

RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN KONDUKTIVITAS TERMAL UNTUK MATERIAL CAIR DENGAN METODE ANALISIS GRADIEN TEMPERATUR

DESIGN AND BUILD THERMAL CONDUCTIVITY MEASUREMENT SYSTEM FOR LIQUIDS MATERIAL USING TEMPERATURE GRADIENT ANALYSIS METHOD

Riana Dewi¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si, M.Si², Tri Ayodha A, S.T, M.Eng³
^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹rianadeew@gmail.com, ²jakasantang@gmail.com, ³tri.ayodha@gmail.com

Abstrak

Propertis termal adalah parameter yang sangat penting dalam menentukan karakteristik suatu bahan. Salah satu propertis termal yang umum adalah konduktivitas termal yang merupakan nilai yang menyatakan seberapa besar kemampuan bahan tersebut dalam menghantarkan panas secara konduksi. Banyak alat ukur yang dibuat khusus untuk mengukur nilai konduktivitas termal suatu bahan, akan tetapi tidak semua alat ukur tersebut dapat mengukur bahan yang berbentuk cairan. Beberapa alat memang khusus dirancang untuk pengukuran konduktivitas termal berwujud cairan, akan tetapi harga yang mahal dan prototipe yang sulit dibuat menjadikan hal ini sebagai masalah utama dalam pengukuran konduktivitas termal untuk material cair dalam skala laboratorium. Adapun dalam penelitian tugas akhir ini rancangan sistem pengukuran konduktivitas termal untuk material cair yang sederhana telah dibuat. Sistem pengukuran ini telah diuji pada range suhu 1,5 °C - 20°C dengan nilai akurasi yang cukup baik (Error ±3,24%), namun kurang presisi (50,83%). Didapatkan nilai k yang linier terhadap suhu pada persamaan $k = 0,0032T + 0,5647$

Kata kunci : konduktivitas termal, perpindahan panas, sistem pengukuran

Abstract

Thermal properties is the most important parameter which determine characteristics of material. Thermal conductivity is the main thermal properties which indicate the material's ability to conduct heat. There are some instrument that made for thermal conductivity measurement, but most of them is not made for liquids material measurement. Although several instruments for liquids material has been designed and built, yet those instruments have expensive price and complicated prototype for lab scale. In this research of Final Assesment, design of a thermal conductivity measurement system for liquids material has been built. The measurement system has been tested on range temperature 1,5 °C - 20°C with good result on accuracy (Error ±3,24%) but not precise (50,83%). Measured k value is linier to Temperature on $k = 0,0032T + 0,5647$

Keywords : thermal conductivity, heat transfer, measurement system

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pengukuran konduktivitas termal dengan metode komparatif merupakan metode yang relatif paling mudah diantara metode-metode yang lainnya. Meskipun memiliki nilai ketidakpastian yang relatif besar (10-20%), metode komparatif, yaitu metode pengukuran konduktivitas termal dengan cara analisis gradien temperatur tetap menjadi alternatif karena memiliki konstruksi yang sederhana dan mudah dibuat[3]. Atas dasar tersebut, pada penelitian Tugas Akhir ini adalah merancang sebuah sistem pengukuran yang dapat mengukur konduktivitas termal material yang berfasa cair dengan menganalisis gradien temperatur dengan air sebagai bahan ujinya.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Merancang dan membuat sistem pengukuran konduktivitas termal untuk material berfasa cair
2. Menganalisis karakteristik sistem pengukuran konduktivitas termal.
3. Menganalisis faktor – faktor yang mempengaruhi pengukuran konduktivitas termal

2. Dasar Teori

2.1 Perpindahan Panas : Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas yang memerlukan medium perantara tanpa disertai dengan perpindahan medium perantara tersebut. Konduksi terjadi pada material atau medium yang berfasa padat, cair maupun gas. Pada cair dan gas, konduksi disebabkan dan dipengaruhi oleh difusi serta tumbukan antar partikel penyusunnya. Sedangkan pada padatan, konduksi disebabkan oleh vibrasi atau getaran molekul dalam lattice serta adanya transfer energi oleh elektron bebas [1]. Laju perpindahan panas pada konduksi dipengaruhi oleh geometri medium, ketebalan medium, dan material penyusun medium tersebut. Secara umum, laju perpindahan panas pada konduksi dapat dinyatakan dengan persamaan (2.1), dimana nilai laju perpindahan panas berbanding lurus dengan nilai konduktivitas termal bahan, luas penampang dan perbedaan temperatur.

