



# JURNAL IPTEK

## MEDIA KOMUNIKASI TEKNOLOGI

homepage URL : [ejurnal.itats.ac.id/index.php/iptek](http://ejurnal.itats.ac.id/index.php/iptek)



### Pengendalian Gerakan *Diving* pada *Unmanned Underwater Vehicle* (UUV) Menggunakan *Adaptive Nonlinier Model Predictive Control* (ANMPC)

Yuliyanto Agung Prabowo<sup>1</sup>

Teknik Elektro, FTI, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya<sup>1</sup>

#### INFORMASI ARTIKEL

Jurnal IPTEK – Volume 22  
Nomer 2, Desember 2018

Halaman:  
19 – 26  
Tanggal Terbit :  
20 Desember 2018

DOI:  
[10.31284/j.iptek.2018.v22i2.262](https://doi.org/10.31284/j.iptek.2018.v22i2.262)

#### EMAIL

[agungp@itats.ac.id](mailto:agungp@itats.ac.id)<sup>1</sup>

#### PENERBIT

LPPM- Institut Teknologi  
Adhi Tama Surabaya  
Alamat:  
Jl. Arief Rachman Hakim  
No.100,Surabaya 60117,  
Telp/Fax: 031-5997244

*Jurnal IPTEK by LPPM-  
ITATS is licensed under a  
Creative Commons  
Attribution-ShareAlike 4.0  
International License.*

#### ABSTRACT

*UUV is a thing have usefulness for under water survey mission. One of the objects control are when carrying out diving maneuvers. The situation in the water has a very extreme conditions, thus requiring control strategies that can be overcome. The use of linear controllers can not overcome with the nonlinear nature of the plant and the parameter is changed. Strategy using ANMPC is used in this research in order to resolve the issue. Mechanisms of adaptation is performed by linearization based on point work is going on, so that the updated models will be obtained during the sampling time. Results showed that in the condition of the system is given by external interference using ANMPC having an average tracking error 0.51 meter, while using Linear MPC had an average tracking error 1 meter.*

**Keywords:** Adaptive; MPC; Nonlinear; UUV.

#### ABSTRAK

UUV merupakan wahana kendaraan yang sangat bermanfaat untuk misi survei di bawah air. Salah satu objek pengendalian yang penting diantaranya yaitu depth control pada saat melaksanakan manuver diving. Situasi di dalam air mempunyai kondisi yang sangat ekstrim, sehingga memerlukan strategi pengendalian yang yang dapat mengatasinya. Penggunaan kontroler linier tidak dapat mengatasi sifat nonlinear dari plant dan parameter yang cenderung berubah. Strategi menggunakan metode ANMPC digunakan dalam penelitian ini agar dapat mengatasi masalah tersebut. Mekanisme adaptasi dilakukan dengan linearisasi berdasarkan titik kerja yang sedang terjadi, sehingga akan diperoleh update model selama waktu sampling. Hasil menunjukkan, bahwa dalam kondisi sistem diberikan dengan gangguan eksternal menggunakan ANMPC mempunyai rata-rata error tracking 0.51 meter, sedangkan menggunakan Linier MPC mempunyai rata-rata error tracking 1 meter.

**Kata kunci:** Adaptif; MPC; Nonlinier; UUV.

#### PENDAHULUAN

Penelitian mengenai UUV (*Unmanned Underwater Vehicle*) sudah beberapa kali menjadi objek kajian di beberapa institusi baik dalam maupun luar negeri yang telah diterbitkan dalam berbagai publikasi ilmiah. Perkembangan tersebut terjadi saat penggunaan UUV sudah sangat banyak diberbagai bidang, yaitu untuk memantau kondisi bawah air, alat pemetaan kondisi bawah laut, mendeteksi sumber minyak pemeliharaan bangunan di permukaan air dan kepentingan keamanan atau militer.

