzzy* dikembangkan untuk mengatasi teori “*Two Valued Logic*” (logika dua nilai) yang lazim dikenal sebagai logika Boolean yang membagi suatu keadaan hanya membagi dua kemungkinan saja misalnya hitam atau putih, benar atau salah dan tidak memberi kemungkinan

nilai yang lain. Teori “*Two Valued Logic*” yang kemudian diimplementasikan dalam metode pemecahan masalah ternyata sangat efektif dan berhasil sebatas permasalahan yang dapat dideskripsikan secara tepat kuantitasnya. (Iradiratu dan Tria, 2018).

3. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem

Dalam penelitian ini sistem propulsi elektrik kapal akan disimulasikan menggunakan beberapa komponen yang sudah disediakan, dimana simulasi ini dilakukan untuk menunjang jalannya penelitian dan mempermudah dalam pengambilan data yang diharapkan dapat memperlancar jalannya penelitian. Berikut adalah gambaran diagram blok sistem propulsi elektrik kapal menggunakan kontrol logika *fuzzy* yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem

Pada penelitian ini arduino digunakan sebagai *mikrokontroler* untuk logika *fuzzy*, *inverter* digunakan sebagai *driver* motor, motor induksi tiga fasa

digunakan sebagai sistem propulsi, kemudian generator dan lampu digunakan untuk pembebanan. Pada gambar 3 menjelaskan tentang proses dari perancangan *hardware* dimana motor akan berputar sesuai dengan *set point* awal yang dapat diakses menggunakan keypad. Dimana apabila ada beban yang dapat mengganggu atau mengurangi kecepatan motor dan tidak sesuai dengan kecepatan *set point* awal maka sensor rpm akan membaca dan akan menginput data pada kontrol logika *fuzzy*, dimana kontrol logika *fuzzy* akan memproses data sehingga dapat memperbaiki respon kecepatan motor tersebut. Data dari kontrol logika *fuzzy* akan diteruskan kedalam inverter sehingga dapat memperbaiki respon kecepatan motor tersebut sesuai dengan *set point* awal.

B. Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

Metode yang di gunakan pada kontroler logika *fuzzy* ini adalah metode statistik, artinya sifat fungsi keanggotaan (*membership function*) bekerja dengan rentang kerja (*range*) tetap, yaitu antara -2250 sampai dengan 2250 untuk masukannya (*variabel input*). Penentuan rentang kerja tersebut harus sefleksibel mungkin, agar sistem mampu melakukan *tracking setpoint* dengan baik. Merancang kontroler logika *fuzzy*, yang perlu diperhatikan adalah variabel *input*

(masukan) *error* (e) dan perubahan/*delta error* (Δe), dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$e(k) = sp - y(k) \quad (1)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

Dimana sp adalah *setpoint* (kecepatan referensi ' ω -ref) dan y adalah keluaran *output* sistem, sedangkan k dan $k-1$ adalah kejadian urutan dari pencuplikan data sistem. Pada kasus pengaturan kecepatan motor induksi, himpunan semesta pembicaraan meliputi *error* kecepatan dan perubahan atau *delta error* kecepatan, yang dinyatakan dalam persamaan (3.1) dan (3.2). Sedangkan semesta pembicaraan dari aksi kontrol adalah torsi referensi, yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta T_e^*(k) = T_e^*(k) - T_e^*(k-1) \quad (3)$$

Dimana $T_e^*(k)$ adalah torsi referensi, dan $\Delta T_e^*(k)$ adalah perubahan torsi referensi pada urutan sampling ke- k . *Error* dan *Delta Error* yang terjadi selama sistem dioperasikan, terlebih dahulu dikuantisasi atau dipetakan melalui interpolasi biasa, menjadi *error* terkuantisasi (dQ_e). Pengkuantisasian melalui interpolasi bertujuan untuk memetakan *error* dan *delta error* kedalam semesta pembicaraan, dengan rentang kerja yang telah ditetapkan di atas, yang dibagi menjadi enam tingkatan kuantisasi dengan variabel linguistik, yaitu Negatif Besar

(NB), Negatif Sedang (NS), Zerro (Z), Positif Sedang (PS), Positif Besar (PB). Membership *function* (fungsi keanggotaan) untuk variabel *input* (*error* dan *delta error*), dengan rentang kerja antara -255 sampai dengan 255, dan variabel *output* dengan rentang kerja antara -255 sampai dengan 255 dalam bentuk segitiga untuk (NB,NS,Z,PS,PB).

