

## SIMULASI DAN ANALISA DINAMIKA *REMOTELY OPERATED VEHICLE (ROV)*

\*Hujjatul Anam<sup>1</sup>, Joga Dharma Setiawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: anamulhuj@gmail.com

### Abstrak

*ROV (Remotely Operated Vehicle)* merupakan jenis robot bawah air yang menyerupai kapal. Robot ini dikontrol melalui pilot yang mengendalikan menggunakan *remote control*. Pada *ROV* ini menggunakan tether sebagai penghubung robot dengan perangkat yang dipermukaan laut seperti sumber energi, remote control maupun layar sensing. Penelitian ini dimulai dari tahap memodelkan bodi dari *ROV* menggunakan SolidWorks 2012 sehingga didapatkan nilai gaya berat dan gaya apung dari *ROV*. Membangun persamaan pemodelan matematika dengan MATLAB SIMULINK untuk menghasilkan gerak 3 DOF dari *ROV*. Membuat file world dalam bahasa VRML dengan menggunakan software V-Realm Builder 2.0 dan menghubungkannya dengan kondisi dinamika *ROV* pada MATLAB SIMULINK. Kemudian dilakukan simulasi dari *ROV* menggunakan toolbox sl3d yang terdapat di MATLAB 2013b dan analisa dinamika dari *ROV* dengan pemberian gaya *thruster* yang dimodelkan inputnya sebagai Signal Builder dengan dihasilkan plot posisi dan kecepatan terhadap waktu.

**Kata Kunci:** *Underwater Robot, buoyancy, virtual reality.*

### Abstract

*ROV (Remotely Operated Vehicle)* is a type of underwater robot that resembles a ship. The robot is controlled by a pilot who controls the remote control. In this *ROV* tether as a link robot using the device as a source of energy on the surface of the ocean, remote control and sensing display. This study starts from the stage of modeling the body of the *ROV* using SolidWorks 2012 to obtain the value of gravity and the buoyancy of the *ROV*. Construct equations of mathematical modeling with MATLAB SIMULINK to generate 3 DOF motion of the *ROV*. Creating a world in language VRML files using software V-Realm Builder 2.0 and connect it to the *ROV* dynamics conditions in MATLAB SIMULINK. Then simulation of the *ROV* using sl3d toolbox contained in MATLAB 2013b and dynamics analysis of the *ROV* vision of *ROV* thruster force is modeled as the input plots generated Signal Builder with position and velocity with respect to time.

**Keywords:** *Underwater Robot, buoyancy, virtual reality.*

## 1. Pendahuluan

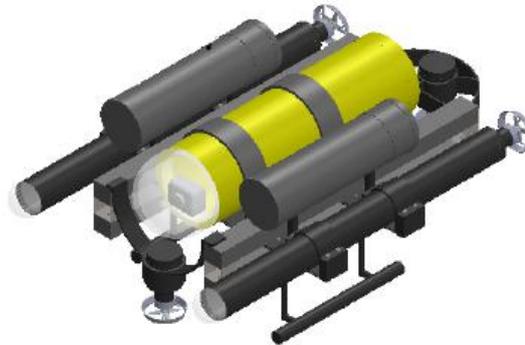
Sebagaimana kita ketahui bahwa saat ini Indonesia memiliki wilayah perairan terbesar di dunia dan dua pertiga dari wilayahnya merupakan wilayah perairan. Secara geografis Indonesia merupakan negara maritim, yang memiliki luas laut sebesar 5.8 Juta km<sup>2</sup> yang terdiri dari laut territorial dengan luas 0.8 juta km<sup>2</sup>, laut nusantara 2.3 juta km<sup>2</sup> dan zona ekonomi eksklusif 2.7 juta km<sup>2</sup>[1]. Secara umum berdasarkan sistem pengendaliannya robot bawah air dibagi menjadi dua jenis yaitu *Remoted Operated Vehicles (ROV)* dan *Autonomous Underwater Vehicle (AUV)*. *ROV* adalah kendaraan bawah air yang gerakannya dikendalikan secara langsung oleh manusia melalui *remote control* dari atas permukaan air dan biasanya beroperasi di laut dalam yang dikontrol dari kapal dengan menggunakan *tether*. Sedangkan *AUV* adalah kendaraan bawah air yang mampu bergerak di dalam air secara otomatis tanpa adanya kontrol langsung dari manusia dan dapat bergerak secara otomatis yang biasanya beroperasi di permukaan air dan dapat menyelam tetapi tidak terlalu dalam[2].

