



Rancang Bangun Model Hidroelastik Kapal Selam Berpropulsi Mandiri untuk Uji Nirkabel Pemantauan Integritas Struktur

Wibowo H. Nugroho¹⁾, Nanang JH Purnomo¹⁾ Kusnindar Priohutomo^{2)*}

¹⁾Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim, BPPT

²⁾Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT

Kompleks ITS Sukolilo Surabaya, Indonesia 60111

diajukan pada : 16/04/18

direvisi pada : 15/08/18

diterima pada : 18/10/18

Abstrak

Paper ini menjelaskan proses rancang bangun model hidroelastik kapal selam berpropulsi mandiri. Proses rancang bangun ini merupakan integrasi dari beberapa penerapan cabang ilmu keteknikan yaitu hidrodinamika kapal, analisa struktur, permesinan dan instrumentasi. Model fiberglas hidro-elastis kapal selam tipe U-209 dibangun dengan skala 1: 30 dengan menggunakan lunas batang baja (backbone). Model ini juga dilengkapi dengan sistem propulsion mandiri dimana terdiri dari motor dan model baling-baling. Karena model ini dibuat untuk penelitian pemantauan nirkabel dari integritas struktur kapal selam. Model kapal selam juga dipasang sistem modem nirkabel, perangkat lunak komunikasi data, pengkondisian sinyal, dan sensor strain. Hasil pengujian kinerja menunjukkan bahwa model kapal selam hidro-elastis berpropulsi mandiri dapat dikontrol secara nirkabel di air dan menghasilkan data dari sistem akuisisi nirkabel.

Copyright © 2018, **KAPAL**, 1829-8370 (p), 2301-9069(e)

Kata Kunci : Model Hidroelastik, Kapal Selam, Propulsi Mandiri, Sistem Pemantauan Nirkabel

1. PENDAHULUAN

Kemandirian bangsa dalam bidang militer riset dan pengembangan alutsista dalam negeri adalah suatu keharusan bagi bangsa Indonesia. Dimana hal ini juga berlaku pada desain dan pembangunan kapal perang untuk mengawal keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) yang memiliki luasan daerah maritim mencapai dua kalinya dari luas daratan. Dengan kondisi seperti ini adalah wajar dan masuk akal bila NKRI mempunyai angkatan laut yang kuat dimana tentunya mempunyai suatu armada kapal tempur yang handal untuk mempertahankan dan mengamankan kedaulatan negara. Berkaitan dengan peningkatan kemandirian bangsa dalam bidang militer penguasaan riset dan pengembangan alpalhankam dalam negeri

merupakan suatu keharusan dimana salah satu aspeknya adalah melakukan desain dan pembangunan kapal selam yang murni oleh bangsa Indonesia sehingga aspek kerahasiaan teknologi tetap terjaga. Dengan dikuasainya teknologi desain dan rancang bangun kapal selam tentunya akan meningkatkan efek penggetar (deterent effect) dari bangsa Indonesia terhadap kekuatan asing yang ingin menguasai atau mempermainkan bangsa ini.

Seperti diketahui bahwa riset ini termasuk kategori riset militer sehingga tidak begitu banyak informasi yang didapat. Kegiatan penelitian rancang bangun model hidroelastik kapal selam berpropulsi mandiri untuk uji nirkabel pemantauan integritas struktur ini mengacu pada dasar desain dari suatu kapal selam dari segi teknik perkapalan dimana sangat baik diuraikan pada paper Arentzen E. S, Mandel P [1] pada paper ini dijelaskan mulai dari pengaturan ruang

*) Penulis Korespondensi :

Email : kusnindar.priohutomo@gmail.com

(General Arrangement), stabilitas, system pendorong (propulsi), kekuatan struktur hingga kemampuan maneuver kapal selam, selain itu untuk penjelasan sederhana tentang bagaimana cara kerja kapal selam diperlihatkan pada daftar pustaka [2] oleh Wood.

Untuk mendapatkan informasi tentang desain kapal selam tipe 209 dilakukan penelusuran menggunakan internet sehingga diperoleh informasi gambar desain serta dimensi di situs en wikipedia [3] dan defence.pk [4]. Dalam melakukan kegiatan ini mengacu pada pengaturan eksperimen untuk pengukuran beban slamming pada kapal permukaan seperti yang diuraikan pada pekerjaan dari Rousset et al [5] untuk model kaku penuh dan Kapsenberg et al [6] pada model kapal dengan dua segmen serta Lavroff et al [7] untuk 3 segmen tetapi tidak menggunakan array dari "strain gauge". Badan kapal akan dimodelkan sebagai balok euler - bernoulli seperti yang dilakukan oleh Vorus [8].

