

RANCANG BANGUN 4 DOF (*DEGREE OF FREEDOM*) UNDERWATER REMOTELY OPERATED VEHICLE (ROV)

Yoki Rachmansyah¹, Mamat Rahmat¹, Anton Royanto Ahmad¹, Aisyah Iadha Nuraini¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

E-mail : yoki.rachmansyah@gmail.com

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, robot bawah air yang dirancang adalah jenis Remotely Operated Vehicle ROV mini berbasis mikrokontroler Arduino Uno Atmega 328A. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat robot bawah air dan menguji kinerjanya dalam air. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan sistem kekakuan dalam ROV dengan menggunakan tubuh yang digunakan sebagai penutup untuk setiap komponen dalam ROV dan menguji gerakannya di dalam air. Rancangan mini ROV terintegrasi dalam beberapa proses desain, yaitu perencanaan perhitungan setiap pemilihan komponen yang digunakan oleh ROV, perancangan konstruksi mekanis, konstruksi elektronik, dan pengintegrasian dari seluruh proses desain. Hasil dari integrasi ini adalah dalam bentuk fisik ROV mini, sistem elektronik, dan program antarmuka grafis. Robot yang dirancang adalah robot bawah air yang dapat bergerak di air dengan sumbu X, Y dan Z. Robot ROV dibuat dengan dimensi total 38 cm, lebar 21 cm, dan tinggi 22 cm. Tubuh ROV dibuat menggunakan bahan dasar dari pipa PVC yang setiap celah dilapisi dengan segel sehingga ROV dapat dipertahankan dengan benar. Dalam sistem gerakan ROV, gunakan 2 daun baling-baling untuk maju dan mundur dan 2 baling-baling daun untuk menenggelamkan atau menaikkan ROV.

Kata kunci : robot bawah air, mini ROV, desain, mikrokontroler

ABSTRACT

In this research, the underwater robot designed is a type of mini Remotely Operated Vehicle (ROV) based on the Arduino Uno Atmega 328A microcontroller. This research was aimed to make a robot underwater or ROV and test its performance in water. This research was conducted to determine the system of tightness in the ROV by using a body that was used as a cover for each component in the ROV and tested its movement in the water. The design of mini ROVs is integrated in several design processes, namely planning the calculation of each component selection used by ROV, designing mechanical construction, designing electronic construction, and making integration of the entire design process. The results of this integration are in the form of a physical form of mini ROV, electronic systems, and graphical interface programs. The designed robot is an underwater robot that can move in water with the X, Y and Z axes. The ROV robot is made with a total dimension of 38 cm in length, 21 cm in width, and 22 cm in height. The body of the ROV is made using a base material from a PVC pipe that each gap is lined with a seal so that the ROV can be maintained properly. In the ROV movement system, use 2 propeller leaves to go forward and backward and 2 propeller leaves to drown or raise the ROV.

Keywords : *underwater robot, mini ROV, design, microcontroller*

1. PENDAHULUAN

Kondisi di dalam laut masih menjadi misteri, terutama di bagian laut dalam. Hal ini dikarenakan ketersediaan sarana dan teknologi untuk menjelajahnya masih terbatas dan belum memadai. Salah satu faktor yang menyebabkan keterbatasan tersebut adalah tekanan atmosfer yang bertambah sebanyak 1 atmosfer akibat dari penambahan kedalaman laut sebanyak 10 meter (Adji, 2005).

Metode yang dilakukan untuk menjelajahi laut dalam salah satunya yaitu menyelam langsung. Tekanan yang tinggi menjadi hambatan dalam melakukan metode konvensional ini. Selain faktor tekanan, suhu, cahaya di dasar laut bisa membuat jarak penglihatan berkurang sehingga topografi dasar laut tidak terlihat dengan jelas.