$$Q = \frac{k A \Delta T}{L} \tag{2.1}$$

$$Q = \frac{W}{s} \tag{2.2}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 \tag{2.3}$$

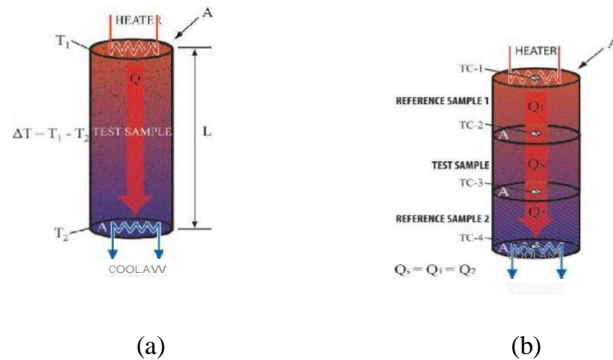
$$A = \dots \tag{2.4}$$

2.2 Analogi Rangkaian Listrik

Analogi rangkaian listrik merupakan salah satu metode untuk mempermudah perhitungan dalam konduksi. Dalam hal ini, Flux panas Q dianalogikan sebagai arus yang melewati sebuah hambatan R. Dalam perpindahan panas, R dianalogikan sebagai $R_{thermal}$. Sedangkan Temperatur T dianalogikan sebagai Tegangan V.

2.3 Pengukuran Konduktivitas Termal Metode Axial Flow dan Komparatif

Pengukuran konduktivitas termal dengan metode komparatif merupakan pengembangan dari metode *axial flow* yang telah lama digunakan. Perbedaannya hanya terletak pada penambahan material referensi pada metode komparatif.



Gambar Error! No text of specified style in document..1 Skema pengukuran konduktivitas termal dengan metode *axial flow* (a) dan *comparative* (b)

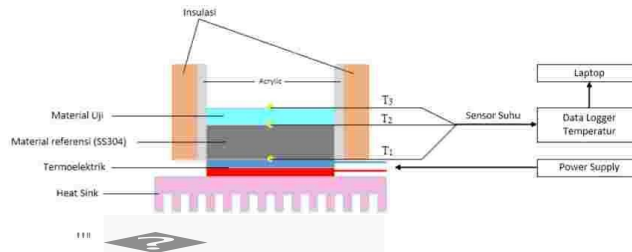
Pada metode *axial flow*, flux panas dialirkan melewati material uji dan pengukuran temperatur dilakukan dikedua sisi material uji, sehingga akan didapatkan perbedaan temperatur ΔT . Dengan L adalah tebal material uji, A adalah luas penampang material uji, serta Q sebagai flux panas yang didapat dari pemanas elektrik, maka konduktivitas termal k akan didapat dari persamaan (2.1). Sedangkan pada metode komparatif, konduktivitas termal suatu bahan akan diukur dengan menumpuk seri bahan uji tersebut dengan bahan yang telah diketahui nilai konduktivitas termalnya. Sementara flux panas pada sistem akan dapat dikrtahui dengan mengukur temperatur disetiap sisi specimen. Karena flux panas disetiap bagian specimen adalah sama, $Q_s = Q_1 = Q_2$. Maka nilai konduktivitas termal k akan didapatkan[2].

$$k_s = \frac{Q_s \Delta T_s A_s}{L_s} = \frac{Q_r \Delta T_r A_r}{L_r} \tag{2.5}$$

Jika dianalisis lebih jauh, kita harus menentukan atau mengukur parameter $k_r, \Delta T_r, A_r, L_r, \Delta T_s, A_s, L_s$. Dimana masing-masing nilai memiliki error, sehingga ketika kita melakukan perhitungan k_s dari persamaan (2.5), tentunya error dan ketidakpastian pengukuran akan semakin besar. Maka dari itu, metode komparatif memiliki nilai error

dan ketidakpastian yang jauh lebih besar dari metode lain [6]. Meskipun nilai ketidakpastian pada pengukuran konduktivitas termal pada metode komparatif relatif lebih besar daripada metode lainnya, akan tetapi metode komparatif merupakan sistem atau metode yang paling sederhana dan mudah untuk dibuat[3].