Demikian juga untuk memulai studi eksperimental ini hanya sedikit informasi yang tersedia tentang pemantauan struktur khususnya di lambung kapal selam, karena milik domain militer. Namun, studi pemantauan kesehatan struktur telah termotivasi pada aplikasi angkatan laut seperti dilaporkan pada ISSC – report 468 [9], karena Angkatan Laut Amerika Serikat telah banyak menggunakan material non-tradisional, yaitu aluminium dan komposit, ke dalam struktur. Penelitian eksperimental ini didukung oleh penelitian – penelitian sebelumnya dari bidang-bidang seperti teknologi nirkabel, pemantauan kesehatan struktur (SHM) serta pengujian hidrodinamis model kapal.

Pendekatan konseptual menggunakan sensor cerdas dan teknologi komunikasi nirkabel untuk memantau kesehatan struktur sipil besar jarak jauh diperkenalkan oleh Pinesy [10]. Konsep tersebut telah berhasil diterapkan pada benda uji laboratorium berupa sambungan dari jauh sejarak hingga satu mil. Sebuah penelitian yang bagus disajikan oleh Bielen [11] yang menggambarkan pengembangan sistem pengukuran nirkabel untuk beberapa pengukuran regangan pada struktur yang rotasi.

Sistem ini berupa multi saluran sehingga bisa mengukur secara nirkabel strain di titik titik berjumlah 16 dengan biaya rendah per salurannya. Arms [12] telah meringkas pengembangan sistem penginderaan regangan nirkabel untuk berbagai pemantauan kesehatan struktur (SHM) di mana aplikasi dalam pengembangan masa depan sistem berupa, bebas perawatan, solusi pemantauan nirkabel nilai tegangan. Swartz [13] telah menunjukkan sistem

pemantauan badan kapal yang terdiri dari sensor nirkabel berupa alat pengukur foil regangan, accelerometers, giroskop yang dipasang di seluruh kapal untuk mengukur tahanan badan kapal dan gerak kapal. Mereka membuktikan hal yang sangat menggembirakan bahwa jaringan nirkabel tersebut dapat berfungsi di lingkungan laut dan pengumpulan data dapat diandalkan.

Penelitian Drummen [14] sangat berguna untuk setup dan analisa hasil uji skala penuh dan model yang dilakukan untuk proyek pengkajian umur kelelahan US Coast Guard. Dalam percobaan ini dia menggunakan sistem propulsi mandiri dari model NSC USCG Bertholf yang dibangun untuk skala 1:25 dan diuji di MARIN pada seakeeping dan Manoeuvring basin.

Penelitian ini menyajikan rancang bangun model hydro-elastis kapal selam yang dilengkapi dengan sistem pemantauan kesehatan struktur lambung kapal selam dengan menggunakan sensor strain dan teknologi komunikasi nirkabel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi secara real time tentang gaya-gaya yang terjadi pada struktur lambung kapal selam berbasis mikrokontroler. Karena dengan menggunakan mikrokontroler sistem monitoring yang diperlukan untuk melakukan pemantauan gaya-gaya yang terjadi pada struktur menjadi lebih efisien dibanding menggunakan sistem monitoring lainnya.

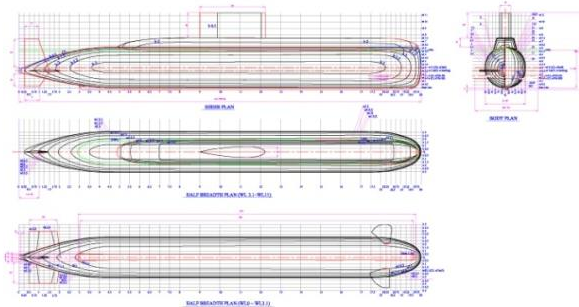
Secara khusus, sistem monitoring kesehatan struktur untuk model kapal selam ini dikembangkan menggunakan modem nirkabel, perangkat lunak komunikasi data dan sensor strain konvensional. Aplikasi pemantauan kesehatan ini terutama menggunakan strain gauge untuk menghindari gangguan elektromagnetik biasanya ditemui di lingkungan militer. Struktur kapal selam ini dibuat pada model hydro-elastis skala 1:30 dengan batang baja sebagai lunasnya (backbone) dan diuji pada tangki air dari Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (IHL).

2. METODE

Metode rancang bangun model hidro-elastik kapal selam berpropulsi mandiri untuk uji nirkabel pemantauan integritas struktur ini dimulai dengan pembuatan rencana garis (linesplan) badan kapal selam, dilanjutkan dengan pembuatan gambar kerja kemudian pengerjaan manufaktur model hidroelastis kapal selam dan pemasangan system propulsi nirkabel serta pemasangan system nirkabel instrumentasi pengukuran kemudian diakhiri dengan pengujian model kapal selam.

