

## Perancangan, Pembuatan dan Pengaturan Temperatur Pemanas Alat Uji Konduktivitas Termal

### *Design, Manufacture and Test Equipment Setup Heater Temperature Thermal Conductivity*

Sir Anderson & Sirkison

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang Kampus Unand Limau Manis Padang 25163  
Telp. 0751-72590 Fax. 0751-72576, E-mail: [siranderson72@yahoo.co.id](mailto:siranderson72@yahoo.co.id)

#### ABSTRACT

*Severally material thermal character momentous deep arithmetic balans energy on hot transfer application. Data of thermal character for some type substance and significant have available deep tabular or graph on hot transfer textbooks and material knowledge and hand book. Along with epoch progress, there are many found new materials. By undertaking examination on tool tests conductivity significant this, conductivity significant examinee can be known. Examination is done to significant non metal in this case glass.*

*Examination result points out kecendrungan descent of thermal conductivity significant to temperature ascension. Over and above mass factor, chemical composition, and crystal structure; processing factor determine material thermal conductivity price. To do thermal conductivity examination significant needful temperature which constant. Temperatures regulatory series manage tension of current source with action controls two on off's positions bases accepted DC tension*

**Keywords:** design, making, heating, thermal conductivity

#### PENDAHULUAN

Industri Setiap hal yang berwujud, berwujud dalam suatu jumlah, merupakan subyek pengukuran mekanis (*mechanical measurement*). Proses pengukuran merupakan perbandingan kuantitatif antara standar yang telah ditentukan sebelumnya dengan yang diukur. Pengukuran mekanis sering lebih mudah atau memang perlu untuk *mentrandus* atau mengubah menjadi besaran analog yang sesuai.

Pengukuran juga merupakan elemen dasar dari setiap proses pengendalian (*control proses*). Konsep pengendalian merupakan penyimpangan pengukuran antara unjuk kerja nyata dengan yang diharapkan. Bagian pengendali dari sistem harus mengetahui besar dan arah perbedaan agar bisa bereaksi dengan betul.

Tujuan penelitian adalah mengetahui alat pengatur suhu pada alat uji pengukur konduktivitas panas non logam dan sifatnya. Melakukan pengujian dan menentukan konduktivitas panas bahan non

logam.

Pembahasan mengenai konduktivitas panas bahan secara umum dan pembahasan secara singkat mengenai termokopel serta pengolahan data yang didapatkan. Pembahasan menitikberatkan pada sistem pengaturan dan sifat dari alat uji pengukur konduktivitas bahan

#### Konduktivitas Panas Bahan

Perpindahan energi terjadi dari benda bersuhu tinggi (energy molekul tinggi) ke benda bersuhu rendah (energy molekul rendah). Karena perubahan energy kinetic molekul melalui kontak langsung atau melalui gerakan electron bebas, akan terjadi perpindahan energy dalam bentuk konduksi.

Perpindahan eksperimental (Fourier) terhadap prose perpindahan konduksi pada arah tertentu tergantung pada kemampuan daya hantar panas material, luas penampang yang berkontak, dan gradient temperature terhadap jarak yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_x = -k \cdot A \frac{dT}{dx}$$

Tanda negative menunjukkan perpindahan panas dari potensial energy tinggi ke potensial energy rendah. Pada dasarnya mekanisme perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan energy melalui gerak molecular, sehingga kemampuan daya hantar panas tergantung pada jenis dan sifat fisik bahan. Jadi konduktivitas panas bahan tergantung pada :

- Komposisi bahan kimia
  - Fasa zat saat itu (gas, cair, atau padat)
  - Struktur kristal (jika bahan tersebut padat)
  - Suhu dan tekanan yang dialami bahan
  - Homogeny atau heterogennya bahan
- Zat cair mempunyai sifat konduktivitas panas yang lebih baik dari gas, dan zat padat konduktivitas panas yang lebih baik dari zat cair. Pada fasa gas, molekul zat saling berjauhan dan bergerak random, dimana perpindahan energy berlangsung melalui tabrakan antar molekul. Pada fasa cair, dengan jarak antar molekul lebih dekat dan antara satu molekul dengan molekul yang lain berkontak sehingga proses perpindahan panas dapat lebih mudah terjadi, selain perpindahan panas konveksi. Sementara zat padat dengan struktur kristal, mengalami perpindahan energy getaran (*vibration*) dari kisi-kisi kristal. Ketidaksempurnaan dalam struktur kisi (*lattice*) berakibat terganggu (*distort*) dan terhamburnya (*scatler*) getaran termoelastik dan mengakibatkan berkurangnya intensitas getaran.