Aturan atau *rule base* kontroler logika *fuzzy* yang dirancang dengan logika “jika – maka”. Secara lengkap *rule base* kontroler logika *fuzzy* pada implementasi ini, yang di turunkan dengan metode pendekatan heuristik, jika aturannya *rule base* nya adalah:

- NB = -255
- NS = -127,5
- Z = 0
- PS = 127,5
- PB = 255

E/dE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NB	NS	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PB	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

Gambar 4. Rule Base Kontrol Logika *Fuzzy*.

4. HASIL DAN ANALISA

A. Pengujian Kalibrasi Sensor RPM

Pengujian ini digunakan untuk melihat kinerja sensor rpm yang akan digunakan pada *hardware* kontrol logika *fuzzy* apakah sudah sesuai pembacaan rpm dengan mengkalibrasi pada *tachometer* manual, dimana pengujian ini dilakukan dengan mengukur sensor rpm dan *tachometer* secara bersamaan dengan mengukur kecepatan motor induksi 3 fasa yang akan digunakan sebagai sistem propulsi elektrik kapal.

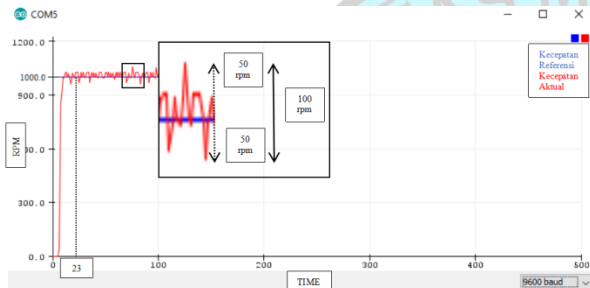


Gambar 5. Kalibrasi Sensor RPM

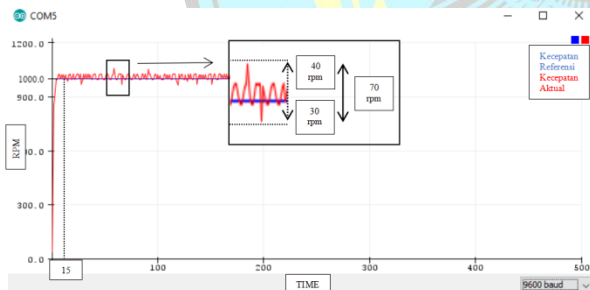
Hasil pengukuran kalibrasi antara sensor rpm dan *tachometer* menunjukkan bahwa *tachometer* membaca kecepatan motor induksi 3 fasa dengan 1507 rpm, dan sensor rpm membaca kecepatan motor yaitu 1530 rpm. Dari pengujian kedua alat tersebut maka dapat dijelaskan bahwa pembacaan sensor rpm sudah cukup baik dengan mendekati hasil pembacaan dari *tachometer* manual yang dalam pengujian ini hasil pembacaan antara *tachometer* dan sensor rpm terpaut antara 10 sampai 50 rpm. Adanya selisih rpm sekian persen (%) dalam pengkalibrasian ini tidak luput

dari beberapa faktor yang dapat mempengaruhi antara lain faktor hardware yaitu pemilihan sensor rpm yang lebih baik dan faktor peng-codingan, namun selisih yang tidak terlalu jauh dapat menjadi acuan bahwa sensor dapat bekerja cukup baik dan dapat digunakan dalam sistem propulsi elektrik kapal pada penelitian ini.