Pada penelitian ini akan dibuat suatu simulasi menggunakan toolbox sl3d pada MATLAB 2013b dan analisa dinamika dari *ROV* dengan pemodelan matematika dan perhitungan nilai parameternya, dilanjutkan dengan melakukan simulasi pemodelan dinamika pada MATLAB SIMULINK sehingga didapatkan hasil dari plot posisi dan kecepatan terhadap waktu. Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan Gambaran awal tentang bagaimana mendesain, pemodelan matematika dan simulasi tentang *ROV underwater robot* di Universitas Diponegoro sehingga untuk kedepannya dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membuat *ROV underwater robot*.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

### 2.1 ROV

Dalam perancangan pembuatan desain ROV harus memperhatikan bagian-bagian yang harus dimiliki oleh ROV. ROV sendiri sama halnya dengan jenis robot lain. Terdapat beberapa bagian utama yang harus ada jika ingin membangun ROV. Pada Gambar 1 merupakan Gambaran umum tentang bagian desain ROV sebagai syarat dari pembuatan desain yang terdiri dari *frame*, *thruster*, *control system/ box*, *camera*.



Gambar 1. Desain ROV

### 2.2 Sistem Koordinat, Definisi Posisi dan Kinematika ROV

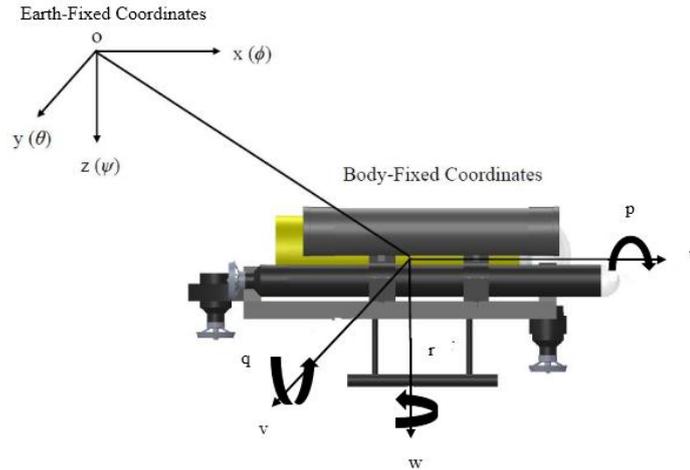
Koordinat merupakan hal yang diperlukan untuk membahas gerakan kendaraan bawah air di enam derajat kebebasan untuk menentukan posisi dan orientasi dalam tiga dimensi ruang dan waktu. Yang pertama 3 dari 6 koordinat kebebasan ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) adalah untuk menentukan posisi dan gerak translasi sepanjang  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  dan  $\phi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  adalah untuk orientasi dan gerak rotasi. Ketetapan untuk kendaraan bawah air komponen yang disebutkan di atas didefinisikan sebagai *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Posisi atau gerak translasi dan orientasi atau gerak rotasi kaku bodi (tubuh di mana posisi relatif semua titik adalah konstan) dapat dijelaskan sehubungan dengan posisi referensi. Untuk tujuan ini, beberapa set orthogonal sumbu koordinat yang dipilih dan diasumsikan kaku terhubung ke asal dari tubuh untuk membangun kerangka acuan.

Demikian pula, kekuatan dan momen yang bekerja pada kendaraan bawah air harus direferensikan ke *frame* yang sama. Dalam penelitian ini, notasi standar adalah digunakan untuk menggambarkan jumlah 6 *DOF* yang disebutkan di atas dan dirangkum dalam Tabel 1. Catatan bahwa dengan konvensi untuk kendaraan bawah air,  $x$ -arah positif diambil sebagai depan,  $y$ -arah positif diambil ke kanan,  $z$ -arah positif adalah diambil sebagai bawah, dan aturan tangan kanan berlaku untuk sudut[3].

Tabel 1. Notasi Standar Gerak Benda[3].