Remotely operated vehicle (ROV) adalah sebuah alat berukuran mini untuk mengeksplorasi objek bawah laut seperti operasi militer. ROV berfungsi untuk menjangkau tempat kecil di dasar

laut, seperti gua kecil di bawah air, yang tidak bisa dijangkau oleh manusia. Militer Amerika melakukan pembuatan ROV pertama kali pada tahun 1960 (Christ & Wernli, 2013).

Dalam pembuatan ROV, ROV bisa ditambahkan peralatan lainnya yang menunjang seperti peralatan pengamatan tambahan berupa kamera video bawah air, peralatan sonar dan penjepit (Aras, et al., 2013). Dalam penggunaannya, manusia mengontrol ROV dari jarak jauh dengan bantuan kabel. Saat ini, ROV bukanlah merupakan teknologi baru, tetapi di Indonesia penggunaannya dalam eksplorasi dalam laut masih jarang.

Oleh karena itu, penulis mencoba untuk membuat ROV mini dengan bentuk yang sederhana. Pembuatan ROV ini lebih ditekankan pada aspek mekanis. Aspek mekanis meliputi pembuatan desain struktur ROV, perancangan robot bawah air (*underwater*) berbasis *remote control*, dan pengujian pergerakan robot bawah air (*underwater*) pada air tenang.

Manfaat penelitian ini adalah membuat inovasi baru dalam pembuatan Remotely Operated Vehicle (ROV) serta mengetahui tentang design rancang bangun pada ROV itu sendiri. Sehingga dapat digunakan untuk praktik dan bahan ajar di Fakultas Teknik & Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian bertempat di Laboratorium Sistem Kontrol dan Nano Teknologi Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor. Waktu pelaksanaan pada bulan Maret sampai bulan September tahun 2018.

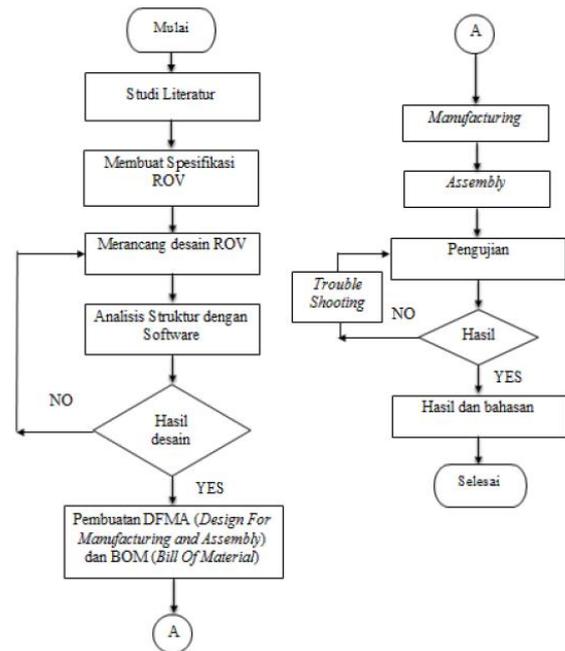
Bahan dan alat yang digunakan pada rancang bangun ROV dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. Bahan penelitian

No	Nama Bahan	Jumlah	Satuan
1	Pipa PVC	2	Meter
2	Tupperware kedap air	1	Buah
3	Seal cair	1	Buah
4	Motor DC	4	Buah
5	Dop Pipa	4	Buah
6	Nail Polish	3	Buah
7	Lem pipa	1	Buah

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Membuat design struktur ROV dan pemilihan material.
2. Merancang rangka dari ROV dimulai dari perancangan fungsional, perancangan struktural sampai ke pembuatan konstruksi.
3. Analisis data dari pengujian konstruksi rangka ROV