Konsep awal perancangan dari UUV muncul pada tahun 1578 dengan model yang sangat sederhana. Kemudian pada tahun 1868 muncul rancangan yang lebih modern dengan berbentuk torpedo serta pendorong mandiri. Pada tahun - tahun berikutnya berkembang berbagai macam model dari UUV telah berkembang pesat dengan berbagai macam kemampuan dan fungsinya. Perkembangan kajian tentang topik ini di Indonesia dilaksanakan oleh CentrUMS-ITB (*Center for*

*Unmanned Underwater Vehicle*) di tahun 2001 dengan merancang sebuah *prototype* UUV dengan nama *Clam* (kerang) yang. Dalam *prototype* ini digunakan untuk memantau kondisi di dalam air yang telah dilengkapi dengan kamera, sensor, serta dapat dikendalikan melalui *Ground Station Control* di darat dengan mempunyai kemampuan menyelam sedalam 10 m dan kecepatan 3 knot [1].

Manuver *diving* merupakan salah satu gerakan yang dilakukan UUV dalam rangka melaksanakan beberapa misi. Dalam melakukan gerakan tersebut faktor gangguan eksternal, yaitu arus dan gelombang laut dapat mempunyai pengaruh besar dalam keberhasilan melaksanakan misi tersebut. Pada kondisi ini diperlukan strategi pengendalian yang handal agar dapat mengatasi permasalahan tersebut.

Dalam penelitian mengenai pengendalian saat melaksanakan manuver *diving* dan *surfacing*, Kashif Ishaque, S. S. Abdullah, S. M. Ayob dan Z. Salam dalam makalahnya [2] melakukan strategi pengendalian UUV pada saat *diving* dengan menggunakan *Single Input Fuzzy Logic Controller*(SIFLC). Strategi ini dilaksanakan dengan mereduksi *rule inference* yang dua *input* menjadi satu *input* dengan sebelumnya melaksanakan *linierisasi* pada persamaan *plant*. Sedangkan Bong-Hwan Jeon, Pan-Mook Lee, dkk pada penelitiannya [3] melaksanakan strategi metode pengendalian multivariabel *Linear Quadratic*(LQ) untuk manuver gerak *diving* dan *steering*. Persamaan dari *plant* sebelumnya dilakukan *linierisasi* terlebih dahulu kemudian dilakukan strategi kontrol LQ. Penelitian selanjutnya menggunakan Linear Model Predictive Control(LMPC) dengan pendekatan linier *plant* pada UUV [4]. Proses linierisasi dilakukan pada titik kerja, selanjutnya dilakukan mekanisme pengendalian secara prediksi.

Pada kenyataannya strategi pengendalian menggunakan pendekatan kontrol *linier* tidak dapat mengatasi permasalahan *stability* dikarenakan *plant* mempunyai sifat *nonlinierity*, *Multiple Input Multiple Output*(MIMO) dan *uncertainty parameter*. Kondisi tersebut mendorong untuk melaksanakan strategi pengendalian berbasis *nonlinier*. Wei Zhang, Kewei Zheng, dkk pada kajiannya [5] melakukan strategi pengendalian *attitude* sebuah *underwater vehicle* menggunakan *Nonlinier Model Predictive Control*(NMPC). Dalam pembahasannya menemukan sebuah permasalahan tentang *uncertainty parameter* dari *plant*, sehingga sistem seringkali mengalami ketidakstabilan pada kondisi diluar titik kerjanya.

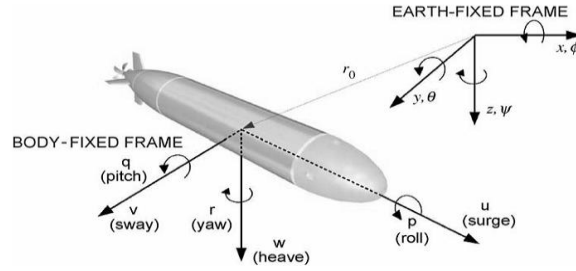
Selanjutnya, Joonyoung Kim, Kihun Kim, Hang S. Choi, dkk[6] melakukan estimasi parameter untuk mendapatkan nilai koefisien parameter *plant* pada kondisi titik kerjanya. Hasil estimasi tersebut memungkinkan dapat digunakan untuk mereduksi parameter dari kontroler. Akan tetapi, nilai parameter yang diperoleh hanya terjadi pada saat titik kerja tertentu saja, parameter tidak dapat diperoleh sepanjang titik kerja. Sehingga model linier dari *plant* hanya akan berlaku untuk titik kerja tertentu saja. Diperlukan metode untuk dapat memperoleh model linier *plant* sepanjang titik kerja agar dapat mengatasi *uncertainty parameter*.