<i>DOF</i>	<i>Motions</i>	<i>Forces and Moments</i>	<i>Linier and Angular Velocities</i>	<i>Positions and Euler Angles</i>
1	<i>Surge</i>	X	$u$	$x$
2	<i>Sway</i>	Y	$v$	$y$
3	<i>Heave</i>	Z	$w$	$z$
4	<i>Roll</i>	K	$p$	$\phi$
5	<i>Pitch</i>	M	$q$	$\theta$
6	<i>Yaw</i>	N	$r$	$\psi$

Pada Gambar 2 merupakan penentuan kerangka acuan badan ROV dan kerangka acuan bumi yang akan digunakan sebagai standar dalam penentuan gerak benda sebagaimana pada Tabel 1.



Gambar 2. Kerangka acuan badan ROV dan kerangka acuan bumi.

### 2.3 Pemodelan Kinematika ROV

Kinematika adalah bagian dari dinamika yang mempelajari gerakan suatu benda tanpa memperhatikan gaya-gaya yang menyebabkan gerakan benda. Deskripsi kinematika dari ROV didasarkan pada dua macam kerangka acuan, yaitu kerangka acuan badan ROV dan kerangka acuan bumi. Untuk menentukan kerangka inersia digunakan kerangka acuan bumi dengan mengasumsikan bahwa bumi adalah datar dan pergerakannya diabaikan[4]. Untuk benda yang bergerak dalam tiga dimensi, variabel-variabel yang digunakan untuk menggambarkan model kinematikanya adalah sebagai berikut:

$$\eta_1 = [x \ y \ z]^T \quad (1)$$

$$\eta_2 = [\phi \ \theta \ \psi]^T \quad (2)$$

$$v_1 = [u \ v \ w]^T \quad (3)$$

$$v_2 = [p \ q \ r]^T \quad (4)$$

$$\tau_1 = [X \ Y \ Z]^T \quad (5)$$

$$\tau_2 = [K \ M \ N]^T \quad (6)$$

vektor  $\eta$  merupakan koordinat posisi dan orientasi pada ROV dalam kerangka acuan bumi, sedangkan vektor  $v$  merupakan vektor kecepatan dan  $\tau$  berdasarkan acuan badan ROV yang menunjukkan vektor gaya dan moment yang bekerja pada ROV.

Untuk mendapatkan persamaan kinematika dari ROV, dibutuhkan formula untuk merubah variabel di atas dari acuan ROV ke acuan bumi, matriks transformasinya biasa dituliskan seperti dibawah ini[4]:

$$\dot{\eta}_1 = J_1(\eta_2)v_2 \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = J_1(\eta_2) \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$J_1(\eta_2) = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & -\sin \psi \cos \theta + \cos \psi \sin \theta \sin \phi & \sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi \\ \sin \psi \cos \theta & \cos \psi \cos \theta + \sin \psi \sin \theta \sin \phi & -\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$(J_1(\eta_2))^{-1} = (J_1(\eta_2))^T \quad (10)$$

$$\dot{x} = u \cos \psi \cos \theta + v(-\sin \psi \cos \phi + \cos \psi \sin \theta \sin \phi) + w(\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \quad (11)$$

$$\dot{y} = u \sin \psi \cos \theta + v(\cos \psi \cos \phi + \sin \psi \sin \theta \sin \phi) + w(-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \quad (12)$$

$$\dot{z} = u(-\sin \theta) + v(\cos \theta \sin \phi) + w(\cos \theta \cos \phi) \quad (13)$$

Transformasi kecepatan rotasi koordinat yang kedua berkaitan antara koordinat body-fixed and earth-fixed:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = J_2(\eta_2) \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$J_2(\eta_2) = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi / \cos \theta & \cos \phi / \cos \theta \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\dot{\phi} = p + q(\sin \phi \tan \theta) + r(\cos \phi \tan \theta) \quad (16)$$

$$\dot{\theta} = q \cos \phi - r \sin \phi \quad (17)$$

$$\dot{\psi} = q \sin \phi / \cos \theta + r \cos \phi / \cos \theta \quad (18)$$

## 2.4 Pemodelan Dinamika ROV

Berdasarkan Hukum dasar Newton kedua, kita bisa memperoleh persamaan dari gerak untuk ROV dengan asumsi rigid body yang diturunkan dari persamaan dinamik yang secara umum adalah  $F = ma$ , dimana  $F$  adalah gaya eksternal yang bekerja pada pusat massa dari benda dengan satuan (N), sedangkan  $ma$  adalah massa (kg) dan percepatan ( $m/s^2$ ). Gaya eksternal terdiri dari gaya *radiation-induced*, *enviromental* dan *propulsive*. Gaya radiational-induced terdiri dari gaya *damping* hidrodinamik, gaya restorsi.