Gambar 1. Diagram alir penelitian

• Konsep Desain

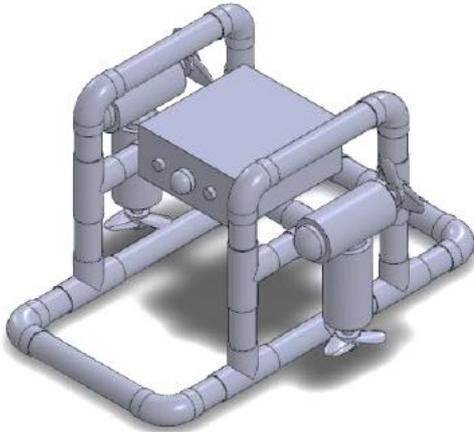
Pada perancangan ini robot ROV direncanakan dengan pergerakan 2 translasi, mempunyai pergerakan maju-mundur terhadap sumbu Z (*surge*), pergerakan atas-bawah pada sumbu Y (*heave*) dan memiliki pergerakan 2 rotasi, yaitu berbelok searah sumbu Y (*yaw*) dan mampu berputar searah sumbu Z (*roll*).

Pemilihan bahan untuk rangka ROV yaitu pipa PVC *wavin* dengan tipe pipa AW yang memiliki standard tekanan kerja 10 kg/cm² dengan diameter ½ inch. Ruang kontrol ROV akan menggunakan *tupperware* kedap air. Motor DC yang digunakan yaitu motor DC dengan tegangan 12 volt. Pengaman pencegah bocor pada perancangan ini menggunakan *seal cair* dan *nail polish*, dapat dilihat pada gambar 2 desain rangka ROV (Prihandono, 2008).

Rancangan struktural dari ROV berfokus pada pipa PVC karena menjadi bahan utama dari rangka pada ROV. Kemudian rangka pada ROV direkatkan dengan menggunakan lem pipa. Selanjutnya untuk menggerakkan motor DC, digunakan Arduino Uno Mikrokontroler 328A yang bertujuan agar ROV dapat bergerak maju, mundur, naik, turun, serta berotasi (miring ke kanan maupun ke kiri).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur *underwater* ROV ini terdiri dari 2 sumbu pergerakan translasi dan 2 sumbu pergerakan rotasi. Masing-masing sumbu dapat bergerak pada sumbu X, Y, dan Z. Metode penelitian ini dilakukan perancangan rangka ROV dan ruang kontrol untuk menempatkan sistem kontrol dan kamera.



Gambar 2. *Underwater* ROV
(sumber: Prihandono, H)

- **Hasil Perancangan Perangkat Lunak**

Hasil perancangan perangkat lunak berupa bentuk rangka ROV pada *software* Solidworks 2012 yang bertujuan untuk mengetahui bentuk fisik dari ROV mulai dari pandangan depan, samping, dan atas. Perancangan perangkat lunak ini juga menjelaskan tentang peletakan motor penggerak dan ruang kontrol ROV.

Selanjutnya dilakukan simulasi dengan menggunakan autodesk inventor. Simulasi yang dilakukan pada rangka ROV ini yaitu simulasi *force* dan *pressure* untuk mengetahui ketahanan material pipa rangka ROV terhadap tekanan bawah air. Material yang digunakan adalah pipa PVC (*PVC-Piping*) dengan *material properties* dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Sifat fisik material

Massa	0,721848 kg
Luas Area	380.917 mm ²
Volume	515.606 mm ³
<i>Center of Gravity</i>	x = 8,04433 mm y = -27,0136 mm z = 34,3032 mm

Tabel 3. Sifat fisik mekanik

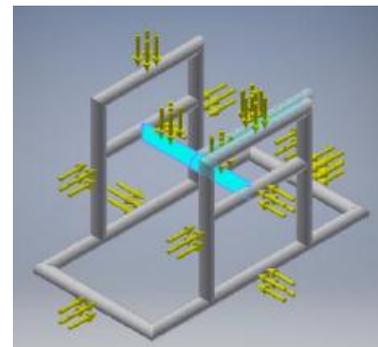
Name	PVC-Piping	
General	Mass Density	1,4 g/cm ³
	Yield Strength	46,53 MPa
	Ultimate Tensile Strength	52,36 MPa
Stress	Young's Modulus	3,4 GPa
	Poisson's Ratio	0,4 ul
	Shear Modulus	1,21429 GPa

