PERANCANGAN KENDALI MANOUVRE KAPAL TRIMARAN BERBASIS NEURAL NETWORK

QUEEN FITRI MAULIDINA SAMLOY
NRP. 04211740000018

PEMBIMBING:
Dr. EDDY SETYO KOENHARDONO, S.T., M.Sc.
INDRA RANU KUSUMA, S.T., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

PERANCANGAN KENDALI MANOUVRE KAPAL TRIMARAN BERBASIS NEURAL NETWORK

QUEEN FITRI MAULIDINA SAMLOY
NRP. 04211740000018

SUPERVISORS:
Dr. EDDY SETYO KOENHARDONO, S.T., M.Sc.
INDRA RANU KUSUMA, S.T., M.Sc

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

"Dengan ini kami menyatakan bahwa kami telah membaca Tugas Akhir ini dan dalam penilaian kami Tugas Akhir ini cukup memadai dari segi ruang lingkup dan kualitas untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik."

Tanda Tangan	: .....
Pembimbing I	: Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc.
NIP./NPP.	: 196807011995121001
Tanggal	: 2 Maret 2021

Tanda Tangan	: .....
Pembimbing II	: Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc
NIP./NPP.	: 197903272003121001
Tanggal	: 2 Maret 2021

Disahkan oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Tanda Tangan	: .....
Nama	: Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D
NIP./NPP.	: 197903192008011008
Tanggal	: 2 Maret 2021

PERANCANGAN KENDALI MANOUVRE KAPAL TRIMARAN BERBASIS NEURAL NETWORK

QUEEN FITRI MAULIDINA SAMLOY

Tugas Akhir diajukan untuk memenuhi
salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik
(Teknik Sistem Perkapalan)

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2 Maret 2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

“Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir berjudul *PerancangaN Kendali Maneuver Kapal Trimaran Berbasis Neural Network* ini adalah hasil penelitian saya sendiri kecuali kutipan yang tercantum dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini belum diterima untuk gelar apapun dan tidak secara bersamaan diserahkan untuk pencalonan gelar lainnya.”

Tanda Tangan	: ……..……
Nama	: Queen Fitri Maulidina Samloy
NRP.	: 04211740000018
Tanggal	: 2 Maret 2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGHARGAAN

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, Alhamdulillah dengan segala puji dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul PERANCANGAN KENDALI MANOUVRE KAPAL TRIMARAN BERBASIS NEURAL NETWORK sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama penelitian tugas akhir ini, dengan segala hormat penulis ucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Keluarga Penulis, Bapak, Ibu dan Adik tercinta yang selalu memberikan dukungan kepada penulis baik berupa materi, semangat maupun doa yang sangat berharga bagi penulis.
2. Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc. dan Bapak Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis karena telah memberikan bimbingan ilmu dan materi selama proses pengerjaan tugas akhir penulis. Dan bapak Baidowi S.T., M.T. yang telah membantu dan memberikan saran kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen wali penulis dan seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah berjasa memberikan ilmu kepada penulis selama duduk di bangku kuliah ini.
4. Mas Muhammad Azmi Naufal Munif dan Mas Elwas Cahya Wahyu Pribadi selaku partner yang senantiasa membantu dan membimbing penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini. Begitu pula Yohannes P. Timur yang membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Sulisetyo Mei, Sinta Bella beserta teman-teman Badrikara 2017 selaku keluarga selama penulis berkuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
6. Dan semua pihak yang telah membantu penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.

Tidak ada yang sempurna didunia, begitu pula dengan penulis. Penulis menyadari masih terdapat banyak kesalahan dalam penulisan tugas akhir ini. Dengan senang hati penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun kesempurnaan penulisan tugas akhir ini. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat kedepannya. Terima Kasih, Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Surabaya, 24 Februari 2021

Penulis,

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Kapal trimaran merupakan pengembangan desain lambung kapal. Desain 3 buah lambung ini menguntungkan dari sisi berkurangnya nilai *resistance*, meningkatkan *straight line stability* dan lain-lain. Akan tetapi kemampuan *maneuver* trimaran lebih rendah jika dibandingkan dengan kapal *monohull*. Pada penelitian ini, kapal trimaran didesain menggunakan perbedaan putaran motor di sisi *outtriggers hull*-nya. Perbedaan putaran antara kedua motor ini mengakibatkan salah satu bagian buritan sisi *outrigger* memiliki *trust* yang lebih besar dan menimbulkan gerak *yawing* pada *body* kapal trimaran. Untuk mengetes kemampuan *maneuver* trimaran digunakan standard IMO ITTC 2002 mengenai "*turning ability*". Jika belum memenuhi *standard maneuverability*, maka sistem kembali menggunakan *rudder* sebagai komponen *maneuver*-nya. Data performa *maneuver* nantinya digunakan sebagai data input dan ouput target yang dimasukkan ke program *neural network*. *Neural network* ini berfungsi untuk membuat jaringan dan menentukan korelasi antara data input dan output. *Neural network* memiliki sifat *adaptif learning*, yakni berulang kali mempelajari data yang diberikan hingga menemukan target nilai error seminim mungkin.

Kata kunci : kapal trimaran, *maneuver*, *neural network*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

The trimaran is one of the inventions of the hull design. The multihull design has benefits to reduce resistance, increases straight line stability and others. However, the trimaran has lower maneuverability compared to the monohull ship. In this paper, the trimaran maneuver system is designed using the different RPM between two Brushless DC motor at outtrigger hulls. The difference causes one of the stern parts of the outriggers having higher trust than other and causes yawing motion on the trimaran body. the IMO ITTC 2002 standard was used regarding the "turning ability" to test the maneuverability of the trimaran. Maneuver performance data such as, drift angle, rudder angle, etc will be used as an input and target output data. Then, those data are used for neural network program to create a network and determine the correlation between input and output data. Neural network has the merits in adaptive learning, it can repeatedly learn the data provided to find the minimum error value targeted during creating the network.

Keywords : trimaran ship, maneuver and neural network.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....iii
PENGHARGAAN v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR SINGKATAN xviii
DAFTAR SIMBOL xx
BAB 1 1
1.1 Latar Belakang Penelitian 1
1.2 Pernyataan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB 2 4
2.1 Pendahuluan 4
2.2 Studi Terkait 4
2.3 Teori Dasar 5
2.3.1 Kapal Trimaran 5
2.3.2 Gerak Maneuver Kapal 5
2.3.3 Motor DC Brushless 8
2.3.4 Mesin *Otto* 12
2.3.5 MATLAB dan *Neural Network* 13
2.3.6 *Battery Li-Po* (*Lithium Polymer*) 14
2.3.7 Servo 15
2.3.8 ESC (*Electronic Speed Controller*) 16
BAB 3 17
3.1 Pendahuluan 17
3.2 Diagram Alur Penelitian 18
3.3 Study Literature 19
3.4 Penentuan Studi Kasus dan Pengumpulan Data 19
3.5 Instalasi Equipment Maneuver di Model Kapal Trimaran 19
3.6 Perancangan Skema Sistem Kendali *Maneuver* Kapal Trimaran 23
3.7 Pengambilan Data Diameter Turning Circle, Sudut Elevasi dan Kecepatan Maneuver di Berbagai Kondisi Kecepatan. 23
3.8 Pengecekan Data Diameter Turning Circle Kapal Trimaran dengan Standard IMO ITTC 2002 ‘Turing Circle’ 24
3.9 Simulasi/Training Neural Network Sistem Kendali Maneuver Kapal Trimaran 24

3.10 Validasi Hasil Training Neural Network Sistem Kendali Maneuver Kapal Trimaran. 25
3.11 Penyusunan Laporan Final dan Finalisasi 25
BAB 4 26
4.1 Pendahuluan 26
4.2 Analisa data Lapangan 26
4.2.1 Data Besar Arus dan Thrust Motor BLDC tiap Persen (%) Throttle 26
4.2.2 Data Diameter *Turning Circle* 27
4.2.3 *Maneuverability* dan *Standard Turning Ability* IMO ITTC 2002 . 30
4.2.4 Sistem Kontrol *Maneuver* Berbasis *Neural Network* 31
4.3 Temuan Terakhir 39
4.3.1 Hubungan antara *tactical diameter* dan besarnya *thrust* salah satu sisi *outtriggers* kapal trimaran. 39
4.3.2 Sistem Kontrol *Maneuver* Menggunakan Rudder Berbasis *Neural Network* 39
4.3.3 Sistem *Auto Collision Avoidance* (CA) Berbasis *Neural Network*. 64
4.3.4 Pengambilan data Menggunakan Lintasan dan Drone 64
BAB 5 66
5.1 Gambaran Umum Penelitian 66
5.2 Kesimpulan 66
5.3 Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 69
LAMPIRAN 72

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Main Dimension Model Kapal Trimaran 19
Tabel 4.1 Data Bollar Test Model Kapal Trimaran. 26
Tabel 4.2data percobaan *turning circle* trimaran 29
Tabel 4.3 data lapangan sistem *maneuver* skenario 1 30
Tabel 4.4 data lapangan dan perbandingan *diameter tactical* dengan panjang kapal sistem *maneuver* skenario 1 30
Tabel 4.5 Data 1 error 10% 32
Tabel 4.6 validasi program NN Sistem Maneuver 38
Tabel 4.7 Data Percobaan Turning Circle Test Maneuver Trimaran menggunakan Rudder. 40
Tabel 4.8 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 0% 42
Tabel 4.9 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -25% 43
Tabel 4.10 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -20% 45
Tabel 4.11 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -15% 46
Tabel 4.12 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -10% 47
Tabel 4.13 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -5% 49
Tabel 4.14 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 5% 50
Tabel 4.15 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 10% 51
Tabel 4.16 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 15% 53
Tabel 4.17 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 20% 54
Tabel 4.18 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 25% 55
Tabel 4.19 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 30% 57
Tabel 4.20 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 35% 58
Tabel 4.21 Validasi Program NN kendali maneuver menggunakan rudder 63

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 contoh model kapal trimaran 5
Gambar 2.2 turning ability test pada kapal 6
Gambar 2.3 ilustrasi lintasan *maneuver turning circle* (user.engineering.uiowa.edu, 2009) 7
Gambar 2.4 motor DC *brushless* (pngdownload.id, 2020) 8
Gambar 2.5 Perbedaan penampang motor DC (A) dan motor BLDC (B) (Fundamental Of Electric Motor Control, 2017) 9
Gambar 2.6 Ilustrasi Kontrol motor DC Brushless (*Fundamental Of Electric Motor Control*, 2017) 10
Gambar 2.7 *Hall Effect Sensor* (*Fundamental Of Electric Motor Control*, 2017) 10
Gambar 2.8 Kontrol kecepatan motor BLDC (*Fundamental Of Electric Motor Control*, 2017) 11
Gambar 2.9 kontrol kecepatan menggunakan regulasi *DC-link current motor dc brushless* (*Fundamental Of Electric Motor Control*, 2017) 11
Gambar 2.10 Mesin Otto (Toyota USA Newsroom, 2014) 12
Gambar 2.11 tampilan layer pada mathlab (gamesoftwarekhmer.blogspot.com, 2017) 13
Gambar 2.12 ilustrasi jaringan *neural network* (Damar H.W, 2016) 14
Gambar 2.13 Baterai *Lithium Polymer* (indiamart, 2020) 15
Gambar 2.14 servo (tokopedia, 2020) 16
Gambar 2.15 *Electronic Speed Controller* (banggood.com, 2020) 16
Gambar 3.1 *Flow Chart* Kegiatan Penelitian 18
Gambar 3.2 desain pemosisian motor otto pada model kapal trimaran 20
Gambar 3.3 posisi *shaft* model kapal trimaran (1) 20
Gambar 3.4 posisi *shaft* model kapal trimaran (2) 20
Gambar 3.5 instalasi *shaft*, *tube shaft* dan *tube shaft holder* 21
Gambar 3.6 Instalasi Permesinan Kapal serta *Shaft Aligment* 21
Gambar 3.7 *equipment* yang terpasang pada model kapal trimaran 22
Gambar 3.8 *Flow Chart* Sistem Kendali *Maneuver* NN 23
Gambar 4.1 Ilustrasi rangka lintasan 27
Gambar 4.2 Lintasan *maneuver* model kapal trimaran dengan perbandingan *throttle* (P/S dan S/B) 25% : 0% 28
Gambar 4.3 Lintasan *maneuver* model kapal trimaran dengan perbandingan *throttle* (P/S dan S/B) 50% : 0% 28
Gambar 4.4 Lintasan *maneuver* model kapal trimaran dengan perbandingan *throttle* (P/S dan S/B) 75% : 0% 29
Gambar 4.5 Lintasan *maneuver* model kapal trimaran dengan perbandingan *throttle* (P/S dan S/B) 100% : 0% 29
Gambar 4.6 *flow chart* sistem kendali maneuver trimaran berbasis *neural network* 31
Gambar 4.7 Training program *neural network* sistem kendali *maneuver* kapal trimaran 35

Gambar 4.8 Grafik korelasi antara nilai Input dan nilai Output 36
Gambar 4.9 Grafik *Performance* hasil *training* program 36
Gambar 4.10 Grafik regresi hasil *training* program 37
Gambar 4.11 Grafik Training State hasil *training* program 37
Gambar 4.12 validasi program NN Sistem *Maneuver* (data 1;12;24;36;48;60;72).....38
Gambar 4.13 Grafik hubungan antara Arus BLDC dan *Tactical Diameter*. 39
Gambar 4.14 Flow Chart skema kendali maneuver kapal trimaran menggunakan rudder. 40
Gambar 4.15 Grafik hubungan antara sudut rudder α dan sudut yawing kapal β 41
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara sudut *yawing* kapal β dan sudut *rudder* α 42
Gambar 4.17 Training NN Sistem Kendali Maneuver Trimaran dengan Rudder Berbasis NN 60
Gambar 4.18 Grafik Korelasi Input dan Output Program NN *Maneuver* 61
Gambar 4.19 Grafik *Reggression* Program NN *Maneuver* 61
Gambar 4.20 Grafik *Training State* Program NN *Maneuver* 62
Gambar 4.21 Grafik *Performance* Program NN Maneuver 62
Gambar 4.22 Proses Validasi Program NN Maneuver Menggunakan Rudder. 63
Gambar 4.23 representasi sistem *loop* pada sistem HMI-CAs (Yamin, 2020).....64
Gambar 4.24 Ilustrasi Rangka Lintasan 65
Gambar 4.25 Contoh *Tracking Turning Circle Test Maneuver* Trimaran.....65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SINGKATAN

BLDC	:	*Brushless Direct Current*
ESC	:	*Electronic Speed Controller*
Kw	:	Kilowatt
NN	:	*Neural Network*
RPM	:	*Radiant per Minute*
COG	:	*Center of Gravity*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

V	-	Kecepatan kapal
β	-	*Drift angle* (sudut *yawing*)
α	-	Sudut *rudder*
I	-	Kuat Arus Motor DC *Brushless*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Semakin pesatnya perkembangan teknologi lantas membuat perkembangan teknologi didunia kemaritiman berkembang juga. Salah satu teknologi kemaritiman yang berkembang adalah teknologi kapal *multihull* atau memiliki lambung lebih dari satu buah. Contoh pengembangan teknologi *multihull* ini adalah kapal trimaran.

Kapal trimaran didesain dengan tiga lambung yang saling terhubung. Berdasarkan jurnal ilmiah yang ditulis Igor dkk (2018), lambung kapal trimaran terdiri dari lambung yang ditengah sebagai lambung utama (*main hull*) dan yang disisi kanan dan kirinya berukuran kecil dinamakan *outrigger hulls* .Dibanding dengan kapal monohull kapal catamaran, Kapal trimaran memiliki beberapa keunggulan, yakni:

1. tahanan yang dihasilkan lebih kecil, tahanan yang kecil ini dapat mereduksi *noise* yang dihasilkan dari gesekan antara *hull* kapal dan perairan.
2. meningkatkan *roll stability*, sehingga penggunaan weighted keel pada kapal trimaran tidak lagi dibutuhkan. Kelebihan ini membuat kapal trimaran cocok digunakan diperairan dangkal.
3. adanya penambahan *hull* kapal dapat meningkatkan *straight line stability*.

Akan tetapi kapal trimaran memiliki kekurangan dalam kemampuan *maneouver*nya jika dibanding dengan kapal *monohull* dan katamaran (Igor dkk, 2018) mengingat breadth dari kapal itu sendiri semakin besar. Kapal dengan kemampuan manouvre yang buruk dapat menyebabkan kecelakaan yang kemudian akan menimbulkan pencemaran di laut. *Manoeuvrability* kapal menjadi salah satu topik yang terus dikembangkan oleh beberapa ahli. *Manoeuvrability* itu sendiri dapat diartikan sebagai kemampuan pada suatu kapal untuk berubah haluan. Seperti yang diketahui kemampuan *manoeuvre* pada kapal berbeda dengan kendaraan darat pada umumnya. *Manoeuvring* pada kendaraan laut atau kapal memiliki kesulitan lebih besar dibandingkan kendaraan darat, hal ini disebabkan adanya interaksi antara lambung kapal dengan perairannya, gaya hidrodinamis yang diterima lambung kapal dari fluida sekitarnya menyebabkan momen inersia kapal menjadi lebih besar (responsibilitas gerak kapal kecil).

Pada penelitian ini fokus yang ingin dicapai adalah optimalisasi kemampuan *manouever* pada kapal trimaran tersebut. Inovasi yang dikembangkan pada penelitian ini adalah instalasi motor DC brushless di *outtrigers* kapal trimaran dengan sistem kontrol *manoeuvre* kapal digunakan berbasis neural network.

1.2 Pernyataan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang hendak dijadikan penelitian yakni :

1. Bagaimana proses perancangan sistem kontrol manoeuvre pada model kapal trimaran dengan basis *neural network* ?
2. Bagaimana sistem kontrol *manouever* berbasis *neural network* pada model kapal trimaran tersebut berkerja ?
3. Apakah dengan penggunaan motor dc dan sistem kontrol *manoeuvre* pada model kapal trimaran memenuhi standar *turning ability* IMO ITTC 2002b?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan Rumusan Masalah yang telah diketahui sebelumnya, maka tujuan penelitian adalah:

1. Mengetahui proses perancangan sistem kontrol *manoeuvre* pada model kapal trimaran berbasis *neural network*.
2. Mengetahui kerja sistem kontrol *manoeuvre* pada kapal trimaran.
3. Mengetahui apakah penggunaan motor bldc dan sistem kontrol *manoeuvre* pada model kapal trimaran memenuhi *standard turning ability* IMO ITTC 2002b.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Kapal trimaran yang digunakan dalam penelitian ini berukuran kecil (model)
2. Percobaan dan pengambilan data dilakukan pada perairan dengan kedalaman terbatas (kolam) dengan kondisi tenang dan berdensitas tetap.
3. Sistem kontrol *maneuver* pada model kapal trimaran yang digunakan adalah motor dc *brushless* (BLDC) yang memiliki RPM tinggi tanpa pemasangan *gearbox*.

4. Hambatan dalam percobaan ini tidak dianalisis.
5. Eksperimen uji coba *manoeuvreability* model kapal trimaran menggunakan metode *turning circle test*.
6. Sistem kontrol *manoeuvre* pada percobaan berbasis *neural network* (jaringan saraf tiruan) dan menggunakan software MATLAB sebagai wadah perancangan sistem kontrol *manoeuvre*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan sebagai sumber referensi kontrol *maneouver* kapal trimaran berbasis *neural network.*
2. Mengetahui kemampuan *maneuver* kapal trimaran yang menggunakan prinsip perbedaan RPM pada motor BLDC sisi *outrigger hulls* berdasarkan aturan IMO ITTC 2002.

