

Pemodelan Matematis Berat Baja Badan Kapal Sebagai Fungsi dari GT

Nomo Prihasta, Soejitno, dan Sri Rejeki Wahyu Pribadi

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: sri-rejeki@na.its.ac.id

Abstrak - Estimasi terhadap berat baja kapal merupakan hal yang sangat penting dilakukan sebelum melakukan tahap *pra* desain. Hal ini dilakukan agar kapal yang dibangun, beratnya tidak melebihi dari desain awal yang diinginkan oleh pihak *owner*. Perhitungan dengan metode yang biasa digunakan seperti Watson kurang sesuai jika diterapkan untuk pembangunan kapal baru saat ini, apalagi dengan perbedaan kondisi daerah perairan di Indonesia. Perhitungan berat baja yang dihasilkan akan semakin bertambah besar, tentunya ini akan mengurangi berat muatan yang dapat diangkut oleh kapal tersebut. Penelitian ini dilakukan terlebih dahulu dengan mengumpulkan sejumlah data - data kapal yang mempunyai ukuran dan *gross tonnage* tertentu. Dari data kapal tersebut akan dilakukan analisa regresi mengenai variabel apa saja yang berpengaruh dalam perhitungan berat baja badan kapal. Selanjutnya akan dilakukan analisa regresi untuk mencari model persamaan berat baja kapal yang mempunyai harga R^2 (*R Square*) yang paling tinggi dan untuk pengujian kevalidan hasil pemodelan dilakukan dengan pengujian *anova* dan menghitung nilai simpangan (*aggregative deviation*), simpangan rata - rata (*mean deviation*) antara berat konstruksi hasil model dengan berat konstruksi secara real di lapangan. Hasil dari pemodelan tersebut akan didapatkan rumusan empiris mengenai berat baja kapal yang hubungannya dengan besarnya ukuran utama kapal dengan variabel yang paling berpengaruh secara *significant* terhadap berat baja (*Wst*) adalah *Lpp* (*Lenght of prependicular*), *B* (*Breadth*), *D* (*Dept*) dan *T* (*Draft*).

Kata Kunci - Analisa regresi, Berat baja badan kapal, Metode PCA, Model matematis.

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi pembuatan kapal mulai menunjukkan hal yang ke arah lebih baik, kapal sebagai media utama transportasi laut merupakan ladang bisnis yang cukup menjanjikan untuk industri pembangunan kapal di Indonesia. Faktor - faktor yang mempengaruhi perkembangan kondisi kapal sangat diperhatikan, hal utama yang menyangkut dengan efisiensi dan efektifitas produksi kapal sangat perlu diperhatikan, terutama dalam hal perhitungan berat baja kapal. Karena dengan bertambah besarnya berat yang dimiliki kapal akan mengurangi jumlah muatan yang dapat diangkut oleh kapal tersebut. Dengan adanya kondisi tersebut maka diperlukan perhitungan terhadap efektifitas berat baja kapal yang nantinya digunakan agar hasil perhitungan tersebut memenuhi dengan apa yang diharapkan oleh pihak *owner*. Pengembangan dari metode yang sebelumnya sudah ada dirasa kurang mewakili dalam kondisi industri perkapalan saat ini. Perhitungan dengan menggunakan metode yang sudah ada kurang menghasilkan hasil yang maksimal dikarenakan adanya perbedaan faktor yang ada untuk kondisi kapal sekarang. Rumusan empirik seperti halnya Watson masih menggunakan data kapal buatan

lama, sehingga jika rumus tersebut diterapkan untuk tipe kapal baru sekarang akan menghasilkan hasil perhitungan yang kurang sesuai. Pengembangan terhadap beberapa metode yang sudah ada sebelumnya perlu dilakukan agar dapat digunakan sesuai dengan kondisi industri perkapalan saat ini. Dari uraian diatas maka penulis akan mencoba membuat suatu model matematis perhitungan mengenai berat baja badan kapal yang sesuai dengan kondisi perkembangan teknologi sekarang ini.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahap Telaah

Penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu mengumpulkan sejumlah data ukuran utama kapal Ferry dan berat konstruksi kapal (*Hull Construction*). Dari data kapal yang diperoleh akan dilakukan pemetaan variabel mengenai hubungan antarvariabel ukuran utama kapal dengan berat baja badan kapal. Dari hasil pemetaan variabel tersebut dilakukan analisa apakah data telah terdistribusi secara normal dengan menggunakan uji normalitas. Selanjutnya akan dilakukan pengujian kontribusi variabel dengan menggunakan uji korelasi pearson, dari pengujian tersebut akan diketahui variabel mana saja yang berpengaruh didalam pemodelan rumus berat baja badan kapal [1]. Dari hasil analisa uji korelasi antara variabel terikat dengan variabel bebas maka dapat dilihat jika terjadi hubungan korelasi yang kuat antarvariabel bebas maka analisa regresi tidak dapat secara langsung digunakan, dapat dikatakan bahwa variabel tersebut terjadi masalah multikolinearitas. Untuk itu harus dilakukan penanggulangan masalah multikolinearitas antarvariabel terlebih dahulu. Namun jika tidak terjadi hubungan antarvariabel bebasnya maka analisa dapat dilanjutkan dengan menggunakan regresi linear berganda [2]. Hasil pemodelan persamaan berat baja badan kapal selanjutnya dilakukan uji kebenaran secara statistik melalui *Anova* (*analysis of varians*) untuk mengetahui kevalidan dari persamaan yang dihasilkan dan dengan derajat kebenaran 95 % ($\alpha = 0.05$) [3]-[4]. Selanjutnya dalam uji model tersebut dapat diketahui apakah model tersebut berpengaruh secara *significant* terhadap kontribusi berat konstruksi kapal. Persamaan model yang dihasilkan melalui analisa regresi secara statistik dilakukan pengujian kevalidan model dengan membandingkan dengan persamaan - persamaan yang sudah ada. Dalam penelitian ini digunakan 2 (dua) metode yang digunakan sebagai pembanding model yang sudah ada. Persamaan yang digunakan dalam perbandingan model yang dihasilkan adalah persamaan Watson [5] dan persamaan Schneekluth [6]. Setelah dilakukan perbandingan antara model yang ada maka akan dipilih satu model yang terbaik yang memiliki kriteria yaitu mempunyai nilai R^2 (*R Square*)

yang tinggi, mempunyai nilai *Adjusted R²* yang maksimum dan dalam pengujian validasi model tersebut harus memenuhi kriteria sebagai berikut memiliki nilai simpangan rata – rata tidak melebihi 10 % (Spurr 1952), memiliki nilai standart deviasi yang minimum, memiliki nilai variansi yang minimum.

III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Pemetaan Variabel

Variabel – variabel yang dipakai dalam perhitungan estimasi pada kapal baja menurut beberapa orang yang merumuskannya adalah sebagai berikut :

- Roester,Raben,Sturtzel $Wst = f (L, B, D, L/D, L/B, Cb, n)$
- Puchstein $Wst = f (Lpp, L/D, L/B, T/D, Cb)$
- Carsten $Wst = f (L, B, D, L/D, T/D)$
- Schneekluth $Wst = f (L, B, D, L/D, L/B, T/D, Cb, Cm, n)$
- Watson $Wst = f (Lpp, B, D, T, Ls, Hs, Cb)$
- Sato's $Wst = f (L, B, D, Cb \text{ dan } B/D)$
- Chapman/Muller $Wst = f (Lpp, B, D, Cb \text{ dan } L/D)$
- Watson dan Gilfillan $Wst = f (L, B, D, Cb \text{ dan } L/D)$
- Wehkamp/kerlen $Wst = f (Lpp, B \text{ dan } Cb)$
- Murray, J.M $Wst = f (L, B, Cb \text{ dan } B/D)$

dari keseluruhan persamaan yang ada diatas variabel yang memungkinkan berpengaruh terhadap perhitungan berat konstruksi kapal [1] adalah sebagai berikut :

$$Wst = f \{ L, B, D, T, \frac{L}{D}, \frac{L}{B}, \frac{T}{D}, \frac{B}{D}, Cb, Ls \text{ dan } Hs \}$$