Pada penelitian ini penulis menyusun strategi pengendalian dengan menggunakan *Adaptive Nonlinier Model Predictive Control* (ANMPC). Melalui mekanisme NMPC, maka *output* dari sistem dapat prediksi dengan memperoleh data kondisi pada saat ini. Formulasi *adaptive* diberikan untuk melaksanakan mekanisme proses linierisasi *plant* sepanjang titik kerja, sehingga memungkinkan untuk mereduksi parameter kontroler secara *online* agar dapat menjamin kestabilan sistem saat terjadi gangguan eksternal dalam melaksanakan manuver *diving*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Unmanned Underwater Vehicle* (UUV)

Pada analisis kinematika UUV dapat dilakukan dengan menentukan koordinat bidang dari kendaraan tersebut. Terdapat 2(dua) sistem koordinat yang berlaku yaitu referensi terhadap bumi(*earth-fixed reference*) dan referensi terhadap pada body(*body-fixed reference*) [7] sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Secara umum dalam sistem koordinat ini terdapat 6 *degree of freedom*, di mana 3 merupakan translasi dan 3 lainnya merupakan rotasi pada sumbu bumi(x, y, z).



Gambar 1. Koordinat referensi bidang UUV

Berdasarkan pada hukum Newton 2 yang menyatakan bahwa jumlah total gaya yang bekerja pada suatu benda bergerak sama dengan jumlah total masa dengan percepatan yang bekerja dalam benda tersebut. Berdasarkan hukum tersebut, maka diperoleh persamaan dasar dinamika dari UUV berupa persamaan translasi (*surge, sway, heave*) dan rotasi (*roll, pitch, yaw*) berikut

$$X = m[u - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - r) + z_G(pr - q)] \quad (1)$$

$$Y = m[v - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - p) + x_G(pq + r)] \quad (2)$$

$$Z = m[w - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - q) + y_G(rp + p)] \quad (3)$$

$$K = I_{xx}p + (I_{zz} - I_{yy})qr + m[y_G(w - uq + vp) - z_G(v - wp + ur)] \quad (4)$$

$$M = I_{yy}q + (I_{xx} - I_{zz})rp + m[z_G(u - vr + wp) - x_G(w - uq + vp)] \quad (5)$$

$$N = I_{zz}r + (I_{yy} - I_{xx})pq + m[x_G(v - wp + ur) - y_G(w - vr + wp)] \quad (6)$$

Sedangkan untuk *eksternal force* dan momen yaitu

$$X = X_{HS} + X_{u|u}|u| + X_{\dot{u}}\dot{u} + X_{uv}uv + X_{uw}uw + X_{q|q}|q| + X_{vr}vr + X_{w|w}|w| + X_{wq}wq + X_{qq}qq + X_{rr}rr + X_{prop} \quad (7)$$

$$Y = Y_{HS} + Y_{v|v}|v| + Y_{\dot{v}}\dot{v} + Y_{\dot{r}}\dot{r} + Y_{ur}ur + Y_{wp}wp + Y_{pq}pq + Y_{uv}uv + Y_{uu\delta_r}u^2(\delta_{r_{top}} + \delta_{r_{bottom}}) \quad (8)$$

$$Z = Z_{HS} + Z_{w|w}|w| + Z_{\dot{w}}\dot{w} + Z_{\dot{q}}\dot{q} + Z_{uq}uq + Z_{vp}vp + Z_{rp}rp + Z_{uw}uw + Z_{uu\delta_s}u^2(\delta_{s_{right}} + \delta_{s_{left}}) \quad (9)$$

$$K = K_{HS} + K_{\dot{p}}\dot{p} + K_{uu\delta_r}(\delta_{r_{top}} + \delta_{r_{bottom}}) + K_{prop} + K_{uu\delta_s}(\delta_{s_{right}} + \delta_{s_{left}}) \quad (10)$$