3. Perancangan Sistem



Gambar Error! No text of specified style in document..1 Perancangan sistem pengukuran konduktivitas termal material cair

Desain atau rancangan sistem pengukuran konduktivitas termal untuk material cair yang akan dibuat adalah seperti yang diilustrasikan oleh gambar 3.1. Dimana sebuah termoelektrik akan dipasangkan dibawah sebuah kontainer yang berisi blok SS304 dan air dengan ketinggian tertentu. Adapun sisi modul termoelektrik yang berkenaan langsung dengan blok SS304 adalah bagian sisi dinginnya. Sementara, sisi panasnya akan dikontakkan dengan sebuah heatsink yang fungsinya untuk membuang kalor yang dihasilkan oleh termoelektrik sisi panas. Adapun pemasangan fan bertujuan untuk membantu pembuangan kalor pada heatsink menjadi lebih baik. Tiga buah sensor suhu akan dipasang di masing-masing bagian berikut ini :

1. diantara modul termoelektrik sisi dingin dengan permukaan alas blok SS304 yang kemudian disebut variabel T_1 ,
2. dibawah permukaan material uji yang berkenaan langsung dengan permukaan atas blok SS304 yang kemudian disebut variabel T_2 , serta
3. diatas permukaan material uji yang kemudian disebut dengan variabel T_3 .

Ketiga buah sensor tersebut akan dihubungkan ke sebuah datalogger untuk merekam data yang terukur. Data yang didapatkan akan diolah demi mendapatkan nilai konduktivitas termal material yang diuji, dimana dalam penelitian ini adalah air.

Perhitungan nilai konduktivitas termal air didasarkan pada analogi rangkaian listrik pada sistem termal, yaitu apabila ada material yang dipasang seri maka laju aliran panas yang terjadi pada setiap komponen adalah sama. Pada rancangan sistem yang terlihat di gambar 3.1 bahwa blok SS304 dan air adalah terpasang seri, maka laju aliran panas pada sistem tersebut pun sama. Oleh karena itu laju aliran panas yang terjadi dapat dinyatakan oleh persamaan (3.1) dan (3.2)

$$Q_1 = Q_2 \tag{3.1}$$

$$k_1 \Delta T_1 = k_2 \Delta T_2 \tag{3.2}$$

$$A_1 = A_2$$

Karena kedua luas penampang A pada blok SS304 dan air adalah sama, maka variabel A pada kedua komponen dapat dihilangkan seperti pada persamaan (3.3) dan nilai konduktivitas termal air dapat didapatkan dari persamaan (3.4)

$$k_1 \Delta T_1 = k_2 \Delta T_2 \tag{3.3}$$

$$k_1 = \frac{k_2 \Delta T_2}{\Delta T_1} \tag{3.4}$$

Berdasarkan persamaan (3.4) maka nilai konduktivitas termal air akan didapatkan dengan memasukkan data-data

yang telah didapat dari sistem, yaitu T_1 , T_2 , dan T_3 . Dimana :

$$\Delta T_{\diamond} = T_2 - T_1 \quad (3.5)$$

$$\Delta T_1 = T_3 - T_2 \quad (3.6)$$

Keterangan :

k_s = konduktivitas termal stainless (W/(mK))

t_s = tebal stainless (m)

k_a = konduktivitas termal air (W/(mK))

t_a = tebal air (m)

ΔT_s = perbedaan temperatur pada stainless (°C)

A_s = luas penampang stainless (m²)

ΔT_a = perbedaan temperatur pada air (°C)

A_a = luas penampang air (m²)

4 Pembahasan dan Analisis

Pada bab ini akan dibahas mengenai mekanisme pengolahan data yang telah diperoleh dari hasil penelitian, karakteristik sistem pengukuran yang telah dirancang, beserta analisisnya.

4.1 Pengukuran dan Perhitungan Variabel-Variabel Dalam Perhitungan Konduktivitas Termal

Seperti yang telah dijelaskan pada rancangan sistem, bahwa dalam penelitian Tugas Akhir ini nilai k material uji tidak langsung didapatkan, melainkan diperlukan sebuah perhitungan dan pengolahan data lebih lanjut dari data yang diperoleh dari *datalogger*. Untuk itu dilakukan sebuah perhitungan untuk menentukan variabel-variabel pendukung lain yang dibutuhkan.