B. Perbandingan Respon Kecepatan Motor



Gambar 6. Respon Kecepatan Tanpa Kontrol *Fuzzy*

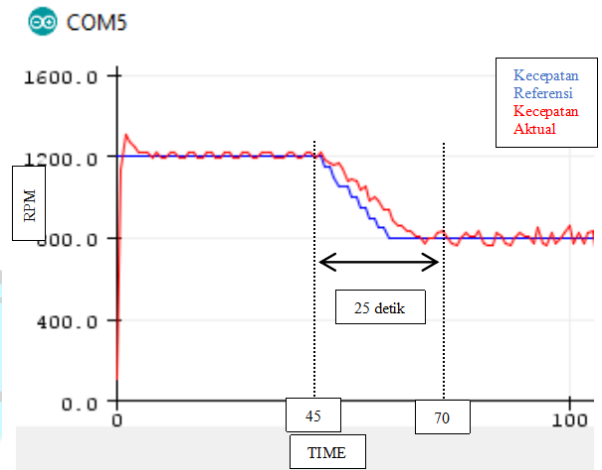


Gambar 7. Respon Kecepatan Dengan Kontrol *Fuzzy*

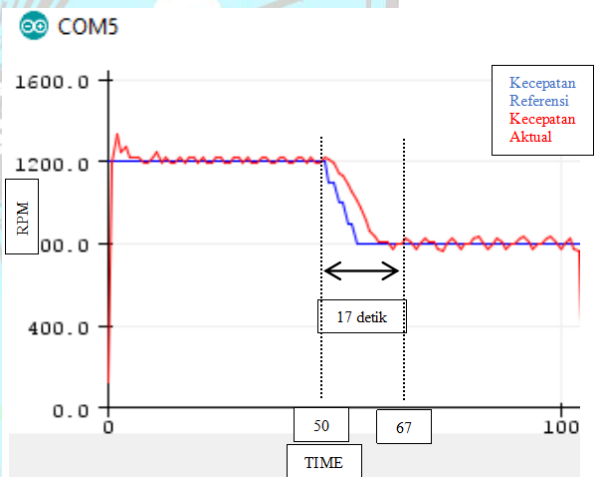
Dari perbandingan respon kecepatan motor induksi 3 fasa pada gambar 7 dan 8 bisa dilihat bahwa respon kontrol logika *fuzzy* lebih cepat 8 detik untuk mencapai *stady state* dan memiliki 30 *error stady state* lebih sedikit dibandingkan tanpa menggunakan metode

kontrol logika *fuzzy* dan memiliki 30 *error stady state* lebih sedikit.

C. Perbandingan Variasi Respon Kecepatan Motor



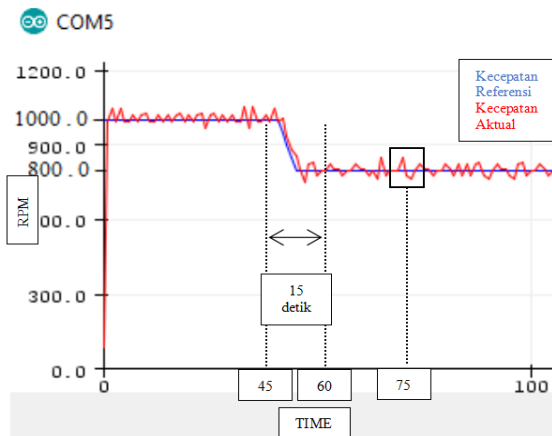
Gambar 8. Respon Kecepatan Tanpa Kontrol *Fuzzy*



Gambar 9. Respon Kecepatan Dengan Kontrol *Fuzzy*

Dari pengujian variasi respon kecepatan motor induksi tiga fasa pada gambar 8 dan 9 bisa dilihat bahwa respon kecepatan motor induksi dengan menggunakan kontrol logika *fuzzy* 8 detik lebih cepat untuk mencapai *stady state* daripada tanpa kontrol logika *fuzzy*.