#### Pengukuran

Suhu dapat dianggap sebagai level (tingkat) dari energy. Suhu adalah fungsi keadaan yang mesti diketahui untuk menyatakan sifat keadaan suatu benda atau sistem. Sifat benda dipengaruhi oleh suhu, karena itu dapat dipakai untuk pengukuran suhu.

Salah satu teknik pengukuran suhu dengan memanfaatkan efek *thermoelectric*

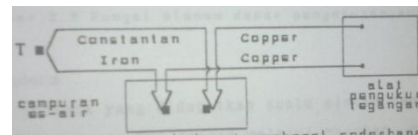
adalah dengan menggunakan termokopel. Terdapat tiga *emf* pada suatu rangkaian *thermoelectric* yaitu :

- *emf seebeck* akibat sambungan dua logam berbeda
- *emf pelier* akibat arus yang mengalir bila terjadi kontak listrik pada dua logam yang berbeda
- *emf Thomson* akibat perbedaan suhu pada ujung-ujung kawat homogen.

Efek *seebeck* merupakan jumlah *emf pelier* dan *emf Thomson* dan menjadi perhatian utama karena berhubungan dengan pengukuran suhu.

#### Hukum Termokopel

Rangkaian termokopel sederhana terdiri dari junction pengukur (*measuring junction*) pada lokasi yang hendak diukur dan junction referensi pada alat ukur. Tegangan *seebeck* yang dihasilkan tergantung pada suhu terukur  $T_m$  dan suhu alat ukur  $T_p$ .



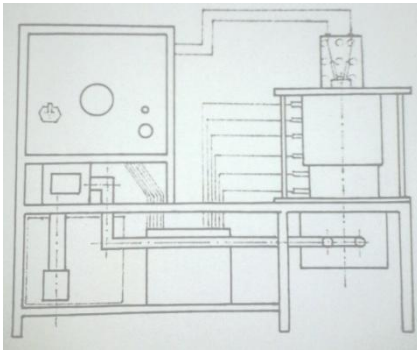
Gambar 1. Rangkaian Termokopel

## METODOLOGI

### Alat Uji Konduktivitas

Syarat yang harus dipenuhi dalam perancangan alat uji konduktivitas panas bahan non logam :

1. Kondisi perpindahan panas satu dimensi dan steady
2. Perpindahan panas tanpa pembangkitan kalor
3. Panas yang diberikan terbatas pada suhu rendah



**Gambar 2.** Instalasi Pengujian

Perancangan meliputi faktor sebagai berikut :

1. Dimensi dan pemilihan bahan
2. Sumber energy panas
3. Proses perpindahan panas
4. Pengukuran dan pengontrolan suhu

Hasil dari perancangan dianalisis dengan menggunakan diagram blok berdasarkan sistem pengaturan

Dimensi dan Pemilihan Bahan

Pertimbangan dalam pemilihan dari dimensi alat uji :

1. Batas suhu maksimum yang diberikan
2. Dimensi alat uji untuk menentukan besar suplai panas dari pemanas
3. Kemampuan dan ketersediaan sensor dan alat ukur tansduser (termokopel)
4. Banyak titik pengukuran suhu
- 5.

Kondisi yang harus dipenuhi oleh peralatan :

1. Bahan pengantar panas mempunyai harga konduktivitas panas yang besar
2. Isolator mempunyai harga konduktivitas panas yang kecil

Pembuatan peralatan :

1. Bahan pengantar panas tembaga berdiameter 30 mm
2. Isolator asbes lambaran/kain dengan jari-jari 40 mm
3. Sumber panas menggunakan 4 solder

Besar jari-jari dan Tebal Kritis Isolasi

Penentuan tebal kritis isolasi untuk mendapatkan tebal isolator yang optimal. Tebal kritis isolasi ;

$$r_c = \frac{k_{\text{isolator}}}{h} = 2,2658 \text{ cm}$$

Energi Panas

Sumber panas dengan laju perpindahan panas sebesar :

$$P = \frac{V^2}{R} = 240 \text{ Watt.}$$

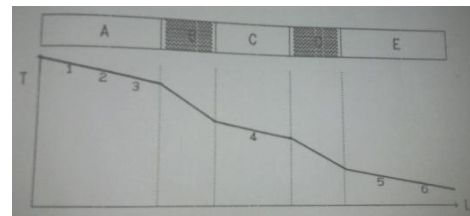
Sehingga penambahan suhu sebesar :

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot CP} = 0,626 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

Penambahan panas untuk setiap detiknya sebesar  $0,626 \text{ } ^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada lampiran.

Proses Perpindahan Panas

Perpindahan panas satu dimensi dapat diciptakan dengan membuat luas penampang bahan uji lebih besar dibandingkan tebalnya, sehingga panas hanya merambat dalam arah tegak lurus penampang .