Pada hasil simulasi yang dilakukan dengan memberikan gaya sebesar 10 kg yang terfokus pada batang tengah rangka ROV diperoleh nilai vector X, Y, dan Z yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil simulasi gaya

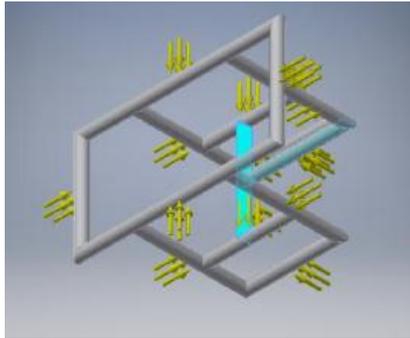
Load Type	Force
Magnitude	100.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	-100.000 N
Vector Z	0.000 N

Gambar 3 dan 4 menunjukkan hasil simulasi dari pemberian gaya sebesar 10kg pada rangka ROV.



Gambar 3. Simulasi gaya pada rangka ROV sumbu

x



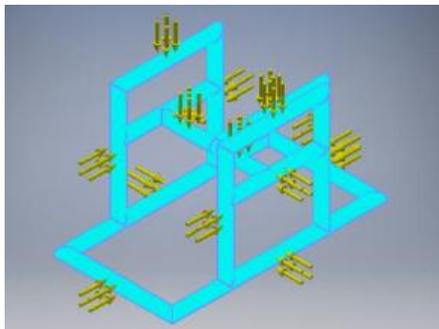
Gambar 4. Simulasi force pada rangka ROV sumbu y

Selanjutnya dilakukan simulasi pemberian tekanan. Pada hasil simulasi yang dilakukan dengan memberikan tekanan pada semua bagian rangka ROV diperoleh nilai magnitudo yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil simulasi tekanan

Load Type	Pressure
Magnitude	0.098 MPa

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi dari pemberian tekanan pada rangka ROV.

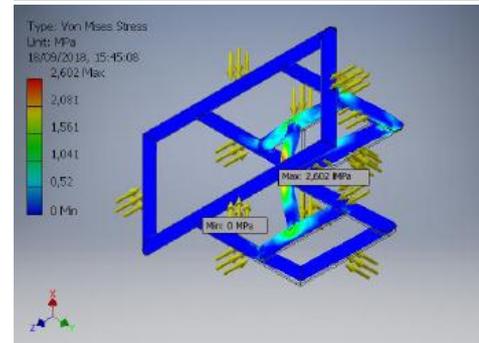
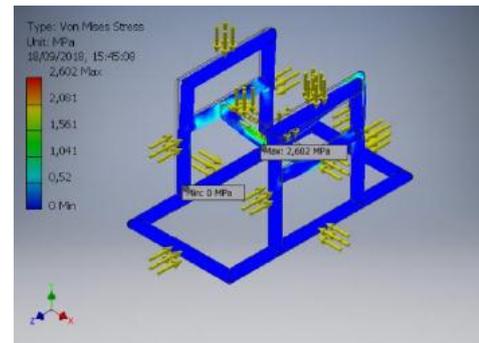


Gambar 5. Simulasi pressure pada rangka ROV

- **Von mises stress**

Von mises stress adalah nilai yang digunakan untuk mengetahui apakah material yang diberikan tekanan akan luluh atau patah.