2.1. Pembuatan Model

Pembuatan model hidro-elastis kapal selam dimulai dengan gambar rencana garis dari badan kapal selam yang ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini. Pembuatan rencana garis ini sangat vital dan mengkonsumsi waktu cukup lama karena hanya berdasarkan gambar body plan atau proyeksi depan badan kapal serta tidak tersedianya data offset sehingga harus membuat sendiri data offset tersebut. Untuk selanjutnya rencana garis ini dipakai sebagai dasar untuk membuat model prototype badan kapal selam untuk pengujian hidrodinamika di kolam gelombang. Skala model dari kapal selam ini dipilih sebesar 1 : 30 dengan pertimbangan ini adalah ukuran model kapal yang sesuai jika pengujian yang dilakukan pada tanki tarik (TT).



Gambar 1. Lines Plan dari Kapal Selam

Selanjutnya dilakukan tahap pembuatan gambar kerja (produksi) dari model kapal selam. Karena model dibuat dengan sistem cetakan fiberglas maka gambar linesplan ditambahkan ketebalan kulit seperti diperlihatkan pada potongan frame (frame section) nya. Untuk model hidro-elastis dari model kapal selam ini, model kapal dibuat dari bahan fiberglass dengan sambungan antar segmen menggunakan batang baja sepanjang lunas model kapal selam (backbone). Setiap sambungan segmen elastis nantinya akan mengikuti kaidah kesamaan elastisitas seperti yang diperlihatkan pada Persamaan (1).

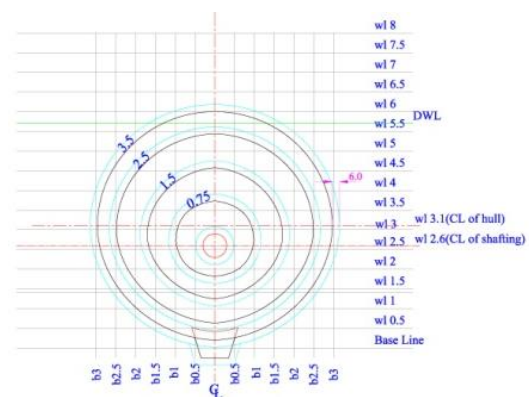
$$(EI)_m = \frac{(EI)_s}{\lambda^5} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} \quad (2)$$

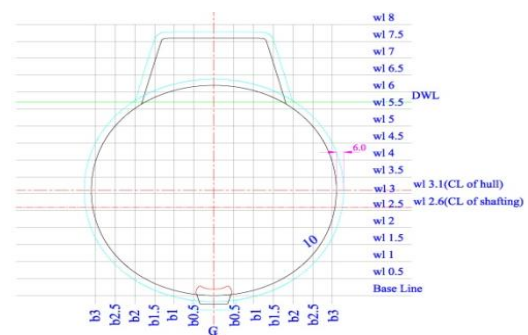
dimana E adalah modulus elastisitas bahan dan I adalah momen inersia luasan penampang melintang struktur. λ merupakan faktor skala geometri dimana L_s adalah panjang kapal dan L_m merupakan panjang model

Untuk selanjutnya $(EI)_s$ merupakan kekuatan tekuk atau bending dari struktur badan tekan kapal selam yang pada penelitian ini dilakukan pendekatan pemampang dari kapal selam tipe U-209 berupa silinder berongga dengan diameter luar 6200 mm berketebalan 25 mm.

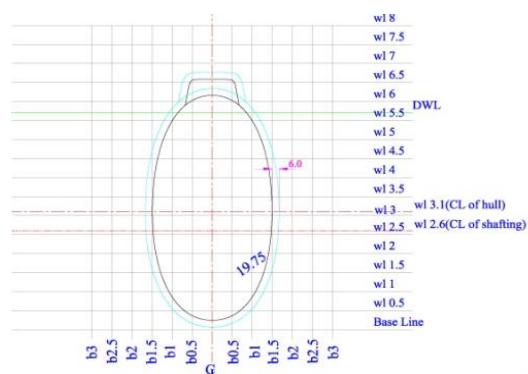
Contoh gambar kerja untuk pembuatan cetakan model kapal selam untuk frame section no 0 – 19,75 diperlihatkan pada Gambar 2 hingga Gambar 4 dimana terlihat potongan melintang dari batang baja lunasnya. Selanjutnya Gambar 2. menunjukkan frame section no 0; 0,75; 1,5; 2,5; 3,5 dari cetakan model kapal selam dan Gambar 3. merupakan frame section no. 10 dari cetakan model kapal selam, terakhir Gambar 4. menunjukkan frame section no 19,75 dari cetakan model kapal selam.