$$M = M_{HS} + M_{\dot{w}}\dot{w} + M_{\dot{q}}\dot{q} + M_{uq}uq + M_{vp}vp + M_{uw}uw + M_{rp}rp + M_{uu\delta_s}u^2\delta_s \quad (11)$$

$$N = N_{HS} + N_{\dot{v}}\dot{v} + N_{\dot{r}}\dot{r} + N_{ur}ur + N_{wp}wp + N_{pq}pq + N_{uv}uv + N_{uu\delta_r}u^2\delta_r \quad (12)$$

Parameter dari UUV yang digunakan menggunakan penelitian yang diambil dari penelitian Peter Ridley, Julien Fontan dan Peter Corke [8].

### Adaptive Nonlinear Model Predictive Control (ANMPC)

Pengendalian model prediktif mempunyai mekanisme dapat memperoleh nilai yang akan datang dari variable keluaran yang diprediksi berdasarkan model dinamika dari suatu proses nilai keluaran saat ini [9]. Perhitungan aksi kontrol didasarkan pada pengukuran saat ini dan prediksi yang akan datang. Variabel yang dimanipulasi  $u(k)$  pada sampling ke- $k$  dihitung sedemikian rupa, sehingga mereka meminimalkan fungsi objektif  $J$ .

Pada metode ANMPC secara umum mempunyai mekanisme yang hampir sama dengan linier MPC. Perbedaannya kontroler ini akan digunakan untuk *plant nonlinear* melalui mekanisme adaptasi dengan meng-*update* model *plant* yang diperoleh pada setiap waktu sampling [9]. Pelaksanaan adaptasi dilakukan dengan linierisasi pada titik operasi yang terjadi pada saat melaksanakan gerakan.

Sistem *nonlinear* dengan  $n$  input,  $m$  output dan  $p$  state dapat direpresentasikan dalam persamaan berikut

$$\begin{aligned} x(k+1) &= f(x(k), u(k)), \\ y(k) &= g(x(k)) \end{aligned} \quad (13)$$

dengan *constraint*

$$\begin{aligned} u_{min} &\leq u(k) \leq u_{max}, \\ \Delta u_{min} &\leq \Delta u(k) \leq \Delta u_{max}, \\ y_{min} &\leq y(k) \leq y_{max}, \end{aligned}$$

Menggunakan persamaan deret Taylor, sistem *nonlinear* di atas dapat disusun di sekitar titik operasi  $[x_o(k), u_o(k)]$  ke sistem linier ditambah *term nonlinear* yang tidak diketahui [10] yang direpresentasikan dalam persamaan berikut

$$\begin{aligned} x(k+1) &= f(x_o(k), u_o(k)) \\ &+ \frac{\partial f(x,u)}{\partial x} \Big|_{x_o(k), u_o(k)} (x(k) - x_o(k)) + \frac{\partial f(x,u)}{\partial u} \Big|_{x_o(k), u_o(k)} (u(k) - u_o(k)) + \varepsilon(k). \end{aligned} \quad (14)$$

di mana  $f(x_o(k), u_o(k)) = x_o(k)$  dan  $\varepsilon(k)$  adalah *high-order* deret Taylor yang berhubungan, sehingga dapat diperoleh persamaan berikut

melalui persamaan (15) dan (16) dengan nilai  $x(k)$ , maka diperoleh model *state space* adalah

Sistem *predictive control* dilakukan proses penghitungan keluaran *plant* yang diprediksi dengan sinyal kontrol yang akan datang sebagai variabel yang dapat setting. Jika diamsusikan bahwa *sampling instant*  $k_i, k_i > 0$ , vektor variabel *state*  $x(k_i)$  yang menyediakan informasi *plant* saat ini diperoleh melalui pengukuran. Lintasan kontrol yang akan datang dituliskan sebagai  $\Delta u(k_i), \Delta u(k_i + 1), \dots, \Delta u(k_i + N_c + 1)$ , di mana  $N_c$  dinamakan *control horizon*.