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Kapal trimaran adalah kapal dengan desain lambung tiga buah, lambung kapal trimaran terdiri dari lambung yang ditengah sebagai lambung utama (main hull) dan yang disisi kanan dan kirinya berukuran kecil dinamakan *outrigger hulls*. Kapal trimaran memiliki kelebihan disisi kecepatan yang dihasilkan namun tidak dalam *maneovreabilitynya* jika dibanding dengan kapal *monohull*. pada penelitian ini sistem kontrol kapal trimaran menggunakan motor BLDC sebagai komponen pengubah haluan kapal trimaran dan *neural network* sebagai penghasil output sinyal yang digunakan untuk mengontrol kecepatan pada masing-masing motor BLDC.

Neural network disini sebagai jaringan adaptif, yang mana memiliki cara kerja memecahkan masalah berdasarkan informasi internalnya dan eksternal yang mengalir melalui jaringan tersebut. Selain itu *neural network* dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks dari suatu input dan output. Basis *neural network* sebagai sistem kontrol menjadi salah satu teknologi inspiratif yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya.

Untuk meyakini bahwa teknologi diatas mampu menigkatkan *manoeuvreability* kapal trimaran yang diuji cobakan, maka perlu dilakukan *turning ability test* (salah satu test *manoeuvreability* pada kapal) yang berpedoman pada aturan IMO ITTC 2002 mengenai standard *turning circle test*, yang mana uji coba tersebut menggunakan kapal monohull sebagai standard acuan *manoeuvreability*-nya.

2.2 Studi Terkait

Sebelumnya, penelitian ini masih bersifat baru, namun terkait penggunaan *neural network* untuk sistem kendali suatu equipment terutama motor BLDC bukan menjadi hal yang baru. Wahyudi (2015) melakukan penelitian mengenai penggunaan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* (*neural network*) sebagai kendali motor DC. Sebelumnya, Koenhardono, E.S (2014) juga telah melakukan penelitian berkaitan dengan penggunaan basis *neural network* pada proses *engine propeller* matching pada kapal patrol trimaran.

Seperti diketahui penggunaan *neural network* untuk menyelesaikan suatu permasalahan di bidang teknologi kontrol bukan hal yang baru. Aplikasi jaringan

neural network ini menginspirasi munculnya teknologi kontrol alternatif dan efisien yang patut dikembangkan

2.3 Teori Dasar

Berikut adalah dasar teori yang dibutuhkan pada penelitian ini :

2.3.1 Kapal Trimaran

Kapal trimaran adalah kapal dengan desain lambung tiga buah, lambung kapal trimaran terdiri dari lambung yang ditengah sebagai lambung utama (*main hull*) dan yang disisi kanan dan kirinya berukuran kecil dinamakan (*outrigger hulls*). Dibanding kapal monohull dan kapal katamaran, kapal trimaran ini memiliki keunggulan tersendiri, yakni sebagai berikut:

1. tahanan yang dihasilkan lebih kecil, tahanan yang kecil ini dapat mereduksi *noise* yang dihasilkan dari gesekan antara hull kapal dan perairan.
2. meningkatkan *roll stability*, sehingga penggunaan *weighted keel* pada kapal trimaran tidak lagi dibutuhkan. Kelebihan ini membuat kapal trimaran cocok digunakan diperairan dangkal.
3. adanya penambahan hull kapal dapat meningkatkan *straight line stability*.

Gambar 2.1 contoh model kapal trimaran

2.3.2 Gerak Maneuver Kapal

Manoeuvrability dapat diartikan sebagai kemampuan pada suatu kapal untuk merubah haluannya. Seperti yang diketahui kemampuan *manoeuvre* pada kapal berbeda dengan kendaraan darat pada umumnya. *Manoeuvring* pada kendaraan laut atau kapal memiliki kesulitan lebih besar dibandingkan kendaraan darat, hal ini disebabkan adanya interaksi antara lambung kapal dengan perairannya, gaya hidrodinamis yang diterima lambung kapal dari fluida sekitarnya menyebabkan

momen inersia kapal menjadi lebih besar (responsibilitas gerak kapal kecil). Terdapat beberapa macam jenis *manoeuvreability* pada kapal seperti Inherent *dynamics stability*, *Course-keeping ability*, *Initial turning/Course-changing ability*, *Yaw checking ability*, *Turning Ability* dan *Stopping Ability*.

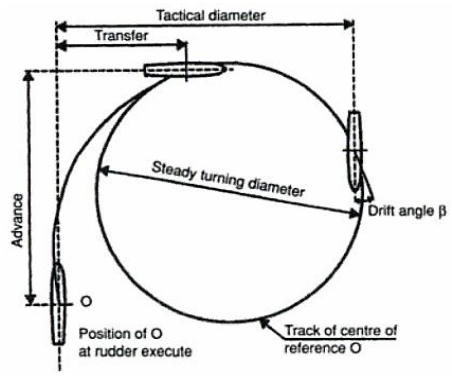
Gambar 2.2 turning ability test pada kapal

Pada penelitian ini, model kapal trimaran hanya akan melakukan *turning ability test*, mengingat jenis model kapal trimaran ini memiliki kemampuan *manoeuvre* lebih rendah dibanding kapal jenis monohull dan katamaran lainnya. *Turning Ability* adalah kemampuan sebuah kapal untuk berbelok dengan gerakan kemudi yang signifikan. Adapun salah satu cara untuk mengukur kemampuan turning suatu kapal adalah *Turning Circle Manouvre test*.

2.3.2.1 Turning Circle Manouvre test

Turning Circle Manouvre test dapat menggambarkan parameter lintasan belok kapal yang dapat memberikan gambaran karakteristik *manoeuvre* kapal tersebut di perairan secara umum ada tiga parameter yang menjadi bahan penilaian kemampuan *turning circle manoeuvre* kapal, berikut adalah tiga parameternya :

1. *Tactical Diameter*
   Tactical diameter adalah jarak dari *approach course* terhadap sumbu x kapal saat sumbu tersebut telah belok 180º.
2. *Maximum Advance*
   Maximum Advance adalah Jarak dari titik awal (*origin*) pelaksanaan, terhadap sumbu x kapal, bila sumbu berbelok 90º.
3. *Transfer at 90º change of heading*
   Jarak dari *origin approach course* terhadap *origin* kapal bila sumbu x telah berbelok 90º



Gambar 2.3 ilustrasi lintasan *maneuver turning circle*
(user.engineering.uiowa.edu, 2009)

Turning circle manoeure test adalah salah satu pengujian untuk mengukur kemampuan *manoeuvre* kapal yang sesuai dengan IMO *Manoeuvring* criteria yang diadopsi pada tahun 2002. IMO menetapkan *resolution* MSC.137 (76), "*Standard for Ship Manoeuvrability*" yang berisi :

1. *Turning ability*

   Jarak *advance* tidak boleh melebihi 4.5 kali Panjang kapal dan besar *tactical diameter* tidak boleh melebihi 5 kali Panjang kapal saat *turning test*
2. *Initial turning ability*

   Ketika kemudi di belokkan 10º ke arah *starboard* atau *portside*, kapal tidak boleh bergerak sejauh 2.5 kali panjang kapal ketika arahnya diubah sebesar 10º dari arah semula.

2.3.2.2 Mekanisme Putar

Pada sistem kendali ruuder, gerakan berubah haluan yang dilakukan oleh kapal disebabkan oleh adanya gaya yang bekerja pada kemudi (F). Adanya gaya yang bekerja pada kemudi (biasanya letak kemudi ada di bagian buritan kapal) dan panjangnya kapal (dapat diartikan sebagai lengan), menyebabkan timbulnya momen putar. Sehingga besar nilai momen putar ini sama dengan perkalian antara gaya kemudi dengan lengan tersebut (lpp).

Sedangkan gaya kemudi (F) muncul akibat sebuah kemudi yang digerakkan sehingga membentuk sudut α pada aliran fluida yang memiliki kecepatan U. Gaya ini (F) terletak pada sebuah titik yang disebut *center of pressure* (CP). Resultan gaya F dapat diuraikan menjadi gaya angkat (*lift*) L, yang memiliki arah tegak lurus dengan arah aliran fluida dan gaya seret (*drag*) D, yang arahnya searah dengan arah aliran fluida.

Sedangkan prinsip yang digunakan untuk *maneuver* pada kapal trimaran ini adalah menggunakan perbedaan *thrust* di kedua *propeller* sisi *side hull*. Gaya interaksi diantara kedua propeller ini dapat menghasilkan *turning moment* dan menciptakan efek yang sama dengan adanya rudder (Jyotsna, 2016).

2.3.3 Motor DC Brushless

Motor DC *Brushless* (BLDC) adalah jenis motor yang memiliki konstruksi magnet permanen dan sebuah stator berkutub yang dililit kawat. Energi listrik diubah menjadi energi mekanik oleh pengaruh daya tarik menarik antara kekuatan magnet permanen dengan stator berkutub yang dililit kawat tembaga. Contoh motor *brushless* dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Bagian-bagian *brushless* motor adalah sebagai berikut:

a) Stator

Dasar dari stator brushless motor adalah sebuah stator dengan memiliki tiga buah gulungan.

b) Rotor

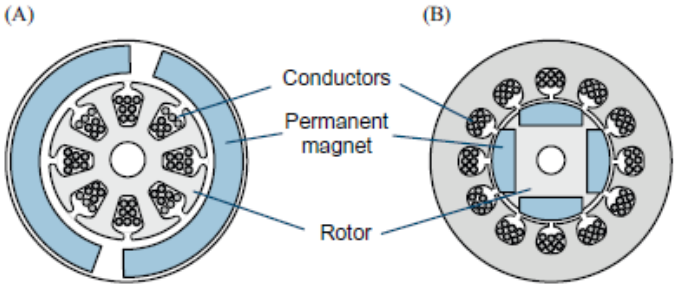
Rotor pada brushless motor terdiri dari beberapa magnet permanen. Jumlah kutub magnet di rotor juga mempengaruhi ukuran langkah dan riak torsi dari motor. Jumlah kutub yang banyak akan memberikan gerakan presisi dan riak torsi yang kecil. Magnet permanen terdiri dari 1 sampai 5 pasang kutub. Dalam kasus tertentu bisa 8 pasang kutub.

Gambar 2.4 motor DC *brushless* (pngdownload.id, 2020)

c) Komutasi elektronik.

Motor DC *brushless* memiliki karaketeristik yang sama dengan motor DC biasanya, namun pada desainnya, motor DC *Brushless* menggunakan komutasi elektronik untuk mengganti komutasi mekanis

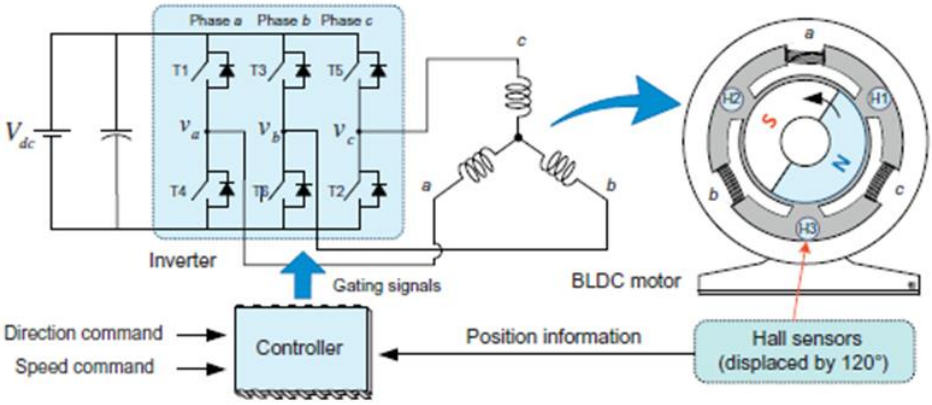
pada desain motor dc. Sensor dan *driving circuits* yang diinstal pada motor DC *brushless* ini digunakan sebagai alat komutasi eletronik. Sensor berfungsi untuk mendeteksi posisi magnet pada rotor, sedangkan *driving circuits* memiliki fungsi mengeksitasi belitan akibat terdeteksinya posisi magnet tertentu agar motor dapat berputar terus-menerus.



Gambar 2.5 Perbedaan penampang motor DC (A) dan motor BLDC (B) (Fundamental Of Electric Motor Control, 2017)

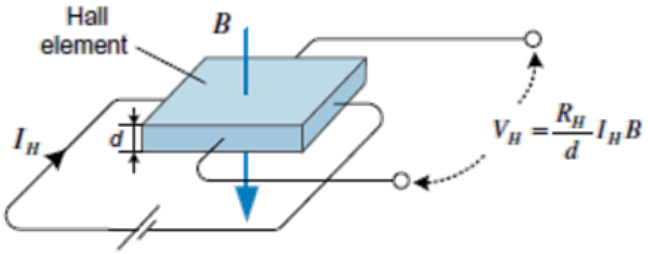
Pada motor dc *brushless*, *armature windings* ditempatkan pada sisi stator sedangkan magnetnya pada sisi rotornya. Oleh karena itu, motor dc *brushless* memiliki konfigurasi yang berbeda dengan motor dc *brush*. Bahkan konfigurasi motor dc *brushless* menyerupai konfigurasi pada motor sinkron magnet permanen (PMSM).

Prinsip kendali motor DC brushless adalah merubah fase lilitannya yang harus dieksitasikan berdasarkan posisi permanent magnet rotor untuk menghasilkan torsi yang kontinyu. Untuk mendeteksi letak rotor magnet umumnya menggunakan *Hall Efect Sensors*.



Gambar 2.6 Ilustrasi Kontrol motor DC Brushless (*Fundamental Of Electric Motor Control*, 2017)

Hall Effect Sensor adalah sebuah alat yang dapat mendeteksi medan magnet menggunakan *Hall Effect* pada material semi conductor.



Gambar 2.7 *Hall Effect Sensor* (*Fundamental Of Electric Motor Control*, 2017)

Seperti yang ditunjukkan pada ilustrasi diatas, Ketika arus Ih mengalir melalui plat semi konduktor (hall element) dan densitas medan magnetik (B) menembus *hall plate*. Maka besarna tegangan Vh dihasilkan karena adanya respon terhadap magnetic hall karena adanya *hall effect* dapat diformulasikan sebagai berikut :

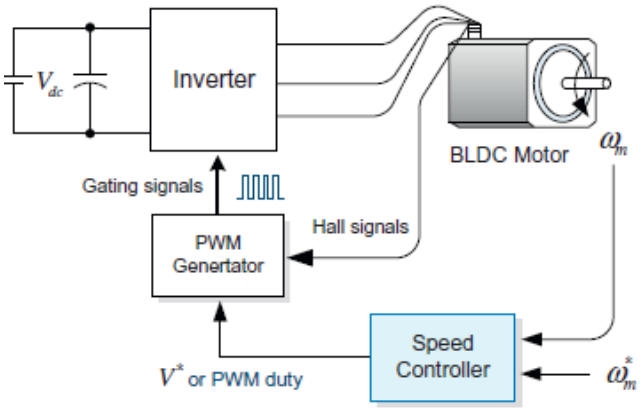
$$V_H = \frac{R_H}{d} I_H B \text{ (V)}$$

(R_H: Hall constant, d: width of an element)

Setelah mengukur besarnya tegangan Vh, posisi dan polaritas medan magnet dapat dideteksi setelahnya.

Terdapat dua metode kontrol motor DC *brushless*, yakni kontrol kecepatan dan kontrol arus.

1. Kontrol Kecepatan
   Kontrol kecepatan motor dc *brushless* diilustrasikan pada skema berikut ini :



Gambar 2.8 Kontrol kecepatan motor BLDC (*Fundamental Of Electric Motor Control*, 2017)

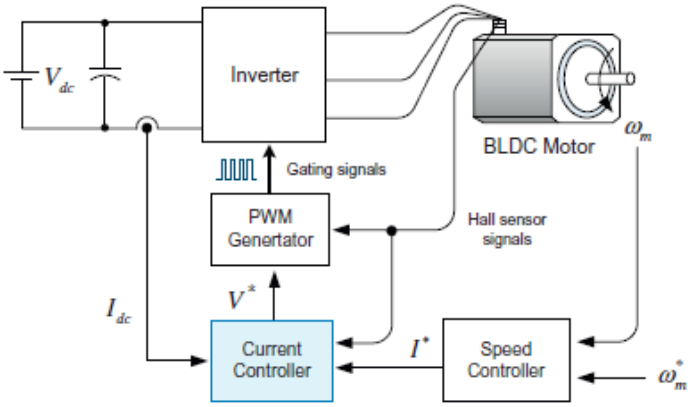
Dimana, besarnya PWM duty diformulasikan sebagai berikut:

$$V^* = \left(K_P + \frac{K_i}{s}\right) \cdot (\omega_m^* - \omega_m)$$

Kp dan Ki adalah nilai tambah proportional dan integra pada speed controller berturut-turut.

2. Kontrol Arus

Kontrol arus pada motor dc brushless diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 2.9 kontrol kecepatan menggunakan regulasi *DC-link current motor dc brushless* (*Fundamental Of Electric Motor Control*, 2017)

Gambar diatas menunjukkan besarnya PWM duty adalah :

$$V^* = \left(K_{pc} + \frac{K_{ic}}{s}\right) \cdot (I_{dc}^* - I_{dc})$$

Dimana, nilai Kpc dan Kic adalah nilai tambah proportional dan integra pada *current controller* berturut-turut. Berdasarkan skema diatas, besarnya I*dc diperoleh dari formulasi berikut :

$$I_{dc}^* = \left(K_{ps} + \frac{K_{is}}{s}\right) \cdot (\omega_m^* - \omega_m)$$

Rumus diatas menggunakan variable kecepatan motor karena pada skema diatas *speed controller* menghasikan *DC-link current reference* (I*dc).

2.3.4 Mesin *Otto*

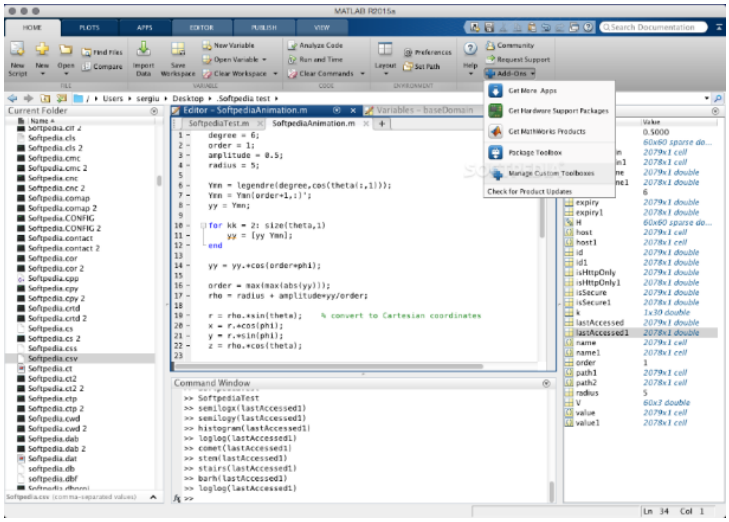
Motor *Otto* atau motor bensin merupakan salah satu jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang menggunakan bantuan bunga api yang berasal dari busi untuk menyalakan atau membakar campuran bahan bakar dan udara atau dapat disebut juga dengan sistem *spark ignition engine.*

Dari berbagai jenis motor otto, terdapat salah satu jenis motor otto adalah motor 4 langkah (4 stroke). Motor bakar empat langkah adalah mesin pembakaran dalam, yang dalam satu kali siklus pembakaran akan mengalami empat langkah piston. Sekarang ini, mesin pembakaran dalam pada mobil, sepeda motor, truk, pesawat terbang, kapal, alat berat dan sebagainya, umumnya menggunakan siklus empat langkah. Empat langkah tersebut meliputi langkah isap (pemasukan),kompresi, tenaga dan langkah buang. Yang secara keseluruhan memerlukan dua putaran poros engkol (*crankshaft*) per satu siklus pada mesin bensin.