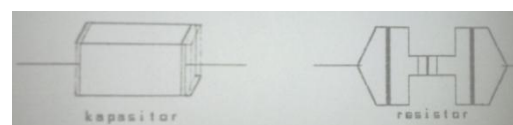


**Gambar 3.** Susunan Bahan uji

Pada proses perpindahan panas konduksi, beberapa bahan mengikuti hubungan sebagai berikut :

$$K = k_0 (1 + \alpha \cdot T)$$

Dalam perencanaan, bahan yang akan diukur diletakkan di antara bahan standar yang sudah diketahui nilai konduktivitas panasnya. Dengan diketahui nilai  $k_k$ ,  $A$ ,  $TR$ ,  $T_x$ ,  $IR$ , maka nilai  $k_x$  dapat dihitung :



$$Kx = \frac{\Delta TR}{\Delta T} \cdot \frac{Lx}{LR} \cdot kR$$

Nilai konduktivitas panas bahan nyata dari bahan yang diukur dapat diketahui dengan :

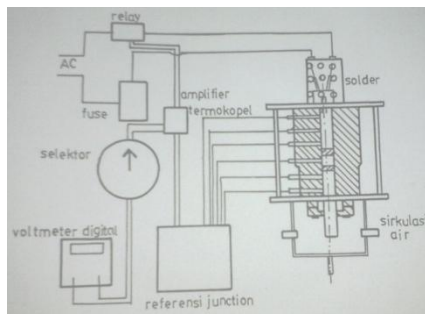
$$ka' = \frac{\Delta TR La}{\Delta Ta LR} \times kR$$

$$kb' = \frac{\Delta TR La}{\Delta Ta LR} \times kR$$

$$kx = \frac{\Delta Lb - La}{kb' - ka'}$$

**Pengukuran dan Pengontrolan Suhu**

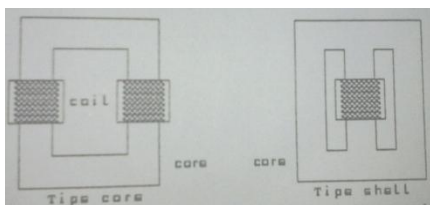
Dalam pengujian bahan, suhu yang perlu diukur adalah suhu bahan standar dengan menempelkan termokopel pada permukaan bahan standar pada titik-titik yang ditentukan.



**Gambar 4.** Rangkaian Pengujian

**Transformator**

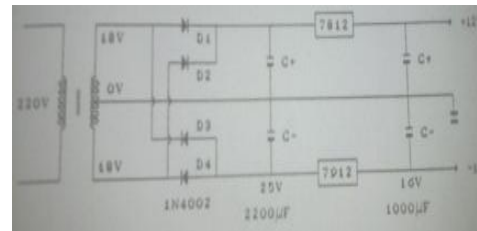
Dari segi konstruksi, *transformator* dapat dibedakan atas tipe *core* dan tipe *shell*. Digunakan *transformator* tipe *shell* dengan satu lilitan sekunder baeratap tengah dengan bahan *core* dari *copper/aluminium wire/strap*.



**Gambar 5.** Transformator

*Transformator* untuk menurunkan arus listrik AC 220 volt dari sumber arus ke harga yang lebih rendah (*step down*) membutuhkan *diode, kapasitor, integrated circuit*.

*Kapasitor* terdiri dari plat logam sebagai *insulator*. *Insulator* dipisahkan oleh *dielektrik*, sehingga tidak ada arus DC melintasi *kapasitor*. Tegangan DC yang berdenyut bukanlah DC murni, sehingga diletakkan *kapasitor C+* dan *C-* melintasi terminal DC nya



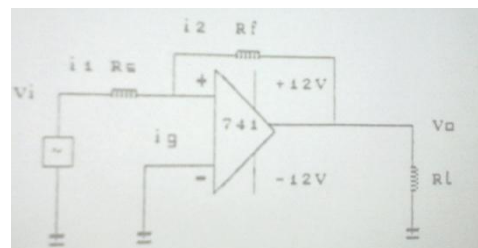
**Gambar 6.** Kapasitor dan Resistor

Arus tanpa bahan *IL* dialirkan dari terminal keluaran, arus beban maksimum *RL* yang digunakan pada saat melintasi *tra3 D3* dan *D4* membentuk terminal-terminal dua negative terhadap tap tengah *CT*.

**Gambar 7.** Suplai daya dipolar

**Operational Amplifiers Inverting**

Penguat adalah suatu rangkaian yang menerima isyarat masukan dan menghasilkan bermacam operasi matematika, seperti pembalikan tanda, penjumlahan dan integrasi. Merupakan penguat arus searah dengan penguatan yang sangat tinggi ( $10^6 - 10^8$ ), dengan arus masukan yang sangat tinggi. Sebuah tahanan umpan balik luar dihubungkan di antara terminal keluaran dan terminal masukan (-). Jenis rangkaian ini disebut rangkaian umpan balik negative, dimana sinyal yang dikembalikan mempunyai fasa yang berlawanan dengan sinyal masukan.