Gambar 2. Frame section no 0; 0,75; 1,5; 2,5; 3,5 untuk cetakan model kapal selam



Gambar 3. Frame section no 10 untuk cetakan model kapal selam



Gambar 4. Frame section no 19,75 untuk cetakan model kapal selam

Langkah berikutnya adalah manufaktur model hidroelastis kapal selam yang dimulai dengan pengaturan material hingga pencetakan dan pengecatan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5 hingga Gambar 9.

Gambar 5. menunjukkan pembuatan bagian tengah badan model kapal selam. Selanjutnya pada Gambar 6. ditunjukkan proses pemasangan batang besi lunas “backbone” yang telah dihitung sesuai dengan kesamaan elastisitas sebagai model badan tekan kapal selam. Pada Gambar 7. diperlihatkan pembuatan lubang untuk sistem propulsi dan Gambar 8. merupakan lubang untuk sistem instrumentasi pemantauan selanjutnya model hidroelastik kapal selam telah selesai seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 5. Pembuatan Bagian Tengah Badan Model Kapal Selam



Gambar 6. Perakitan besi “backbone” sebagai model badan tekan kapal selam



Gambar 7. Pembuatan lubang untuk sistem propulsi



Gambar 8. Pembuatan lubang untuk sistem instrumentasi pemantauan



Gambar 9. Model hidroelastik kapal selam

Dengan demikian properti model hidroelastis kapal selam berskala model 1 : 30 serta mempunyai lunas batang baja dengan asumsi pendekatan kekakuan tekuk (flexural stiffness) sama dengan ukuran sebenarnya dari kapal selam tipe U-209 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Utama Kapal

No	Data Kapal	Skala Model
1	LOA	2,04 m
2	Diameter	0,206 m
3	Sarat	0,190 m
4	Displasemen	55,45 kg
5	Modulus Elastisitas Penampang	108,9 N/m ²

2.2. Peralatan Sistem Monitoring Kesehatan Struktur

2.2.1. Mikrokontroler Arduino Mega

Arduino Mega adalah sebuah mikrokontroler yang menggunakan Atmega 328 sebagai dasarnya. Mikrokontroler ini memiliki 54 pin digital input/output dimana 14 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 input analog, 16 MHz osilator kristal, USB konektor, Jack listrik, header ICSP dan tombol reset. Arduino dapat dihubungkan ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mengaktifkan. Mikrokontroler arduino ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Mikrokontroler Arduino Mega

2.2.2. Amplifier INA 125

INA 125 adalah sebuah amplifier yang digunakan untuk menghubungkan antara mikrokontroler dengan sensor. INA 125 memiliki konsumsi power yang rendah dengan keakuratan instrumentasi yang tinggi. INA 125 digunakan melengkapi “bridge excitation” dan “differential input amplification” pada single integrated circuit.

INA 125 dapat di-set menggunakan gain mulai dari 4-10000, dengan low offset voltage (250µV), low offset drift (2µV/OC) dan high common-mode rejection (100dB at G=100). Dapat dioperasikan menggunakan single atau dual supply. INA 125 ditunjukkan pada Gambar 11.

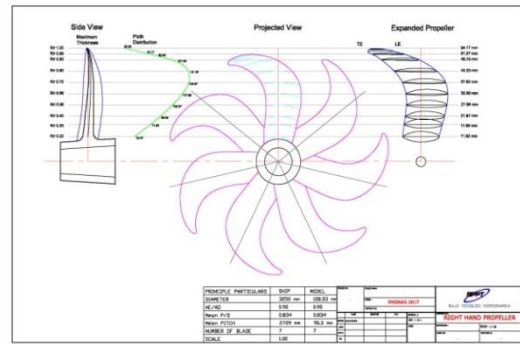


Gambar 11. Amplifier INA 125

2.3. Pemasangan Sistem Propulsi Dan Instrumentasi

Pemasangan sistem propulsi dan instrumentasi dimulai dengan melakukan desain baling-baling dan pemilihan sistem nirkabel penggerakannya yang disesuaikan dengan ukuran utama dari model kapal selam yang telah selesai dibuat. Gambar – gambar dari kegiatan ini diperlihatkan dari Gambar 12 hingga Gambar 14. Hasil desain dari baling – baling model kapal selam diperlihatkan pada Gambar 12 yang setelah dilakukan pengecoran diperoleh baling – baling yang diperlihatkan pada Gambar 13.