4.1.1 Pengukuran T₁, T₂, dan T₃

Data yang didapatkan dari *datalogger* adalah tiga variabel suhu yang berbeda yaitu T₁, T₂, dan T₃. Ketiga variabel suhu ini merupakan nilai suhu yang terukur selama sepuluh menit terakhir pada pengambilan data. Adapun lama percobaan dalam satu kali pengambilan data adalah selama satu jam, dengan kata lain, data suhu yang akan diolah selanjutnya merupakan data pengukuran sistem pada menit ke 50 sampai dengan menit ke 60. *Datalogger* yang digunakan diatur untuk merekam data setiap dua detik, sehingga rata-rata data suhu T₁, T₂, dan T₃ yang didapatkan masing-masing sebanyak kurang lebih 300 data. Masing-masing dari ketiga variabel data tersebut akan dirata-ratakan. Hasil dari rata-rata inilah yang akan dijadikan acuan atau data baru untuk menentukan variabel lain,

4.1.3 Perhitungan ΔT_s dan ΔT_a

Nilai dari ΔT_s merupakan perbedaan temperatur antara dasar dan permukaan atas dari blok SS304. Nilai tersebut didapatkan dari selisih T₁ dan T₂ seperti pada persamaan (3.5), begitupun dengan nilai ΔT_a yang merupakan perbedaan temperatur antara dasar dan permukaan atas dari material uji, (dalam hal ini air) yang didapat dari selisih nilai T₂ dan T₃ seperti persamaan (3.6)

4.1.4 Perhitungan Nilai Referensi dari k_s dan k_a

Seperti yang telah kita ketahui bahwa nilai konduktivitas termal suatu bahan berubah – ubah seiring perubahan suhu. Karena dalam penelitian ini digunakan beberapa variasi suhu, maka nilai referensi k yang digunakan tidak bisa menggunakan satu buah nilai saja, melainkan harus disesuaikan dengan kondisi suhu material.

4.1.5 Nilai Referensi k_s dan k_a

Referensi SS304 yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari penelitian Bogaard [5]. Kita dapat mengetahui korelasi k_s dan T_s dengan melakukan regresi linier dari data tersebut. Dalam penentuan nilai k_s , diperlukan nilai suhu acuannya. Pada penelitian ini, suhu yang dijadikan acuan dalam menentukan nilai k_s adalah suhu rata-rata dari blok SS304 itu sendiri, yaitu :

$$T_s = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (4.1)$$

Nilai T_s tersebut kemudian dimasukkan ke persamaan regresi konduktivitas termal SS304 tadi sebagai variabel x.

$$k_s = 0,02 \cdot T_s + 12 \quad (4.2)$$

Sama seperti pada penentuan nilai k_s , penentuan nilai k_a referensi yang selanjutnya disebut k_a juga didapatkan dari hasil regresi data berdasarkan penelitian Ramires [4]. Adapun suhu acuan dari penentuan nilai k_a adalah suhu rata-rata dari air, yaitu :

$$T_m = \frac{T_2 + T_3}{2} \quad (4.3)$$

Dan dengan memasukkan T_a sebagai variabel x pada persamaan regresi linier nilai konduktivitas termal air, didapatkan nilai k_a yang selanjutnya akan dijadikan sebagai pembanding nilai konduktivitas air yang terukur, yaitu k_a .