Gambar 2.10 Mesin Otto (Toyota USA Newsroom, 2014)

2.3.5 MATLAB dan *Neural Network*

Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan software aplikasi interaktif untuk komputasi numerik dan visualisasi data. Dengan menggunakan bahasa tingkat tinggi (*high level language*), Matlab sangat mudah untuk dioperasikan oleh penggunanya. Matlab banyak digunakan oleh kalangan akademisi maupun industri.



Gambar 2.11 tampilan layer pada mathlab (gamesoftwarekhmer.blogspot.com, 2017)

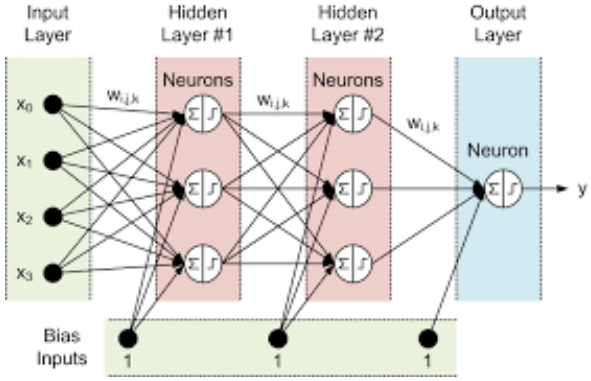
Salah satu tool yang digunakan pada penelitian ini adalah *neural network*, *neural network* dapat dijadikan sebagai alat pengendali motor DC, mengingat *neural network* ini banyak digunakan sebagai teknik kontrol alternatif.

Neural network adalah suatu teknik pendekatan pengolahan informasi yang terinspirasi dari cara kerja sistem saraf biologis, khususnya sel otak pada manusia dalam memperolleh informasi. *Neural network* ini juga dikenal sebagai jaringan adaptif, yang mana memiliki cara kerja memecahkan masalah berdasarkan informasi internalnya dan eksternal yang mengalir melalui jaringan tersebut. Selain itu *neural network* dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks dari suatu input dan output.

Secara garis besar jaringan *neural network* dibagi menjadi beberapa layer yakni:

1. *input layer*, terdiri dari *neuron* yang menerima data masukan dari *variable x*, *neuron* pada lapisan ini terhubung ke *hidden layer* ataupun terhubung secara langsung ke *output layer* (apabila jaringan tidak menggunakan *hidden layer*).

2. *hidden layer*, terdiri dari beberapa *neuron* yang menerima masukan dari *input layer*.
3. *output layer*, terdiri dari beberapa *neuron* yang menerima masukan dari *hidden layer* atau langsung dari *input layer*, yang mana luarannya melambangkan hasil kalkulasi dari nilai x (*input*) menjadi nilai y.



Gambar 2.12 ilustrasi jaringan *neural network* (Damar H.W, 2016)

Keuntungan dari menggunakan *neural network* sebagai sistem kontrol adalah :

a. Pembelajaran Adaptif, yakni kemampuannya untuk mempelajari menjalankan tugas-tugas berdasarkan data yang diberikan.
b. *Self-Organization*, yakni selama proses pembelajaran mandiri, jaringan ini dapat membangun representasi dari informasi yang didapat.
c. *Operasi Real Time*, yakni proses komputasi dapat berjalan lebih cepat karena perhitungan *neural network* dapat dilakukan secara *parallel*.

Neuron adalah suatu fungsi yang menerima masukan dari *layer* sebelumnya. Fungsi ini mengelola sebuah *vector* untuk kemudian diubah menjadi nilai *scalar* melalui komposisi *non linear weighted sum*, yang dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$f(x) = K(\sum_i w_i . g_i(x))$$

K merupakan fungsi khusus yang sering disebut sebagai fungsi aktivasi dan w sebagai beban (*weight*).

2.3.6 *Battery Li-Po* (*Lithium Polymer*)

Baterai *lithium polymer* yaitu jenis baterai yang tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang

berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai *lithium polymer* dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai *lithium polymer*, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering. Hal ini menyebabkan penurunan pada charging dan discharging rate. Masalah ini sebenarnya bisa diatasi dengan memanaskan baterai sehingga menyebabkan pertukaran ion menjadi lebih cepat, namun metode ini dianggap tidak dapat untuk diaplikasikan pada keadaan sehari-hari.

Gambar 2.13 Baterai *Lithium Polymer* (indiamart, 2020)

2.3.7 Servo

Motor Servo adalah jenis *actuator rotary* ataupun *actuator linear* yang berkenan dalam kontrol presisi posisi sudut dan linear, kecepatan dan akselerasi. Motor servo terdiri dari motor listrik yang ter-*couple* pada sensor *feedback* posisi. Selain itu terdapat kontroler sebagai pengendali servo itu sendiri.

Servomotor merupakan *closed-loop* servomechanism yang menggunakan *feedback* untuk mengontrol pergerakan dan posisi akhirnya. Input dari kontrol ini adalah sebuah *signal* (*digital* maupun *analog*) yang merepresentasikan perintah pemosisian untuk output (*shaft*).

Motor Servo dipasangkan dengan sejenis *encoder* posisi sebagai pemberi *feedback* kecepatan dan posisi.

Gambar 2.14 servo (tokopedia, 2020)

2.3.8 ESC (*Electronic Speed Controller*)

Motor *brushless* memiliki sebuah ESC (*Elektronic Speed Control*) yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan motor, selain itu juga berfungsi untuk menaikan jumlah arus yang diperlukan oleh motor. Kecepatan untuk motor yang keluar dari ESC diatur melalui pulsa dari mikrokontroler.

Gambar 2.15 *Electronic Speed Controller* (banggood.com, 2020)

BAB 3

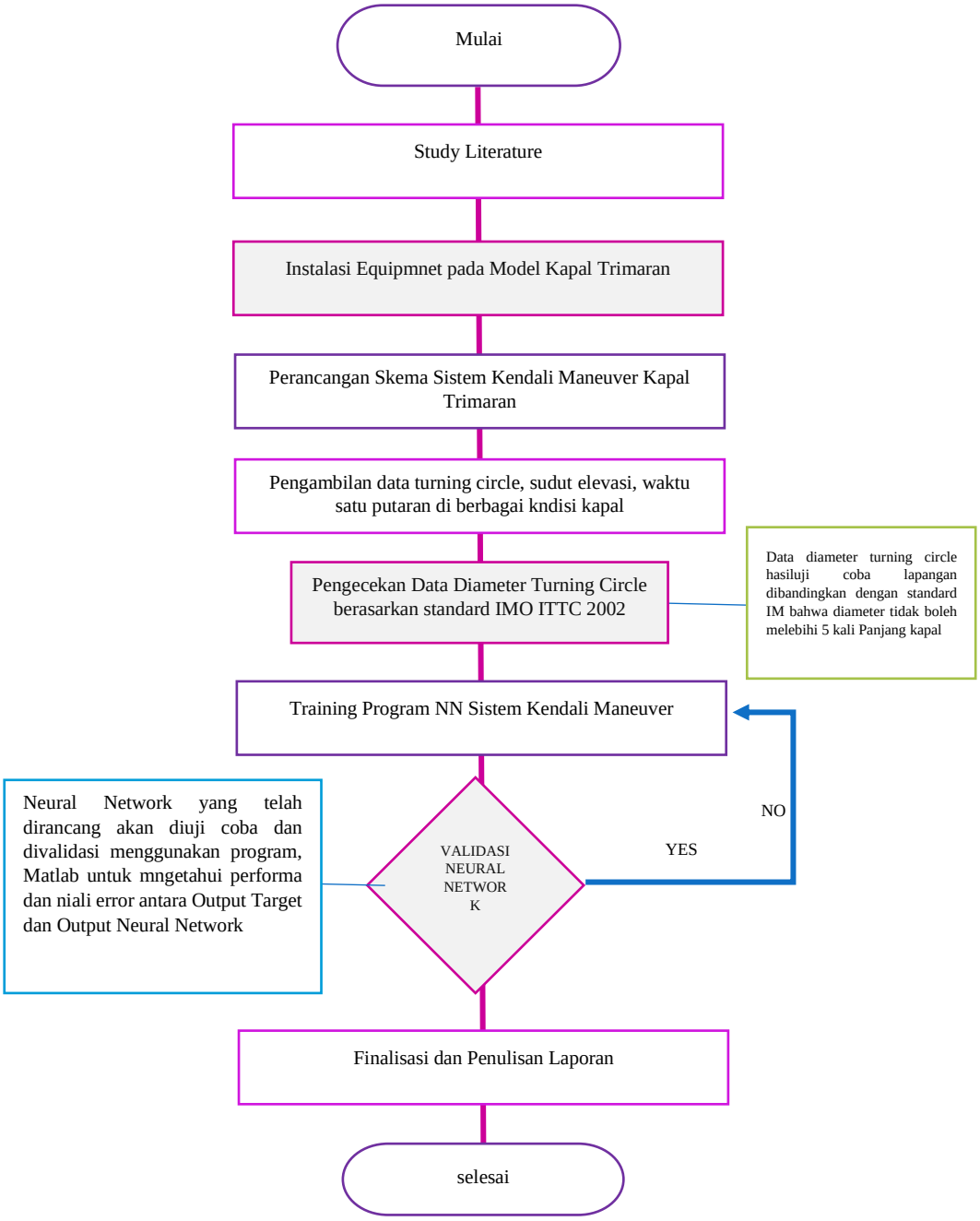
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Secara umum penelitian ini bersifat baru untuk kendali *maneuver* kapal trimaran. Disini sistem propulsi kapal trimaran didesain menggunakan sistem hybrid yakni dengan menginstall satu buah mesin otto dan dua buah motor DC. Dua motor DC inilah yang kemudian dijadikan komponen utama sistem kendali *manoeuvre* kapal trimaran. Penelitian ini menggunakan sistem kendali jarak jauh (*remotely*) dengan kontrol *maneuvre*-nya berbasis *neural network*.

Uji coba sistem kendali manoeuvreabillity ini menggunakan *turning ability test* dengan berpacu pada *manoeuvreability* kapal monohull pada umunya berdasarkan aturan IMO ITTC 2002. Jika pada saat uji coba kapal trimaran ini memenuhi standard yang ada, maka peneliltian ini dianggap berhasil. Dan jika belum berhasil menjangkau standard yang ada, maka perlu diadakan uji coba ulang pada konfigurasi pada skema sistem kendali *neural network*-nya.

3.2 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 *Flow Chart* Kegiatan Penelitian

3.3 Study Literature

Tahapan awal dalam proses perancangan kontrol *manoeuvre* kapal trimaran berbasis *neural network* adalah Studi Literatur. Studi literatur terdiri atas proses penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mulai dari pengumpulan data hingga proses pengaplikasian. Selain proses penelitian, studi literatur juga mencakup analisa dari hasil pengaplikasian yang sudah pernah dilaksanakan. Output dari studi literatur mengenai kontrol propulsi kapal trimaran berdasarkan manoeuvre adalah sebuah prosedur kerja penelelitian dan daftar data yang dibutuhkan pada saat menemukan studi kasus.

3.4 Penentuan Studi Kasus dan Pengumpulan Data

Penentuan studi kasus dan pengumpulan data merupakan tahapan selanjutnya dalam proses perancangan kontrol *manoeuvre* kapal trimaran berbasis *neural network*. Tahapan ini bertujuan untuk menentukan arah fokusan dalam penelitian serta untuk mengumpulkan semua data yang dibutuhkan dalam studi kasus tersebut untuk kemudian dijadikan bahan dalam proses penelitian tersebut.

Berikut adalah data main dimension model kapal trimaran :

Tabel 3.1 Main Dimension Model Kapal Trimaran

Volume Displacement (total)	22897.72	cm^3
Volume Displacement (Main hull)	18832.98	cm^3
Volume Displacement (Demi hull)	4061.89	cm^3
LOA	192	cm
LWL	186.08	cm
B	65.76	cm
D	18.5	cm
T	11	cm
WSA	7450.77	cm^2

3.5 Instalasi Equipment Maneuver di Model Kapal Trimaran

Tahapan instalasi *equipment* maneuver ini adalah serangkaian proses pemasangan mesin *otto*, mesin *brushless* dc beserta komponen lainnya, yakni : *fuel oil tank*, *power supply* (*battery*), servo, esc, pompa pendingin dan sebagainya.

Pada perencanaanya, motor *otto* diletakkan di sisi main hull kapal trimaran, motor dc diletakkan di *outrigger* hull baik sisi port side maupun sisi starboardnya, sedangkan komponen lainnya diletakkan sefleksibel mungkin. Adapun tahapan instalasi mesin dan motor pada model kapal trimaran adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan peletakkan motor otto pada main hull.

   Posisi motor otto berada diletakkan di CG (*center gravity*) dari model kapal trimaran. *Fix shaft* dengan kemiringan 4˚ dan panjang sekitar 70 cm yang terhubung dengan mesin otto dihubungkan oleh *clutch*. *Clutch* mesin ini berguna untuk memisahkan kondisi idle dan kondisi running mesin, saat mesin dalam kondisi *idle*, maka shaft tidak terhubung ke mesin sehingga *shaft* dan *propeller* tidak bergerak. Sedangkan saat kondisi running, *shaft* terhubung dengan mesin.

Gambar 3.2 desain pemosisian motor otto pada model kapal trimaran

2. Pemasangan *tube shaft* pada kapal trimaran.

   Pada tahapan ini, lambung kapal di lubangi sesuai dengan perancangan sebelumnya sebagai tempat pemasangan *tube shaft*. Setelah tube dipasang pada uang yg telah dibuat kemudian ditutup menggunakan produk *epoxy* dan *resin* untuk menutup celah kebocoran diantara lubang dan *tube shaft*.

Gambar 3.3 posisi *shaft* model kapal trimaran (1)

Gambar 3.4 posisi *shaft* model kapal trimaran (2)

Gambar 3.5 instalasi *shaft*, *tube shaft* dan *tube shaft holder*

3. Pembuatan dudukan mesin *otto* dan motor bldc.

   Dudukan untuk mesin otto dibuat lebih kuat karena getaran yang dihasilkan oleh mesin lebih besar dibandingkan dengan getaran motor bldc. Bahan untuk dudukan mesin menggunakan triplek dengan tebal 5 mm. Adapun bentuk dudukan mesin ini menyesuaikan lekuk mesin dan diusahakan diposisikan dengan pas.

Gambar 3.6 Instalasi Permesinan Kapal serta *Shaft Aligment*

4. Pelengkapan *Equipment* Pendingin Mesin maupun Motor BLDC

   Setelah dudukan mesin dan dudukan motor BLDC dibuat, langkah selanjutnya adalah menambahkan *equipment* pendukung kontrol gerak lainnya seperti, sistem pendingin, sistem kontrol dan sistem bahan bakar.

   a) Sistem Pendingin

      Equipment yang ada pada sistem pendingin adalah pompa pendingin, selang/pipa fleksibel, *three way valve*. Jenis sistem pendingin yang dipasang pada model kapal trimaran ini adalah sistem pendingin terbuka, dimana air diambil dari perairan dan dialirkan secara langsung menuju *equipment* yang perlu didinginkan.

      Adapun *equipment* yang perlu didinginkan adalah :

      1. mesin otto (*cylinder part*)

2. motor BLDC (dialirkan kebagian *casing* motor)
3. servo untuk motor BLDC.

b) Sistem Kontrol Gerak

Equipment yang terdapat pada sistem kontrol gerak ini dibagi menjdi dua kriteria, yakni :

1. Kontrol gerak mesin *otto*

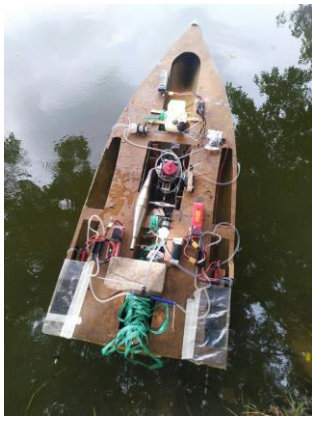
   Pada mesin *otto*, besarnya *throttle* atau daya yang dikeluarkan oleh mesin diatur oleh servo yang terkoneksi dengan *control* yang ada. Servo ini terhubung dengan ESC dan *receiver remote*. Servo disini mengatur seberapa banyak bahan bakar yang diinjesikan ke ruang bakar.

2. Kontrol gerak motor BLDC

   Motor BLDC dikontrol oleh sebuah servo. Servo ini terhubung dengan ESC dan *Receiver*. Adanya perubahan baik peningkatan maupun penurunan daya/*throttle* yang diberikan dari *remote control* ini diterima oleh *receiver* yang telah terinstal di kapal dan kemudian sinyal tersebut diterjemahkan oleh ESC dan dikirimkan menuju servo. Di servo ini besar kecilnya arus yang masuk ke BLDC diatur sesuai dengan sinyal yang diterima oleh ESC.

c) Sistem Bahan Bakar Mesin *Otto*

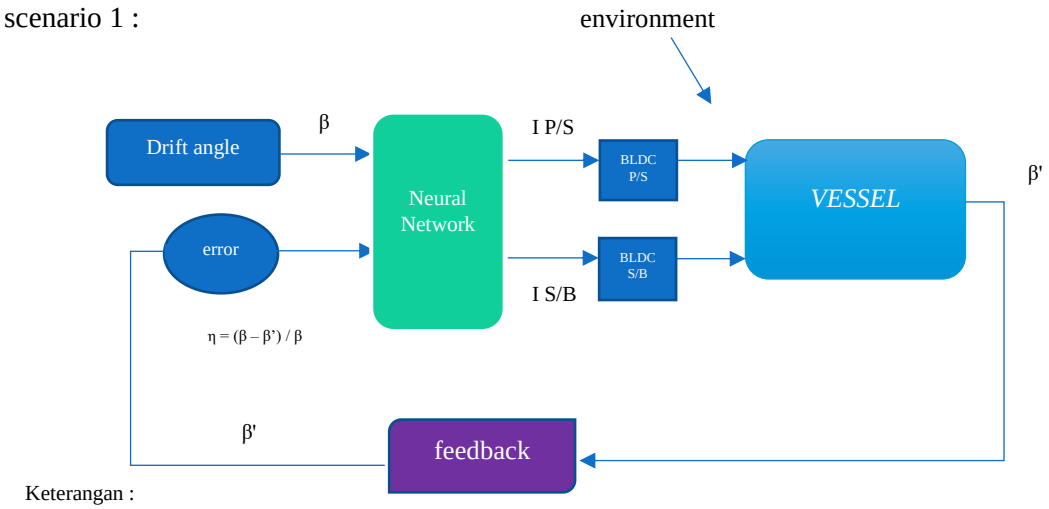
Adapun komponen yang ada pada sistem bahan bakar ini adalah tanki bahan bakar, selang/*flexible hose*, dan servo.