B. Uji Normalitas Data

Sebelum melakukan analisa uji korelasi antar variabel bebas dan variabel terikat maka dilakukan uji normalitas. Uji normalitas data dilakukan untuk mengetahui bahwa data yang di analisa terdistribusi normal [4]. Dari hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan bahwa semua data yang ada terdistribusi secara normal.

C. Pengujian Kontribusi Variabel

Dari hasil uji korelasi yang dilakukan dengan menggunakan software statistika maka didapatkan variabel

Loa, Lpp, B, D, T, $\frac{L}{D}$ dan $\frac{L}{B}$ mempunyai korelasi (r) yang

tinggi dalam menjelaskan variabel terikat *Wst* dimana variabel tersebut mempunyai harga masing – masing untuk *Loa* = 0,990, *Lpp* = 0,991, *B* = 0,945, *D* = 0,956, *T* = 0,963,

$\frac{L}{D}$ = 0,896 dan $\frac{L}{B}$ = 0,921 dan $\frac{B}{D}$ = - 0,605. Sedangkan

variabel *Cb* dan $\frac{T}{D}$ tidak dimasukkan ke dalam model yang

ada dikarenakan variabel tersebut mempunyai nilai korelasi kurang dari 0,6. Nilai korelasi yang dihasilkan dalam uji korelasi antarvariabel bebas dan variabel terikat menunjukkan bahwa hampir semua variabel memiliki nilai korelasi di atas 0,6 dan yang mempunyai nilai korelasi di bawah 0,6 hanya

beberapa variabel yaitu variabel *Cb* dan variabel $\frac{T}{D}$. Dari

hasil analisa uji korelasi yang telah dilakukan bahwa dapat di analisa juga terjadi masalah multikolinearitas antarvariabel

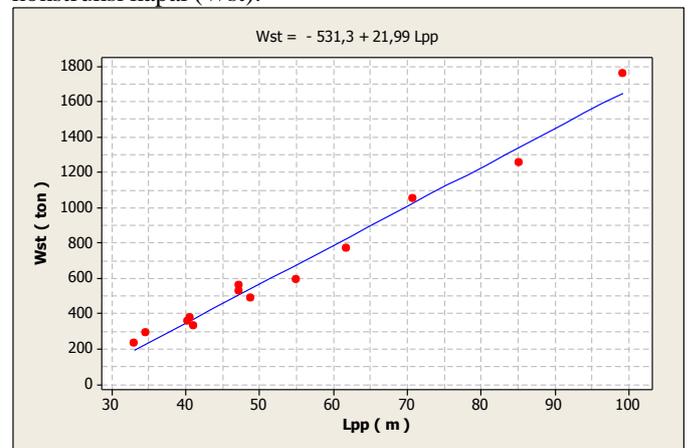
bebas. Untuk dapat menghilangkan hubungan antarvariabel yang multikolinear maka dapat diatasi dengan mengeluarkan salah satu variabel bebas yang berkorelasi tinggi dengan variabel bebas lain. Pengeluaran variabel ini dapat dilakukan melalui metode *stepwise* dan penerapan prosedur PCA (*Principal Component Analysis*) yang terdapat dalam paket software statistik [2].