$$k_a = 0,0017 \cdot T_m + 0,5615 \quad (4.4)$$

4.1.6 Penentuan L_s dan L_a

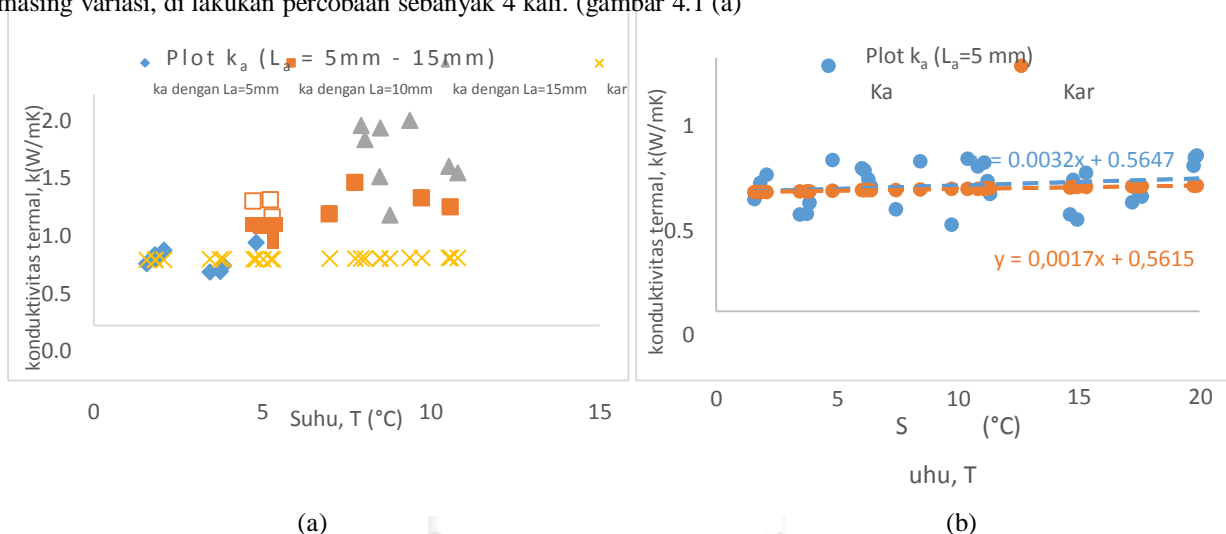
L_s dan L_a masing masing adalah ketebalan dari blok SS304 dan ketinggian air pada percobaan. Karena tebal dari blok SS304 tetap, maka penggunaan nilai L_s dalam penelitian ini adalah sama pada setiap percobaan, yaitu 20mm. Sedangkan penggunaan nilai L_a , tergantung dari ketinggian air pada masing-masing percobaan, yaitu 5mm, 10mm, dan 15mm.

4.1.7 Perhitungan Nilai k yang Terukur

Sebelumnya telah dibahas persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai k pada bab 3, khususnya dapat dilihat pada persamaan (3.4). Variabel-variabel yang telah ditentukan sebelumnya dikalkulasikan ke persamaan (3.4) untuk mendapatkan nilai k_a yang terukur.

4.2 Pengujian Sistem Pengukuran

Pengujian sistem yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mengubah-ubah ketinggian air pada sistem, dimulai dari 5mm, 10mm dan 15mm. Adapun tegangan yang diinput ke modul termoelektrik pada pengujian dengan variasi ketinggian air ini berjumlah dua buah variasi tegangan, yaitu 10V dan 15V. Masing-masing variasi, di lakukan percobaan sebanyak 4 kali. (gambar 4.1 (a))



Gambar 4.1 Hasil pengujian sistem (a) pada $L_a = 5-10$ mm, (b) pada $L_a = 5$ mm

Pada ketinggian 5 mm rata-rata nilai k_a yang didapatkan sangat mendekati nilai k_a , dengan rata-rata error adalah 0,0726 (12,81%). Sementara untuk ketinggian air 10mm, didapatkan hasil rata-rata nilai k_a yang terukur pada ketinggian air 10mm memiliki error yang sangat tinggi, yaitu 0,4826 atau sebanyak 84,17%. Hasil pengujian sistem pada ketinggian 10mm lebih buruk daripada pada ketinggian air 5 mm. Pada ketinggian air 15mm, didapatkan hasil pengujian sistem yang jauh lebih buruk dari ketinggian air 10 mm. Rata-rata error pada ketinggian ini sangat besar, yaitu lebih dari 100%. Dari pengujian sistem dengan tiga buah variasi ketinggian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar ketinggian air yang diuji pada sistem, semakin besar pula nilai error yang dihasilkan.

Berdasarkan pengujian dengan variasi ketinggian air, dapat disimpulkan bahwa pengujian dengan $L_a = 5$ mm mendapatkan data hasil pengukuran yang sangat mendekati nilai yang sebenarnya, yaitu k_a . Oleh karena itu, pengujian selanjutnya dilakukan untuk menguji sistem pengukuran pada ketinggian air $L_a = 5$ mm saja dengan memperluas rentang input suhu pada sistem (gambar 4.1 (b)). Pengujian ini diharapkan dapat memperkecil kemungkinan-kemungkinan error seperti pada $L_a = 10$ mm dan $L_a = 15$ mm.