**Gambar 7.** Inverting

Pembalikan berate tegangan masukan menjalankan masukan dengan pembalikan dari *operational amplifiers*

melalui tahanan seri  $R_s$ . Umpan tegangan manunjuk pada fraksi dari tegangan yang diumpun balikkan pada masukan. Tegangan hampir nol dan hampir tak ada arus masukan (bumi semu/*virtual ground*).  $R_f/R_s$  menunjukkan penguatan.

$$V_{out} = - \frac{1}{f} v_{in}$$

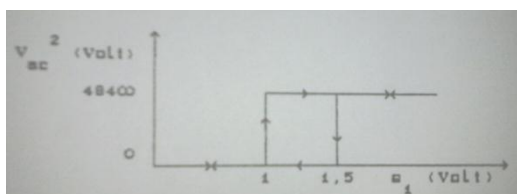
Pada pengujian alat uji konduktivitas digunakan dua buah *operational amplifiers* yang dirangkai seri yang menghasilkan penguatan sebesar 3000 kali.

**Switcher**

Untuk mendapatkan kondisi stasioner saat pengukuran, dibutuhkan alat pengontrol suhu dengan aksi kontrol dua posisi *on-of* untuk memasukkan arus listrik ke elemen pemanas.

Arus dalam sebuah logam disebabkan aliran elektron, sedangkan di;am semikonduktor sebagai hasil gerak elektron dan proton. Distribusi muatan membentuk suatu lapisan dipole dan menimbulkan aliran garis gaya listrik. Keseimbangan dicapai bila kekuatan medan listrik cukup untuk menahan proses difusi (pembauran).

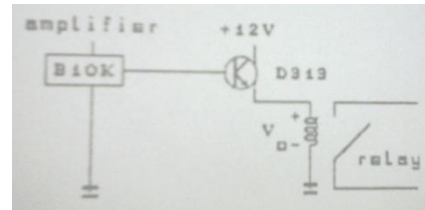
Sebagai pengontrol suhu pengukuran digunakan termokopel pada titik pengukuran yang terdekat dengan elemen pemanas. Dengan demikian pada tegangan tertentu yang sesuai dengan suhu yang dikontrol, saklar mengoffkan arus listrik AC ke pemanas. Bila nilai tegangan kurang dari nilai yang dikontrol, maka saklar mengonkan arus listrik AC sehingga arus mengalir kembali ke pemanas. Penyimpangan yang timbul sewaktu dilakukan pengukuran yang kontinu dari dua arah yang berlawanan ini disebut *hysteresis*.



Gambar 8. Kurva karakteristik masukan

keluaran on-of dengan hysteresis

Swicher terdiri atas *potentiometer*, *transistor*, *relay* untuk mempertahankan tegangan  $V_0$  mendekati 9 Volt.

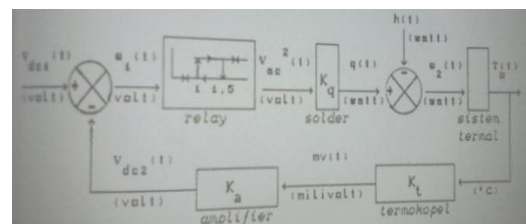


Gambar 9. Rangkaian relay

**Analisis Sistem Pengaturan**

Energy listrik dari sumber arus AC yang diberikan ke solder diubah menjadi energy opanas pada sistem termal. Akibat fluktuasi suhu dari pendinginan oleh air, akan timbul gangguan (*disturbance*) pada sistem termal. Termokopel yang berfungsi sebagai sensor suhu pada sistem termal kemudian mentrandusing menjadi tegangan. *Operational amplifiers* menguatkan tegangan dari

milivolt menjadi volt. *Relay* mengatur pemasukan sumber energy ke elemen pemanas berdasarkan pengaturan tegangan arus searah dari *operational amplifiers*. Pengaturan suhu masukan dilakukan oleh manusia berdasarkan tabel kalibrasi suhu-tegangan.



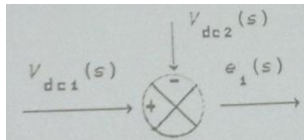
Gambar 10. Loop tertutup alat uji konduktivitas

**Detector kesalahan 1**

Detector kesalahan pada masukan tegangan dilakukan dari pemasukan tegangan oleh manusia  $V_{dc1}(t)$  dan pemasukan tegangan  $V_{dc2}(t)$  yang berasal dari keluaran *operational amplifiers*.