D. Pemodelan regresi dengan metode *stepwise*

Prinsip dari pemodelan dengan metode *stepwise* yaitu seluruh variabel yang berpengaruh terhadap variabel terikatnya dimasukan dalam analisa, namun selanjutnya seleksi dilakukan dengan memasukkan pertama kali variabel yang mempunyai korelasi tertinggi dan *significant* dengan variabel terikat, variabel yang masuk kedua adalah variabel yang korelasi parsialnya tertinggi dan masih *significant*, setelah variabel tertentu masuk ke dalam model maka variabel lain yang ada di dalam model di evaluasi, jika ada variabel yang tidak *significant* maka variabel tersebut dikeluarkan [4]. Dengan memasukan semua variabel yang berpengaruh dan mempunyai harga korelasi yang tinggi terhadap berat konstruksi kapal (*Wst*) dilakukan analisa regresi linear dengan menggunakan alat bantu software statistik maka didapatkan hasil model regresi sebagai berikut:

$$Wst = -531,268 + 21,991Lpp \tag{1}$$

Model tersebut mempunyai harga *R²* sebesar 0,982 yang artinya bahwa sebesar 98,2 % model tersebut mampu menjelaskan hasil perhitungan berat konstruksi kapal dengan baik. Hasil pemodelan kemudian dilakukan pengujian varians (*Anova*) dengan menggunakan software statistik. Hasil *anova* menunjukkan bahwa variabel dalam model di atas secara *significant* memberikan kontribusi terhadap berat konstruksi kapal (*Wst*).



Gambar. 1. Grafik hubungan variabel Lpp dengan berat konstruksi kapal

E. Pemodelan dengan metode *Principal Component Analysis*

Pada pemodelan ini terlebih dahulu harus dilakukan penanggulangan terhadap adanya masalah multikolinearitas. Dalam hal ini menggunakan prosedur PCA (*Principal Component Analysis*) merupakan hal yang paling cocok digunakan. Prosedur PCA pada dasarnya bertujuan untuk menyederhanakan variabel yang diamati dengan cara mereduksi dimensinya [2]. Hal ini dilakukan dengan cara menghilangkan korelasi di antara variabel bebas melalui transformasi variabel bebas asal ke variabel baru yang tidak berkorelasi sama sekali. Hasil analisa dengan menggunakan software bantuan statistik didapatkan variabel baru untuk

persamaan berat baja badan kapal sebagai berikut.

$$X = 0,18L + 0,171B + 0,176D + 0,177T + 0,165 \frac{L}{D} + 0,172 \frac{L}{B} \tag{2}$$

$$X_1 = 0,099L^2 + 0,095B^2 + 0,097D^2 + 0,097T^2 + 0,09 \left(\frac{L}{D}\right)^2 + 0,092 \frac{L}{B} + 0,099(l_1.h_1) + 0,093(l_2.h_2) + 0,097(B+T)^2 + 0,087(D-T)^2 + 0,098(B+D)^2 \tag{3}$$

$$X_2 = 0,132L^2 + 0,132D^2 + 0,132T^2 + 0,132(l_1.h_1) + 0,125(l_2.h_2) + 0,13(B+T)^2 + 0,119(D-T)^2 + 0,131(B+D)^2 \tag{4}$$

dengan l_1 menyatakan panjang bangunan diatas main deck (geladak penumpang), h_1 adalah tinggi bangunan pada geladak kendaraan, l_2 adalah panjang bangunan atas kedua (geladak navigasi), h_2 adalah panjang bangunan pada geladak passanger

Dari hasil analisis didapatkan 3 (tiga) bentuk variabel baru yang bebas dari masalah multikoliner. Masing-masing dari bentuk variabel baru tersebut kemudian dilakukan analisis secara regresi linear sederhana dengan bentuk sebagai berikut.