Gambar 4.1 (b) merupakan grafik nilai k terhadap Suhu T dari k_a yang terukur pada sistem, dan nilai referensi k_r . *Trendline* regresi nilai k_a yang terukur sangat mendekati pada garis *trendline* nilai yang sebenarnya (k_r) meskipun tingkat persebaran datanya tergolong cukup lebar. Persamaan regresi yang didapatkan adalah $y=0,0032x + 0,5647$, dengan bias 3,24% terhadap nilai referensi. Dengan kata lain, hasil pengujian sistem pada ketinggian air 5mm ini memiliki akurasi yang cukup baik dengan error relatif 1-29%, namun kurang presisi(50,83%).

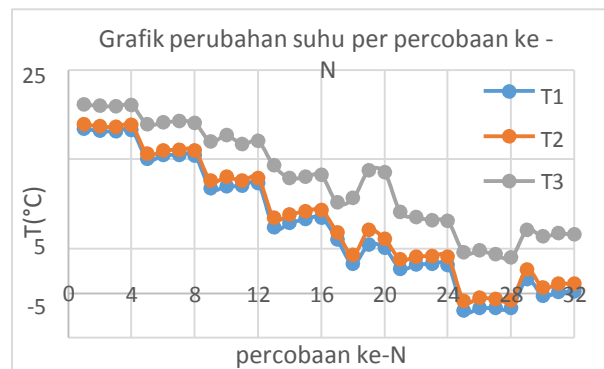
4.3 Analisis

Ada beberapa faktor yang perlu dianalisis untuk menelusuri sumber error dari sistem. Berikut ini merupakan faktor faktor yang ditinjau lebih jauh untuk dianalisis.

4.3.1 Hasil Pengukuran Suhu Yang Fluktuatif

Grafik dibawah ini merupakan grafik perubahan rata-rata suhu T_1, T_2 dan T_3 terhadap percobaan ke N . Untuk diketahui, input tegangan meningkat per empat titik yang tergambar di grafik. Tegangan minimum yang diinputkan ke modul termoelektrik adalah 1,5 pada titik 1 sampai titik 4, dan tegangan maksimum adalah 13, pada titik 28 sampai titik 32. Perubahan input tegangan tersebut menyebabkan perubahan suhu dari kontak antara modul termoelektrik dengan permukaan bawah blok SS304 (T_1) yaitu dari rentang $-1,939^\circ\text{C}$ sampai $18,398^\circ\text{C}$. Seharusnya, titik-titik suhu yang dihasilkan pada setiap empat buah titik pada T_1 adalah sama, karena empat titik tersebut memiliki nilai input tegangan yang sama. Akan tetapi, meskipun setiap empat titik T_1 cenderung sama, ada beberapa kelompok titik yang memiliki nilai yang berbeda seperti pada kelompok data ke 17-20, dan 28-32. Ada dua kemungkinan yang dapat menyebabkan perbedaan nilai T_1 pada input tegangan yang sama, yaitu :

- Pertama, Output modul termoelektrik yang berubah-ubah. Modul termoelektrik adalah sebuah perangkat elektronik yang dapat memiliki ketidakstabilan, maka dari itu output dari modul termoelektrik dapat berubah-ubah meskipun nilai tegangan inputnya sama. Hal ini disebabkan oleh variabel-variabel lain yang menentukan output termoelektrik, seperti resistansi modul dan arus.
- Kedua, titik pemasangan sensor T_1 berubah atau bergeser. Pergeseran posisi sensor tentunya mempengaruhi nilai suhu yang terukur. Maka dari itu, pergeseran posisi sensor juga sangat mungkin menjadi penyebab fluktuasi dalam pengukuran suhu.



