

EFISIENSI PERUBAHAN KERAPATAN MATERIAL *POLYURETHANE* TERHADAP LAJU PENETRASI PANAS PADA PALKA KAPAL IKAN TRADISIONAL

Wilma Amiruddin¹, Budhi H. Iskandar², Bambang Murdiyanto², Mulyono S. Baskoro²

¹PS S1 T. Perkapalan F. Teknik UNDIP Semarang, Indonesia

²Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan (PSP), Sps FPIK IPB, Indonesia

E-mail : wisilmiw@yahoo.com

Abstrak

Efisiensi penggunaan material insulasi polyurethane dapat diukur melalui perubahan kerapatan material dengan laju panas yang dihasilkan, atau perbandingan antara perubahan daya simpan terhadap biaya material insulasi yang dibutuhkan. Pengaruh perubahan kerapatan tersebut diambil pada rentang nilai 30 – 50 kg/m³, yaitu berdasarkan data aplikasi di lapangan. Metode analisis dilakukan dengan menggunakan teori dasar perpindahan panas dengan menggunakan rancangan percobaan RAL faktorial pada laboratorium dan uji komputasi CFD dengan bantuan CFD LISA 76. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan material densitas insulasi yang efisien adalah penggunaan material insulasi dengan nilai pada kisaran 30 - 35 kg / m³ dengan efisiensi $\eta = \pm 0.7$. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi lebih akurat tentang penggunaan material insulasi polyurethane yang efisien dan efektif.

Kata-kata kunci : efisiensi, insulasi polyurethane, densitas, kapal ikan

1. PENDAHULUAN

Kualitas penyimpanan dalam palka atau kontainer ditentukan antara lain oleh kualitas insulasi dan pengaturan muatan yang diangkut di dalamnya. Kualitas insulasi, selain tergantung pada jenis materialnya juga dipengaruhi oleh densitas atau nilai kerapatannya. Pengertian densitas insulasi dalam pembahasan makalah ini adalah perbandingan antara jumlah larutan polyurethane yang dituang dalam kompartemen dinding insulasi terhadap besarnya volume ruang kompartemen yang dimaksud. Dalam volume ruang yang sama, nilai kerapatan akan menjadi lebih besar jika jumlah larutan polyurethane yang dituang dalam ruang tersebut ditambah jumlahnya.

Terdapat beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan material insulasi. Pertimbangan yang dimaksud mencakup faktor-faktor yang berkaitan dengan persoalan spesifikasi dan karakteristik bahan, nilai ekonomis, dan lingkungan. Karakteristik bahan adalah faktor yang memberikan keunggulan khusus terkait

dengan sifat fisika-kimia bahan, antara lain sifat konduktifitas termal, daya serap terhadap air, daya tahan terhadap api dan sebagainya. Sifat-sifat fisika -kimia tersebut pada umumnya digunakan sebagai acuan utama dalam menentukan pemilihan material insulasi.

Perbandingan karakteristik beberapa macam material insulasi, yang memberikan informasi tentang *properties* material, menunjukkan bahwa sebagian besar sifat-sifat baik yang mencakup sifat kimia dan fisiknya umumnya dimiliki oleh material *polyurethane* dan *polystyrene*. [1]

Alasan ini yang membuat beberapa komunitas pengrajin kapal ikan tradisional beralih ke *polyurethane* sebagai material insulasi dalam palka, di mana sebelumnya banyak digunakan alternatif material insulasi yang lain. Keuntungan *polyurethane* terhadap *polystyrene* adalah sifat konduktivitas termal yang lebih rendah, mudah dalam pemasangan. Beberapa acuan tentang nilai standar konduktivitas termal *polyurethane* dapat

disebutkan antara lain $k = 0,023$, [2] $k = 0,026$. [3]

Guna memenuhi kriteria insulasi sesuai yang diharapkan, pengrajin kapal ikan tradisional melaksanakan pembuatan insulasi dengan cara coba-coba (*trial and error*) (Amiruddin, dkk. 2013) [4]. Cara pembuatan dinding insulasi palka sebagaimana dijelaskan di atas, semata-mata dilakukan untuk mendapatkan kemampuan yang baik dari dinding insulasi dalam menahan panas dari luar kompartemen palka. Nilai perbandingan antara perubahan jumlah kerapatan ($\Delta\rho$) dengan nilai konduktivitas termalnya (Δk) tentu belum menjadi pertimbangan dalam hal ini. Kenaikan nilai kerapatan dalam kasus ini berkorelasi terhadap peningkatan jumlah material yang harus dituang dan hal ini juga berarti pada kenaikan biaya yang harus dikeluarkan. Kebiasaan para pengrajin kapal tradisional sebagaimana umumnya terjadi di lapangan, adalah melaksanakan pekerjaan berdasarkan pengetahuan turun temurun dan mengeksplorasi pengalaman yang diperoleh di lapangan. Kondisi tersebut tidak terukur pada standar tertentu, sehingga menarik untuk diteliti.