Kemudian baling – baling ini dipasang pada model kapal selam dengan kombinasi dari sistem propulsinya berupa kendali jarak jauh nirkabel kecepatan motor brushless – poros – propeller seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14, yang mana sistem kendali jarak jauh kecepatan ini dilakukan uji fungsi dahulu seperti yang diperlihatkan pada Gambar 15.



Gambar 12. Desain Propeller Model Kapal Selam



Gambar 13. Propeller Model Kapal Selam



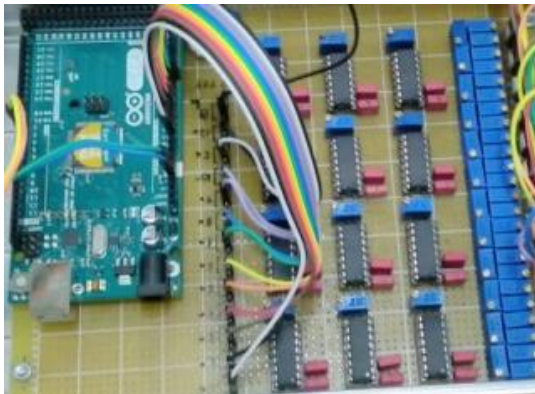
Gambar 14. Motor DC Propeller Model Kapal Selam



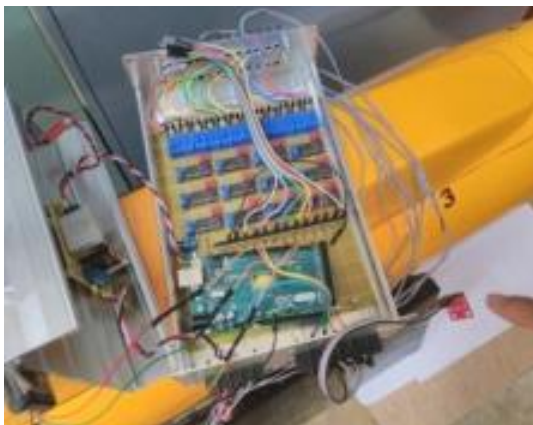
Gambar 15. Uji Fungsi Kendali Jarak Jauh Kombinasi Motor Battery

Langkah selanjutnya adalah pemasangan alat instrumentasi pada model hidroelastis kapal selam ini dimulai dengan pembuatan sistem data akuisisi nirkabel untuk membaca tegangan pada batang baja. Pada Gambar 16 diperlihatkan panel data akuisisi buatan tim riset untuk dipasang pada model hidroelastik kapal selam. Data akuisisi yang dipakai digunakan untuk mengambil data tegangan bending stress yang terjadi pada penampang memanjang lambung kapal selam skala model.

Pada Gambar 17 diperlihatkan data akuisisi yang dirancang oleh tim riset dimana didalamnya terdiri dari mikrokontroler, amplifier dan voltage regulator.



Gambar 16. Data Akuisisi Panel Buatan Tim Riset Untuk Dipasang Pada Model Hidroelastik Kapal Selam



Gambar 17. Data Akuisisi Panel Buatan Tim Riset Siap Dipasang Pada Model Hidroelastik Kapal Selam

Secara paralel dengan pembuatan dan pengujian panel data akuisisi berbasis mikrokontroler dan bersistem nirkabel, dilakukan juga persiapan pemasangan strain gauge pada model hidroelastis kapal selam ini dengan menggunakan 9 buah strain gage, yang dilengkapi dengan kabel 1m.

Pemasangan instrumentasi pada model hidroelastis kapal selam ini hanya terdiri dari 2

buah jenis sensor yaitu “strain gauge” dan “accelerometer”, dimana “strain gauge” untuk mengukur respon dari batang elastik sedangkan accelerometer digunakan untuk mengukur besaran gaya yang bekerja pada model kapal selam tersebut. Strain gauge dipasang pada $\frac{1}{4}$ l dari depan, midship dan $\frac{1}{4}$ l dari buritan. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 18 dimana berupa pemasangan “strain gauge” pada $\frac{1}{4}$ dari haluan model kapal selam, pada bagian tengah (midship) dari model kapal selam dan pada $\frac{1}{4}$ dari buritan model kapal selam. Strain gauge yang terpasang diposisikan searah dengan sumbu x dan sumbu y model kapal selam. Untuk accelerometer hanya dipasang pada posisi midship seperti diperlihatkan pada Gambar 19.