Variabel *state* yang akan datang dituliskan sebagai  $x(k_i + 1|k_i), x(k_i + 2|k_i), \dots, x(k_i + m|k_i), \dots, x(k_i + N_p|k_i)$  di mana  $x(k_i + m|k_i)$  adalah variabel *state* yang diprediksi saat  $k_i + m$  dengan informasi *plant* yang diberikan saat ini  $x(k_i)$ ,  $N_p$  sendiri dinamakan *prediction horizon* atau panjang *window* optimisasi. Berdasarkan informasi yang diberikan variabel *state*  $x(k_i)$ , maka *variabel state* akan datang diprediksi sepanjang  $N_p$ .

Berdasarkan model *augmented state space*  $A, B, C$  variabel *state* yang akan datang dihitung secara berurutan menggunakan himpunan parameter kontrol yang akan datang dari variabel *state* yang terprediksi sebagai berikut

$$\begin{aligned} x(k_i + 1|k_i) &= Ax(k_i) + B\Delta u(k_i) \\ &\vdots \\ x(k_i + N_p|k_i) &= A^{N_p}x(k_i) + A^{N_p-1}B\Delta u(k_i) + A^{N_p-2}B\Delta u(k_i + 1) \\ &\quad + \dots + A^{N_p-N_c}B\Delta u(k_i + N_c - 1) \end{aligned} \quad (15)$$

Untuk variabel keluaran terprediksi adalah

$$\begin{aligned} y(k_i + 1|k_i) &= CAx(k_i) + CB\Delta u(k_i) \\ &\vdots \\ y(k_i + N_p|k_i) &= CA^{N_p}x(k_i) + CA^{N_p-1}B\Delta u(k_i) + CA^{N_p-2}B\Delta u(k_i + 1) + \\ &\quad \dots + CA^{N_p-N_c}B\Delta u(k_i + N_c - 1) \end{aligned} \quad (16)$$

Persamaan (15) dan (16) dapat dibentuk menjadi

$$Y = Fx(k_i) + \Phi\Delta U \quad (17)$$

Objektif kontrol dari sistem *control horizon* adalah membawa *output* yang terprediksi sedekat mungkin ke *set point* sinyal dengan mendefinisikan *cost function*  $J$  yang mencerminkan objektif kontrol sebagai

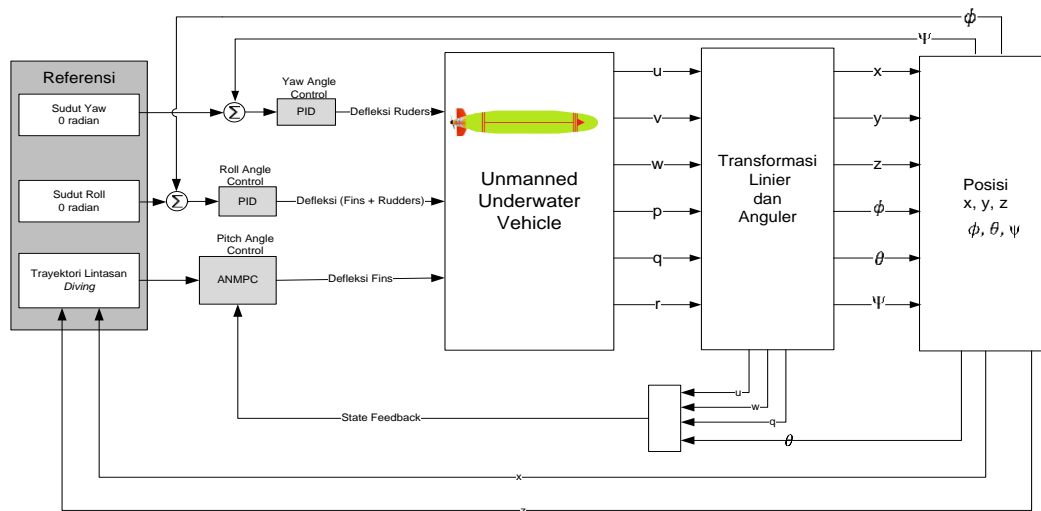
$$J = (R_s - Y)^T (R_s - Y) + \Delta U^T \bar{R} \Delta U \quad (18)$$