Walaupun turunan dari persamaan dinamik langsung didapatkan dari berbagai sumber referensi, pada bagian ini akan diringkas untuk mendapatkan data dan referensi yang lengkap mengenai model persamaan dinamika gerak dari ROV[5].

Persamaan gaya aksial (*surge*):

$$\sum X_{ext} = m \left\{ \frac{du}{dt} + qw - rv + \frac{dq}{dt} z_G - \frac{dr}{dt} y_G + (px_G + qy_G + rz_G)p - (p^2 + q^2 + r^2)x_G \right\} \quad (19)$$

$$\sum X_{ext} = m \{ \dot{u} + wq - vr - x_G(q^2 + r^2) + z_G(pr + \dot{q}) \} \quad (20)$$

Persamaan gaya lateral (*sway*):

$$\sum Y_{ext} = m \{ \dot{v} - wp + ur + x_G(pq + \dot{r}) + z_G(qr - \dot{p}) \} \quad (21)$$

Persamaan gaya normal (*heave*):

$$\sum Z_{ext} = m \{ \dot{w} - uq + vp + x_G(pr - \dot{q}) - z_G(q^2 + p^2) \} \quad (22)$$

Persamaan momen rotasi rolling:

$$\sum K_{ext} = I_{xx} \dot{p} - I_{xy} + (I_{zz} - I_{yy})qr - m[z_G(\dot{v} + ur - wp)] \quad (23)$$

Persamaan momen rotasi *pitching*:

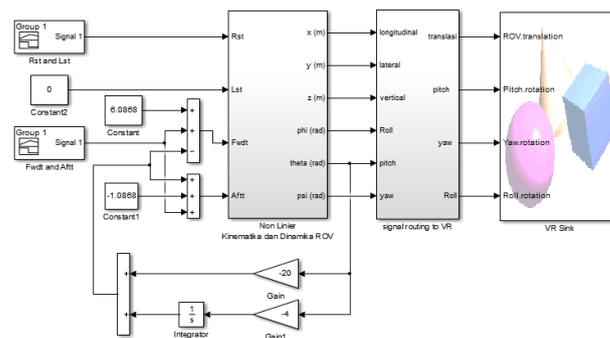
$$\sum M_{ext} = I_{yy} \dot{q} + (I_{xx} - I_{zz})pr + m[z_G(\dot{u} + wq - vr) - x_G(\dot{w} + vp - uq)] \quad (24)$$

Persamaan momen rotasi *pitching*:

$$\sum N_{ext} = I_{zz} \dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq + m[z_G(\dot{v} + ur - wp)] \quad (25)$$

## 2.5 Pemodelan Sistem Dinamika ROV dengan MATLAB SIMULINK

Dalam penelitian ini, sistem dinamika ROV dimodelkan dengan menggunakan MATLAB 2013b/ SIMULINK dengan pemodelan matematika di dalamnya yang dihubungkan dengan program toolbox sl3d yang ada di MATLAB 2013/ SIMULINK yang nantinya akan ditampilkan dalam bentuk 3 dimensi dalam virtual reality. Seluruh pemodelan dinamika ROV dibangun dari interkoneksi blok yang mewakili perhitungan matematis dari ROV. Gambar 3 memperlihatkan model dinamika ROV secara keseluruhan. Dinamika ROV menampilkan kondisi fisis ROV yang menghasilkan state berupa posisi, kecepatan, dan akselerasi baik berupa linier maupun angular. Representasi dari ROV dapat dilihat secara 3 dimensi melalui visualisasi virtual reality.