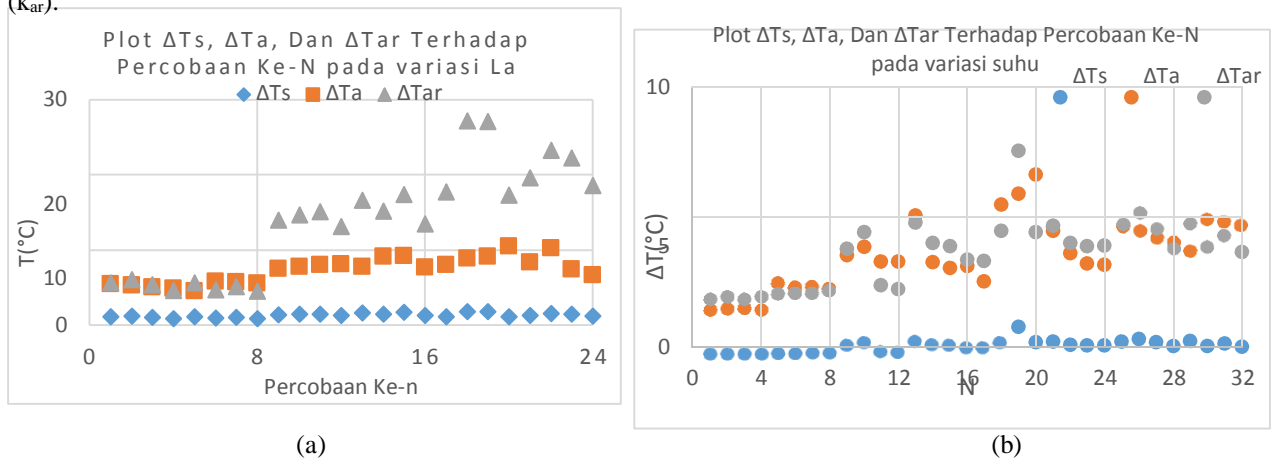
Gambar Error! No text of specified style in document..2 Grafik perubahan suhu terhadap percobaan ke-N pada pengujian variasi suhu dengan ketinggian air 5mm

Namun, jika kita perhatikan lebih jauh, jarak garis T_1 dan T_2 yang menunjukkan perbedaan temperatur pada blok SS304 cenderung tetap. Maka, hal yang paling mungkin menjadi penyebab utama fluktuasi suhu pada kasus ini adalah output modul termoelektrik yang kurang stabil. Adapun mengenai pemasangan sensor T_1 pada penelitian ini bisa disimpulkan tepat (errornya kecil), meskipun memang kemungkinan pergeseran sensor T_1 masih tetap ada.

Pada grafik, dapat dilihat bahwa fluktuasi suhu T_2 cenderung mengikuti fluktuasi suhu T_1 . Akan tetapi, berbeda dengan kasus fluktuasi untuk suhu T_3 , meskipun secara garis besar fluktuasi suhu T_3 juga mengikuti T_2 , namun jika diperhatikan lebih teliti, ada banyak titik yang berfluktuatif secara acak. Hal ini akan dijelaskan pada subbab selanjutnya, karena berkaitan erat dengan analisis ΔT_a

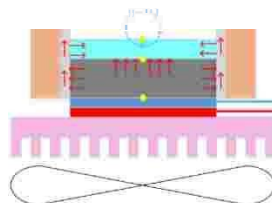
4.5.2 Nilai Error yang Tinggi Pada ΔT_a

Dibawah ini terdapat dua buah grafik yang menggambarkan plot nilai ΔT_s , ΔT_a , dan ΔT_{ar} terhadap percobaan ke -N. Gambar 4.3 (a) adalah plot ΔT_s , ΔT_a , dan ΔT_{ar} pada pengujian sistem dengan variasi ketinggian air. Sedangkan Gambar 4.3(b) adalah plot ΔT_s , ΔT_a , dan ΔT_{ar} pada pengujian sistem dengan ketinggian air 5mm variasi suhu yang lebih banyak. Nilai ΔT_s pada gambar 4.3(a) cenderung stabil dan memiliki nilai yang sama, Sedangkan pada gambar 4.3(b), nilai ΔT_s cenderung naik seiring percobaan ke-N, dimana semakin besar N, input tegangan pada modul termoelektriknya semakin besar. Nilai ΔT_s Kedua kondisi tersebut dapat dikatakan benar, karena memang seharusnya nilai ΔT_s adalah tetap pada kondisi yang sama (gambar 4.3 (a)) dan cenderung naik secara linier seiring kenaikan Q (gambar 4.3 (b)). Oleh karena alasan tersebut, kita dapat mengasumsikan bahwa nilai ΔT_s yang terukur mempunyai nilai error yang sangat kecil atau diabaikan untuk menganalisis variabel lain yaitu ΔT_a . Karena asumsi nilai ΔT_s adalah benar, kita bisa menentukan nilai ΔT_a yang benar sesuai dengan nilai kar, yaitu ΔT_{ar} . ΔT_{ar} adalah nilai ΔT_a yang seharusnya dicapai dalam pengukuran agar menghasilkan nilai k_a yang benar (k_{ar}).