Persamaan detector kesalahan :

$$e_1(s) = V_{dc1}(s) - V_{dc2}(s)$$

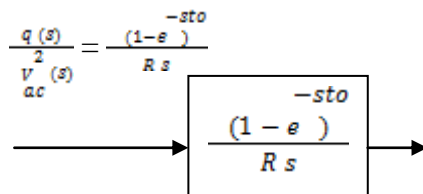


Gambar 11. Detektor kesalahan 1

Laju Pemasukan Panas

Panas diberikan oleh solder sebesar  $q(t)$  dengan sumber arus AC yang diatur oleh relay (aksi kontrol dua on-of).

Fungsi alih laju pemasukan panas ( $K_q$ ) :



Detector Kesalahan 2

Detector kesalahan laju aliran panas yang merupakan selisih antara sinyal masukan dari solder  $q(t)$  dan gangguan yang disebabkan perubahan suhu akibat laju pengeluaran panas oleh air  $h(t)$ , sebesar  $e_2(t)$ .

Persamaan detector kesalahan :

$$e_2(s) = q(s) - h(s)$$

Sistem termal

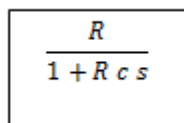
Waktu (m)	5	10	15	20	25
Suhu ( <sup>0</sup> C)	80	76	72	67,5	63
Volt (v)	8,60	7,73	6,98	6,24	5,50
Waktu (m)	30	35	40	45	50
Suhu ( <sup>0</sup> C)	59,5	56,5	53	50	48,5
Volt (v)	4,91	4,42	3,92	3,51	3,26

Dengan rumus :

1. Sistem terisolasi dan tanpa pembangkitan panas.
2. Kondisi stationer dan steady.

Fungsi alih sistem termal :

$$\frac{T_0(s)}{e_2(s)} = \frac{R}{1+R c s}$$

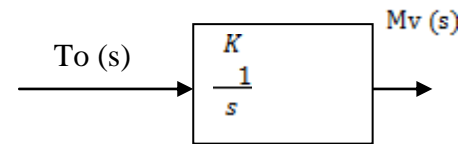


Pengukuran suhu

Sinyal dalam bentuk suhu yang diberikan oleh sistem termal, ditransdusing oleh termokopel menjadi tegangan dalam bentuk milivolt.

Fungsi alih pengukuran suhu ( $K_T$ ) :

$$\frac{Mv(s)}{T(s)} = \frac{k}{s}$$

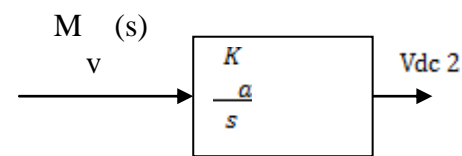


Penguatan Tegangan

Sinyal tegangan milivolt yang dikeluarkan oleh termokopel dikuatkan menjadi volt oleh operational amplifiers.

Fungsi alih penguatan tegangan ( $K_a$ ) :

$$\frac{V_{dc2}(s)}{M(s)} = \frac{k}{s}$$



HASIL DAN PEMBAHASAN

Performansi Pengukuran

Pengukuran suhu pada pemanasan dilakukan dengan menggunakan daya sebesar 60 Watt dengan interval 5 menit :

Tabel 1. Tabel pemanasan

Dengan koefisien korelasi sebesar 0,99793, data yang didapatkan merupakan variabel tak bebas yang terkolerasi secara positif. Dengan niali komulatif 97,5% didapatkan kepekaan termokopel sebesar  $0,16016 \pm 0,00779 \text{ V}^0\text{C}$ . karena terjadi perbedaan antara teori dan empiric, dengan t-test didapatkan ketidakpastian sistematis pada hasil akhir dari data pemanasan.

Pengukuran suhu pada pendinginan menggunakan aliran air yang dipompakan dengan daya sebesar 12 Watt dengan interval waktu 5 menit.

Tabel 2. Tabel pendinginan

Dengan koefisien korelasi sebesar 0,99868, data yang didapatkan merupakan variabel tak bebas yang terkorelasi secara positif. Dengan nilai komulatif 97,5% didapatkan kepekaan termokopel sebesar  $0,16549 \pm 0,00642 \text{ V}^{\circ}\text{C}$ . Karena terjadi perbedaan antara teori dan empiric, dengan *t*-test didapatkan ketidak pastian sistematis pada hasil akhir dari data pendinginan.

Perbandingan data pemanasan dan pendinginan pada alat uji konduktivitas material non logam :

Tabel pemanasan dan pendinginan

Data	n	TI	oi <sup>2</sup>
Pemanasan	11	57,90901	0,03586
Pendinginan	11	61,13636	0,01070

Setelah melakukan pengolahan menggunakan *t*-test, data yang didapatkan menunjukkan ketidakpastian sistematis.