Selanjutnya pada Gambar 20 diperlihatkan model kapal selam telah terpasang sistem propulsi dan instrumentasi pengukuran. Komponen sistem pengukuran dan pemantauan nirkabel yang terpasang pada model kapal selam ini dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen Wireless SHM Model Kapal Selam

No	Jenis Komponen	Manufaktur
1	Strain Gauge	TML FLA 2-350-23
2	Mikrokontroler	Arduino Mega
3	DAAS Preamp	INA 125P
4	Daas Software	Arduino Ino
5	Radio Telemetry	3DS 433 MHz
6	Radio Telemetry Software	Open Source 3DR



Gambar 18. Pemasangan “strain gauge” pada $\frac{1}{4}$ l dari haluan model kapal selam



Gambar 19. Pemasangan “accelerometer” pada $\frac{1}{4}$ l dari haluan model kapal selam



Gambar 20. Model Kapal Selam Telah Terpasang Sistem Propulsi Dan Instrumentasi Pengukuran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

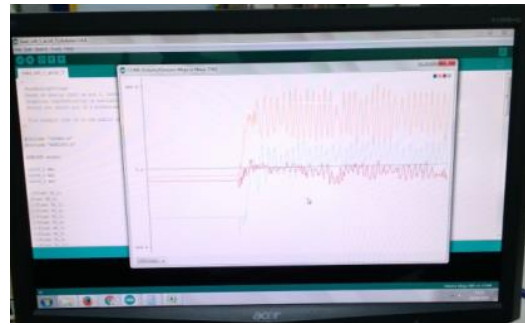
Pengujian sistem pengukuran nirkabel pada model hidroelastis kapal selam ini dilakukan pada tangki gelombang manouevring and ocean engineering basin (MOB). Terdapat dua kondisi pengujian yaitu kondisi ground test dan kondisi wet test.

Kondisi ground test adalah kondisi pada saat model kapal selam belum masuk ke kolam MOB, dimana pengujian ini dilakukan untuk fungsi sistem baik penggerak nirkabel maupun sistem nirkabel pengukuran atau pemantauannya struktur lambung kapal selam. Pada saat ground test dilakukan pemukulan terhadap lambung kapal selam pada bagian $\frac{1}{4}$ haluan, midship dan $\frac{1}{4}$ buritan yang terdapat strain gauge untuk melihat apakah data bisa terkirim ke laptop seperti ditunjukkan pada gambar 23.

Setelah dilakukan pengujian ground test seperti pada gambar 23, maka data hasil pemukulan lambung kapal selam dapat terkirim ke laptop seperti ditunjukkan pada gambar 24.

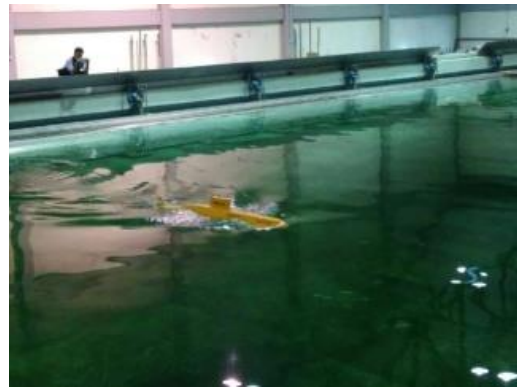


Gambar 23. Uji Fungsi Sistem Pemantauan Nirkabel Ground Test



Gambar 24. Hasil Uji Fungsi Sistem Pemantauan Nirkabel Ground Test

Kondisi wet test adalah kondisi pada saat model kapal selam dimasukkan kedalam air untuk dilakukan pengujian pemukulan lambung kapal selam seperti ditunjukkan pada Gambar 25. Pada saat wet test dilakukan pemukulan terhadap lambung kapal selam pada bagian $\frac{1}{4}$ haluan, midship dan $\frac{1}{4}$ buritan yang terdapat strain gauge untuk melihat apakah data bisa terkirim ke laptop.



Gambar 25. Uji Fungsi Sistem Pemantauan Nirkabel Wet Test

Setelah dilakukan pengujian wet test seperti pada Gambar 25, maka data hasil pemukulan lambung kapal selam dapat terkirim ke laptop seperti ditunjukkan pada Gambar 26 dan Gambar 27