Tujuan dari penelitian ini adalah melihat efisiensi termal akibat perubahan nilai kerapatan (densitas) dari material insulasi polyurethane, di mana faktor efisiensi ditekankan pada aspek penerapan dilapangan oleh pengrajin kapal ikan tradisional. Data acuan yang digunakan merujuk pada hasil survey di lapangan, bahwa pengrajin kapal tradisional melaksanakan proses pembuatan dinding insulasi pada kerapatan material berkisar antara 26 hingga 60 kg. Dalam penelitian ini ditetapkan pengujian mulai pada batas minimal $\rho \geq 30 \text{ kg/m}^3$ untuk insulasi yang baik dan batas maksimum 50 kg/m^3 . Batas maksimum tersebut ditetapkan berdasarkan intensitas perlakuan dan kondisi yang memungkinkan untuk pelaksanaan di lapangan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aplikasi di lapangan

Peninjauan aplikasi material polyurethane ini dilaksanakan pada galangan kapal tradisional yaitu galangan kapal UD. Karyamina Putra Batang, dengan sebuah studi awal yang dilakukan di Daerah Pekalongan. Hasil survey menunjukkan bahwa pada 20 kompartemen palka kapal ikan yang ditinjau lebih dari 70 % aplikasi material

insulasi yang dimaksud telah memenuhi kriteria insulasi yang baik, yaitu kerapatan insulasi mencapai densitas ($\rho \geq 30 \text{ kg/m}^3$). [4] Hasil yang relatif baik tersebut merupakan perbaikan kriteria dari aplikasi material polyurethane pada beberapa tahun sebelumnya. Upaya pemenuhan kualitas insulasi sesuai dengan kriteria dilakukan oleh pengrajin dengan cara mengubah-ubah jumlah material polyurethane yang akan dituang ke dinding kompartemen dengan volume yang sama (*trial and error*). Fakta lain yang diperoleh di lapangan, bahwa dalam upaya meningkatkan nilai kerapatan material tersebut, pengrajin mengabaikan perubahan tekanan busa yang terjadi saat proses pengembangan material berlangsung. Hal ini dapat mengakibatkan terlepasnya beberapa papan dinding kompartemen saat pengecoran berlangsung. Ketika nilai (ρ) $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ umumnya tekanan busa yang timbul relatif cukup besar, dan mampu melepaskan papan penahan insulasi.

2.2 Kriteria insulasi yang baik

Polyurethane adalah jenis material insulasi berbentuk busa yang di dalamnya mengandung gas. Gas pada umumnya merupakan penghantar kalor yang paling buruk. Oleh sebab itu, pemilihan jenis material ini sebagai insulasi merupakan alternatif yang cukup baik. Busa polyurethane tersebut disebut sebagai busa polimer [5]. Busa polimer disebut juga polimer seluler, plastik seluler, atau polimer mengembang atau muai adalah sistem bahan multifasa (komposit) yang terdiri atas matriks polimer dan suatu fasa zahir (biasanya gas). [6]. Insulasi *polyurethane* yang baik harus memiliki densitas material $\rho \geq 30 \text{ kg/m}^3$, dengan jumlah sel tertutup tidak kurang dari 90%. [2] Densitas merupakan parameter yang paling penting untuk mengendalikan sifat mekanik dan termal dari busa sel tertutup. [7]

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengukuran Nilai q di Laboratorium