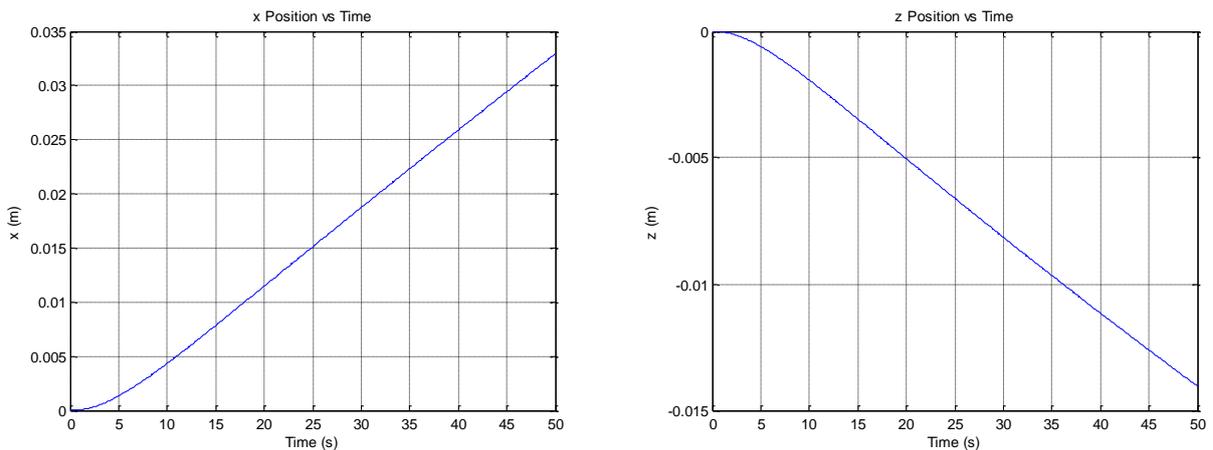
Gambar 3. Model MATLAB SIMULINK ROV

### 3. Hasil dan Pembahasan

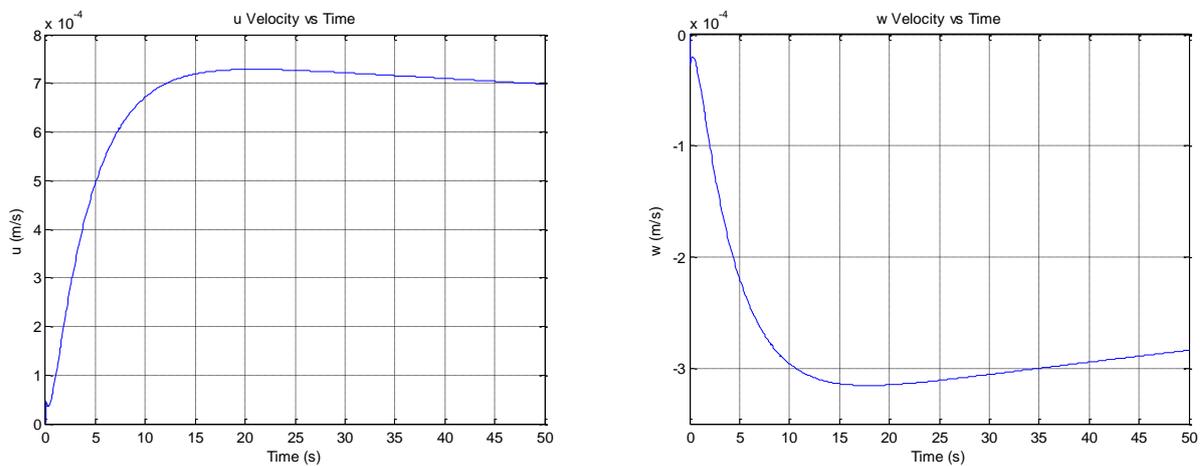
Berdasarkan tujuan, bahwa simulasi yang akan dilakukan yaitu kondisi diam, gerak *surge* dan *heave*. Untuk selanjutnya hasil simulasi akan dihasilkan plot berupa posisi, kecepatan, dan besar gaya yang menyebabkan ROV mengalami gerak untuk dapat dilakukan simulasi. Dalam simulasi ini untuk dilakukan validasi yaitu analisa kestabilan simulasi dengan menggunakan model liniarisasi dari persamaan pemodelan non linier menjadi linier dengan bantuan MATLAB Simulink.