D. Respon Kecepatan Motor Dengan Beban



Gambar 10. Respon Kecepatan Dengan Kontrol *Fuzzy*

Dari pengujian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan beban generator dan 1 lampu menggunakan metode logika *fuzzy* yang ditunjukkan pada gambar 10 terlihat bahwa perubahan *setpoint* diturunkan kecepatannya pada detik ke 45 dari 1000 rpm menjadi 800 rpm terlihat respon kecepatan motor induksi 3 fasa dapat mengikuti *setpoint* menuju *steady state* pada detik ke 60 dengan rentan waktu 15 detik. Dimana pada detik ke 75 beban berupa 1 lampu dinyalakan dan terdapat *error stay state* 70 rpm.

5. KESIMPULAN

Dari semua hasil pengujian respon kecepatan motor induksi yang sudah dilakukan dapat dicari nilai rata yaitu untuk respon kecepatan motor tanpa menggunakan kontrol logika *fuzzy* rata-rata dapat menempuh 23 detik untuk *steady*

state, sedangkan untuk penggunaan kontrol logika *fuzzy* rata-rata mampu mencapai *steady state* dengan waktu 17 detik. Untuk nilai rata-rata *error steady state* tanpa penggunaan kontrol logika *fuzzy* yaitu sebanyak 97 rpm, sedangkan untuk penggunaan kontrol logika *fuzzy* rata-rata nilai *error steady state* adalah 78 rpm. Dimana untuk *rise time* sendiri tanpa menggunakan logika *fuzzy* rata-rata adalah 4 detik dan untuk penggunaan kontrol logika *fuzzy* memerlukan waktu rata-rata 2 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, 2004, "Penggunaan Motor Arus Searah Sebagai Penggerak Baling-Baling Kapal Laut", ELTEK Engineering Journal, June 2014, POLINEMA.
- Adi, K. and Anisa, H., 2015, "Strategi Kendali Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Pwm Inverter Berbasis Jaringan Sarag Tiruan", TRANSMISI, 17, (2), 2015. e-ISSN 2407-6422,84.
- Andi, H. et al., 2014, "Perancangan Sistem Propulsi Kapal Perikanan Dengan Motor Penggerak Diesel Elektrik", Celebes Osean Science and Engineering Seminar, Gedung IPTEKS UNHAS Tamalantrea, Makassar 18 Juni 2014.

Rico, C. and Iradirat, 2018, “*Six Step Voltage Source Inverter (VSI) Berbasis Fuzzy-Logic Sebagai Driver Motor Induksi Tiga Fasa*”, Seminar Nasional Kelautan XIII, UHT Surabaya 12 Juni 2018.

Bertenaga Surya”, CYCLOTRON: JURNAL TEKNIK ELEKTRO.

Iradiratu, D. and Restu, A., 2018, “*Perancangan ANFIS Sebagai Pengontrol Fluks Dan Torsi Pada SVPWM-DTC Motor Induksi 3 Fasa*”, Seminar Nasional FORTEI7-1 2018.

Iradiratu. et al., 2018, “*Penerapan Metode Fuzzy Logic Sebagai Pengatur Kecepatan Pada Motor BLDC*”, Seminar Nasional FORTEI7-1 2018.

Gita, A. et al., 2020, “*Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Bouble Boost Converter Berbasis PI*”, CYCLOTRON: JURNAL TEKNIK ELEKTRO.

Muhammad. F. et al., 2019, “*Pengendalian Kecepatan Motor DC Dengan Penyearah Terkendali Semi Konverte*”, Seminar Nasional FORTEI7-1 2019.

Defa, M. et al., 2019, “*Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Cuk Converter*”, Seminar Nasional FORTEI7-1 2019.

Belly, 2019, “*Perancangan Perahu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik*”