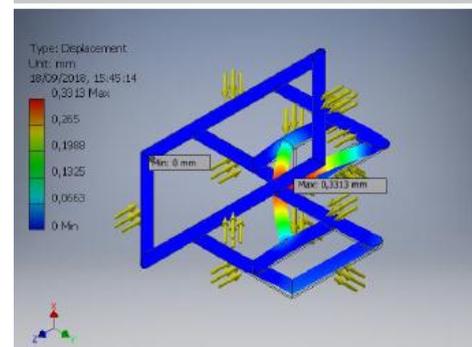
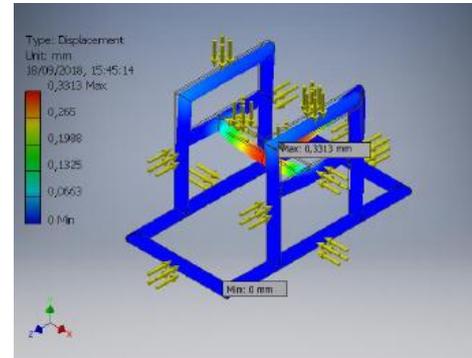
Pada simulasi ini menghasilkan nilai minimum von mises stress dari rangka ROV sebesar $0,06533 \times 10^{-14}$ MPa dan maksimumnya sebesar 2,60166 MPa. Nilai maksimum tersebut lebih rendah dari nilai *Ultimate Tensile Strength* yaitu sebesar 52,36 MPa, maka desain akan aman (Rizki, I., 2008.). Lihat gambar 6.



Gambar 6. Von Mises Stress

- **Displacement**

Displacement yang diperoleh dari hasil simulasi ini yaitu minimum 0 mm dan maksimum 0,331269 mm. Hasil *displacement* ini dapat dilihat pada Gambar 7.

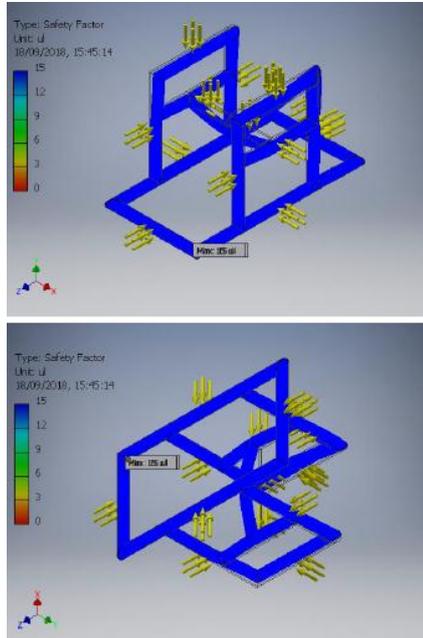


Gambar 7. Displacement

- **Safety Factor**

Safety factor adalah faktor keamanan yang dihitung untuk mengevaluasi produk yang dibuat supaya perencanaan elemen mesin terjamin

keamanannya dengan dimensi yang minimum. Nilai minimum dan maksimum *safety factor* yang didapat dari simulasi ini yaitu 15 ul, maka desain terjamin keamanannya. Gambar 8 merupakan perhitungan dari *safety factor*.



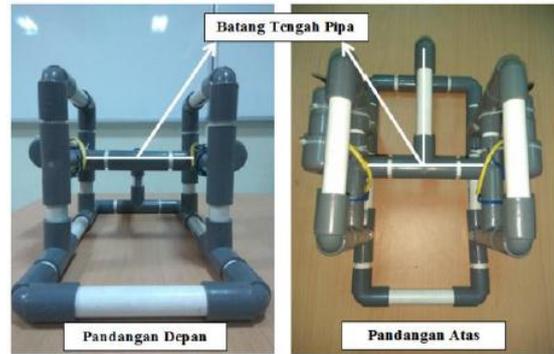
Gambar 8. *Safety factor*

Dengan *feature generate report* yang disediakan maka didapat rangkuman nilai hasil simulasi pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai hasil simulasi