Gambar 26. Hasil Uji Fungsi Sistem Pemantauan Nirkabel Wet Test

Channels	11																				
Samples	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Date	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	2017/09/20	
Time	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	11:14:04.1319880000227036806	
V_Unit_Label	m/s	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	Strain	m/s2
X_Dimension	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time
XX	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0	
Delta_X	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000	0.001000
End_of_header																					
X_Value	Speed	SG_1_LMI 171	SG_2_LMI 171	SG_3_LMI 171	SG_4_LMI 171	SG_5_LMI 171	SG_6_LMI 171	SG_7_LMI 171	SG_8_LMI 171	SG_9_LMI 171	SG_10_LMI 171	SG_11_LMI 171	SG_12_LMI 171	SG_13_LMI 171	SG_14_LMI 171	SG_15_LMI 171	SG_16_LMI 171	SG_17_LMI 171	SG_18_LMI 171	SG_19_LMI 171	SG_20_LMI 171
0.000000	0.008921	1.888905E-6	-5.945678E-6	4.542401E-6	8.243266E-6	-3.389209E-6	5.425668E-6	-3.056292E-6	-3.8												
0.001000	0.008977	-1.508401E-6	8.493884E-7	1.144939E-6	8.243266E-6	3.485995E-6	5.425668E-6	-3.056292E-6	6.38												
0.002000	0.009433	1.888905E-6	8.493884E-7	-2.252499E-6	8.243266E-6	3.485995E-6	5.425668E-6	-7.124991E-6	-4.8												
0.003000	0.009410	-8.302945E-6	-9.343177E-6	1.144939E-6	-1.954569E-6	3.485995E-6	5.425668E-6	-1.309207E-6	-3.8												
0.004000	0.009877	-1.170018E-5	-9.343177E-6	1.144939E-6	1.444688E-6	3.485995E-6	5.425668E-6	-1.119366E-5	-7.1												
0.005000	0.008433	-4.905685E-6	7.644548E-6	4.542401E-6	4.843965E-6	-3.389209E-6	-4.766514E-6	-7.124991E-6	-4.8												
0.006000	0.009165	-4.905685E-6	-2.548157E-6	-5.849924E-6	1.444688E-6	-3.389209E-6	2.828245E-6	-3.056292E-6	-3.8												
0.007000	0.008189	-8.302945E-6	-9.343177E-6	-2.252499E-6	-5.353881E-6	8.833647E-8	-1.309207E-6	1.812441E-6	2.99												
0.008000	0.008998	-4.905685E-6	-2.548157E-6	-2.252499E-6	1.444688E-6	3.485995E-6	2.828245E-6	-1.119366E-5	-7.1												
0.009000	0.009410	-1.170018E-5	8.493884E-7	1.133739E-5	1.444688E-6	3.485995E-6	2.828245E-6	-1.119366E-5	-3.8												
0.010000	0.008433	-1.170018E-5	-2.548157E-6	1.144939E-6	-5.353881E-6	-3.389209E-6	-8.103895E-6	-1.933895E-5	-7.1												
0.011000	0.008921	-1.170018E-5	4.246956E-6	-5.849924E-6	1.444688E-6	-3.389209E-6	-4.766514E-6	-1.119366E-5	2.99												
0.012000	0.008921	-1.170018E-5	-5.945678E-6	-5.849924E-6	4.843965E-6	8.833647E-8	-4.766514E-6	-7.124991E-6	-4.8												
0.013000	0.009991	-1.170018E-5	8.493884E-7	4.542401E-6	1.444688E-6	-3.389209E-6	-1.309207E-6	-7.124991E-6	-4.8												
0.014000	0.011119	-1.509740E-5	-2.548157E-6	-2.252499E-6	1.444688E-6	-6.786731E-6	-1.309207E-6	-3.389207E-6	-3.8												
0.015000	0.010142	-4.905685E-6	-5.945678E-6	4.542401E-6	-5.353881E-6	-6.786731E-6	-4.766514E-6	1.812441E-6	2.99												
0.016000	0.009410	1.888905E-6	8.493884E-7	-2.252499E-6	8.243266E-6	8.833647E-8	-1.309207E-6	1.812441E-6	2.99												
0.017000	0.010875	-1.508401E-6	1.104216E-5	7.939885E-6	1.444688E-6	8.833647E-8	5.425668E-6	1.812441E-6	-4.8												
0.018000	0.009165	1.888905E-6	8.493884E-7	-2.252499E-6	4.843965E-6	6.883497E-6	2.828245E-6	-7.124991E-6	-3.8												
0.019000	0.008921	-1.508401E-6	4.246956E-6	-2.252499E-6	8.243266E-6	-6.786731E-6	-1.309207E-6	-7.124991E-6	-3.8												
0.020000	0.008998	5.286235E-6	4.246956E-6	1.144939E-6	-1.954569E-6	-3.389209E-6	-4.766514E-6	5.081207E-6	-4.8												
0.021000	0.009165	-1.508401E-6	8.493884E-7	-5.849924E-6	4.843965E-6	6.883497E-6	-1.309207E-6	1.812441E-6	-4.8												
0.022000	0.010142	-1.508401E-6	-5.945678E-6	-2.252499E-6	1.444688E-6	-3.389209E-6	2.828245E-6	5.081207E-6	-4.8												
0.023000	0.010875	-1.508401E-6	8.493884E-7	7.939885E-6	4.843965E-6	8.833647E-8	2.828245E-6	-3.056292E-6	-4.8												
0.024000	0.008921	-1.170018E-5	-5.945678E-6	5.849924E-6	1.444688E-6	-3.389209E-6	-1.309207E-6	-1.526229E-5	6.38												
0.025000	0.007456	-1.508401E-6	8.493884E-7	1.144939E-6	-1.954569E-6	8.833647E-8	2.828245E-6	-1.526229E-5	-4.8												
0.026000	0.009165	-1.170018E-5	-2.548157E-6	-5.849924E-6	-5.353881E-6	-6.786731E-6	5.425668E-6	-1.119366E-5	-4.8												