Terjadi perbedaan antara pengukuran dengan termokopel dan thermometer, yang dapat diterangkan sebagai berikut :

**Termokopel**

Bila suhu naik, perubahan dimensi menjadi lebih nyata. Hal ini akan membuat koefisien mulai naik. Bergetarnya atom dengan energy lebih besar, akan menyebabkan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi (difusi).

Suhu yang lebih tinggi menghasilkan difusivitas yang lebih tinggi. Atom-atom memiliki energy panas yang lebih tinggi, sehingga mungkin untuk mencapai energy yang dapat melampaui hambatan antara atom-atom.

**Termometer**

Muai panas dengan faktor pemampatan atom yang setara, berbanding terbalik dengan titik cair. Hubungan yang tidak langsung ini diperoleh karena bahan dengan titik cair yang lebih tinggi mempunyai lengkung energy yang lebih dalam dan kerennanya lebih simetris. Jadi jarak antar atom rata-rata hanya bertambah sedikit dengan penambahan energy termal tertentu.

**Performansi Peralatan**

Titik uji	1	2	3	4	5	6
Volt <sub>rat</sub> a-rata	3,60	2,88	2,75	2,65	5,71	4,69
M V <sub>rata-</sub> rata	1,02 9	0,82 3	0,78 6	0,73 2	1,70 4	1,398
Suhu <sub>r</sub> ata-rata	32,0 0	25,6 0	24,4 4	22,7 6	52,9 8	43,46

Material isolator non logam yang dipilih dalam pengujian ini merupakan golongan keramik. Konduktivitas panas keramik dipengaruhi oleh struktur molekul, proses pembentukan, kerapatan, agitasi termal. Pengujian dilakukan terhadap kaca. Suhu pengujian dipilih antara 22 °C sampai 54 °C dengan interval 1 °C. hasil pengukuran tegangan termokopel pada masing-masing titik pengujian dapat dilihat pada lampiran.

Pengolahan data pengujian pada suhu 32 °C terhadap bahan uji dalam hal ini kaca dilakukan dengan langkah berikut ini :

Pada kontrol suhu pengujian  $\pm 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3,6$  volt atau 1,029 milivolt), didapat data tegangan pada masing-masing titik pengukuran.

Hitung nilai rata-rata data pengujian V rata-rata.

$$\Delta TR = \frac{\Delta T_{1,2} + \Delta T_{4,5}}{2} = -12,41 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tentukan nilai  $\Delta T_a$  dan  $\Delta T_b$  dengan menghitung gradient suhunya :

- $T_b = T_2 - \frac{(\Delta X_{2,b1})}{(\Delta X_{1,2})} \times (T_1 - T_2) = 22,40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_b = T_3 - \frac{(\Delta X_{b2,3})}{(\Delta X_{1,2})} \times \Delta TR = 18,24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{a1} = T_3 - \frac{(\Delta X_{3,a1})}{(\Delta X_{1,2})} \times \Delta TR = 30,65 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{a2} = T_4 - \frac{(\Delta X_{4,b1})}{(\Delta X_{4,2})} \times (T_4 - T_5)$

Maka :

$$\Delta T_a = T_{a1} - T_{a2} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_b = T_{b1} - T_{b2} = 4,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Hitung nilai  $k_a'$  dan  $k_b'$  :

$$k_a' = \frac{\Delta TR}{\Delta T_a} - \frac{L_a}{L_R} \times k_R$$

$$\begin{aligned}
 &= -20,08 \text{ W/m. } ^\circ\text{C} \\
 kb' &= \frac{\Delta TR}{\Delta Ta} - \frac{Lb}{LR} \times kR \\
 &= -221,68 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Hitung Konduktivitas nyata bahan uji :

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{Lb - La}{\frac{Lb}{kb'} - \frac{La}{Ka'}} \\
 &= 24,52 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Lakukan hal yang sama untuk data pada suhu lainnya dan tabelkan.

Buat grafik hubungan suhu dengan koefisien konduktivitas masing-masing bahan yang diuji. Tabel dan grafik hasil pengolahan data untuk bahan uji dapat dilihat pada lampiran.

Kaca merupakan senyawa logam dan non logam, kebanyakan mempunyai struktur kristal bersifat *amorf*. Struktur molekul dari kaca rumit disebabkan jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya rendah. Bahan padat makromolekul mempunyai struktur seperti cairan lewat dingin, karena itu bersifat *amorf*. Atau berwujud seperti kristal yang sama sekali tidak sempurna.

Umumnya kaca dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik-menarik yang kuat yaitu ikatan kovalen, dimana setiap atom dari pasangan terikat menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang elektron. Dalam ikatan kovalen ini tiap elektron bergabung dengan atom tertentu (atau pasangan atom). Karena itu sedikit sekali tersedia elektron bebas untuk proses transfer energy. Dengan demikian transfer energi seperti panas, yang diberikan kepada struktur molekul diteruskan dari daerah yang panas ke daerah yang dingin dengan getaran atom, suatu proses yang jauh lebih lambat dibandingkan dengan transfer energy elektron yang terdapat dalam logam. Hal ini menyebabkan kaca merupakan penghantar panas yang buruk.