Pengukuran nilai laju panas q akibat perubahan densitas material dilakukan di laboratorium, sebagai landasan untuk validasi hasil analisis CFD. Perbedaan nilai densitas insulasi yang diukur memiliki selisih 5 kg/m^3 , yaitu $\rho = 30, 35, 40, 45$ dan 50 kg/m^3 . Pengujian dilakukan pada sebuah kotak dengan ukuran luar 33,5 cm x 33 cm x 33 cm, tebal dinding x = 3 cm,

volume 20 lt, dan luas permukaan $A = 0,66 \text{ m}^2$. Jumlah es yang dimasukkan ke dalam kotak sebesar 3 kg. Pengukuran dilakukan per 8 jam, 16 jam per 24 jam. Pengujian densitas insulasi dari ke 5 nilai tersebut diulang 4 kali dengan rancangan percobaan RAL Faktorial dengan menggunakan program analisis SPSS 15. Situasi teknik pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Selain itu pengujian dan analisis juga dilakukan dengan metode komputasi dengan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) LISA 76. [8] Berdasarkan hasil analisis akan ditentukan signifikansi perubahan laju panas q yang dimaksud, efisiensi dan distribusi beban panas dalam box.



Gambar 1. Eksperimen, salah satu teknik pengujian kecepatan pencairan es di dalam kotak dengan dinding insulasi *polyurethane* yang memiliki kerapatan yang berbeda, yaitu $\rho = 30, 35, 40, 45,$ dan 50 kg/m^3 .

Penetapan langkah perhitungan CFD

Keuntungan dari penggunaan CFD adalah fleksibilitas, waktu komputasi yang relatif singkat dan efisiensi biaya secara keseluruhan. Terdapat 3 tahapan utama proses analisis dengan menggunakan CFD, yaitu *preprocessing, simulation/solver,* dan *postprocessor*. Berdasarkan tahapan tersebut, pemecahan masalah terkait dengan laju panas akibat perubahan densitas insulasi *polyurethane*, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pre-processor, membuat geometri/model, *mesh generation input flow properties (initial condition)* dan *boundary condition*.
- Solver : proses perhitungan numerik/iterasi
- Post processor : tampilan visual hasil perhitungan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Laboratorium

Tujuan dari pengujian laboratorium adalah untuk melihat pengaruh perubahan nilai kerapatan material insulasi terhadap jumlah es yang mencair per satuan waktu. Kecepatan pencairan ini menunjukkan kemampuan dari masing-masing dinding insulasi dalam menahan penetrasi panas dari luar dinding. Semakin sedikit jumlah es yang mencair mengindikasikan intensitas penetrasi panas yang masuk dalam ruang insulator relatif kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa dinding insulasi memiliki kualitas yang relatif baik. Jumlah es mencair dalam kotak dengan densitas insulasi berbeda, tersaji dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kecepatan pencairan es.

T	$\rho = 30$	$\rho = 35$	$\rho = 40$	$\rho = 45$	$\rho = 50$
8	0,715	0,650	0,725	0,700	0,815
	0,850	0,725	0,710	0,800	0,800
	0,700	0,660	0,675	0,750	0,675
	0,675	0,550	0,600	0,600	0,650
16	1,430	1,275	1,375	1,350	1,450
	1,610	1,420	1,375	1,420	1,420
	1,325	1,270	1,250	1,370	1,275
	1,450	1,325	1,375	1,320	1,450
24	2,500	1,830	1,950	2,027	2,000
	2,275	2,100	2,000	2,045	2,250
	1,950	1,875	1,900	2,030	1,850
	2,000	1,850	1,950	2,035	2,250

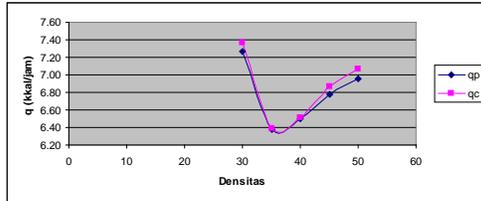
Keterangan :

Jumlah perlakuan : 5 perlakuan, $\rho = 30 - 50 \text{ kg/m}^3$

ρ = densitas material insulasi *polyurethane*.

T = lama waktu pengujian, total waktu pengujian 24 jam.

Hasil pengujian kecepatan penetrasi panas q dari pengukuran laboratorium dan dari analisis CFD LISA 76, disajikan pada Gambar 2. dan Tabel 2. :



Gambar 2. Kecepatan penetrasi panas q dari hasil pengukuran dan analisis CFD LISA 76

Tabel 2. Hasil pengujian kecepatan penetrasi panas q dari berbagai pengukuran

ρ kg/m ³	k (kcal h ⁻¹ m ⁻¹ °C ⁻¹)	qp	qc
30	0,033549	7,27	7,18
35	0,028431	6,38	6,67
40	0,030777	6,50	6,5
45	0,030818	6,78	6,65
50	0,031636	6,96	7,14

Keterangan :