Gambar 4.3 Plot nilai ΔT (a) (a) pada $L_a = 5-10$ mm, (b) pada $L_a = 5$ mm

Alasan yang paling mungkin pada kondisi ini adalah adanya perpindahan panas (*Heat loss*) dari blok SS304 secara konduksi ke pelat akrilik yang kemudian mengkondisikan panas ke air didalam akrilik, sehingga suhu air yang dicapai menjadi lebih dingin dari yang seharusnya. Kondisi ini terjadi pada ketinggian 10mm dan 15 mm, karena semakin tinggi ketinggian air yang diuji, semakin luas pula permukaan air yang terkena kontak dengan akrilik, oleh karena itu pengaruh konduksi dari akrilik tidak terlihat secara signifikan pada ketinggian 5mm karena mungkin nilainya sangat kecil. Selain itu terdapat pula konveksi antara air dengan udara lingkungan, sehingga hal ini menambah penyebab suhu T_3 menjadi sangat fluktuatif.



Gambar Error! No text of specified style in document..5 Ilustrasi heatloss pada sistem

Berbeda halnya dengan pengujian pada ketinggian air 5mm yang divariasikan terhadap rentang suhu yang lebih panjang yang plotnya dapat dilihat pada gambar 4.3 (b). Karena menurut analisis sebelumnya, tidak terlihat pengaruh fluktuasi data yang signifikan pada ketinggian air 5mm. Maka kemungkinan sebaran data yang cukup besar pada pengujian ini bukan disebabkan oleh adanya perpindahan panas yang besar dari akrilik ke air. Sementara itu, pengaruh konveksi air dengan udara juga kurang berpengaruh karena pengambilan data dilakukan pada ruangan yang mempunyai suhu ruang antara 23°C-35°C, sehingga tidak terjadi perubahan kondisi suhu yang ekstrim pada pengujian ini. Hal yang paling mungkin yang menyebabkan sebaran data yang besar pada pengujian

ini adalah faktor peletakan dan posisi sensor yang kurang tepat. Mengingat material yang diuji adalah cairan, maka sangat sulit untuk memasang sensor tepat diatas permukaan air karena sensor tersebut mudah bergeser.

4.5.3 Faktor Keterbatasan Alat Dan *Human Error*

Selain *heatloss* secara konveksi dan konduksi, penyebab lain yang menjadikan hasil data pengukuran memiliki presisi yang kurang baik adalah keterbatasan (error) pada masing-masing perangkat yang digunakan. Karena setiap perangkat yang digunakan pasti memiliki nilai error meskipun telah terkalibrasi. Selain itu, human error juga menjadi faktor yang menjadikan sistem pengukuran yang telah dirancang kurang sempurna karena dalam prakteknya, data yang terukur dari sitem pengukuran bergantung pada pemasangan atau instalasi perangkat yang dilakukan oleh *user*.

5. Kesimpulan

1. Sistem pengukuran konduktivitas termal untuk material cair telah dibuat dengan hasil yang paling optimal adalah pada ketinggian air $L_a = 5$ mm.
2. Pengukuran konduktivitas termal dengan $L_a = 5$ mm pada range temperatur $1,5^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$ linier terhadap suhu dengan persamaan $k_a = 0,0032 \cdot T + 0,5647$ dengan error relatif $\pm 3,24\%$ dan tingkat presisi 50,83%.
3. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas yang telah dibuat yaitu, *heatloss*, pemasangan sensor yang sulit dan kurang tepat khususnya pada T_3 (didas permukaan air), keterbatasan alat dan *human error*.

Daftar Pustaka

- [1] Y. A. Cengel, Heat Transfer : A Practical Approach (2nd Edition), New York: Mcgraw-Hill, 2002.
- [2] K. J. Gross and B. Hardy, "Recomended Best Practices for Characterizing Engineering Properties of Hydrogen Storage Material," H2 Technology Consulting, LLC, 2013.
- [3] W. Buck and S. Rudtsch, "Thermal Properties," Springer Handbook of Material Measurement Methods, 2006.
- [4] M. Ramires, C. N. d. Castro, Y. Nagasaka, A. Nagashima, A. M.J and W. Wakeham, "Standard Reference Data for The Thermal Conductivity of Water," 1994.
- [5] R. Bogaard, "Thermal Conductivity of Selected Stainless Steel," in Proc. International Thermal Conductivity Conference 18, 1985.
- [6] S. Alvarado, E. Marín, A. Juárez, A. Calderón and R. Ivanov, "A hot-wire method based thermal conductivity measurement apparatus for teaching purposes," European Journal of Physics, vol. 33, 2012.