Gambar 27. Data Strain Gauge Saat Pemantauan Beban Hidrodinamika

Dengan terkirimnya data hasil pengujian ground test dan wet test uji sistem nirkabel berhasil dilakukan. Data hasil pemukulan lambung kapal selam ini yang nantinya akan diproses untuk dihitung nilai hidroelastis model kapal selam.

4. KESIMPULAN

Secara umum penulisan ini menunjukkan telah berhasilnya pembuatan model hidroelastik kapal selam berpropulsi mandiri untuk uji nirkabel pemantauan integritas struktur menggunakan mikrokontroler. Data pengujian pada saat ground test dan wet test dapat ter-transmitted dengan baik ke laptop yang berada didarat. Data yang terkirim berlangsung secara real time sehingga dapat memantau gaya-gaya yang diterima strain gauge akibat pemukulan lambung kapal. Data ini yang nantinya dijadikan acuan untuk menentukan apakah struktur lambung kapal selam berada pada kondisi yang baik atau tidak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Kemenristekdikti terkait dengan bantuan dana kegiatan riset melalui program Insinas IRPI tahun anggaran 2015 - 2017.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Arentzen E. S, Mandel P, Naval Architectural Aspects of Submarine Design, Presented at Annual Meeting of THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECT AND MARINE ENGINEERS, New York, NY November 17-18, 1960.

[2]. Wood T, Spotlight on Submarines, Franklin Watts – London , 1989.

[3]. http://en.wikipedia.org/wiki/type_submarine 209 submarine.

[4]. <http://defence.co/new-submarine-design>

[5]. Rousset J.-M., Pettinotti B., Quillard O., Toularastel J.-L., Ferrant P, " Slamming experiments on a ship model", 20th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies (IWWF) - Longyearbyen, Norway, 2005.

[6]. Kapsenberg G.K., van 't Veer A.P., Hackett J.P., and Levadou M.M.D., " Whipping loads due to aft body slamming," 24TH Symposium on Naval Hydrodynamics, Fukuoka, JAPAN, 8-13 July 2002.

[7]. Lavroff J, Davis M R., Holloway D S., Thomas G, " The Whipping Vibratory Response of a Hydroelastic Segmented Catamaran Model", Ninth International Conference on Fast Sea Transportation, FAST2007, Shanghai, China, September, 2007.

[8]. Vorus, S, William, " VIBRATION", The Principle Naval Architecture Series, 2010.

[9]. Ship Structure Committee, Development Of A Structural Health Monitoring Prototype For Ship Structures, Report no. 468, 2013.

[10]. Darryll J Pinesy and Philip A Lovellz,, Conceptual framework of a remote wireless health monitoring system for large civil structures", Journal of Smart Material and Structure 7, 627–636, 1998.

[11]. Bielen, P., Lossi, M. Vandepitte, e, D., A low cost wireless multi-channel measurement system for strain gauges, Proceedings Of Isma - Volume II, pp 663 – 670, 2002.

- [12]. Arms, S.W. & Townsend, C. P., Wireless Strain Measurement Systems – Applications & Solutions, NSF-ESF Joint Conference on Structural Health Monitoring Strasbourg, France , Oct 3-5, 2003.
- [13]. Swartz ., R. Andrew , Zimmerman., Andrew T, Lynch ., Jerome P, Brady., Thomas F, Jesus Rosario, Salvino., Liming W, Law., Kincho H, Wireless Hull Monitoring Systems for Modal Analysis of Operational Naval Vessels, Proceedings of the IMAC-XXVII, Orlando, Florida USA, Society for Experimental Mechanics Inc., February 9-12, 2009.
- [14]. Drummen, Ingo., Schiere, Marcus., Dallinga, Reint., and Stambaugh, Karl., Full and Model Scale testing of a New Class of US Coast Guard Cutter, Ship Structure Symposium, Linthicum Heights, MD, May 18-20, 2014.