#### 3.1 Hasil Simulasi ROV dengan Kondisi Diam

Hasil simulasi dari kondisi diam ROV terdapat empat pengaruh yaitu posisi, orientasi, kecepatan linier dan kecepatan angular. Pengaruh posisi simulasi yaitu pada sumbu-x dan z, yang dapat dilihat pada Gambar 4. Pada simulasi ROV kondisi diam terjadi perpindahan masing-masing 0.033 m dan -0.014 m. Pengaruh kecepatan linier pada sumbu-x dan z, yang dapat dilihat pada Gambar 5, dimana hasil simulasi kecepatan maksimum masing-masing adalah  $7.3 \times 10^{-4}$  m/s dan  $-3.2 \times 10^{-4}$  m/s.



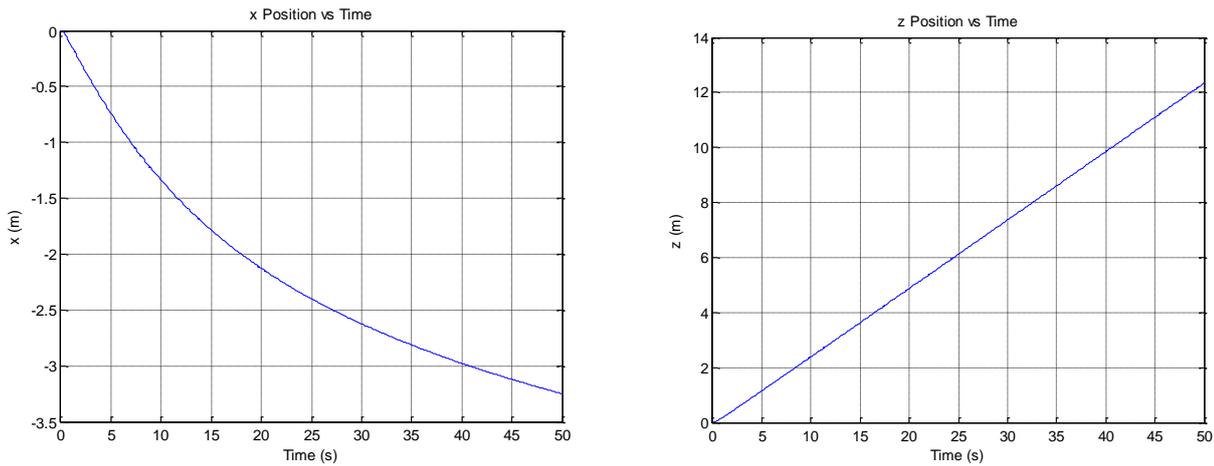
Gambar 4. Plot kondisi diam untuk posisi terhadap waktu.



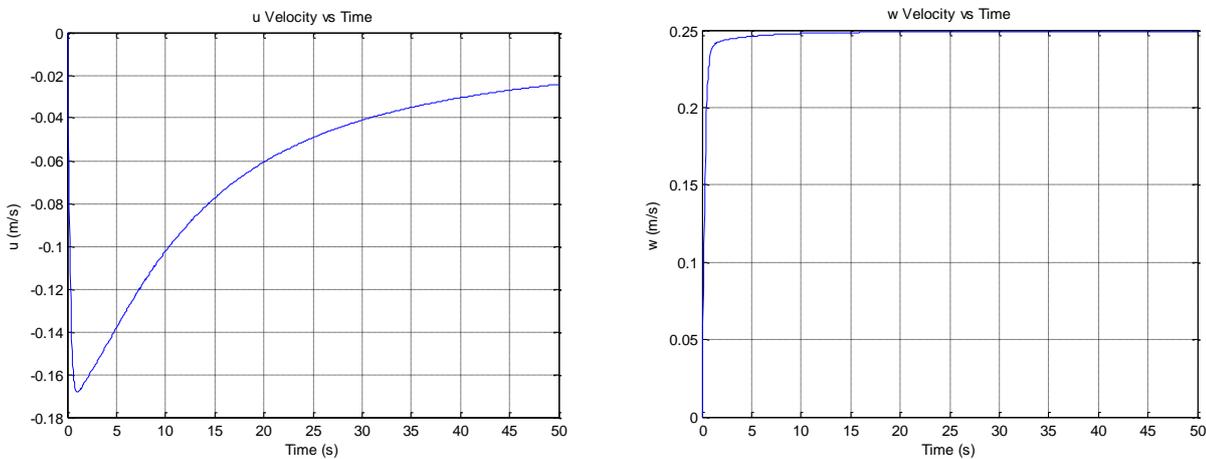
Gambar 5. Plot kondisi diam untuk kecepatan linier terhadap waktu.