Name	Minimum	Maximum
Volume	516497 mm ³	
Mass	0,723096 kg	
Von Mises Stress	0,00000000000000006533 MPa	2,60166 MPa
1st Principal Stress	-1,21845 MPa	2,64317 MPa
3rd Principal Stress	-3,22771 MPa	1,05317 MPa
Displacement	0 mm	0,331269 mm
Safety Factor	15 ul	15 ul
Stress XX	-2,77155 MPa	2,63542 MPa
Stress XY	-0,603568 MPa	0,594209 MPa
Stress XZ	-0,502027 MPa	0,503476 MPa
Stress YY	-2,48182 MPa	1,20058 MPa
Stress YZ	-1,11694 MPa	0,933496 MPa
Stress ZZ	-1,93828 MPa	1,69536 MPa
X Displacement	-0,097049 mm	0,0982604 mm
Y Displacement	-0,329619 mm	0,0048655 mm
Z Displacement	-0,0700967 mm	0,0063884 mm
Equivalent Strain	0,0000000000000000220999 ul	0,000718187 ul
1st Principal Strain	-0,0000296772 ul	0,000766962 ul
3rd Principal Strain	-0,000718036 ul	0,0000000000573979 ul
Strain XX	-0,000712203 ul	0,000763771 ul
Strain XY	-0,000260881 ul	0,000244674 ul
Strain XZ	-0,000206717 ul	0,000207314 ul
Strain YY	-0,000624732 ul	0,000371486 ul
Strain YZ	-0,000459915 ul	0,000384381 ul
Strain ZZ	-0,000364368 ul	0,000513726 ul
Contact Pressure	0 MPa	10,7086 MPa
Contact Pressure X	-2,28996 MPa	2,27142 MPa
Contact Pressure Y	-7,76348 MPa	4,86157 MPa
Contact Pressure Z	-7,37541 MPa	4,17638 MPa

Konstruksi Rangka



Gambar 9. Konstruksi Rangka

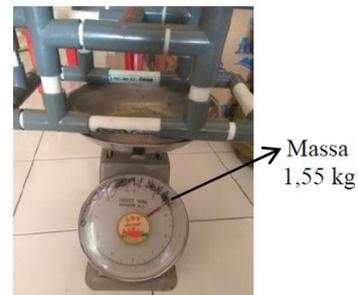
Gambar 9 merupakan konstrudki rangka ROV yang dibuat. Material yang digunakan adalah pipa PVC. Pipa PVC diberi gaya sebesar 100N pada titik tengah rangka ROV.

Menghitung Massa Jenis Rangka ROV

Berdasarkan hukum archimedes, massa jenis benda sangat mempengaruhi posisi benda saat dicelupkan ke dalam air. Oleh karena itu diperlukan perhitungan massa jenis. Sebelum menghitung massa jenis, perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui volume dan berat dari rangka ROV, lihat Gambar 10 mengenai cara perhitungan volume dan gambar 11 cara perhitungan berat rangka ROV.



Gambar 10. Perhitungan volume rangka ROV



Gambar 11. Berat rangka ROV

Dari data yang didapat. Selanjutnya dapat dihitung massa jenis dari rangka ROV dengan menggunakan persamaan 1.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ l}}$$

$$\rho = \frac{1500 \text{ gr}}{1000 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 1,5 \text{ gr/cm}^3$$

Hasil dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa massa jenis rangka ROV sebesar 1,5 gr/cm³ lebih besar dari massa jenis air yang sebesar 1,0 gr/cm³.

Menghitung Momen Inersia

Momen inersia pipa solid dapat diketahui dengan persamaan 2.

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad (2)$$

$$I = \frac{3,14 \times 22 \text{ mm}^4}{64}$$

$$I = 11.499 \text{ mm}^4$$

Momen inersia pipa hollow dapat kita ketahui dengan persamaan 3.

$$I = \frac{\pi}{4} (r_{out}^4 - r_{in}^4) \quad (3)$$

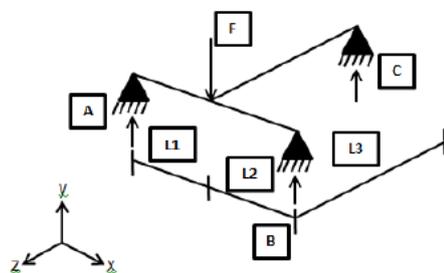
$$I = \frac{3,14}{4} (22 \text{ mm}^4 - 20 \text{ mm}^4)$$

$$I = \frac{3,14}{4} (74.256 \text{ mm}^4)$$

$$I = 58,29 \text{ mm}^4$$

Menghitung Deleksi pada Batang Pipa

Menghitung momen pada batang pipa dengan data yang diketahui yaitu nilai F sebesar 100 N, L1 sebesar 105 mm, L2 sebesar 105 mm, dan L3 sebesar 200 mm. Gambar 12 menunjukkan rangka dari perhitungana deleksi pada batang pipa.