ρ = densitas material polyurethane (kg/m³)

k = nilai konduktifitas termal hasil pengukuran (kcal h⁻¹ m⁻¹ °C⁻¹)

q = kecepatan atau laju panas (kcal/jam)

qp = laju panas hasil pengukuran laboratorium (kcal/jam)

qc = laju panas hasil analisis CFD (kcal/jam)

Hasil uji signifikansi :

Perbedaan jumlah es yang mencair sebagai akibat perubahan densitas material insulasi *polyurethane* dapat dilihat pada Tabel 1. Perubahan kecepatan panas terindikasi dari jumlah es yang mencair dalam kurun waktu pengukuran. Uji signifikansi perubahan laju panas dilakukan terhadap data hasil pengukuran tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk tingkat signifikansi 0,05, perubahan kecepatan atau panas akibat perubahan densitas tidak signifikan. Hal ini ditunjukkan dari nilai F hitung = 0,506, yang ternyata lebih kecil dari F tabel = 2,15.

Secara umum hasil uji di atas menunjukkan hasil uji yang tidak signifikan. Tetapi jika ditinjau perubahan relatif di antara parameter yang diuji menunjukkan perubahan signifikan terjadi pada perubahan densitas dari 30 – 35 kg/m³. Pada rentang nilai tersebut penggunaan material insulasi *polyurethane* cukup efektif. Hal ini ditunjukkan oleh tampilan grafik pada Gambar 2. Penambahan

kerapatan di atas nilai tersebut justru semakin menaikkan nilai konduktifitas termalnya. Selain karena persoalan konduktivitas termal, diperoleh fakta dari hasil uji laboratorium, densitas *polyurethane* di atas 50 kg/m³ memiliki tekanan mekanis yang cukup kuat. Hal ini tentu menyulitkan dalam penerapannya. Hasil survei di galangan kapal tradisional UD. Karyamina Putra, densitas insulasi dari 20 palka ikan yang dibangun berkisar ± 32 kg/m³.

Berdasarkan nilai densitas efektif tersebut dapat dihitung efisiensi η dan faktor koreksi (fk) dari nilai laju panas q. Nilai fk dan η tersebut disajikan pada Tabel 3 .

Tabel 3. Efisiensi laju panas q, PU pada $\rho = 30 - 35$ kg/m³.

Waktu Pengukuran	$\rho = 30 - 35$ kg/m ³	
	Per 8 jam	0,67
Per 24 jam	0,74	0,878

Koreksi terhadap laju panas akibat perubahan nilai densitas insulasi dapat ditentukan sebagai berikut :

$$q = \frac{k(T_1 - T_2)A}{x} fk, \text{ untuk standar per}$$

$$24 \text{ jam } q' = \frac{k(T_1 - T_2)A}{x} 0,878$$

Laju panas terkoreksi tersebut akan menghasilkan nilai laju panas yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari perubahan nilai densitas insulasi yang lebih tinggi. Untuk jumlah muatan ikan yang sama, jumlah es untuk media pengawet dapat dikurangi dengan meningkatnya kualitas insulasi, dalam hal ini insulasi dengan nilai densitas yang tepat.

Nilai konduktivitas termal (k) *polyurethane* pada Tabel 2., termasuk cukup besar bila dibandingkan dengan nilai maksimum dari beberapa referensi, antara lain k = 0,023,[2] k = 0,026,[3] dan k = 0,027.[1] Hasil penelitian lain memberikan nilai k berbeda, Dalam riset tentang pengaruh ukuran sel pada struktur *polyurethane* terhadap konduktivitas termalnya memberikan gambaran bahwa semakin kecil ukuran sel semakin menurun nilai k nya. Hasil nilai k yang

diperoleh berada pada kisaran $k = 0,029 - 0,043$. [9] Terdapat pengaruh kecepatan pengadukan pada struktur busa terhadap variasi ukuran gelembung, densitas busa, kekuatan tekan, dan konduktivitas termal, di mana kenaikan densitas hingga $62,8 \text{ kg/m}^3$ dari pengukuran awal $\rho = 31,9 \text{ kg/m}^3$, justru menaikkan nilai konduktivitas termal (k). Kenaikan ini menunjukkan bahwa perubahan densitas pada batas-batas tertentu tidak efektif. [10]

Nilai k yang relative besar dalam penelitian efisiensi insulasi ini diperkirakan karena adanya kebocoran-kebocoran pada sambungan-sambungan dinding box insulasi. Hal serupa juga dialami sistem konstruksi palka tradisional (kontruksi kapal kayu) berinsulasi *polyurethane*. Dalam sistem konstruksi tersebut sulit sekali untuk mempertahankan ruang palka yang benar-benar kedap. Hal ini disebabkan dalam konstruksi palka terdapat hubungan konstruksi yang harus memutus dinding insulasi. Namun demikian, perbedaan kerapatan dalam insulasi yang digunakan tetap memberi pengaruh pada kecepatan laju penetrasi panas yang masuk ke palka.