Gambar 3.7 *equipment* yang terpasang pada model kapal trimaran

3.6 Perancangan Skema Sistem Kendali *Maneuver* Kapal Trimaran

Skema sistem kendali *maneuver* yang direncanakan pada penelitian ini diilustrasikan pada *flowchart* berikut ini.



Keterangan :
I = besar arus pada motor BLDC
β = drift angle (sudut yawing kapal)
β' = drift angle setelah dipengaruhi environment

Gambar 3.8 *Flow Chart* Sistem Kendali *Maneuver* NN

Pada skenario diatas, gerak *maneuver* diperoleh dari adanya perbedaan *trust* pada penggerak bldc sisi *portside* dan sisi *starboard*.

3.7 Pengambilan Data Diameter Turning Circle, Sudut Elevasi dan Kecepatan Maneuver di Berbagai Kondisi Kecepatan.

Sebelum memulai simulasi sistem kendali maneuver kapal trimaran, perlu diketahui terlebih dahulu nilai input dan target yang diperlukan untuk dimasukkan ke program neural network. Adapun data yang diperlukan adalah :

1. Besar Arus dan thrust motor BLDC tiap % throttle
2. Diameter Turning Circle
3. Nilai % Error Akibat *Disturbance* Yang Diterima Kapal.

   Seperti yang tercantum pada subbab 1.4 Ruang Lingkup Penelitian poin 4, bahwa "hambatan saat penelitian tidak perlu dianalisis", maka dari itu presentasi error akibat perbedaan sudut *yawing* maupun kecepatan pilot kapal di input dan lapangan tidak perlu dianalisa secara spesifik. Sehingga pada percobaan ini, nilai error (%) yang diinput menggunakan data *dummy* dengan range error antara -10% hingga 25% saja. Dengan demikian, nilai trust, arus BLDC dan sudut elevasi dapat dihitung sebagai berikut :

Adapun kemungkinan hambatan yang diterima oleh model kapal trimaran saat running adalah:

a. hambatan angin
b. hambatan gelombang
c. hambatan gesek
d. dan sebagainya.

3.8 Pengecekan Data Diameter Turning Circle Kapal Trimaran dengan Standard IMO ITTC 2002 'Turing Circle'.

Standard IMO ITTC 2002 digunakan untuk mengecek kesesuaian *maneuverability* pada suatu kapal yang sedang berlayar. Berdasarkan aturan IMO ITTC 2002 diketahui bahwa "Jarak *advance* tidak boleh melebihi 4.5 kali Panjang kapal dan besar *tactical diameter* tidak boleh melebihi 5 kali Panjang kapal pada gerakan *manoeuvre turning circle*".

Data diameter *turning circle* yang telah diperoleh pada tahapan uji coba sebelumnya dibandingkan dengan Panjang kapal (L) dan dicek pemenuhan terhadap standard *turning circle* yang ada pada *rules* ITTC 2002 tersebut, jika telah sesuai dengan standard itu, maka bisa melanjutkan ke tahapan selanjutnya. apabila belum make menggunakan skenario sistem kendali yang kedua.

3.9 Simulasi/Training Neural Network Sistem Kendali Maneuver Kapal Trimaran

Simulasi atau *training* program sistem kendali *maneuver* kapal trimaran ini menggunakan program *neural network* yang tersedia pada software MATLAB. Pada penelitian ini versi MATLAB yang digunakan adalah MATLAB R2016B. Adapun jenis tool jaringan saraf tiruan (JST) yang digunakan ini adalah *Backpropagation*, dengan fungsi utama "newff". "newff" adalah sebuah algoritma yang biasa digunakan untuk menciptakan jaringan "*feed-forward backpropagation*". *Backpropagation* dapat mengubah nilai *weight* pada neuron-neuron agar hasil dari training mendekati nilai yang ditargetkan.

Selain algoritma "*newff*", hal lain yang perlu dierhatikan adalah fungsi transfer. Fungsi transfer adalah fungsi aktivasi yang digunakan untuk menghitung keluaran neuron. Contoh fungsi transfer adalah : *logsig, tansig, dan purelin*. Pada perancangan jaringan sistem saraf ini, fungsi transfer yang cocok digunakan adalah *logsig* atau *tansig*. *Logsig* merupakan fungsi transfer yang menggunakan perhitungan *log-simoid* untuk membawa input menuju output. Nilai outputnya antara 0 hingga 1. Tansig merupakan fungsi transfer pada *neuron* yang menggunakan perhitungan *hyperbolic tangen-sigmoid* untuk mengubah input menjadi output. Adapun *range output* dari fungsi tarnsfer *tansig* ini adalah -1 hingga 1. Adapun skrip pemrograman *neural network* ini dicantumkan pada lembar lampiran.

3.10 Validasi Hasil Training Neural Network Sistem Kendali Maneuver Kapal Trimaran.

Validasi hasil training *neural network* ini juga dikerjakan pada MATLAB. Aktivitas pada tahapan ini adalah memasukkan nilai input yang diiginkan pada program *neural network*, setelah hasil validasi keluar, nilai output yang tertera pada lembar *command* dicatat dan dibandingkan dengan target yang ada. Skrip validasi bisa diakses pada lembar lampiran.

3.11 Penyusunan Laporan Final dan Finalisasi

Setelah seluruh aktivitas penelitian selesai, hasil setiap kegiatan dicatat dan diambil kesimpulan dengan berlandaskan teori yang ada sebelumnya.

BAB 4
HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Pendahuluan

Data yang diperoleh dari percobaan lapangan dan uji coba training program kemudian dianalisa. Kelayakan *maneuverability* kapal ini didasarkan pada peraturan IMO ITTC 2002 yang berkenaan dengan nilai *tactical diameter* dan jarak *advance* yang dihasilkan oleh model kapal trimaran. Sedangkan pada sistem kendali maneuver yang berbasis *neural network* ini, berhasil atau tidaknya simulasi didasarkan pada validasi data, seminimal mungkin nilai output yang dihasilkan dari program terancang mendekati nilai output target yang diberikan sebelumnya.

4.2 Analisa data Lapangan

4.2.1 Data Besar Arus dan Thrust Motor BLDC tiap Persen (%) Throttle

Pada penelitian ini,pengukuran besar arus dan trust menggunakan metode *bollard* test. kapal dikaitkan dengam sebuah tali, kemudian tali tersebut dikaitkan dengan kail yang terhubung dengan pegas. Sehingga saat uji coba dilaksanakan, jarum indikator akan bergerak sesuai dengan besarnya gaya tarikan yang dihasilkan oleh model kapal trimaran saat melaju. Selain itu arus pada motor dc tiap besaran satuan gaya diukur menggunakan tang meter.
Berikut ini adalah data pada uji coba lapangan:

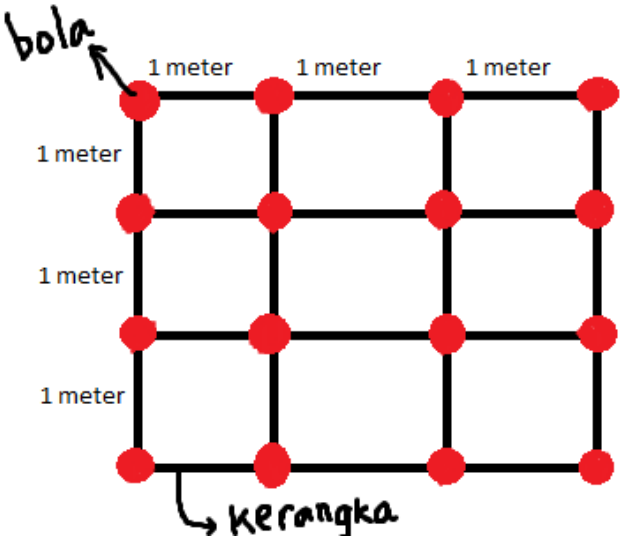
Tabel 4.1 Data Bollar Test Model Kapal Trimaran.

% throttle	Arus (A)	thrust (N)	trust salah satu motor
4.75%	2.8	4.9	2.45
13.22%	7.8	7.35	3.675
19.49%	11.5	9.8	4.9
20.68%	12.2	12.25	6.125
22.03%	13	14.7	7.35
24.00%	14.16	17.15	8.575
31.36%	18.5	19.6	9.8
49.66%	29.3	24.5	12.25
59.83%	35.3	26.95	13.475
62.88%	37.1	29.4	14.7
69.15%	40.8	31.85	15.925

74.58%	44	34.3	17.15
81.86%	48.3	39.2	19.6
100.00%	59	41.65	20.825

4.2.2 Data Diameter *Turning Circle*

Sebelum memulai pengambilan data "*Diameter Turning Circle*", langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuat lintasan yang hendak dibenamkan di danau delapan ITS. Lintasan ini bertujuan sebagai dasaran skala saat pengambilan data ini. Berikut adalah ukuran lintasan yang dibuat.

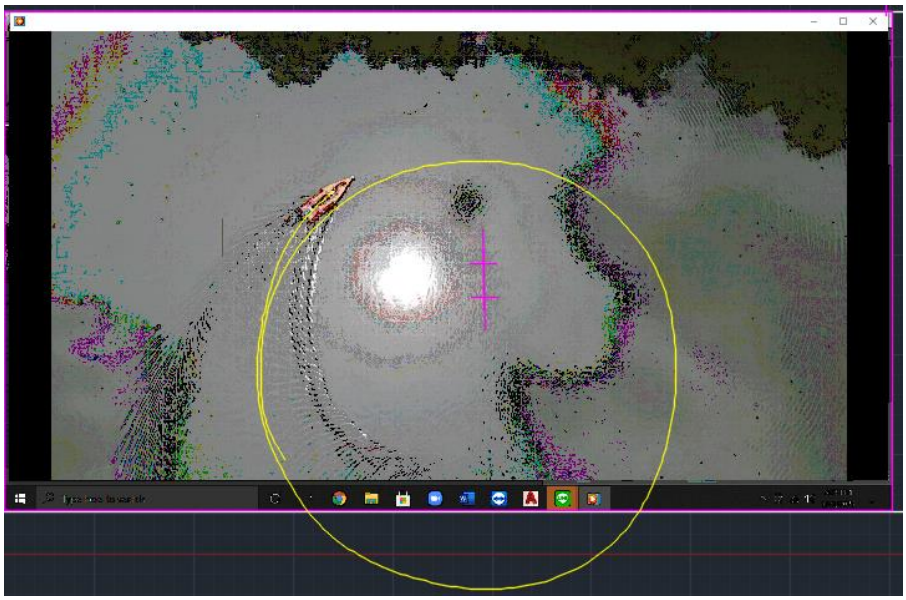


Gambar 4.1 Ilustrasi rangka lintasan

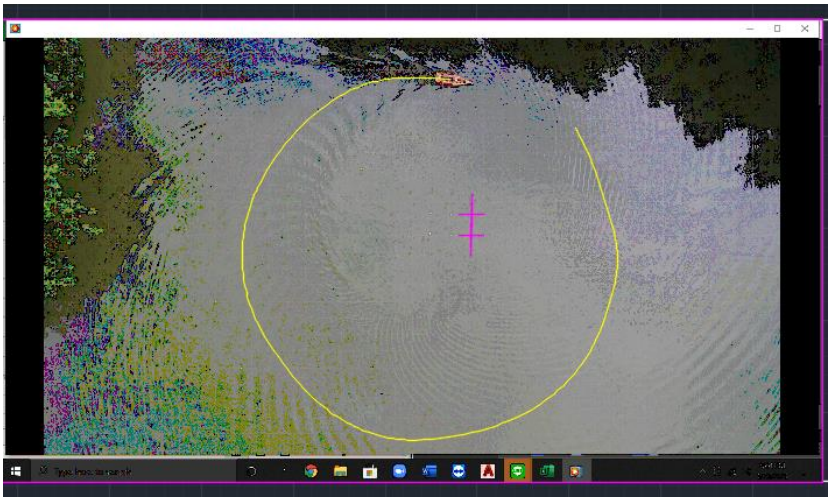
Selanjutnya adalah pengambilan data 'Diameter *Turning Circle'*. Langkah-langkah uji coba turning circle adalah sebagai berikut :

1. luncurkan model kapal mendekati lintasan yang ada di tengah perairan danau delapan.
2. Setelah mendekati lintasan, set level % salah satu *throttle* (*portside* ataupun *starboard*) dan biarkan kapal melaju hingga membentuk putaran penuh sekitar 2 sampai 4 kali putaran
3. Ulangi langkah tersebut untuk setiap % *throttle* yang lainnya.

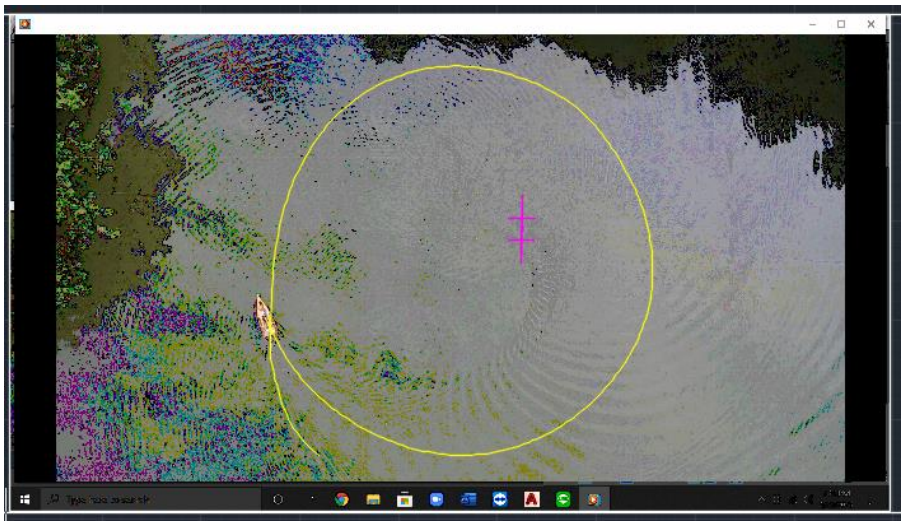
Dari percobaan lapangan tersebut diperoleh data sebagai berikut :



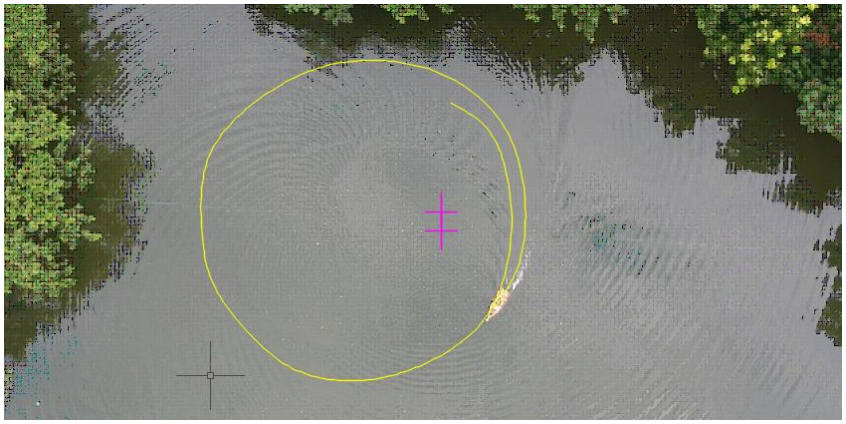
Gambar 4.2 Lintasan *maneuver* model kapal trimaran dengan perbandingan *throttle* (P/S dan S/B) 25% : 0%



Gambar 4.3 Lintasan *maneuver* model kapal trimaran dengan perbandingan *throttle* (P/S dan S/B) 50% : 0%



Gambar 4.4 Lintasan *maneuver* model kapal trimaran dengan perbandingan *throttle* (P/S dan S/B) 75% : 0%



Gambar 4.5 Lintasan *maneuver* model kapal trimaran dengan perbandingan *throttle* (P/S dan S/B) 100% : 0%

Sehingga dari percobaan turning circle diatas didapat data sebagai berikut :

Tabel 4.2data percobaan *turning circle* trimaran

%	Arus p/s (A)	Arus s/b (A)	N p/s	N s/b	r gambar (cm)	skala	r (cm)	d (cm)	β (...°)	t (s)
25%	14.75	0	8.74	0	134.09	4.77	639.98	1279.95	5.18	63.43
50%	29.5	0	12.29	0	83.31	10.18	848.18	1696.36	3.90	42.52

75%	44.25	0	17.29	0	121.19	7.05	853.78	1707.55	3.87	37.48
100%	59	0	20.83	0	122.71	7.19	882.99	1765.98	3.74	33.56

4.2.3 *Maneuverability* dan *Standard Turning Ability* IMO ITTC 2002

Berdasarkan aturan IMO ITTC 2002 diketahui bahwa "Jarak *advance* tidak boleh melebihi 4.5 kali Panjang kapal dan besar tactical diameter tidak boleh melebihi 5 kali Panjang kapal pada gerakan *manoeuvre turning circle*".

Mengingat pada sistem maneuver pada penelitian ini menggunakan BLDC sebagai penggeraknya dan sistem kendali maneuver ini tidak menggunakan *rudder*, maka gerak maneuver kapal ini sepenuhnya diakibatkan oleh adanya perbedaan RPM dari motor BLDC di sisi *outriggers* sehingga terdapat perbedaan *trust* antara kedua sisi.

Berikut adalah data lapangan *tactical diameter* yang diperoleh :

Tabel 4.3 data lapangan sistem *maneuver* skenario 1

throttle	Arus p/s (A)	Arus s/b (A)	r gambar (cm)	skala	jari-jari (cm)	*tactical diameter* (cm)
25%	14.75	0	134.0938	1:4.772594	639.9752	1279.95
50%	29.5	0	83.3074	1:10.18133	848.1801	1696.36
75%	44.25	0	121.1884	1:7.045032	853.7761	1707.552
100%	59	0	122.7107	1:7.195711	882.9908	1765.982

Panjang model kapal trimaran adalah 192 cm, sehingga perbandingan nilai *tactical diameter* dan panjang model kapal dapat diketahui menggunakan formula berikut :

$$x = \frac{Tactical\ Diameter}{Panjang\ Kapal}$$

Sehingga nilai perbandingan (x) yang diperoleh adalah :

Tabel 4.4 data lapangan dan perbandingan *diameter tactical* dengan panjang kapal sistem *maneuver* skenario 1

throttle	Arus p/s (A)	Arus s/b (A)	*tactical diameter* (cm)	x
25% : 0%	14.75	0	1279.95	6.666409
50% : 0%	29.5	0	1696.36	8.835209
75% : 0%	44.25	0	1707.552	8.893501
100% : 0%	59	0	1765.982	9.197821

Dari data tersebut didapatkan kesimpulan bahwa sistem kendali *maneuver rudderless* yang terencana sebelumnya belum layak dijadikan kendali maneuver utama karena belum memenuhi *standard* IMO ITTC 2002, yang menyatakan bahwa nilai *tactical diameter* tidak boleh melebihi lima kali panjang kapal, sedangkan nilai perbandingan (x) yang tertera ada data tersebut memiliki nilai diatas 5.