Gambar 12. Diagram benda bebas batang tengah pipa

Gambar 13 menunjukkan perhitungan reaksi pada batang tengah pipa.

1. Menghitung Reaksi Dititik A

$$\sum M_B = 0$$

$$F \cdot L2 - A \cdot (L1 + L2) - C \cdot \sqrt{L3^2 + L1^2} = 0$$

$$100 \text{ N} \cdot 105 \text{ mm} - A \cdot (210 \text{ mm}) - C \cdot \sqrt{200^2 + 105^2} = 0$$

$$100 \text{ N} \cdot 105 \text{ mm} - A \cdot (210 \text{ mm}) - C \cdot \sqrt{200^2 + 105^2} = 0$$

$$210A + 225C = 10500$$

$$42A + 45C = 210 \dots\dots\dots(1)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$0 = A + B + C - 100$$

$$2A + C = 100$$

$$C = 100 - 2A$$

Substitusi Persamaan 1 :

$$42A + 45C = 2100$$

$$42A + 45(100 - 2A) = 2100$$

$$42A + 4500 - 90A = 2100$$

$$- 48A = 2100 - 4500$$

$$- 48A = - 2400$$

$$A = \frac{2400}{48}$$

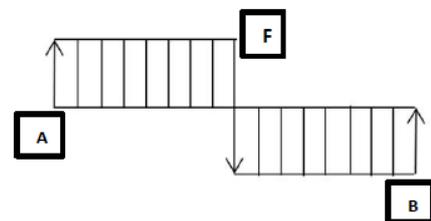
$$A = 50$$

$$R_A = 50 \text{ N}$$

2. Menghitung Reaksi Dititik B

$$R_A = R_B$$

$$R_A = 50 \text{ N}$$



Gambar 13. Diagram reaksi pada batang titik tengah pipa

Se;anjurnya dilakukan perhitungan momen pada batang pipa yang dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15 untuk perhitungan tegangan lentur.

3. Menghitung Momen

$$M_A = 0$$

$$M_C = R_A \cdot L2$$

$$= 50 \text{ N} \cdot 105 \text{ mm}$$

$$= 5250 \text{ Nmm}$$

$$M_C = 5,25 \text{ Nm}$$

$$M_B = 0$$

Gambar 14.Perhitungan momen

4. Menghitung Tegangan Lentur (Bending Stress) Pipa Solid

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\sigma = \frac{5250 \text{ Nmm} \cdot 105 \text{ mm}}{11499 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = 47,9 \text{ N/m}^2 = 0,000047 \text{ Mpa}$$

Gambar 15. Perhitungan tegangan lentur pipa solid

Selanjutnya, menghitung tegangan lentur (bending stress) pipa *hollow* yang dapat dilihat pada Gambar 16.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\sigma = \frac{5250 \text{ Nmm} \cdot 105 \text{ mm}}{58,29 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = 9457 \text{ N/m}^2 = 0,0009457 \text{ Mpa}$$

Gambar 16. Perhitungan tegangan lentur pipa *hollow*

Setelah data-data penulis peroleh, perhitungan defleksi maksimal batang tengah rangka pipa dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 4 dan 5.