Pada grafik hasil pengujian pada lampiran terlihat untuk bahan uji, kenaikan suhu akan menurunkan harga konduktivitas

panasnya. Karena mengandung soda dan kapur, natrium karbonat dan kalsium karbonat melepaskan karbondioksida yang akan menimbulkan cacat pada proses pembentukan akhir. Kerapatan kaca rendah dan tergantung pada suhu. Hal ini akan mempengaruhi konduktivitas kaca.

Bila dibandingkan dengan koefisien termal bahan logam, dengan kenaikan suhu, konduktivitas kaca juga turun tetapi dengan penurunan yang tidak terlalu tajam, seperti yang teramati pada bahan non logam.

Konduktivitas kaca dari data yang didapatkan sebesar  $21,32 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}$  berbeda dari literature ( $0,76 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}$ ), yang disebabkan oleh adanya tahanan kontak termal.

Tidak ada permukaan yang benar-benar halus, kekasaran permukaan memegang peranan penting dalam penentuan tahanan kontak termal (*thermal contact resistance*). Selain konduksi antara zat padat dengan zat padat pada titik singgung, konduksi melalui gas yang terkurung pada ruang-ruang lowong yang terbentuk karena persinggungan member tahanan antara terhadap aliran panas, disebabkan konduktivitas panas gas sangat kecil dibandingkan zat padat. Peningkatan tekanan akan mengakibatkan deformasi kontak, memperluas bidang kontak antara kedua zat padat sehingga akan menurunkan tahanan kontak.

### Analisis Sistem Pengaturan

Sistem kontrol dua posisi *on-off* menimbulkan ketidak linieran (*disengaja/international non linearitis*). Hal ini penting untuk memperbaiki performansi sistem dan untuk menyederhanakan konstruksi sistem.

Tangki yang mempunyai diameter  $0,03 \text{ m}$  dan koefisien konveksi udara sebesar  $7,3263 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  mempunyai tahanan panas sebesar  $151,6606 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ . tangki sepanjang  $0,25 \text{ m}$  mempunyai volume sebesar  $0,000176715 \text{ m}^3$ . Setelah dilakukan interpolasi, didapatkan densitas sebesar  $0,991076 \text{ kg/m}^3$ , dan panas spesifik zat sebesar  $1,009 \text{ KJ/kg. } ^\circ\text{C}$ , sehingga



kapasitas panas  $C$  sebesar  $0,17677 \text{ J}^{\circ}\text{C}$ . dengan daya 240 Watt tegangan 220 Volt akan menimbulkan arus sebesar 1,091 Ampere.

Sehingga didapatkan :

$$K_q = \frac{1 - e^{-st_0}}{200s}$$

$$\frac{R}{1 + Rcs} = \frac{151,7}{1 + 26,8s}$$

$$K_t = \frac{0,032}{s}$$

$$K\alpha = \frac{3,5}{s}$$

Fungsi alih keseluruhan sistem menjadi :

$$T_o(s) = \frac{\frac{151,7}{1+26,8s} \cdot \frac{1-e^{-st_0}}{200s} V_{dcs}(s) - h(s)}{1 + \frac{1-e^{-st_0}}{1+26,8s} \frac{0,0327}{s^3}}$$

$$V_{doc}(s) = \frac{\frac{16,99}{1+26,8s} \cdot \frac{1-e^{-st_0}}{200s} V_{dcs}(s) - h(s)}{1 + \frac{1-e^{-st_0}}{1+26,8s} \frac{0,0327}{s^3}}$$

Dengan nilai kapasitas panas yang rendah, berarti energy berpindah melalui bahan yang diserap dan digunakan untuk menaikkan suhu jumlahnya lebih sedikit, jadi energi yang dapat dipindahkan masih banyak.

Amplitudo osilasi keluaran dapat diperkecil dengan memperkecil celah diferensial tetapi akan menyebabkan kenaikan angka *switching on-off* permenit, sehingga akan memperpendek umur sistem. Besar celah ditentukan berdasarkan ketelitian yang diperlukan dan ketahanan suatu komponen

## SIMPULAN

Pengukuran suhu dilakukan pada pemanasan dan pendinginan untuk mendapatkan *hysteresis*. Kalibrasi termokopel terhadap thermometer pada pemanasan dan pendinginan menghasilkan ketidakpastian sistematis pada hasil akhir.

Sistem kontrol dua posisi *on-off* menimbulkan ketidaklinieran disengaja yang sangat penting untuk memperbaiki performansi sistem dan menyederhanakan konstruksi sistem.