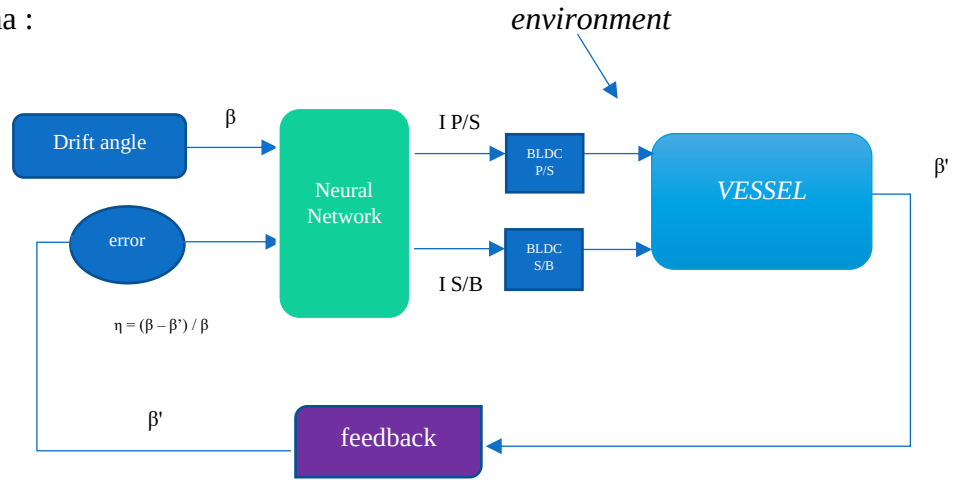
Ada banyak kemungkinan yang menyebabkan sistem maneuver menggunakan perbedaan *trust propeller* ini belum memenuhi standar IMO ITTC 2002, beberapa diantaranya adalah :

1. Design sistem maneuver menggunakan perbedaan *thrust* belum sesuai, sehingga maneuver yang dihasilkan pada kapal trimaran belum tepat. Tepat tidaknya *equipment maneuver* bergantung pada spesifikasi motor yang digunakan.
2. Saat uji coba lapangan berlangsung, semakin tinggi arus yang di set pada salah satu motor BLDC di *side hull* menyebabkan tingginya RPM pada *propeller* dan semakin tinggi pula angka kavitasi yang terjadi pada *propeller*. Kavitasi yang terjadi dapat menurunkan *trust* yang dihasilkan oleh *propeller*.
3. Faktor lingkungan seperti angin dapat menghambat laju kapal trimaran saat ber*maneuver*.

4.2.4 Sistem Kontrol *Maneuver* Berbasis *Neural Network*

Pembuatan sistem kontrol *maneuver* berbasis *neural network* menggunakan software MATLAB R2016B dengan menggunakan fungsi transfer dasar *neural network backpropagation* "*newff*". Adapun skenario sistem seperti yang ditunjukkan pada diagram dibawah ini :

skema :



Keterangan :
I = besar arus pada motor BLDC
β = drift angle (sudut yawing kapal)
β' = drift angle setelah dipengaruhi environment

Gambar 4.6 *flow chart* sistem kendali maneuver trimaran berbasis *neural network*

Nilai *drift angle* atau sudut *yawing* kapal digunakan sebagai parameter input program NN maneuver. Nilai error pada parameter input diperoleh akibat adanya perbedaan sudut *yawing* kapal trimaran dari nilai target akibat hambatan tambahan, faktor lingkungan maupun faktor permesinan yang ada kapal saat ber*maneuver*.

Adapun parameter *output* program NN *maneuver* ini adalah arus BLDC disisi *portside* dan disisi *starboard*. Adanya perbedaan arus ini menyebabkan timbulnya perbedaaan RPM dan *thrust* dikedua sisi *outtriggers*, efek dari perbedaaan *thrust* ini menimbulkan gerakan *yawing* pada kapal trimaran.

Untuk nilai parameter input *drift angle* (sudut *yawing*) kapal trimaran diperoleh dari uji coba lapangan. Sedangkan *range* nilai error pada inputnya adalah -10% hingga 25%.

Berikut adalah data yang dimasukan pada program NN :

Tabel 4.5 Data 1 error 10%

β	ERR	I P/S	I S/B
-3.73698	-10%	0	53.1
-3.86507	-10%	0	39.825
-3.89974	-10%	0	26.55
-5.18053	-10%	0	13.275
0	-10%	0	0
5.180526	-10%	13.275	0
3.899743	-10%	26.55	0
3.865067	-10%	39.825	0
3.736976	-10%	53.1	0
-3.73698	-5%	0	56.05
-3.86507	-5%	0	42.0375
-3.89974	-5%	0	28.025
-5.18053	-5%	0	14.0125
0	-5%	0	0
5.180526	-5%	14.0125	0
3.899743	-5%	28.025	0

3.865067	-5%	42.0375	0
3.736976	-5%	56.05	0
-3.73698	0%	0	59
-3.86507	0%	0	44.25
-3.89974	0%	0	29.5
-5.18053	0%	0	14.75
0	0%	0	0
5.180526	0%	14.75	0
3.899743	0%	29.5	0
3.865067	0%	44.25	0
3.736976	0%	59	0
-3.73698	5%	0	59
-3.86507	5%	0	46.4625
-3.89974	5%	0	30.975
-5.18053	5%	0	15.4875
0	5%	0	0
5.180526	5%	15.4875	0
3.899743	5%	30.975	0
3.865067	5%	46.4625	0
3.736976	5%	59	0
-3.73698	10%	0	59
-3.86507	10%	0	48.675
-3.89974	10%	0	32.45
-5.18053	10%	0	16.225
0	10%	0	0
5.180526	10%	16.225	0
3.899743	10%	32.45	0
3.865067	10%	48.675	0

3.736976	10%	59	0
-3.73698	15%	0	59
-3.86507	15%	0	50.8875
-3.89974	15%	0	33.925
-5.18053	15%	0	16.9625
0	15%	0	0
5.180526	15%	16.9625	0
3.899743	15%	33.925	0
3.865067	15%	50.8875	0
3.736976	15%	59	0
-3.73698	20%	0	59
-3.86507	20%	0	53.1
-3.89974	20%	0	35.4
-5.18053	20%	0	17.7
0	20%	0	0
5.180526	20%	17.7	0
3.899743	20%	35.4	0
3.865067	20%	53.1	0
3.736976	20%	59	0
-3.73698	25%	0	59
-3.86507	25%	0	55.3125
-3.89974	25%	0	36.875
-5.18053	25%	0	18.4375
0	25%	0	0
5.180526	25%	18.4375	0
3.899743	25%	36.875	0
3.865067	25%	55.3125	0
3.736976	25%	59	0

Dengan menggunakan skrip pemrograman *neural network* yang telah direncanakan sebelumnya, berikut adalah hasil running program *Neural Network* sistem kendali *maneuver* kapal Trimaran.

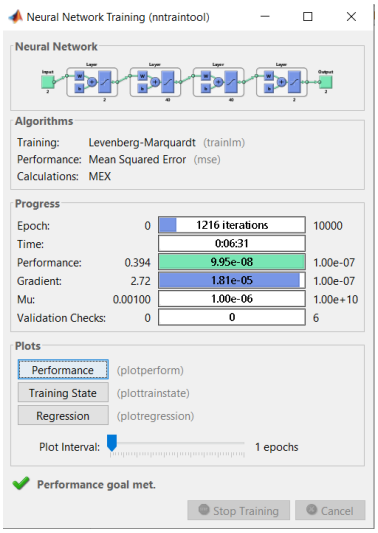
Data pada table-tabel tersebut dimasukkan ke program NN *maneuver*. Pada program *neural network*, jumlah *hidden layer* yang digunakan adalah 4 buah dengan jumlah *neuron* masing-masing :

(1) *neuron* pada *hidden layer* pertama berjumlah 2 buah, jumlah *hidden layer* pertama disesuaikan dengan jumlah parameter input yang digunakan. Berdasarkan skema kontrol *maneuver* NN, parameter input yang digunakan adalah *drift angle* (sudut *yawing*) dan *error*.

(2) *neuron* pada *hidden layer* kedua dan ketiga berjumlah 40 buah. Jumlah *hidden layer* ini mempengaruhi cepat lambatnya proses *training* NN. Semakin banyak jumlah *neuron* yang digunakan, maka semakin komplek dan lambat proses *training* yang dikerjakan.

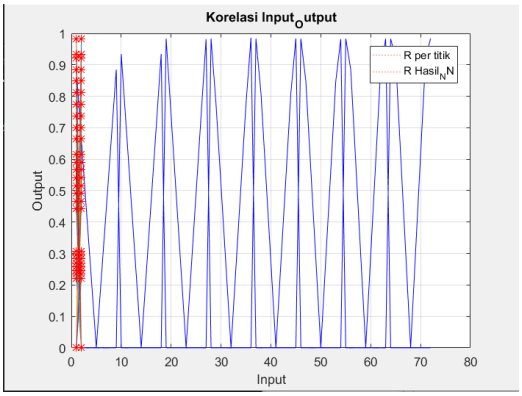
(3) neuron pada *hidden layer* keempat berjumlah 2 buah mengingat output dari skema kendali *maneuver* yang direncanakan berupa arus BLDC *portside* dan *starboard*.

Dengan menggunakan skrip pemrograman *neural network* yang telah direncanakan sebelumnya, berikut adalah hasil *running* program *Neural Network* sistem kendali *maneuver* kapal Trimaran.

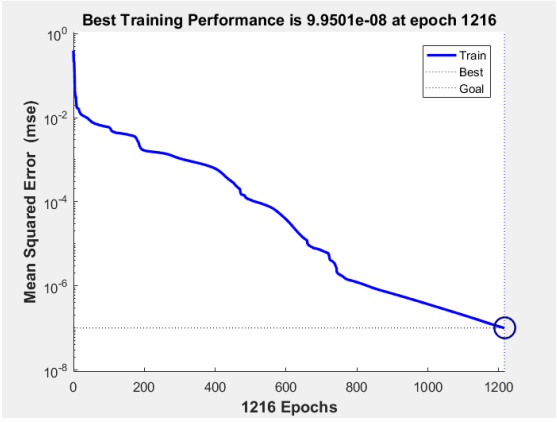


Gambar 4.7 Training program *neural network* sistem kendali *maneuver* kapal trimaran

Dari gambar 4.7 diketahui bahwa *training* NN kendali *maneuver* dengan BLDC ini menjangkau 1216 iterasi. Metode *training* yang digunakan adalah *Levenberg-Marquardt* dan standard *Performance* yang digunakan adalah *Mean Squared Error* (MSE). MSE adalah suatu metode yang digunakan untuk mengevaluasi metode peramalan. Besarnya kesalahan atau gap data dikuadratkan kemudian dijumlahkan dengan jumlah observasi yang dikerjakan. Keakuratan hasil *Training* NN akan semakin besar apabila nilai MSE-nya semakin kecil. Dari gambar 4.7 tersebut diketahui bahwa nilai MSE sebesar 9.95 x 10^{-8}.

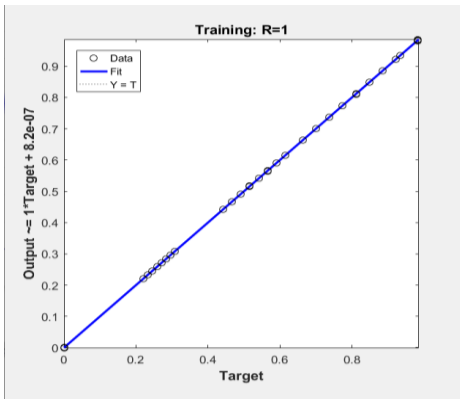


Gambar 4.8 Grafik korelasi antara nilai Input dan nilai Output



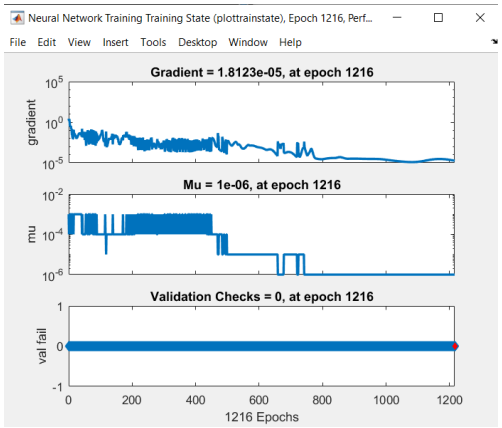
Gambar 4.9 Grafik *Performance* hasil *training* program

Grafik *performance* pada gambar 4.9 diatas menunjukkan hubungan antara besar MSE yang dihasilkan dengan jumlah iterasi program NN. Semakin kecil nilai MSE yang dihasilkan maka *error* antara output target dan output NN rata-rata semakin kecil.



Gambar 4.10 Grafik regresi hasil *training* program

Dari grafik 4.10 diatas nilai *regression* yang dihasilkan dari proses *training* NN adalah 1. Regression menunjukkan besarnya nilai deviasi nilai input dan output kecil. Sehingga apabila nilai *regression* yang diperoleh maksimal 1, maka program NN tersebut dapat mengeluarkan output mendekati target yang diinginkan



Gambar 4.11 Grafik Training State hasil *training* program

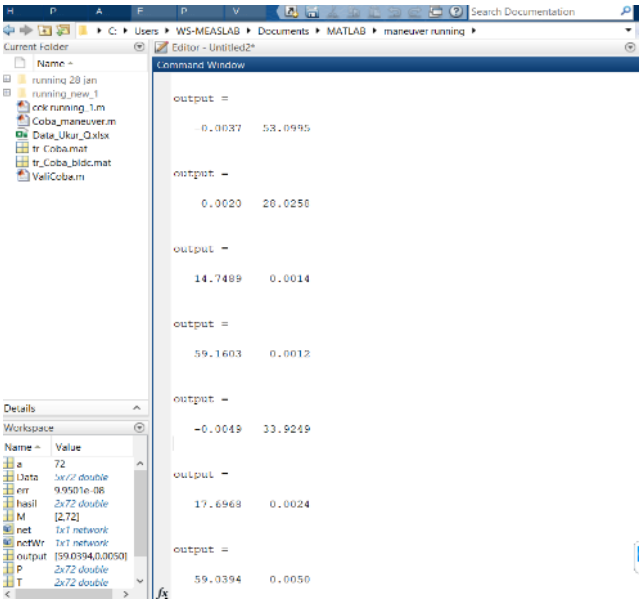
Grafik pada gambar 4.11 diatas menunjukkan keragaman nilai *gradient* dan mu dengan jumlah iterasi. Grafik *gradient* dan mu cenderung menurun seiring bertambahnya iterasi. Nilai *gradient* target yang diperoleh sebesar 0.000018123, nilai *gradient* yang kecil ini menunjukkan bahwa proses *training* dapat berjalan dengan baik. Sedangkan nilai mu adalah nilai yang dijadikan parameter oleh metode *Levenberg-Marquardt* untuk mengontrol besarnya *weight* pada tiap *neuron*-nya saat proses pembaharuan *(backpropagation)* selama proses *training* NN berlangsung.

Dapat disimpulkan dari grafik tersebut, bahwa program kendali *maneuver* NN trimaran ini menghasilkan output yang mendekati nilai output target yang telah ditetapkan, hal tersebut dapat diketahui dari grafik *regression* yang ada pada gambar 4.12, dari gambar tersebut diketahui bahwa nilai R nya adalah 1. Selain itu nilai MSE (*Mean Squared Error*) nya ,menjangkau target yang diinginkan, yakni kurang dari 1 x 10^{-7}.

Tahapan selajutnya adalah Validasi hasil training program *Neural Network*. Berikut adalah hasil Validasi dari program NN tersebut :

Tabel 4.6 validasi program NN Sistem Maneuver

data		1	12	24	36	48	60
target	input	-3.7369762	-3.8997434	5.1805259	3.7369762	-3.8997434	5.1805259
		-10%	-5%	0%	5%	15%	20%
	output	0	0	14.75	59	0	17.7
		53.1	28.025	0	0	33.925	0
NN	output	-0.0037	0.002	14.7489	59.1603	-0.0049	17.6968
		53.0995	28.0258	0.0014	0.0012	33.9249	0.0024
error		-	-	0.0075%	0.2717%	-	0.0181%
		0.0009%	0.0029%	-	-	0.0003%	-



Gambar 4.12 validasi program NN Sistem *Maneuver* (data 1;12;24;36;48;60;72)

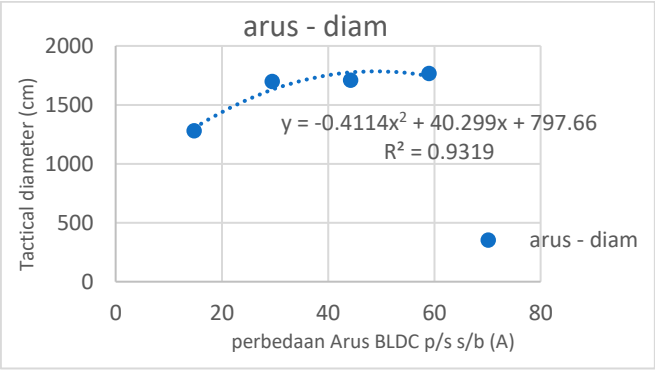
Dari rekap validasi diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa program kendali *maneuver* tersebut telah berhasil karena nilai output yang dihasilkan program mendekati

nilai output target yang telah ditentukan. Adapun nilai error dari output target dan output NN berada dibawah 0.3 %

4.3 Temuan Terakhir

4.3.1 Hubungan antara *tactical diameter* dan besarnya *thrust* salah satu sisi *outtriggers* kapal trimaran.

Dari hasil uji coba *turning circle test* kapal trimaran, hubungan antara besarnya throttle atau arus BLDC salah satu sisi *outrigger* trimaran dan *tactical diameter* dapat dinyatakan pada grafik pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik hubungan antara Arus BLDC dan *Tactical Diameter*.

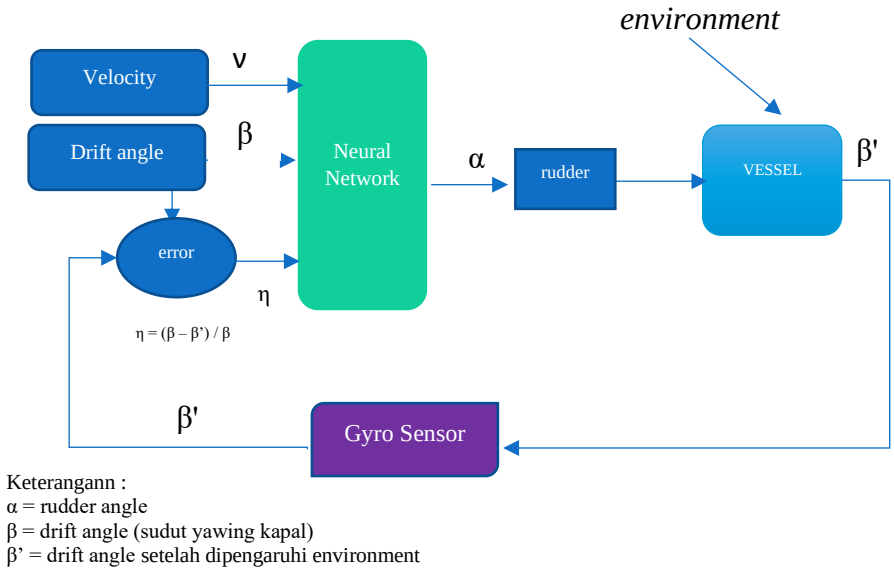
Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa semakin besar angka perbedaan arus BLDC (mengindikasikan besar perbedaan *thrust*) maka semakin besar pula nilai *tactical diameter maneuver* kapal trimaran. Perbandingan tersebut berbeda dari perkiraan penulis sebelumnya, sehingga perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang sistem kendali maneuver BLDC terhadap gaya *maneuver* yang diterima kapal trimaran.