Hasil Analisis distribusi beban panas dari CFD LISA 76

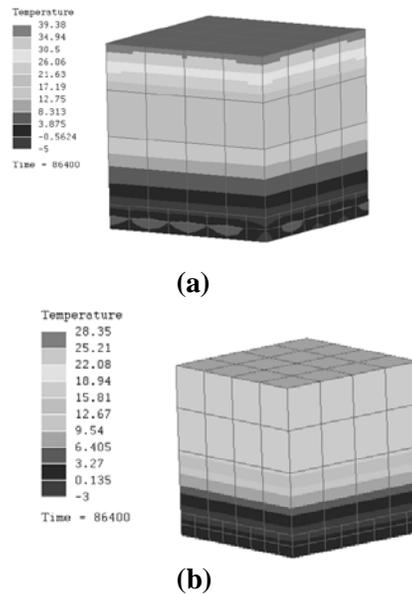
Tahap *Solver*, pada tahap ini dilakukan proses perhitungan numerik dengan cara simulasi atau iterasi. Hasil analisis tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai kecepatan atau laju panas hasil analisis CFD LISA 76

ρ (kg/m^3)	k (kcal/m.ja m°C)	$T1-T2$ $^\circ\text{C}$	q (kcal/jam)
30	0,033549	9,98	7,37
35	0,028431	10,22	6,39
40	0,030777	9,62	6,51
45	0,030818	10,12	6,86
50	0,031636	10,16	7,07

Tampilan Visual Distribusi Beban Panas (*postprocessor*)

Tampilan visual distribusi beban panas dalam ruang berpendingin dapat dilihat dari hasil *Post-processor*, Gambar 3. *Post-processor* hasil pengukuran laju panas q pada densitas insulasi $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ dan $\rho = 35 \text{ kg/m}^3$.



Gambar 3. Tampilan hasil *Post-processor* pengukuran q untuk densitas insulasi *polyurethane* : a) $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$, b) $\rho = 35 \text{ kg/m}^3$

Tampilan pada Gambar 3. menunjukkan bahwa pada kotak dengan densitas dinding insulasi $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$, beban panas di bagian sisi atas kotak belum terenyahkan. Hal ini ditandai warna *orange* pada sisi atas kotak yang menggambarkan temperatur pada sisi tersebut masih cukup tinggi ($T = 39,38 \text{ }^\circ\text{C}$). Sedangkan kotak dengan dinding insulasi $\rho = 35 \text{ kg/m}^3$, seluruh panas sudah terenyahkan. Perbedaan tampilan visual tersebut membuktikan perbedaan kemampuan antara dinding insulasi dengan $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ dengan $\rho = 35 \text{ kg/m}^3$. Karakteristik distribusi suhu dari tampilan visual dari kedua kotak menunjukkan suhu terendah ada di bagian bawah kotak, hal ini disebabkan karena letak es yang digunakan sebagai bahan uji terletak pada bagian dasar kotak.

Berdasarkan hasil analisis di atas, sebaiknya pembuatan insulasi palka berbahan *polyurethane* dilakukan pada nilai nilai densitas $\rho = 30 - 35 \text{ kg/m}^3$. Penambahan jumlah material *polyurethane* melebihi nilai $\rho = 35 \text{ kg/m}^3$ menjadi kurang efektif, karena penambahan jumlah tersebut tidak dapat menaikkan nilai konduktivitas termalnya secara signifikan. Hal tersebut

ditunjukkan dari indikasi jumlah pencairan es per satuan waktu. Di lain pihak penambahan jumlah material polyurethane guna memperoleh daya simpan yang lebih lama sebagaimana diharapkan justru menambah tingginya biaya penggunaan material yang dimaksud.