## METODE

Pada tahapan perancangan *plant* dilakukan dengan cara memodelkan dari UUV yang akan dikendalikan. Pemodelan tersebut bertujuan untuk mengetahui dinamika dari *plant*, sehingga dapat mempermudah dalam perancangan kontroler. Tujuan dalam penelitian ini dilaksanakan hanya untuk mengendalikan sudut *pitch* dalam melaksanakan manuver *diving*. Pada saat UUV melaksanakan gerakan pada sudut *pitch*, tidak hanya sumbu tersebut yang mengalami perubahan, namun akan menyebabkan perubahan pula pada sudut lainnya (*yaw* dan *roll*). Oleh karena itu, sudut

yang lain(yaw dan roll) juga harus dikendalikan agar tidak berpengaruh ketika terjadi perubahan pada sudut *pitch*. Pada penelitian ini penulis menggunakan kontroler PID untuk mengendalikan sudut roll dan yaw dengan parameter kontrolernya diperoleh secara *trial and error*. Untuk parameter kontroler sudut roll diperoleh nilai  $K_p=5$ ,  $K_i=2.5$ ,  $K_d=1$ , sedangkan untuk yaw bernilai  $K_p=5$ ,  $K_i=0.25$ ,  $K_d=2.5$ . Keluaran dari kedua sudut tersebut dikehendaki agar tetap bernilai 0(nol) radian.

Kontroler yang digunakan untuk pengendalian manuver *diving* adalah dengan *Adaptive Nonlinear Model Predictive Control*(ANMPC). Parameter kontroler dipilih  $N_c=129$ ,  $N_p=90$  dan  $R_w=0.01$ . Proses perancangan kontroler hanya dilakukan untuk pengendalian sudut *pitch*. Untuk lebih jelas mengenai strategi kontrol yang dirancang dapat dilihat diagram blok pada Gambar 2.