4.3.2 Sistem Kontrol *Maneuver* Menggunakan Rudder Berbasis *Neural Network*

Dikarenakan sistem maneuver menggunakan perbedaan thrust belum memenuhi standard IMO ITTC 2002, Selain skema sistem maneuver pertama yang menggunakan prinsip perbedaan RPM motor BLDC di sisi *side hull*, terdapat skema kendali *maneuver* kedua yang dirancang menggunakan *rudder* sebagai komponen *maneuver* utamanya. Tujuan dari percobaan ini ialah untuk mengoptimalisasi kemampuan maneuver kapal trimaran, mengingat pada

percobaan inti menggunakan perbedaan RPM BLDC belum memenuhi standard IMO ITTC 2002b.

skenario sistem maneuver kedua dapat diilustrasikan pada flow chart berikut ini:



Gambar 4.14 Flow Chart skema kendali maneuver kapal trimaran menggunakan rudder.

Pada skema kedua parameter input yang digunakan adalah *drift angle* atau sudut *yawing*, kecepatan kapal dan *error*. Nilai *error* didapatkan akibat adanya perbedaan sudut *yawing* target dengan sudut *yawing* real akibat adanya perngaruh lingkungan.

Untuk mendapatkan nilai input dan output target yang dimasukkan pada program NN, maka perlu dilakukan uji coba *turning circle test* ulang kapal trimaran yang terinstall *rudder* sebagai komponen utama maneuvernya.

Dari turning circle test kedua, didapatkan data sebagai berikut :

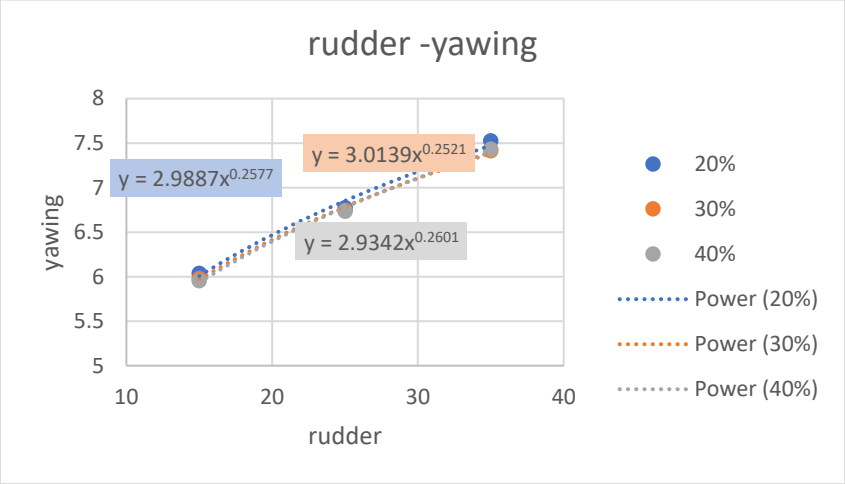
Tabel 4.7 Data Percobaan Turning Circle Test Maneuver Trimaran menggunakan Rudder.

throttle	Dia_{TC} (m)	R_{TC} (m)	L	D_{TC}/L	sudut yawing	sudut rudder
20%	8.79	4.395	1.92	4.578125	7.524161	35

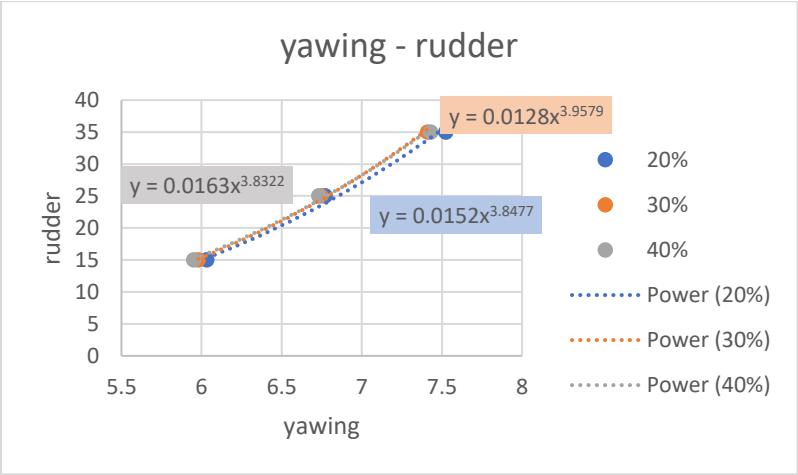
30%	8.83	4.415	1.92	4.598958	7.411598	35
40%	8.9	4.45	1.92	4.635417	7.430428	35
20%	9.76	4.88	1.92	5.083333	6.77267	25
30%	9.8	4.9	1.92	5.104167	6.7449	25
40%	9.82	4.91	1.92	5.114583	6.7311	25
20%	10.95	5.475	1.92	5.703125	6.03374	15
30%	11.05	5.525	1.92	5.755208	5.97894	15
40%	11.1	5.55	1.92	5.78125	5.95191	15

Berdasarkan data uji coba *turning circle test* diatas diketahui bahwa kemampuan *maneuver* kapal trimaran sudah memenuhi *rules* IMO ITTC 2002b. besarnya *Tactical diameter* saat rudder dalam kondisi maksimal (35º) tidak boleh melebihi 5 kali Panjang kapal. dari table tersebut diketahui nilai perbandingan D_{TC}/L kurang dari 5.

Dari ke-sembilan variasi data tersebut dapat ditarik hubungan antara besarnya sudut *rudder* dan sudut *yawing* yang dihasilkan tiap *throttle* mesin. Dan dari grafik tersebut dapat dicari model persamaannya.



Gambar 4.15 Grafik hubungan antara sudut rudder α dan sudut yawing kapal β



Gambar 4.16 Grafik hubungan antara sudut *yawing* kapal β dan sudut *rudder* α

Grafik diatas digunakan untuk membuat variasi parameter input beserta variasi output yang akan dimasukkan pada program NN *maneuver*.

Tabel 4.8 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 0%

	error	0%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-7.47117	-35
2.210906	20%	-7.1802	-30
2.210906	20%	-6.85065	-25
2.210906	20%	-6.46782	-20
2.210906	20%	-6.00566	-15
2.210906	20%	-5.40981	-10
2.210906	20%	-4.52488	-5
2.210906	20%	4.524878	5
2.210906	20%	5.409814	10
2.210906	20%	6.005664	15
2.210906	20%	6.467817	20
2.210906	20%	6.850645	25
2.210906	20%	7.180199	30
2.210906	20%	7.471171	35
2.485608	30%	-7.38564	-35
2.485608	30%	-7.10413	-30

2.485608	30%	-6.78499	-25
2.485608	30%	-6.41385	-20
2.485608	30%	-5.96515	-15
2.485608	30%	-5.38553	-10
2.485608	30%	-4.52209	-5
2.485608	30%	4.52209	5
2.485608	30%	5.385535	10
2.485608	30%	5.965151	15
2.485608	30%	6.413846	20
2.485608	30%	6.784995	25
2.485608	30%	7.104133	30
2.485608	30%	7.385644	35
2.680513	40%	-7.39779	-35
2.680513	40%	-7.10704	-30
2.680513	40%	-6.77788	-25
2.680513	40%	-6.39569	-20
2.680513	40%	-5.93459	-15
2.680513	40%	-5.3406	-10
2.680513	40%	-4.45956	-5
2.680513	40%	4.459558	5
2.680513	40%	5.340596	10
2.680513	40%	5.934594	15
2.680513	40%	6.395693	20
2.680513	40%	6.777881	25
2.680513	40%	7.107043	30
2.680513	40%	7.397787	35

Tabel 4.9 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -25%

	error	-25%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-9.33896	-35
2.210906	20%	-8.97525	-35
2.210906	20%	-8.56331	-35
2.210906	20%	-8.08477	-35

2.210906	20%	-7.50708	-35
2.210906	20%	-6.76227	-23.7569
2.210906	20%	-5.6561	-11.9482
2.210906	20%	5.656098	11.94821
2.210906	20%	6.762267	23.75691
2.210906	20%	7.50708	35
2.210906	20%	8.084772	35
2.210906	20%	8.563306	35
2.210906	20%	8.975249	35
2.210906	20%	9.338963	35
2.485608	30%	-9.23206	-35
2.485608	30%	-8.88017	-35
2.485608	30%	-8.48124	-35
2.485608	30%	-8.01731	-35
2.485608	30%	-7.45644	-35
2.485608	30%	-6.73192	-24.2606
2.485608	30%	-5.65261	-12.1489
2.485608	30%	5.652612	12.1489
2.485608	30%	6.731919	24.26055
2.485608	30%	7.456439	35
2.485608	30%	8.017307	35
2.485608	30%	8.481243	35
2.485608	30%	8.880167	35
2.485608	30%	9.232055	35
2.680513	40%	-9.24723	-35
2.680513	40%	-8.8838	-35
2.680513	40%	-8.47235	-35
2.680513	40%	-7.99462	-35
2.680513	40%	-7.41824	-35
2.680513	40%	-6.67574	-23.5416
2.680513	40%	-5.57445	-11.7973
2.680513	40%	5.574447	11.79729
2.680513	40%	6.675745	23.54157
2.680513	40%	7.418243	35
2.680513	40%	7.994616	35
2.680513	40%	8.472351	35
2.680513	40%	8.883804	35

2.680513	40%	9.247234	35

Tabel 4.10 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -20%

	error	-20%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-8.9654	-35
2.210906	20%	-8.61624	-35
2.210906	20%	-8.22077	-35
2.210906	20%	-7.76138	-35
2.210906	20%	-7.2068	-30.3514
2.210906	20%	-6.49178	-20.3037
2.210906	20%	-5.42985	-10.2115
2.210906	20%	5.429854	10.21146
2.210906	20%	6.491777	20.30369
2.210906	20%	7.206797	30.35139
2.210906	20%	7.761381	35
2.210906	20%	8.220774	35
2.210906	20%	8.616239	35
2.210906	20%	8.965405	35
2.485608	30%	-8.86277	-35
2.485608	30%	-8.52496	-35
2.485608	30%	-8.14199	-35
2.485608	30%	-7.69661	-35
2.485608	30%	-7.15818	-30.9338
2.485608	30%	-6.46264	-20.6411
2.485608	30%	-5.42651	-10.3364
2.485608	30%	5.426508	10.33638
2.485608	30%	6.462642	20.64106
2.485608	30%	7.158181	30.93382
2.485608	30%	7.696615	35
2.485608	30%	8.141994	35
2.485608	30%	8.52496	35
2.485608	30%	8.862773	35
2.680513	40%	-8.87734	-35

2.680513	40%	-8.52845	-35
2.680513	40%	-8.13346	-35
2.680513	40%	-7.67483	-35
2.680513	40%	-7.12151	-30.1589
2.680513	40%	-6.40872	-20.1324
2.680513	40%	-5.35147	-10.0889
2.680513	40%	5.35147	10.08886
2.680513	40%	6.408715	20.13239
2.680513	40%	7.121513	30.15888
2.680513	40%	7.674832	35
2.680513	40%	8.133457	35
2.680513	40%	8.528452	35
2.680513	40%	8.877344	35

Tabel 4.11 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -15%

	error	-15%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-8.59185	-35
2.210906	20%	-8.25723	-35
2.210906	20%	-7.87824	-35
2.210906	20%	-7.43799	-34.2723
2.210906	20%	-6.90651	-25.7668
2.210906	20%	-6.22129	-17.2368
2.210906	20%	-5.20361	-8.66901
2.210906	20%	5.20361	8.669006
2.210906	20%	6.221286	17.23679
2.210906	20%	6.906514	25.76677
2.210906	20%	7.43799	34.2723
2.210906	20%	7.878242	35
2.210906	20%	8.257229	35
2.210906	20%	8.591846	35
2.485608	30%	-8.49349	-35
2.485608	30%	-8.16975	-35
2.485608	30%	-7.80274	-35

2.485608	30%	-7.37592	-34.8289
2.485608	30%	-6.85992	-26.1383
2.485608	30%	-6.19337	-17.4412
2.485608	30%	-5.2004	-8.73399
2.485608	30%	5.200403	8.733994
2.485608	30%	6.193365	17.44121
2.485608	30%	6.859924	26.13834
2.485608	30%	7.375922	34.82894
2.485608	30%	7.802744	35
2.485608	30%	8.169753	35
2.485608	30%	8.493491	35
2.680513	40%	-8.50745	-35
2.680513	40%	-8.1731	-35
2.680513	40%	-7.79456	-35
2.680513	40%	-7.35505	-34.1284
2.680513	40%	-6.82478	-25.6202
2.680513	40%	-6.14169	-17.1026
2.680513	40%	-5.12849	-8.57057
2.680513	40%	5.128492	8.570575
2.680513	40%	6.141685	17.10264
2.680513	40%	6.824784	25.62023
2.680513	40%	7.355047	34.12844
2.680513	40%	7.794563	35
2.680513	40%	8.1731	35
2.680513	40%	8.507455	35

Tabel 4.12 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -10%

	error	-10%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-8.21829	-35
2.210906	20%	-7.89822	-35
2.210906	20%	-7.53571	-35
2.210906	20%	-7.1146	-28.8844
2.210906	20%	-6.60623	-21.716

2.210906	20%	-5.9508	-14.527
2.210906	20%	-4.97737	-7.30615
2.210906	20%	4.977366	7.306155
2.210906	20%	5.950795	14.527
2.210906	20%	6.606231	21.71599
2.210906	20%	7.114599	28.88437
2.210906	20%	7.53571	35
2.210906	20%	7.898219	35
2.210906	20%	8.218288	35
2.485608	30%	-8.12421	-35
2.485608	30%	-7.81455	-35
2.485608	30%	-7.46349	-35
2.485608	30%	-7.05523	-29.2101
2.485608	30%	-6.56167	-21.9215
2.485608	30%	-5.92409	-14.6275
2.485608	30%	-4.9743	-7.32496
2.485608	30%	4.974299	7.324956
2.485608	30%	5.924088	14.62745
2.485608	30%	6.561666	21.9215
2.485608	30%	7.05523	29.21006
2.485608	30%	7.463494	35
2.485608	30%	7.814547	35
2.485608	30%	8.124209	35
2.680513	40%	-8.13757	-35
2.680513	40%	-7.81775	-35
2.680513	40%	-7.45567	-35
2.680513	40%	-7.03526	-28.7829
2.680513	40%	-6.52805	-21.6074
2.680513	40%	-5.87466	-14.4239
2.680513	40%	-4.90551	-7.22818
2.680513	40%	4.905514	7.228176
2.680513	40%	5.874655	14.42387
2.680513	40%	6.528054	21.60737
2.680513	40%	7.035262	28.78294
2.680513	40%	7.455669	35
2.680513	40%	7.817747	35
2.680513	40%	8.137565	35

Tabel 4.13 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* -5%

	error	-5%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-7.84473	-35
2.210906	20%	-7.53921	-35
2.210906	20%	-7.19318	-30.1313
2.210906	20%	-6.79121	-24.1505
2.210906	20%	-6.30595	-18.157
2.210906	20%	-5.6803	-12.1462
2.210906	20%	-4.75112	-6.10875
2.210906	20%	4.751122	6.108749
2.210906	20%	5.680305	12.14617
2.210906	20%	6.305947	18.15695
2.210906	20%	6.791208	24.15051
2.210906	20%	7.193177	30.13128
2.210906	20%	7.539209	35
2.210906	20%	7.844729	35
2.485608	30%	-7.75493	-35
2.485608	30%	-7.45934	-35
2.485608	30%	-7.12424	-30.3574
2.485608	30%	-6.73454	-24.2979
2.485608	30%	-6.26341	-18.2351
2.485608	30%	-5.65481	-12.1676
2.485608	30%	-4.74819	-6.09315
2.485608	30%	4.748194	6.093152
2.485608	30%	5.654812	12.16762
2.485608	30%	6.263409	18.23506
2.485608	30%	6.734538	24.29794
2.485608	30%	7.124244	30.35742
2.485608	30%	7.45934	35
2.485608	30%	7.754927	35
2.680513	40%	-7.76768	-35

2.680513	40%	-7.4624	-35
2.680513	40%	-7.11677	-30.082
2.680513	40%	-6.71548	-24.0831
2.680513	40%	-6.23132	-18.0792
2.680513	40%	-5.60763	-12.0686
2.680513	40%	-4.68254	-6.04791
2.680513	40%	4.682536	6.04791
2.680513	40%	5.607626	12.06865
2.680513	40%	6.231324	18.07917
2.680513	40%	6.715478	24.08306
2.680513	40%	7.116775	30.08204
2.680513	40%	7.462395	35
2.680513	40%	7.767676	35

Tabel 4.14 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 5%

	error	5%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-7.09761	-28.6199
2.210906	20%	-6.82119	-24.5633
2.210906	20%	-6.50811	-20.501
2.210906	20%	-6.14443	-16.4317
2.210906	20%	-5.70538	-12.3538
2.210906	20%	-5.13932	-8.26411
2.210906	20%	-4.29863	-4.15632
2.210906	20%	4.298634	4.156324
2.210906	20%	5.139323	8.264115
2.210906	20%	5.705381	12.35378
2.210906	20%	6.144427	16.43173
2.210906	20%	6.508113	20.50098
2.210906	20%	6.821189	24.56332
2.210906	20%	7.097612	28.61991
2.485608	30%	-7.01636	-28.5783
2.485608	30%	-6.74893	-24.5041
2.485608	30%	-6.44574	-20.4283

2.485608	30%	-6.09315	-16.3507
2.485608	30%	-5.66689	-12.2708
2.485608	30%	-5.11626	-8.18791
2.485608	30%	-4.29599	-4.10024
2.485608	30%	4.295985	4.100239
2.485608	30%	5.116258	8.187906
2.485608	30%	5.666893	12.27084
2.485608	30%	6.093153	16.35071
2.485608	30%	6.445745	20.42829
2.485608	30%	6.748927	24.50406
2.485608	30%	7.016362	28.57832
2.680513	40%	-7.0279	-28.6676
2.680513	40%	-6.75169	-24.5846
2.680513	40%	-6.43899	-20.4993
2.680513	40%	-6.07591	-16.4113
2.680513	40%	-5.63786	-12.32
2.680513	40%	-5.07357	-8.22412
2.680513	40%	-4.23658	-4.12132
2.680513	40%	4.23658	4.121318
2.680513	40%	5.073566	8.224117
2.680513	40%	5.637865	12.31996
2.680513	40%	6.075908	16.41128
2.680513	40%	6.438986	20.49926
2.680513	40%	6.751691	24.58456
2.680513	40%	7.027897	28.66764

Tabel 4.15 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 10%

	error	10%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-6.72405	-23.2445
2.210906	20%	-6.46218	-19.9498
2.210906	20%	-6.16558	-16.6505
2.210906	20%	-5.82104	-13.3455
2.210906	20%	-5.4051	-10.0335