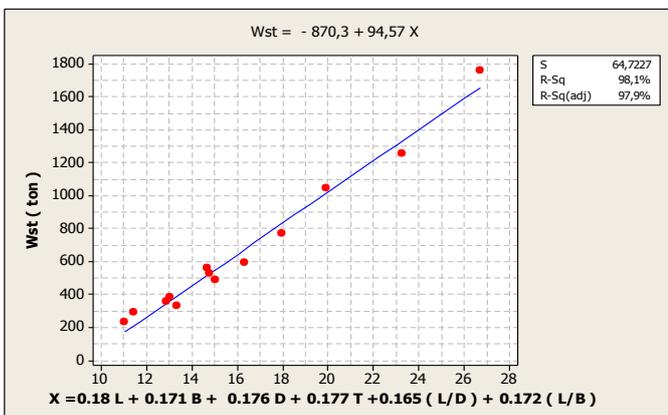
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \tag{5}$$

dengan Y menyatakan berat konstruksi kapal (Wst), β menyatakan konstanta dan X adalah variabel baru [1]. Dari hasil analisa regresi yang telah dilakukan didapatkan 3 (tiga) model persamaan yang berasal dari pembentukan variabel baru yang dilakukan. Bentuk model regresinya adalah sebagai berikut.

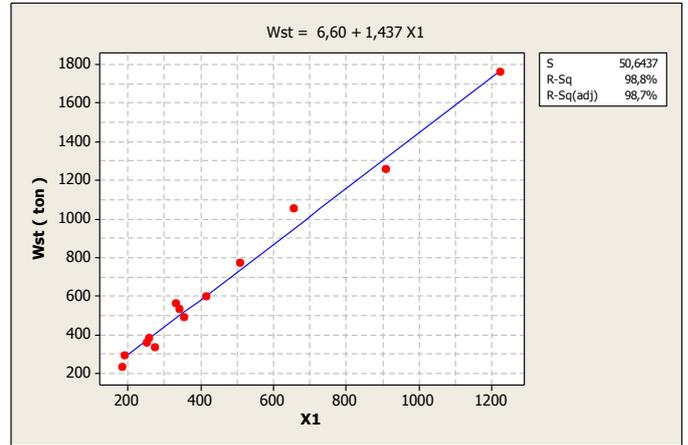
$$Wst = -870,338 + 94,567 X \tag{6}$$

$$Wst = 6,6 + 1,4 X_1 \tag{7}$$

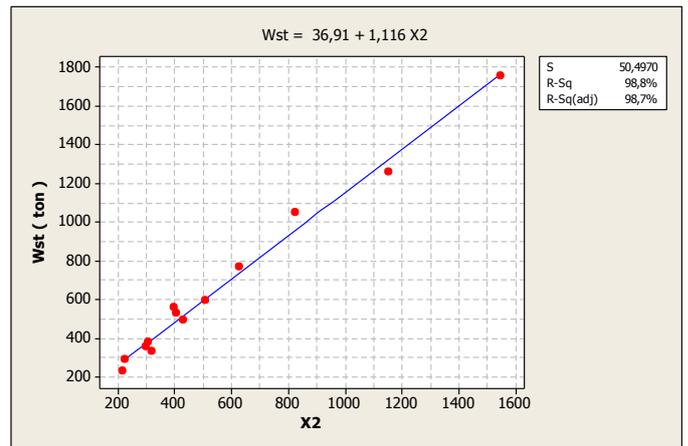
$$Wst = 36,907 + 1,116 X_2 \tag{8}$$



Gambar. 2. Grafik hubungan variabel X dengan berat konstruksi kapal.



Gambar. 3. Grafik hubungan variabel X₁ dengan berat konstruksi kapal.



Gambar. 4. Grafik hubungan variabel X₂ dengan berat konstruksi kapal.