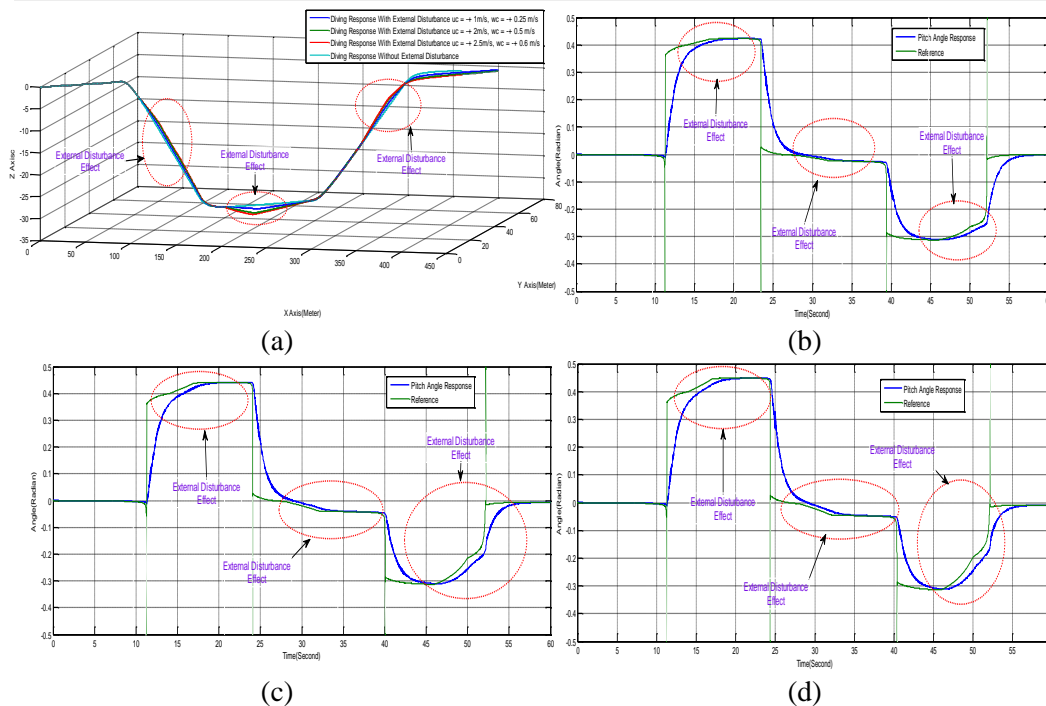
Gambar 2. Diagram blok sistem

## HASIL DAN PEMBAHASAN

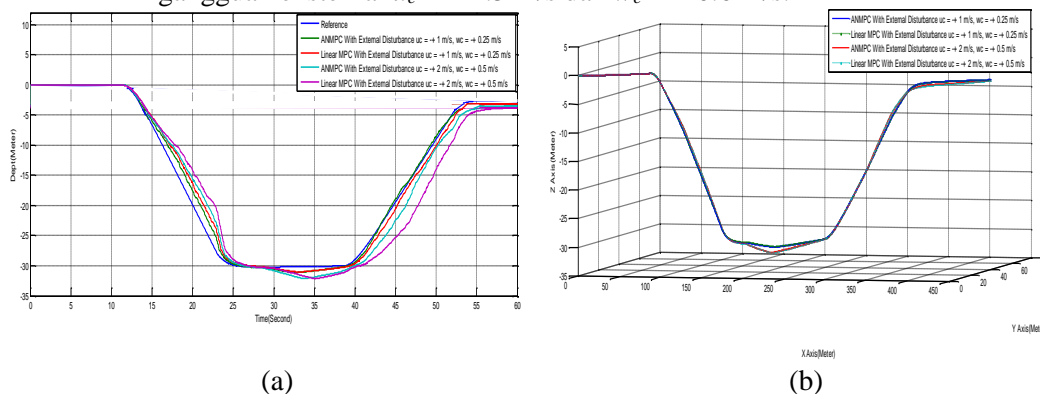
Agar mengetahui performa dari perancangan kontroler yang telah dilakukan, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* Matlab. Pada tahap awal simulasi dilakukan pengujian menggunakan linear Model Predictive Control(MPC) dengan memberikan referensi *tracking* berada pada titik belok (150,-30), (257,-30), (365,-1) dan (365,-1). Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi gangguan eksternal berupa arus laut yang berasal dari berbagai arah penjuruan(depan, belakang, bawah dan atas) bernilai dari  $u_c = \pm 1$  m/s,  $\pm 2$  m/s dan  $\pm 2.5$  m/s, serta untuk  $w_c = \pm 0.25$  m/s,  $\pm 0.5$  m/s dan 0.6 m/s selama dalam gerakan *diving*.

Hasil pengujian ini berupa respon *diving* dalam koordinat cartesian  $x$ ,  $y$ ,  $z$  dan sudut *pitch* pada setiap nilai gangguan yang diberikan sebagaimana di tunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 4.a menunjukkan, bahwa gangguan eksternal mempengaruhi pergerakan *diving* dalam mengikuti referensi *tracking* yang diberikan. Respon akan mengalami penyimpangan searah dan sebesar dengan gangguan eksternal. Penyimpangan tersebut dipengaruhi oleh besarnya nilai  $w_c$  semakin besar nilainya, maka penyimpangan juga akan bertambah besar. Terlihat respon sudut *pitch* saat mengalami gangguan terdapat usaha dari UUV untuk kembali *tracking* yang telah diberikan sebagaimana di tunjukkan Gambar 3.b., Gambar 3.c., dan Gambar 5.d.

Dalam pembahasan selanjutnya akan dilakukan perbandingan respon *diving* antara Linear MPC dengan ANMPC dengan gangguan eksternal yang sama dengan percobaan sebelumnya. Hasil respon *diving* di tunjukkan pada Gambar 4.a dan Gambar 4.b. dalam koordinat cartesian.