#### 3.2 Simulasi Dinamika Gerak Heave

Hasil simulasi dari gerak *heave* ROV terdapat empat pengaruh yaitu posisi, orientasi, kecepatan linier dan kecepatan angular. Pengaruh posisi simulasi yaitu pada sumbu-x dan z, yang dapat dilihat pada Gambar 6. Pada simulasi ROV gerak *heave* terjadi perpindahan masing-masing -3.3 m dan 12.5 m. Pengaruh kecepatan linier pada sumbu-x dan z, yang dapat dilihat pada Gambar 7, dimana hasil simulasi kecepatan maksimum masing-masing adalah -0.16 m/s dan 0.25 m/s. Kecepatan pada sumbu-x konstan yaitu 0.25 m/s.



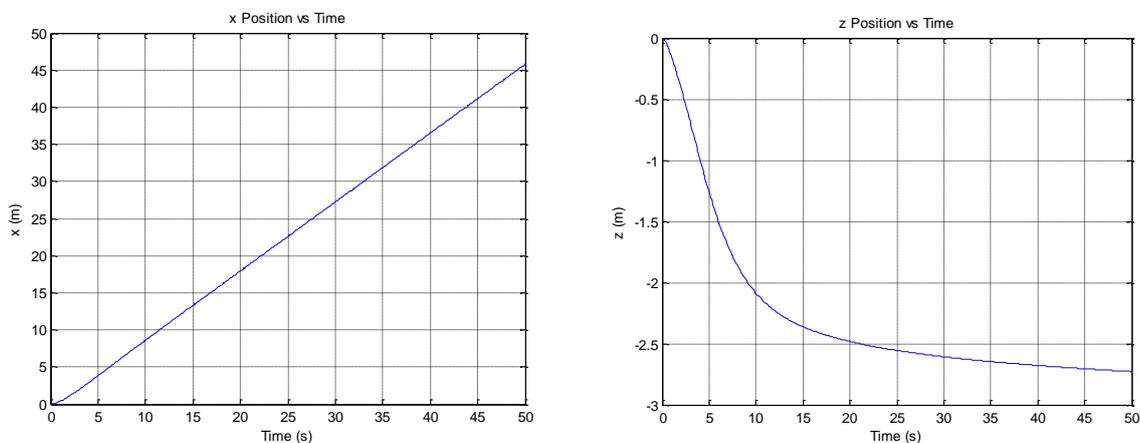
Gambar 6. Plot *heave* untuk posisi terhadap waktu.



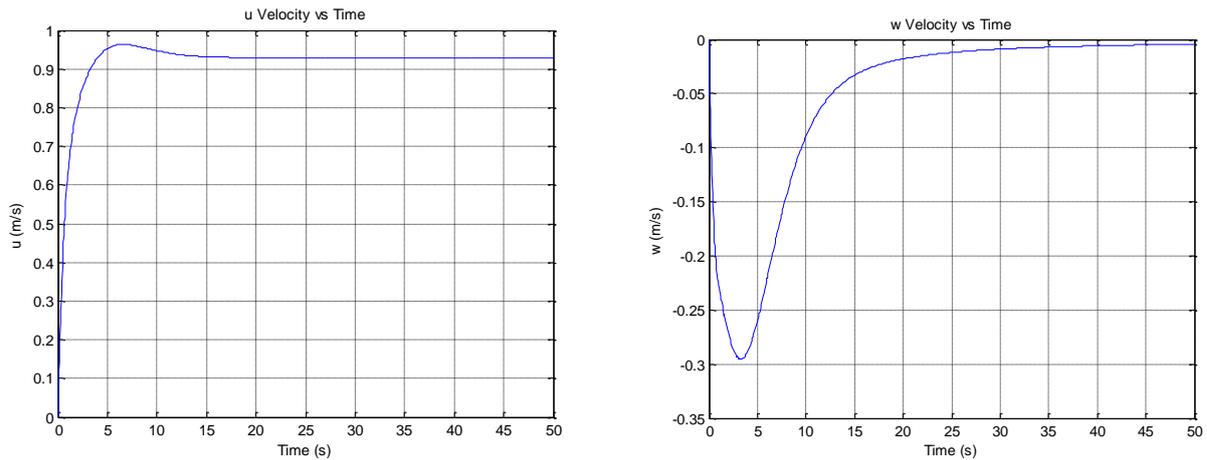
Gambar 7. Plot *heave* untuk kecepatan linier terhadap waktu.