$$Y_{\max \text{ solid}} = \frac{F \cdot L^3}{48 EI} \quad (4)$$

$$= \frac{(100 \text{ N}) (210 \text{ mm})^3}{48 (3000 \text{ N/mm}^2) (11499 \text{ mm}^4)}$$

$$= \frac{926.100.000 \text{ Nmm}^3}{1.655.856.000 \text{ Nmm}^2}$$

$$Y_{\max \text{ solid}} = 0,5592 \text{ mm}$$

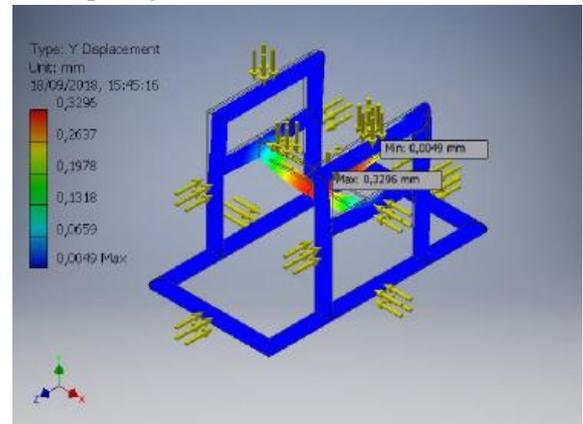
$$Y_{\max \text{ hollow}} = \frac{F \cdot L^3}{48 EI} \quad (5)$$

$$= \frac{(100 \text{ N}) (210 \text{ mm})^3}{48 (3000 \text{ N/mm}^2) (58,29 \text{ mm}^4)}$$

$$= \frac{926.100.000 \text{ Nmm}^3}{8.393.760 \text{ Nmm}^2}$$

$$Y_{\max \text{ hollow}} = 1,103 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat dikatakan bahwa defleksi pada batang tengah pipa solid sebesar 0,5592 mm dan pipa *hollow* sebesar 1,103 mm lebih besar daripada validasi simulasi sebesar 0,3296 mm karena mengabaikan reaksi batang C. Berdasarkan perhitungan simulasi dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Hasil perhitungan simulasi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan dari hasil yang diperoleh sebagai berikut :

1. Dari hasil rancangan rangka robot ROV yang di buat memiliki dimensi total panjang 38 cm, lebar 21 cm, dan tinggi 22 cm. Rancang ROV menggunakan 2 motor untuk bergerak maju mundur dan 2 motor untuk bergerak ke atas ke bawah.

2. Hasil simulasi software *Autodesk Inventor* didapatkan nilai minimum dari *von mises stress* 0,06533 x 10⁻¹⁴ MPa dan maksimum 2,60166 Mpa. Untuk nilai minimum dari *displacement* sebesar 0 mm dan maksimum 0,331269 mm. Nilai minimum dari *safety factor* sebesar 15 ul dan maksimum 15 ul.

3. Pemberian gaya sebesar 100N pada batang tengah pipa menghasilkan defleksi yang dimulai dengan reaksi pada batang pipa sebesar 50 dan momen sebesar 5,25Nm. Besar tegangan yang terjadi pada batang tengah pipa solid sebesar 0,5592mm dan pipa *hollow* sebesar 1,103 mm lebih besar dari validasi simulasi sebesar 0,3296mm karena mengabaikan reaksi batang C.

Berdasarkan hasil implementasi yang diperoleh untuk penelitian lebih lanjut ada beberapa hal yang dapat ditinjau kembali yaitu fokus pada jenis dan dimensi material yang digunakan dan

pemilihan cover kedap pelindung motor DC yang lebih baik lagi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adji, S. W. (2005). Engine Propeller Matching. Available: *oc. its. ac. id/ambilfile.php*.
- Aras, M. S. M., Abdullah, S. S., Rahman, A. A., & Aziz, M. A. A. (2013). Thruster modelling for underwater vehicle using system identification method. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 10(5), 252.
- Christ, R. D., & Wernli Sr, R. L. (2013). *The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles*. Butterworth-Heinemann.
- Prihandono, H. (2008). Rancang Bangun Prototipe Remotely Operated Vehicle Bawah Air: Aspek Sistem Kendali Elektronik. Skripsi [Tidak Dipublikasikan]. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Rizki, I. (2008). Rancang Bangun Prototipe Remotely Operated Vehicle Bawah Air: Aspek Sistem Kendali Mekanik. Skripsi [Tidak Dipublikasikan]. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.