Gambar 3. a) Respons *diving* dalam koordinat cartesian  $x, y, z$ ; b) Perilaku Sudut *Pitch* dengan gangguan eksternal  $u_c = \pm 1$  m/s dan  $w_c = \pm 0.25$  m/s; c) Perilaku Sudut *Pitch* dengan gangguan eksternal  $u_c = \pm 2$  m/s dan  $w_c = \pm 0.5$  m/s; d) Perilaku Sudut *Pitch* dengan gangguan eksternal  $u_c = \pm 2.5$  m/s dan  $w_c = \pm 0.6$  m/s.



Gambar 4. a) Perbandingan Respon *Diving* LMPC vs ANMP dengan Gangguan Eksternal; b) Perbandingan Respon *Diving* LMPC vs ANMP dengan gangguan eksternal dalam koordinat cartesian  $x, y, z$ .

Berdasarkan pada Gambar 4. menunjukan, bahwa respon dengan menggunakan Linear MPC dan ANMP mempunyai respon yang berbeda. Pada ANMP dengan gangguan eksternal nominal  $u_c = \pm 1$  m/s mempunyai rata-rata *error tracking* 0.51 meter, sedangkan pada nominal gangguan eksternal  $w_c = \pm 0.25$  m/s serta  $u_c = \pm 2$  m/s dan  $w_c = \pm 0.5$  m/s mempunyai rata-rata *error tracking* 1.29 meter. Untuk Linier MPC dengan gangguan eksternal nominal  $u_c = \pm 1$  m/s mempunyai rata-rata *error tracking* 1 meter, sedangkan pada nominal gangguan eksternal  $w_c = \pm 0.25$  m/s serta  $u_c = \pm 2$  m/s dan  $w_c = \pm 0.5$  m/s mempunyai rata-rata *error tracking* 2.4 meter.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan ANMP dapat mengatasi sifat *nonlinear* dari sistem UUV jika dibandingkan dengan menggunakan linier MPC ketika melaksanakan manuver *diving*. Pada pengujian sistem dalam kondisi terdapat gangguan eksternal menghasilkan rata-rata *error tracking* 0.51 meter, sedangkan

menggunakan linier MPC menghasilkan rata-rata *error tracking* 1 meter. Berdasar pengujian tersebut, maka penggunaan ANMPC mempunyai performa yang cukup baik dalam melaksanakan manuver *diving* dibandingkan dengan linier MPC.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Budiono, "Advance In Unmanned Underwater Vehicle Technologies : Modeling, Control and Guidance Perspective," *Indian Journal of Marine Science* Vol.38(3), pp. 282-295, 2009
- [2] K. Ishaque, S. S. Abdullah, S. A. M and Z. Salam, "Single Input Fuzzy Logic Controller for Unmanned Under Water Vehicle," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 59, pp. 87-100, 2010..
- [3] J. H. Bong, "Multivariable Optimal Control of an Autonomous Underwater Vehicle for Steering and Diving Control in Variable Speed," *IEEE*, vol. 5, pp. 2659-2664, 2003.
- [4] Prabowo, Yuliyanto, Agung, dkk. "Pengendalian Manuver Gerakan Diving Pada Unmanned Underwater Vehicle (UUV) Menggunakan Model Predictive Control(MPC)." *Seminar Nasional Teknik & Manajemen Industri*. Malang: Jurusan Teknik Industri UMM,. pp.IV.35-IV.41, 2015.
- [5] Zhang, Wei. dkk, "Predictive Control for Submergence Rescue Vehicle Station and Attitude," in *Automation and Logistics*, Beijing, 2008.
- [6] Kim, Joonyoung. dkk., "Depth and Heading Control for Autonomous Underwater Vehicle Using Estimated Hydrodynamic Coefficients," in *MTS/IEEE Conference and Exhibition*, Honolulu, 2001.
- [7] G. A. Elnashar, "Performance and Stability Analysis of an Autonomous Underwater Vehicle Guidance and Control," in *Modelling, Identification and Control(ICMIC)*, Cairo, 2013.
- [8] P. Ridley and J. Fonta, "Submarine Dynamic Modeling," in *Australian Conference on Robotics & Automation*, Brisbane, 2003.
- [9] L. Wang, *Model Predictive Control Systems Design and Implementation Using Matlab*, London: Springer, 2009

*Halaman ini sengaja dikosongkan*