F. Uji validasi model

Untuk mendapatkan hasil pemodelan yang baik dan sekaligus menentukan model mana dari keempat model (1),(6),(7) dan (8) di atas yang mempunyai tingkat keakuratan yang paling tinggi, maka hasil pemodelan tersebut dilakukan perbandingan dengan menggunakan model persamaan berat baja sebelumnya, dalam hal ini akan dilakukan uji perbandingan dengan menggunakan rumusan Watson dan Schneekluth. Selain itu pemilihan model yang baik harus memperhatikan yang disebut sebagai *sensitivitas* model yaitu tingkat kepekaan / keakuratan model dalam memprediksi nilai variabel terikatnya atau variabel apa yang paling berpengaruh dalam setiap perubahan nilai yang dihasilkan oleh variabel terikatnya. Di dalam model regresi tingkat *sensitivitas* dapat dilihat dari nilai *R square* dan SEE (*standart error of the estimate*) yang ditunjukkan dalam tabel koefisien determinasi *R square*. *R square* dalam model merupakan ukuran yang menyatakan besarnya *variabilitas* respon yang mampu dijelaskan oleh prediktor. Dengan kata lain *R square* menunjukkan seberapa besar variabel bebas yang ada di dalam model tersebut mampu menjelaskan variabel bebasnya dengan baik. Sedangkan SEE menyatakan selisih data aktual dengan hasil prediksi. Sehingga model yang memiliki tingkat *sensitivitas* yang baik adalah yang memiliki nilai *R-square* besar dan *standart error* yang kecil.

Hasil dari uji validasi didapatkan dari nilai simpangan rata – rata yang terendah yang didapatkan dari hasil perbandingan antara model – model yang telah dibuat dengan hasil berat konstruksi real, berat dengan pendekatan rumus Watson dan rumus Schneekluth. Hasil perbandingan berat konstruksi kapal seperti pada tabel di bawah ini :

Tabel 1.
Uji perbandingan model

No.	Nama Kapal	Berat Konstruksi Kapal (ton)						
		real	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Watson	Schneekluth
1	Ferry 300 GT	291,00	211,36	227,42	276,20	270,95	215,68	194,50
2	Ferry 500 GT	230,83	172,86	194,44	267,65	264,93	224,66	187,57
3	Ferry 500 GT	357,16	345,37	351,67	360,95	350,62	224,66	272,30
4	Ferry 500 GT	352,00	390,80	370,36	391,00	372,60	357,52	301,95
5	Ferry 500 GT	378,53	360,56	361,57	367,70	355,58	317,20	272,30
6	Ferry 600 GT	557,00	514,04	507,81	471,17	456,16	431,42	365,11
7	Ferry 600 GT	527,00	528,30	507,81	484,69	465,38	320,51	272,91
8	Ferry 750 GT	489,49	551,17	542,33	504,24	491,02	485,32	430,11
9	Ferry 1000 GT	592,00	672,49	678,24	587,85	576,08	523,27	459,89
10	Ferry 1500 GT	768,09	825,67	824,92	720,00	701,90	641,99	618,24
11	Ferry 2000 GT	1047,58	1013,87	1025,69	925,79	908,45	937,80	988,73
12	Ferry 3000 GT	1257,00	1327,16	1342,37	1283,83	1265,05	1354,40	1518,26
13	Ferry 5000 GT	1756,89	1651,82	1650,24	1722,36	1688,75	2039,34	2197,17

Dari nilai perhitungan dengan menggunakan persamaan yang sudah ada pada Tabel 1., maka didapatkan nilai besarnya berat konstruksi kapal (*Wst*) untuk tiap – tiap model, maka untuk selanjutnya dilakukan analisa statistika frekuensi dengan menggunakan software statistik, maka dapat disimpulkan bahwa persamaan yang memiliki model terbaik antara ke empat model yang dihasilkan adalah model (8) yaitu,

$$Wst = 36,907 + 1,116X_2 \tag{8}$$

dengan X_2 rujuk ke (4). Model diatas memiliki nilai simpangan (*standart deviation*) dan *varians* yang paling rendah di antara model – model yang lainnya.