Nilai efisiensi secara aplikatif dari penggunaan material polyurethane dapat dijelaskan sebagai berikut, jika akibat perubahan densitas dari 30 kg/m^3 menjadi 40 kg/m^3 tanpa disertai kenaikan yang cukup signifikan dari kemampuan insulasi (naik 11,6 %), maka perubahan tersebut hanya akan memberikan tambahan biaya sebesar $10 \text{ kg} \times \text{Rp. } 120 \text{ ribu}$ (untuk harga polyurethane Rp. 120 ribu/ kg), atau total Rp. 1,2 juta / m^3 , dan berlaku kelipatannya tergantung besarnya ruang palka. Nilai berbeda ditunjukkan untuk perubahan densitas menjadi sebesar 35 kg/m^3 dengan nilai ekonomis total biaya material polyurethane Rp. 600 ribu dan kenaikan daya simpan 13,2 %. Perbedaan nilai ekonomis dan daya simpan tersebut menunjukkan efisiensi penggunaan material secara aplikatif.. Penggunaan material polyurethane untuk keperluan insulasi palka ini sebaiknya dilakukan secara terukur guna mendapatkan biaya investasi awal yang relatif lebih lebih kecil pada waktu proses pembuatan kapal baru atau pada saat pemasangan baru sistem insulasi.

KESIMPULAN

Hasil pengujian antara uji Laboratorium dengan uji komputasi CFD LISA 76 untuk mengetahui efisiensi penggunaan material insulasi *polyurethane*, menunjukkan *trend* nilai uji laju panas (q) yang sama. Hasil pengujian secara umum menunjukkan hasil tidak signifikan, tetapi terdapat nilai densitas efektif untuk kegunaan insulasi berdasarkan perbandingan perubahan relatif densitasnya, yaitu $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ dan $\rho = 35 \text{ kg/m}^3$. Efisiensi yang diperoleh dari penggunaan material polyurethane pada batas nilai yang dimaksud adalah $\eta = \pm 0,7$ dan faktor koreksi terhadap laju panas $fk = \pm 0,89$. Berdasarkan hasil uji di atas, sebaiknya penuangan larutan material polyurethane untuk keperluan insulasi dilakukan menurut jumlah tertentu untuk suatu kompartemen ruang dengan besar volume tertentu sehingga diperoleh nilai densitas pada rentang nilai $\rho = 30 - 35 \text{ kg/m}^3$.

SARAN

Nilai faktor koreksi (fk) untuk dapat digunakan sebagai faktor koreksi nilai laju panas q sebaiknya dilakukan penelitian berulang-ulang, baik dengan metode yang sama atau pun dengan metode yang berbeda. Untuk dapat digunakan secara memuaskan sebagai faktor koreksi nilai yang dimaksud.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Papadopoulos, AM., 2004, *State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments*, Energi and Buildings, 37 : 77 – 86.
- [2] Dellino Clive, VJ, 1997, *Cold And Chilled Storage Technology*, Blackie Academic & Professional, London.
- [3] Shawyer, M., Pizzali A.F. Medina, 2003, *The use of Ice on Small Fishing Vessels*, FAO Fisheries Technical Paper. No. 436, Rome
- [4] Amiruddin Wilma, Iskandar Budhi Hascaryo, Murdiyanto Bambang, Baskoro Mulyono S., 2013, *Densitas Insulasi Polyurethane Pada Palka Kapal Penangkap Ikan Tradisional Di Pekalongan*, Jurnal Marine Fisheries, Vol 4. No.1
- [5] Zemansky, W. Mark, Dittman, H. Richard, 1986, *Kalor dan Termodinamika*, ITB Bandung.
- [6] Feldman Dorel, Hartomo Anton J., 1995, *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [7] Kim, S.H., Park, H.C., Jeong, Kim, B.K., 2010, *Glass Fiber Reinforced Rigid Polyurethane Foams*, Journal Material Science, 45 : 2675 - 2680.
- [8] LISA Finite Element Technologies : [http://www.LISA - Free_Affordable Finite Element Analysis Software.htm](http://www.LISA-Free_Affordable_Finite_Element_Analysis_Software.htm)
- [9] Wen Wu Jhy, Fa Sung Wen, Sen Chu Hsin, 1998, *Thermal Conductivity of Polyurethane Foams*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 42 : 2211 -2217
- [10] Lee Won Ho, Lee Seok Won, Kang Tai Jin, Chung Kwansoo, Youn Jae Ryoum, 2002, *Processing of Polyurethane/ Polystyrene Hybrid Foam an Numerical Simulation*, Fiber and Polymers, Vol. 3 /4 : 159n168.