### 3.3 Simulasi Dinamika Gerak Surge

Hasil simulasi dari gerak *surge ROV* terdapat empat pengaruh yaitu posisi, orientasi, kecepatan linier dan kecepatan angular. Pengaruh posisi simulasi yaitu pada sumbu-x dan z, yang dapat dilihat pada Gambar 8 simulasi *ROV* gerak *surge* terjadi perpindahan masing-masing pada sumbu-x dan sumbu-z adalah 47 m dan -2.8 m. Pengaruh kecepatan linier pada sumbu-x dan z, yang dapat dilihat pada Gambar 9, dimana hasil simulasi kecepatan maksimum masing-masing adalah 0.95 m/s dan -0.29 m/s. Pada kecepatan linier sumbu-x konstan yaitu 0.92 m/s.



Gambar 8. Plot *surge* untuk posisi terhadap waktu.



Gambar 9. Plot *surge* untuk kecepatan linier terhadap waktu arah sumbu-x.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa desain terhadap gaya berat dan gaya apung (*buoyancy*) ROV menggunakan SolidWorks 2012 maka desain yang telah dibuat mengapung di air dimana gaya berat lebih kecil dibandingkan gaya keatas (*buoyancy*). Pemodelan Matematika yang dibangun dan dianalisa dengan MATLAB 2013b/ Simulink dengan pengecekan terhadap blok diagram pada saat running simulation berhasil karena tidak ada *error* yang terjadi dan perhitungan parameter simulasi seperti massa tambahan dan *damping hydrodynamic* telah dilakukan dan didapatkan nilai parameternya. Simulasi dilakukan dengan kondisi diam, gerak *heave* dan *surge* dengan pengecekan sistem linearisasi membuktikan bahwa model yang dibuat belum stabil, maka dikontrol dengan PID untuk menstabilkan model dengan dihasilkan plot hasil simulasi pada kondisi:

- Hasil simulasi dari kondisi diam ROV telah dilakukan selang waktu 50 s, Nilai perpindahan translasi yang kecil  $x < 0.033$  m,  $z < -0.014$ . Variasi kecepatan translasi yang kecil yaitu  $u < 7.3 \times 10^{-4}$  m/s,  $w < -3.2 \times 10^{-4}$  m/s.
- dari gerak *heave* ROV. Nilai perpindahan (translasi dan rotasi)  $x = -3.3$  m,  $z = 12.5$  m. Variasi kecepatan (translasi dan rotasi) yaitu  $u = -0.16$  m/s,  $w = 0.25$  m/s.
- Hasil simulasi dari kondisi *Surge* ROV. Nilai perpindahan (translasi dan rotasi) yaitu  $x = 47$  m,  $z = -2.8$  m. Variasi kecepatan (translasi dan rotasi) yaitu  $u = 0.95$  m/s,  $w = -0.29$  m/s.

#### 5. Referensi

- [1] Alim, A.S., 2008, Evaluasi Kebijakan Dalam Rangka Implementasi Konvensi Hukum Laut International (UNCLOS 1982) di Indonesia, Departemen Kelautan dan Perikanan Sekretariat Jenderal Satuan Kerja Dewan Kelautan Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- [2] Chandra, Y., Purnomo, D.K., Suryawati N, E., 2011, Rancang Bangun Sistem *Ballast* Pada ROV (*Remotely Underwater Vehicle*), Jurusan Teknik Mekatronika-Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- [3] Fossen, T.I., 1994, Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley and Sons.
- [4] Geridonmez, F., 2007, Simulation Of Motion Of An Underwater Vehicle, Master Thesis, Aerospace Engineering Department, Middle East Technical University.
- [5] Chuan, T.S., 1999, Modeling and Simulation of the Autonomous Underwater Vehicle, Autolytus, Master Thesis, Department of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology, USA.