2.210906	20%	-4.86883	-6.71194
2.210906	20%	-4.07239	-3.37568
2.210906	20%	4.07239	3.375679
2.210906	20%	4.868832	6.711941
2.210906	20%	5.405098	10.03349
2.210906	20%	5.821036	13.34551
2.210906	20%	6.165581	16.65047
2.210906	20%	6.462179	19.94981
2.210906	20%	6.724054	23.24449
2.485608	30%	-6.64708	-23.0728
2.485608	30%	-6.39372	-19.7835
2.485608	30%	-6.1065	-16.4929
2.485608	30%	-5.77246	-13.2008
2.485608	30%	-5.36864	-9.90692
2.485608	30%	-4.84698	-6.61054
2.485608	30%	-4.06988	-3.31035
2.485608	30%	4.069881	3.310346
2.485608	30%	4.846981	6.610541
2.485608	30%	5.368636	9.906917
2.485608	30%	5.772461	13.20081
2.485608	30%	6.106495	16.49287
2.485608	30%	6.39372	19.78346
2.485608	30%	6.64708	23.07283
2.680513	40%	-6.65801	-23.3028
2.680513	40%	-6.39634	-19.9838
2.680513	40%	-6.10009	-16.663
2.680513	40%	-5.75612	-13.3401
2.680513	40%	-5.34114	-10.0144
2.680513	40%	-4.80654	-6.68506
2.680513	40%	-4.0136	-3.35005
2.680513	40%	4.013602	3.350054
2.680513	40%	4.806536	6.685056
2.680513	40%	5.341135	10.0144
2.680513	40%	5.756124	13.34007
2.680513	40%	6.100092	16.66302
2.680513	40%	6.396339	19.9838
2.680513	40%	6.658008	23.30278

Tabel 4.16 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 15%

	error	15%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-6.3505	-18.6555
2.210906	20%	-6.10317	-16.0112
2.210906	20%	-5.82305	-13.3633
2.210906	20%	-5.49764	-10.7108
2.210906	20%	-5.10481	-8.05264
2.210906	20%	-4.59834	-5.38684
2.210906	20%	-3.84615	-2.70924
2.210906	20%	3.846146	2.70924
2.210906	20%	4.598342	5.386844
2.210906	20%	5.104815	8.052637
2.210906	20%	5.497645	10.71079
2.210906	20%	5.823048	13.36327
2.210906	20%	6.103169	16.01124
2.210906	20%	6.350495	18.65548
2.485608	30%	-6.2778	-18.4014
2.485608	30%	-6.03851	-15.778
2.485608	30%	-5.76725	-13.1537
2.485608	30%	-5.45177	-10.5281
2.485608	30%	-5.07038	-7.90113
2.485608	30%	-4.5777	-5.27215
2.485608	30%	-3.84378	-2.64012
2.485608	30%	3.843776	2.640122
2.485608	30%	4.577705	5.27215
2.485608	30%	5.070378	7.901131
2.485608	30%	5.451769	10.52814
2.485608	30%	5.767246	13.15367
2.485608	30%	6.038513	15.77804
2.485608	30%	6.277798	18.40143
2.680513	40%	-6.28812	-18.7188
2.680513	40%	-6.04099	-16.0527

2.680513	40%	-5.7612	-13.3852
2.680513	40%	-5.43634	-10.7159
2.680513	40%	-5.04441	-8.04444
2.680513	40%	-4.53951	-5.37002
2.680513	40%	-3.79062	-2.69106
2.680513	40%	3.790624	2.691057
2.680513	40%	4.539506	5.370023
2.680513	40%	5.044405	8.044443
2.680513	40%	5.436339	10.71592
2.680513	40%	5.761198	13.3852
2.680513	40%	6.040987	16.05274
2.680513	40%	6.288119	18.71883

Tabel 4.17 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 20%

	error	20%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-5.97694	-14.7741
2.210906	20%	-5.74416	-12.68
2.210906	20%	-5.48052	-10.583
2.210906	20%	-5.17425	-8.48234
2.210906	20%	-4.80453	-6.37723
2.210906	20%	-4.32785	-4.26608
2.210906	20%	-3.6199	-2.14556
2.210906	20%	3.619903	2.145565
2.210906	20%	4.327851	4.266076
2.210906	20%	4.804531	6.377232
2.210906	20%	5.174254	8.482337
2.210906	20%	5.480516	10.58295
2.210906	20%	5.744159	12.68
2.210906	20%	5.976937	14.77408
2.485608	30%	-5.90852	-14.4759
2.485608	30%	-5.68331	-12.4121
2.485608	30%	-5.428	-10.3476
2.485608	30%	-5.13108	-8.28217

2.485608	30%	-4.77212	-6.21558
2.485608	30%	-4.30843	-4.14744
2.485608	30%	-3.61767	-2.07691
2.485608	30%	3.617672	2.076906
2.485608	30%	4.308428	4.147443
2.485608	30%	4.772121	6.215584
2.485608	30%	5.131076	8.28217
2.485608	30%	5.427996	10.3476
2.485608	30%	5.683307	12.41211
2.485608	30%	5.908516	14.47586
2.680513	40%	-5.91823	-14.8382
2.680513	40%	-5.68563	-12.7248
2.680513	40%	-5.4223	-10.6103
2.680513	40%	-5.11655	-8.49438
2.680513	40%	-4.74768	-6.37673
2.680513	40%	-4.27248	-4.25675
2.680513	40%	-3.56765	-2.13317
2.680513	40%	3.567646	2.133168
2.680513	40%	4.272477	4.256752
2.680513	40%	4.747676	6.376733
2.680513	40%	5.116554	8.494378
2.680513	40%	5.422304	10.61029
2.680513	40%	5.685635	12.72481
2.680513	40%	5.918229	14.83819

Tabel 4.18 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 25%

	error	25%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-5.60338	-11.5254
2.210906	20%	-5.38515	-9.89175
2.210906	20%	-5.13798	-8.25583
2.210906	20%	-4.85086	-6.61713
2.210906	20%	-4.50425	-4.97492
2.210906	20%	-4.05736	-3.32799

2.210906	20%	-3.39366	-1.67377
2.210906	20%	3.393659	1.673769
2.210906	20%	4.05736	3.327993
2.210906	20%	4.504248	4.97492
2.210906	20%	4.850863	6.617126
2.210906	20%	5.137984	8.25583
2.210906	20%	5.385149	9.89175
2.210906	20%	5.603378	11.52536
2.485608	30%	-5.53923	-11.2127
2.485608	30%	-5.3281	-9.61415
2.485608	30%	-5.08875	-8.01502
2.485608	30%	-4.81038	-6.41519
2.485608	30%	-4.47386	-4.81445
2.485608	30%	-4.03915	-3.21252
2.485608	30%	-3.39157	-1.60873
2.485608	30%	3.391567	1.608725
2.485608	30%	4.039151	3.212518
2.485608	30%	4.473863	4.814454
2.485608	30%	4.810384	6.415186
2.485608	30%	5.088746	8.015023
2.485608	30%	5.3281	9.614147
2.485608	30%	5.539233	11.21268
2.680513	40%	-5.54834	-11.587
2.680513	40%	-5.33028	-9.93665
2.680513	40%	-5.08341	-8.28544
2.680513	40%	-4.79677	-6.63315
2.680513	40%	-4.45095	-4.97951
2.680513	40%	-4.00545	-3.32404
2.680513	40%	-3.34467	-1.66576
2.680513	40%	3.344668	1.665764
2.680513	40%	4.005447	3.324043
2.680513	40%	4.450946	4.979509
2.680513	40%	4.79677	6.633151
2.680513	40%	5.08341	8.285438
2.680513	40%	5.330282	9.936645
2.680513	40%	5.54834	11.58696

Tabel 4.19 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 30%

	error	30%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-5.22982	-8.83822
2.210906	20%	-5.02614	-7.58549
2.210906	20%	-4.79545	-6.33098
2.210906	20%	-4.52747	-5.07434
2.210906	20%	-4.20396	-3.81502
2.210906	20%	-3.78687	-2.55207
2.210906	20%	-3.16741	-1.28353
2.210906	20%	3.167415	1.28353
2.210906	20%	3.78687	2.552072
2.210906	20%	4.203965	3.815018
2.210906	20%	4.527472	5.074344
2.210906	20%	4.795452	6.330985
2.210906	20%	5.026139	7.58549
2.210906	20%	5.229819	8.838221
2.485608	30%	-5.16995	-8.53332
2.485608	30%	-4.97289	-7.31677
2.485608	30%	-4.7495	-6.09977
2.485608	30%	-4.48969	-4.88223
2.485608	30%	-4.17561	-3.664
2.485608	30%	-3.76987	-2.44486
2.485608	30%	-3.16546	-1.22431
2.485608	30%	3.165463	1.224307
2.485608	30%	3.769874	2.444861
2.485608	30%	4.175606	3.664001
2.485608	30%	4.489692	4.882225
2.485608	30%	4.749496	6.099768
2.485608	30%	4.972893	7.316768
2.485608	30%	5.169951	8.533318
2.680513	40%	-5.17845	-8.89497
2.680513	40%	-4.97493	-7.62807
2.680513	40%	-4.74452	-6.36049
2.680513	40%	-4.47699	-5.09208

2.680513	40%	-4.15422	-3.82262
2.680513	40%	-3.73842	-2.55177
2.680513	40%	-3.12169	-1.27876
2.680513	40%	3.121691	1.278758
2.680513	40%	3.738417	2.55177
2.680513	40%	4.154216	3.822623
2.680513	40%	4.476985	5.092075
2.680513	40%	4.744516	6.360487
2.680513	40%	4.97493	7.628071
2.680513	40%	5.178451	8.894966

Tabel 4.20 Data variasi input dan output dengan perbedaan sudut *yawing* target dan *real* 35%

	error	35%	
V (m/s)	throttle	sudut yawing	sudut rudder
2.210906	20%	-4.85626	-6.6455
2.210906	20%	-4.66713	-5.70357
2.210906	20%	-4.45292	-4.7603
2.210906	20%	-4.20408	-3.81542
2.210906	20%	-3.90368	-2.86853
2.210906	20%	-3.51638	-1.91892
2.210906	20%	-2.94117	-0.96509
2.210906	20%	2.941171	0.965093
2.210906	20%	3.516379	1.918916
2.210906	20%	3.903682	2.868532
2.210906	20%	4.204081	3.815425
2.210906	20%	4.452919	4.760299
2.210906	20%	4.667129	5.703568
2.210906	20%	4.856261	6.645503
2.485608	30%	-4.80067	-6.36406
2.485608	30%	-4.61769	-5.45677
2.485608	30%	-4.41025	-4.54914
2.485608	30%	-4.169	-3.64111
2.485608	30%	-3.87735	-2.73257
2.485608	30%	-3.5006	-1.82335

2.485608	30%	-2.93936	-0.91308
2.485608	30%	2.939358	0.913075
2.485608	30%	3.500598	1.823351
2.485608	30%	3.877348	2.732574
2.485608	30%	4.169	3.641112
2.485608	30%	4.410247	4.549143
2.485608	30%	4.617687	5.456769
2.485608	30%	4.800669	6.364058
2.680513	40%	-4.80856	-6.69586
2.680513	40%	-4.61958	-5.74218
2.680513	40%	-4.40562	-4.78798
2.680513	40%	-4.1572	-3.83316
2.680513	40%	-3.85749	-2.87755
2.680513	40%	-3.47139	-1.92089
2.680513	40%	-2.89871	-0.96261
2.680513	40%	2.898713	0.96261
2.680513	40%	3.471387	1.920894
2.680513	40%	3.857486	2.877553
2.680513	40%	4.157201	3.833158
2.680513	40%	4.405622	4.787979
2.680513	40%	4.619578	5.742177
2.680513	40%	4.808561	6.695856

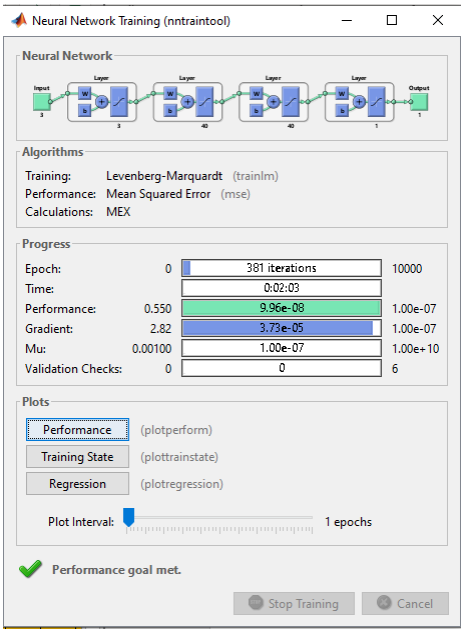
Data pada table-tabel tersebut dimasukkan ke program NN *maneuver*. Pada program *neural network*, jumlah *hidden layer* yang digunakan adalah 4 buah dengan jumlah *neuron* masing-masing :

(1) *neuron* pada *hidden layer* pertama berjumlah 3 buah, jumlah *hidden layer* pertama disesuaikan dengan jumlah parameter input yang digunakan. Berdasarkan skema kontrol *maneuver* NN, parameter input yang digunakan adalah *velocity* (kecepatan kapal), *drift angle* (sudut *yawing*) dan error.

(2) *neuron* pada *hidden layer* kedua dan ketiga berjumlah 40 buah. Jumlah *hidden layer* ini mempengaruhi cepat lambatnya proses *training* NN. Semakin banyak jumlah neuron yang digunakan, maka semakin komplek dan lambat proses *training* yang dikerjakan.

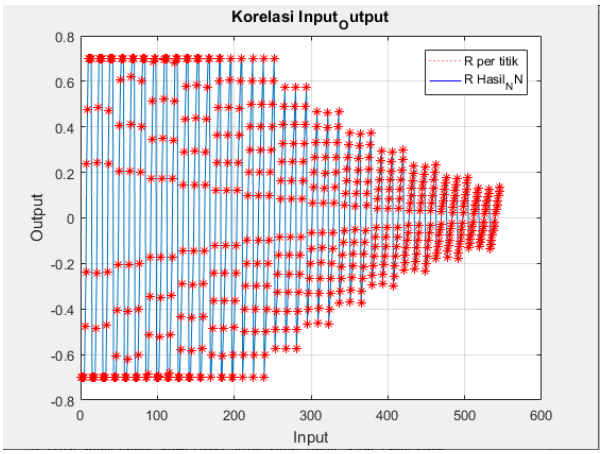
(3) neuron pada *hidden layer* keempat berjumlah 1 buah mengingat output dari skema kendali *maneuver* yang direncanakan berupa sudut *rudder*.

Dengan menggunakan skrip pemrograman *neural network* yang telah direncanakan sebelumnya, berikut adalah hasil *running* program *Neural Network* sistem kendali *maneuver* kapal Trimaran.

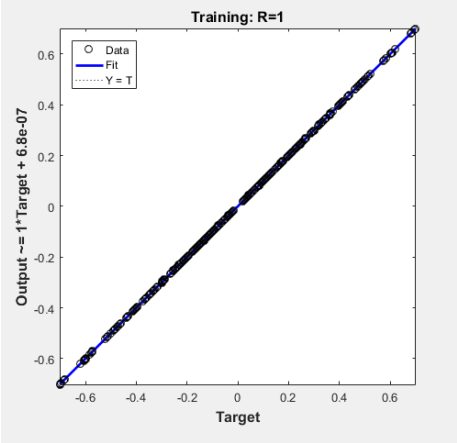


Gambar 4.17 Training NN Sistem Kendali Maneuver Trimaran dengan Rudder Berbasis NN

Dari gambar 4.17 diketahui bahwa training NN kendali *maneuver rudder* menjangkau 381 iterasi. Metode training yang digunakan adalah *Levenberg-Marquardt* dan standard *Performance* yang digunakan adalah *Mean Squared Error* (MSE). MSE adalah suatu metode yang digunakan untuk mengevaluasi metode peramalan. Besarnya kesalahan atau gap data dikuadratkan kemudian dijumlahkan dengan jumlah observasi yang dikerjakan. Keakuratan hasil *Training* NN akan semakin besar apabila nilai MSE-nya semakin kecil. Dari gambar 4.17 tersebut diketahui bahwa nilai MSE sebesar 1×10^{-7}.

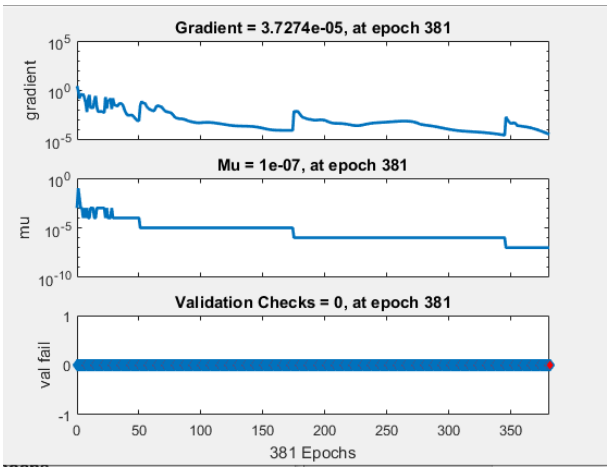


Gambar 4.18 Grafik Korelasi Input dan Output Program NN *Maneuver*



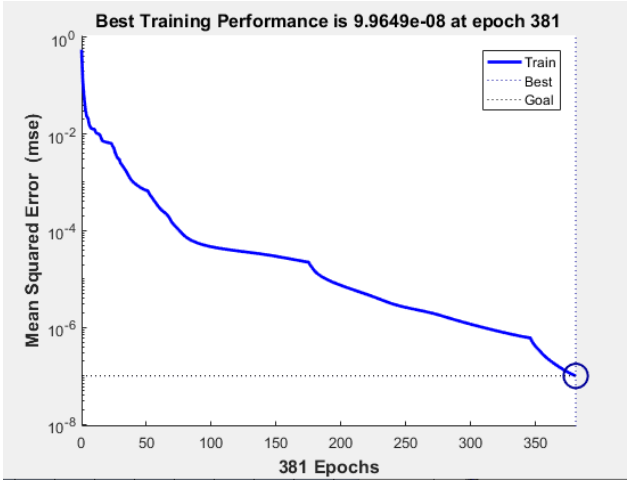
Gambar 4.19 Grafik *Reggression* Program NN *Maneuver*

Dari grafik 4.19 diatas nilai regression yang dihasilkan dari proses training NN adalah 1. Regression ini menunjukkan nilai deviasi nilai input dan output kecil. Sehingga apabila nilai regression yang diperoleh maksimal atau sebesar 1 maka program NN tersebut dapat mengeluarkan output mendekati target yang diinginkan.



Gambar 4.20 Grafik *Training State* Program NN *Maneuver*

Grafik pada gambar 4.20 diatas menunjukkan keragaman nilai *gradient* dan mu dengan jumlah iterasi. Grafik *gradient* dan mu cenderung menurun seiring bertambahnya iterasi. Nilai *gradient* target yang diperoleh sebesar 0.000037274, nilai *gradient* yang kecil ini menunjukkan bahwa proses *training* dapat berjalan dengan baik. Sedangkan nilai mu adalah nilai yang dijadikan parameter oleh metode *Levenberg-Marquardt* untuk mengontrol besarnya *weight* pada tiap *neuron*-nya saat proses pembaharuan *(backpropagation)* selama proses *training* NN berlangaung.



Gambar 4.21 Grafik *Performance* Program NN Maneuver

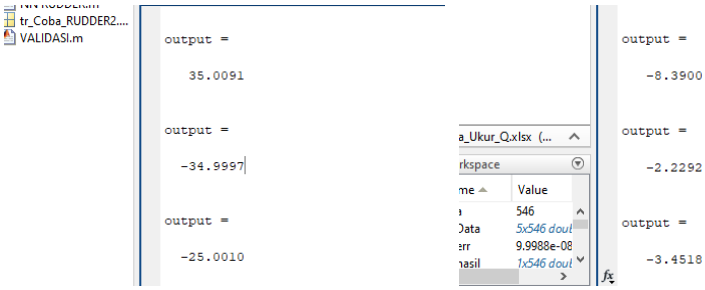
Grafik *performance* pada gambar 4.21 diatas menunjukkan hubungan antara besar MSE yang dihasilkan dengan jumlah iterasi program NN. Nilai MSE

yang tercapai pada training NN maneuver ini menjangkau 9.9649 x 10^{-8}. Semakin kecil nilai MSE yang dihasilkan maka *error* antara output target dan output NN rata-rata semakin kecil

Dapat disimpulkan dari grafik-grafik diatas, program NN *maneuver rudder* yang dihasilkan baik dan memiliki nilai *error* yang kecil. Untuk membuktikannya maka perlu dilakukan validasi program NN menggunakan MATLAB.