Pemanasan yang dilakukan solder menggunakan tegangan AC berdasarkan pengaturan tegangan oleh *relay*

menggunakan masukan dari detector kesalahan sebesar  $(1 - e^{-st_0}) / (200s)$ .

Terjadi fluktuasi suhu antara  $70^{\circ}\text{C}$  dan  $90^{\circ}\text{C}$  dengan inpyt tegangan DC yang merupakan fungsi tangga sebesar 10 Watt akibat laju pemasukan panas sebesar 240 Watt dan pendinginan yang dapat dilihat pada lampiran. Dengan laju pemasukan panas konstan sebesar 240 Watt akan menaikkan suhu sistem dari  $25^{\circ}\text{C}$  menjadi  $90^{\circ}\text{C}$ . hal ini akan membuat *relay* mengoffkan tegangan AC yang menghentikan laju pemasukan panas, yang akibat pendinginan akan menurunkan suhu menjadi  $70^{\circ}\text{C}$ . hal ini akan membuat *relay* mengonkan tegangan AC yang akan mengalirkan panas kembali pada sistem termal, dan seterusnya. Tegangan DC yang diukur berdasarkan input suhu yang tergantung pada laju pemasukan panas dan pendinginan.

Dari kalibrasi pemanasan didapatkan kepekaan termokopel sebesar  $0,160 \text{ V}^{\circ}\text{C}$ , dan pendinginan sebesar  $0,165 \text{ V}^{\circ}\text{C}$ . sedangkan dari analisis sistem pengaturan sebesar  $0,113 \text{ V}^{\circ}\text{C}$ .

Kaca merupakan senyawa non logam, kebanyakan mempunyai struktur kristal bersifat *amorf*. Kaca mempunyai ikatan kovalendan energy berpindah melalui getaran atom, sehingga kaca merupakan penghantar panas yang buruk.

Kenaikan suhu akan menurunkan harga konduktivitas panas. Tahanan kontak termal mempengaruhi harga konduktivitas panas, disebabkan berkurangnya luas permukaan panas yang berkontak.

## SARAN

Kecendrungan perubahan koefisien hantar panas terhadap perubahan suhu dapat diterima, tetapi masih memerlukan pengukuran yang lebih banyak dan teliti. Penerapan analisis *describing function* terbatas pada sistem dengan ketidaklinieran yang rendah. Pada sistem nonlinear derajat tinggi akan menimbulkan kesalahan yang cukup besar.

Kekurangan pada penyediaan alat

uji mempengaruhi hasil pengukuran, sehingga perlu penyempurnaan pada alat uji.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Avner, Sidney H., Introduction to Physical Metallurgy, Mc Graw-Hill, Singapore, 1974.
- Beckwith, Thomas G., N. Lewis Buck, Roy D. Marangoni, Mechanical Measurements, Addison-Wesley, Inc., 1982.
- Cengel, Yunus A., Micheal A. Boles, Thermodynamics, An Engineering Approach, Mc Graw-Hill, Singapore, 1989.
- Chapman, Alan J., Heat Transfer, Maxwell Mc Millan, Singapore.
- Cohran, W. G., G. M. Cox, Experimental Design, Jhon Willey and Sons, Singapore, 1989.
- Dajan, Anto, Pengantar metode Statistik, Lembaga Penelitian, Cetakan ke Simbilan, Pendidikan dan Penerangan Ekonomi dan Sosial, Jakarta, 1984.
- Holman, J. P., Heat Transfer, Mc Graw-Hill, Singapore, 1989.
- Leonanda, Benny Dwika, Alat Uji Konduktivitas Material Non Logam, Laporan Penelitian Heds/Jica, Padang, 1995.
- Milmann, Jacob, Halkias, Christos C., Integrated Elektronik, Analog and Digital Circuit and Systems, Mc Graw-Hill.
- Sarjito, Aan Yoga, Perencanaan Pembuatan dan Pengujian Alat Uji Konduktivitas Panas Bahan, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, 1995.
- Shinners, Tanley M., Modren Control System Theory and Application, Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1978.
- Thomas D., Mc Goe, Principles and Methods of Remperature Measurement, John Willey and Sons, New York, 1989.
- Ogata, Katsuhiko, Modren Control Engineering, Second Edition, Prentice-Hall International, Inc.
- Ozisik, Necati M. and Yildiz, Bayazitoglu, Element of Heat Transfer, Mc Graw-Hill, Singapore, 1988.
- Surdia, Tata dan Shinroken, Saito, Pengetahuan Bahan Tehnik, Jakarta, PT. Paradinya Paramita, 1985.
- Viack, Lawrence H. Van, Elements of Materials Science and Engineering, 4<sup>th</sup> edition, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1980.