Dari hasil analisis frekuensi yang telah dilakukan pada masing-masing model dapat disimpulkan bahwa model (8) yang memiliki nilai rata – rata simpangan dibawah nilai 5. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut layak dijadikan model utama dalam perhitungan berat baja badan kapal untuk kapal ferry.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil penulis dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Faktor - faktor yang berpengaruh dalam perhitungan berat baja badan kapal adalah
 - *Lpp* (Panjang perpendicular) yang mempunyai nilai korelasi 0,991
 - *B* (Lebar) yang mempunyai nilai korelasi 0,945
 - *D* (Tinggi) yang mempunyai nilai korelasi 0,956
 - *T* (Sarat) yang mempunyai nilai korelasi 0,963
 - *Ls* (Panjang Bangunan Atas)
 - *Hs* (Tinggi Bangunan Atas)
 - *n* jumlah geladak pada kapal ferry dengan ukuran di atas 2000 *GT*

Untuk Variabel *Cb* tidak terlalu berpengaruh dalam pemodelan ini disebabkan variabel *Cb* memiliki nilai korelasi < 0,6. Dan juga jumlahnya variabel yang mempunyai nilai korelasi < 0,6 sangat sedikit sehingga jika nantinya variabel tersebut dimasukan dalam model akan membuat model menjadi jelek.

2. Dari hasil pemodelan yang telah dilakukan pada analisa regresi statistik pada bab sebelumnya dan setelah dilakukan uji validasi terhadap kevalidan model yang dihasilkan maka didapatkan persamaan hubungan antara ukuran utama kapal dengan berat konstruksi kapal (*Wst*) adalah sebagai berikut:

$$Wst = 36,907 + 1,116X_2 \tag{8}$$

Dengan X_2 rujuk ke (4) dan mempunyai tingkat

kepercayaan sebesar $R^2 = 0.988$. Rumus ini digunakan untuk ukuran kapal ferry antara 300 - 5000 *GT*. Untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal lagi maka pemodelan harus dibagi menjadi 2 range yaitu ukuran 300-1000 *GT* dan 1000 – 5000 *GT* dan itu tentunya membutuhkan sampling model kapal yang lebih banyak lagi.

3. Untuk model yang digunakan sebagai perbandingan uji validasi seperti Watson menghasilkan berat konstruksi kapal yang kurang sesuai dari nilai berat konstruksi perhitungan secara real/aktual. Hal ini disebabkan karena model tersebut menggunakan data – data statistik model kapal untuk tahun yang lama. Yang kedua dapat dianalisa bahwa rumus terdahulu kurang sesuai dikarenakan rumus tersebut dibuat berdasarkan data kapal – kapal yang dibuat di Eropa sehingga karektaristik kondisi pelayaran yang berbeda dengan kondisi pelayaran yang ada di Indonesia. Dan yang ketiga hasil perhitungan dengan Watson dan Schneekluth tersebut kurang sesuai dikarenakan rumus tersebut tidak sesuai jika digunakan untuk kapal – kapal dengan ukuran yang relatif kecil yang berlayar di kepulauan Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak galangan kapal Adiluhung Sarana Segara Indonesia, Ben Santosa, Dumas, PAL Indonesia, Dok dan Perkapalan Surabaya dan BKI cabang Surabaya atas bantuan dan kesempatanya dalam perolehan data dalam penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Wahidin, “Studi Permodelan Estimasi Berat Kapal Kosong (Light Weight Ship) Untuk Kapal Fiberglass,” Tesis MT, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia (2005).
- [2] Soemartini. “Principal Component Analysis (PCA) sebagai Salah Satu Metode untuk Mengatasi Masalah Multikolinearitas,” Statistika, Universitas Padjadjaran, Jatinangor,Indonesia (2005).
- [3] D. Priyatno, *Buku Saku Analisis Data dengan SPSS*, Cetakan Pertama, Yogyakarta: Media Kom (2011).
- [4] Sarwono, Jonathan. *Panduan Lengkap untuk Belajar Komputasi Statistik Menggunakan SPSS 16*. Yogyakarta: Penerbit ANDI (2009).
- [5] D.G.M. Watson, *Practical Ship Design*, Vol I. Oxford: UK.Elsevier Science Ltd (1998).
- [6] H. Schneekluth, V. Bertram, *Ship Design Efficiency and Economy*, 2nd Ed. Oxford: UK. Butterworth Heinemann (1998).