Tabel 4.21 Validasi Program NN kendali maneuver menggunakan rudder

DATA		1	125	250	375	500	546
INPUT	% e	-25%	-15%	0%	15%	30%	35%
	V	2.2109	2.6805	2.6805	2.6805	2.6805	2.6805
	sudut yaw	-9.3389634	8.1730996	6.7778805	5.4363391	4.1542161	4.8085614
OUTPUT TARGET	sudut rudder	-35	35	25	10.715917	3.8226232	6.6958564
OUTPUT NN		-35.0109	35.0181	24.9897	10.703	3.8191	6.6855
ERROR OUTPUT		0.03114%	0.05171%	0.04120%	0.12054%	0.09217%	0.15467%



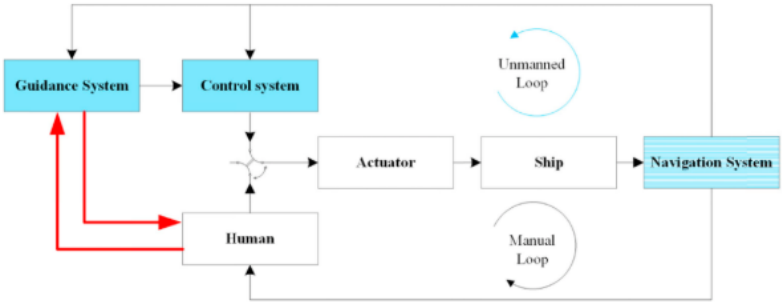
Gambar 4.22 Proses Validasi Program NN Maneuver Menggunakan Rudder.

Dari hasil validasi program NN seperti yang ditunjukkan pada table 4.21 diatas, diketahui bahwa besarnya *error* pada nilai output berada dibawah 0.16%. angka *error* tersebut dikategorikan kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil *training* program NN nya baik.

4.3.3 Sistem *Auto Collision Avoidance* (CA) Berbasis *Neural Network*.

Auto collision avoidance pada dunia pelayaran dibutuhkan untuk menghindari adanya kecelakaan terutama tubrukan yang terjadi pada kapal. Untuk merancang sistem *collision avoidance* diperlukan sebuah prediksi pergerakan relatif dari kapal target dan kemungkinan dari tabrakan yang terjadi.

Mengingat Neural Network dapat bekerja lebih fleksibel dan adaptif, program NN ini dapat digunakan untuk merancang sistem *Auto Collision Avoidance.* Data yang diperlukan untuk program NN ini bisa diperoleh dari *maneuver turning circle test* dan juga AIS, Radar atau peralatan navigasi lainnya. Yuang (2020) membuat suatu sistem control loop untuk CAS *(Collision Avoidance System)* yang tertera pada jurnal ilmiah "*A Ship Collision Avoidance System for Human-machine Cooperation during Collision Avoidance"*. Berikut adalah contoh sistem HMI Cas (*Human-Machine Interactions Collision Avoidance System*) yang diusulkan oleh Yuang (2020).



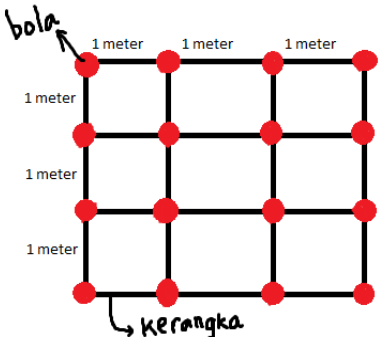
Gambar 4.23 representasi sistem *loop* pada sistem HMI-CAs (Yamin, 2020)

Sebelumnya, para peneliti melakukan perancangan sistem *collision avoidance*, adapun parameter input yang digunakan adalah kecepatan kapal utama, kecepatan kapal target, *distance to closest point of approach* (DCPA) dan *time to closest point of approach* (TCPA), OZT dan sebagainya.

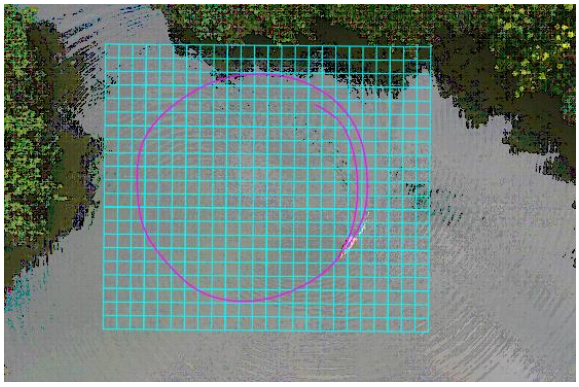
4.3.4 Pengambilan data Menggunakan Lintasan dan Drone

Pengambilan data menggunakan lintasan berbentuk persegi yang terbuat dari pipa-pipa pvc yang saling dirangkai dan pada ujungnya dikaitkan dengan bola plastik, kemudian lintasan tersebut dibenamkan ditengah perairan danau tempat uji coba turning circle test dilakukan. Pembuatan lintasan ini bertujuan sebagai dasaran *scaling* saat *tracking maenuver* dilakukan. Sedangkan perekaman

tracking maneuver kapal trimarannya menggunakan *drone* yang diterbangkan tepat diatas area test. Metode ini dapat dikatakan sebagai temuan terbaru dikarenakan proses *tracking maneuver* sebelumnya menggunakan GPS maupun harus dilakukan di lab hidrodinamika.



Gambar 4.24 Ilustrasi Rangka Lintasan



Gambar 4.25 Contoh *Tracking Turning Circle Test Maneuver* Trimaran

BAB 5
PENUTUP

5.1 Gambaran Umum Penelitian

Kapal Trimaran adalah kapal dengan tiga lambung yang terdiri dari satu *mainhull* dan dua buah *outrigger hull*. Dibandingkan dengan kapal jenis *monohull*, kapal trimaran ini memiliki kemampuan *maneuver* yang lebih sulit dibandingkan degan jenis kapal *monohull* lainnya. Terdapat dua skenario *maneuver* kapal trimaran pada penelitian ini, yang pertama, dengan menggunakan prinsip perbedaan kecepatan motor BLDC kanan dan kiri, dan yang kedua menggunakan *rudder* sebagai komponen utama *maneuver* trimaran. Selain itu, Sistem kendali *maneuver* Trimaran yang digunakan pada penelitian ini berbasisi *Neural Network*. Sistem *neural network* ini mengandalkan data referensi untuk membuat jaringannya. Oleh karena itu dibutuhkan pengambilan data sebelum mulai melakukan *training neural network*. Untuk memastikan program *neural network* tersebut berjalan sesuai dengan target, maka perlu dilakukan validasi terhadap program.

5.2 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sistem kontrol *maneuver* pada bab IV, dapat disimpulkan bahwa :

1) Sistem kontrol *Neural Network* dirancang menggunakan MATLAB R2016b dengan fungsi utama “newff”. Fungsi newff merupakan sebuah algoritma yang biasa digunakan untuk menciptakan jaringan “*feed-forward backpropagation*”. *Backpropagation* dapat mengubah nilai *weight* pada *neuron* agar hasil dari *training* mendekati nilai yang ditargetkan. Jumlah *hidden layer* yang digunakan pada program NN adalah 4 buah dengan masing-masing jumlah *neuron*-nya 2-40-40-2 (Program NN *Maneuver* BLDC) dan fungsi transfernya masing-masing menggunakan “tansig-tansig-tansig-tansig”. Nilai *Mean Squared Error* yang ditargetkan sebesar 10^{-7}.
2) *Neural Network* memiliki sifat adaptif tehadap data yang dikelola, sehingga sangat sesuai jika dipilih sebagai pemrograman kendali *maneuver* dan Hasil output keluaran program NN memiliki nilai yang mendekati nilai output targetnya, hal tersebut dapat dicari melalui validasi program NN dengan mencari nilai *error* antara output target dan output NN. Sampel error pada validasi program NN sebesar 0,0009% ; 0,0029% ; 0.0075% ; 0.2717% ; 0.0003% ; 0.0181%.
3) Prinsip perbedaan putaran (RPM) pada *propeller* sisi *starboard* dan *portside* belum memenuhi *standard turning circle* IMO ITTC 2002 pada poin nilai *tactical diameter*-nya. Sehingga belum sesuai dijadikan sebagai parameter kendali *maneuver* kapal trimaran. Hal ini kemungkinan disebabkan karena Design sistem *maneuver* menggunakan perbedaan *thrust* belum sesuai, sehingga *maneuver* yang dihasilkan pada kapal trimaran belum tepat, tepat tidaknya *equipment maneuver*

bergantung pada spesifikasi motor yang digunakan. Lalu, saat uji coba lapangan berlangsung, semakin tinggi arus yang di set pada salah satu motor BLDC di *side hull* menyebabkan tingginya RPM pada *propeller* dan semakin tinggi pula angka kavitasi yang terjadi pada *propeller*. Kavitasi yang terjadi dapat menurunkan *trust* yang dihasilkan oleh *propeller*. Faktor lingkungan seperti kecepatan angin juga dapat menjadi penghambat dari laju kapal trimaran saat ber*maneuver*.

5.3 Saran

Perlu dilakukan pengkajian lebih mendalam terhadap *maneuverability* kapal trimaran yang menggunakan motor BLDC sebagai komponen *maneuver*-nya..

Dengan adanya penemuan baru tentang sistem kendali *maneuver* ini, diharapkan pada penelitian selanjutnya program *neural network* kendali *maneuver* ini bisa diimplementasikan secara langsung untuk mengatur pergerakan kapal trimaran saat diluncurkan.

Kedepannya, *neural network* dapat digunakan untuk merancang Sistem *auto collision avoidance* pada kapal, mengingat sistem ini masih memiliki keterkaitan dengan sistem *maneuver*. Selain itu sistem *auto collision avoidance* ini diperlukan sebagai penunjang keselamatan kapal trimaran saat berlayar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

[1] Fortin, Michel, dkk. (1996). Folding Trimaran, United States , 5.515.801.

[2] Kurt Hornik, Maxwell Stinchcombe, Halbert White, (1989), Multilayer feedforward networks are universal approximators, Neural Networks, Volume 2, Issue 5, Pages 359-366, ISSN 0893-6080, (http://dx.doi.org/10.1016/0893-6080(89)90020-8. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0893608089900208)

[3] Silva, Igor S., et al. (2018) Development of a Trimaran ASV. IFAC-PapersOnLine, 51.29: 8-13

[4] Dubrovsky, Victor; Lyakhovitsky, Anatoly. (2001). Multi-hull ships. Backbone Publishing. USA.

[5] Kim, Sang-Hoon (2017). Electric motor control: DC, AC, and BLDC motors. Elsevier. (http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-812138-2.00001-5)

[6] Wahyudi, W., Sorikhi, S., & Setiawan, I. (2015, June). Pengendalian Motor DC Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. In Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF) (Vol. 1, No. 2).

[7] Koenhardono, E. S., Djatmiko, E. B., Soeprijanto, A., & Irawan, M. I. (2014). Neural Network-Based Engine Propeller Matching (NN-EPM) for Trimaran Patrol Ship. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 493, pp. 388-394). Trans Tech Publications Ltd.

[8] Koenhardono, E. S. (2014). Manajemen Pembangkitan Daya Pada Kapal Patroli Trimaran Dengan Sistem Propulsi Hybrid Shaft Generator Berbasis Neural Network. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

[9] Quadvlieg, F.H.H.A. and van Coevorden, P. (2003). Manoeuvring Criteria: More Than IMO A751 Requirements Alone. MARIN. Netherlands

[10] Nasution, Darmeli; Harumy, T. Henny F.; Haryanto, Eko; Fachrizal, Ferry; Julham; Turnip, Arjon (2015-10). A classification method for prediction of qualitative properties of multivariate EEG-P300 signals. 2015 International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT). IEEE. doi:10.1109/icacomit.2015.7440180. ISBN 978-1-4673-7408-8

[11] Pandey, J., & Hasegawa, K. (2016). Study on turning manoeuvre of catamaran surface vessel with a combined experimental and simulation method. IFAC-PapersOnLine, 49(23), 446-451.

[12] Huang, Y., Chen, L., Negenborn, R. R., & van Gelder, P. H. A. J. M. (2020). A ship collision avoidance system for human-machine cooperation during collision avoidance. Ocean Engineering, 217, 107913.

[13] Sawada, R., Sato, K., & Majima, T. (2020). Automatic ship collision avoidance using deep reinforcement learning with LSTM in continuous action spaces. Journal of Marine Science and Technology, 1-16.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Skrip pemrograman NN sistem kendali maneuver kapal. (bldc)

```
%=====================================================%
>> >> clc;clear;close all;warning off;

% Proses membaca data latih dari excel

Data = xlsread('Data_Ukur_Q.xlsx', 'TINGGAL DI RUNNING');
%Px = Data(1:2,:);
%Tx = Data(4:5,:);
%[m,n] = size(Px);

P(1,:)=Data(1,:)/7;
P(2,:)=Data(2,:);

T(1,:)=Data(4,:)/60;
T(2,:)=Data(5,:)/60;

%==============================================================
========
%err = 1e5;            %error awal sebagai constraint
%error_max=1e-5;        %batasan error sebagai target trainning
%modmse=2e2;
%hidden layer pertama

%  nr_pd_hl1=5;
%  nr_pd_hl2=2;
% membentuk jaringan NN
   net=newff(minmax(P), [2 40 40 2], {'tansig', 'tansig', 'tansig', 'tansig'});
```

```
    %Define parameters
    net.trainParam.show = 10;
    net.trainParam.lr = 0.2;
    net.trainParam.epochs =10000;
    net.trainParam.goal = 1e-7;
    %menampilkan jumlah neuron
%    disp(['Unit Layer      =    '  num2str(nr_pd_hl1)]);
    %Train network
    netWr = train(net, P, T);
    %Simulate result
    Wr= sim(netWr,P);
    %Hitung mse
    err=mse(Wr-T) ;
%    error(la)=err; %cek
    %untuk keperluan plotting
    M=size(Wr);
    a=M(2);
    Wr1=Wr';

save tr_Coba_bldc;
plot(1:a,T,'r:',1:a,Wr,'b-');
hold on
plot(T)
hold on
plot(T,'r*')

xlabel('Input');
ylabel('Output');
title('Korelasi Input_Output')
grid;
```

```
legend('R per titik','R Hasil_NN')
 >> clc;clear;close all;warning off;
 ↑
Error: Unexpected MATLAB operator.

>> load('tr_Coba_bldc.mat')
>> load('tr_Coba_autopilot_elwas.mat')
>> clc;clear;close all;warning off;

% Proses membaca data latih dari excel

Data = xlsread('Data_Ukur_Q.xlsx', 'TINGGAL DI RUNNING');
%Px = Data(1:2,:);
%Tx = Data(4:5,:);
%[m,n] = size(Px);

P(1,:)=Data(1,:)/7;
P(2,:)=Data(2,:);

T(1,:)=Data(4,:)/60;
T(2,:)=Data(5,:)/60;

%==========================================================
========
%err = 1e5;            %error awal sebagai constraint
%error_max=1e-5;        %batasan error sebagai target trainning
%modmse=2e2;
%hidden layer pertama

%  nr_pd_hl1=5;
```

```
%  nr_pd_hl2=2;
% membentuk jaringan NN
   net=newff(minmax(P), [2 40 40 2], {'tansig', 'tansig', 'tansig', 'tansig'});
   %Define parameters
   net.trainParam.show = 10;
   net.trainParam.lr = 0.2;
   net.trainParam.epochs =10000;
   net.trainParam.goal = 1e-7;
   %menampilkan jumlah neuron
%    disp(['Unit Layer      =    '  num2str(nr_pd_hl1)]);
   %Train network
   netWr = train(net, P, T);
   %Simulate result
   Wr= sim(netWr,P);
   %Hitung mse
   err=mse(Wr-T) ;
%    error(la)=err; %cek
   %untuk keperluan plotting
   M=size(Wr);
   a=M(2);
   Wr1=Wr';

save tr_Coba_bldc;
plot(1:a,T,'r:',1:a,Wr,'b-');
hold on
plot(T)
hold on
plot(T,'r*')

xlabel('Input');
```

ylabel('Output');

title('Korelasi Input_Output')

grid;

legend('R per titik','R Hasil_NN')

%==========%

Skrip validasi programnn Sistem kendali maneuver (BLDC) kapal

```
clear;
clc;

load tr_Coba_bldc

Data = xlsread('Data_Ukur_Q.xlsx', 'TINGGAL DI RUNNING');

P(1,:)=Data(1,1)/7;
P(2,:)=Data(2,1);

hasil= sim(netWr,P);

output(1)=hasil(1)*60;
output(2)=hasil(2)*60;

output
```

Skrip pemrograman NN sistem maneuver menggunakan rudder pada trimaran. :

```
%=====================================================%
clc;clear;close all;warning off;


Data = xlsread('Data_Ukur_Q.xlsx', 'NN RUDDER 2');
%Px = Data(1:3,:);
%Tx = Data(5,:);
%[m,n] = size(Px);

P(1,:)=Data(1,:);
P(2,:)=Data(2,:)/5;
P(3,:)=Data(3,:)/5;
T(1,:)=Data(5,:)/50;


%=================================================================
======
%err = 1e5;              %error awal sebagai constraint
%error_max=1e-5;          %batasan error sebagai target trainning
%modmse=2e2;
%hidden layer pertama

%  nr_pd_hl1=5;
%  nr_pd_hl2=2;
% membentuk jaringan NN
    net=newff(minmax(P), [3 40 40 1], {'tansig', 'tansig',
'tansig', 'tansig'});
    %Define parameters
    net.trainParam.show = 10;
    net.trainParam.lr = 0.2;
    net.trainParam.epochs =10000;
    net.trainParam.goal = 1e-7;
    %menampilkan jumlah neuron
%    disp(['Unit Layer      =    '  num2str(nr_pd_hl1)]);
    %Train network
    netWr = train(net, P, T);
    %Simulate result
    Wr= sim(netWr,P);
    %Hitung mse
    err=mse(Wr-T) ;
%    error(la)=err; %cek
    %untuk keperluan plotting
    M=size(Wr);
    a=M(2);
    Wr1=Wr';

save tr_Coba_RUDDER2;
```

```
plot(1:a,T,'r:',1:a,Wr,'b-');
hold on
plot(T)
hold on
plot(T,'r*')

xlabel('Input');
ylabel('Output');
title('Korelasi Input_Output')
grid;
legend('R per titik','R Hasil_NN')
```

%==========%

Skrip validasi program NN sistem maneuver menggunakan rudder pada trimaran

```
clear;
clc;

load tr_Coba_RUDDER2

Data = xlsread('Data_Ukur_Q.xlsx', 'NN RUDDER 2');

P(1,:)=Data(1,1);
P(2,:)=Data(2,1)/5;
P(3,:)=Data(3,1)/5;

hasil= sim(netWr,P);

output(1)=hasil(1)*50;


output
```