



UNIVERSITAS INDONESIA

**UNJUK KERJA APLIKASI SISTEM PENDINGINAN PADA
ALAT ELEKTROFORESIS TERMOELEKTRIK**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**ARDHANA P
07 06 26 68 91**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Ardhana P

NPM : 0706266891

Tanda Tangan : 

Tanggal : 17 Juni 2011



LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ardhana P

NPM : 0706266891

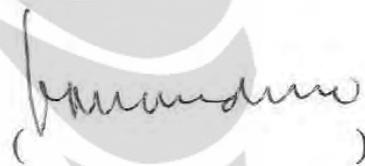
Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : UNJUK KERJA APLIKASI SISTEM
PENDINGINAN PADA ALAT ELEKTROFORESIS
TERMOELEKTRIK

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

PENGUJI

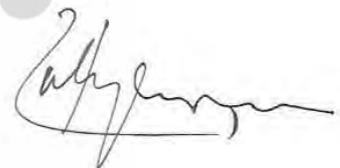
Pembimbing : Dr. Ir Danardono AS DEA



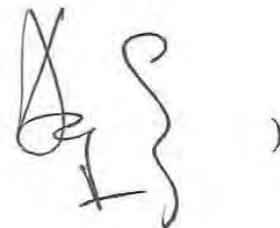
Pembimbing : Prof.Dr.-Ing.Ir. Nandy Putra



Penguji : Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer DEA.(



Penguji : Dr.Agus Sunjarianto Pamitran ST., M.Eng(



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 17 Juni 2011

KATA PENGANTAR

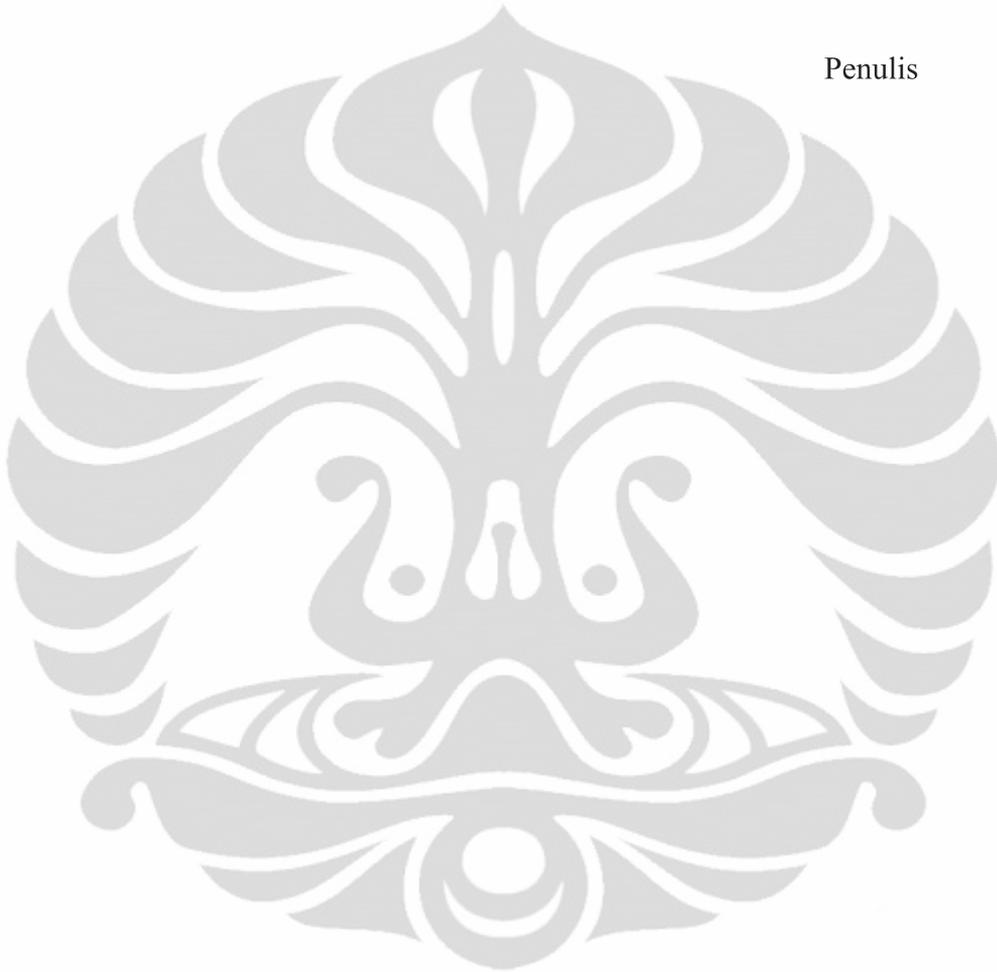
Puji dan syukur sebesar-besarnya, Penulis panjatkan kehadiran Tuhan YME atas segala rahmat, hidayah dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Dalam penelitian ini, Penulis banyak menerima saran, bimbingan, bantuan dan informasi dari berbagai pihak, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Untuk itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir Danardono AS DEA dan Bapak Prof.Dr-Ing.Ir. Nandy Putra, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu & tenaga dalam memberikan saran serta bimbingan.
2. Papa, Mama, Mbak Shinta Ayunia dan keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan, semangat dan doa, sampai penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Mas Wayan, Mas Haolia, dan Ridho Irwansyah selaku asisten laboratorium “*applied heat transfer*” yang telah banyak memberikan masukan, saran dan bantuan dalam membuat skripsi ini.
4. Gilang A.I.V, Sabdo Waluyo, Tasia Larosa, Hamdalah Hazhar, Kapa Cossa Johnatan, M. Iqbal Bimo dan Rian Saputra di Laboratorium “*applied heat transfer*” Universitas Indonesia, selaku teman seperjuangan dalam menulis skripsi bersama.
5. Ajeng, selaku kekasih penulis yang selalu memberi semangat, dukungan dan doa, hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu.
6. Seluruh teman-teman Penulis di kampus yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu baik dalam penelitian maupun penulisan.
7. Dan seluruh karyawan staf Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah membantu memberi saran, menyediakan dan meminjamkan peralatan serta sarana dalam pengerjaan alat.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan YME berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 17 Juni 2011

Penulis



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ardhana P
NPM : 0706266891
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

UNJUK KERJA APLIKASI SISTEM PENDINGINAN PADA ALAT ELEKTROFORESIS TERMOELEKTRIK

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 17 Juni 2011

Yang menyatakan


(Ardhana P)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS UNTUK KEPERLUAN AKADEMIK	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL	xvii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2	5
DASAR TEORI	5
2.1 Kromatografi.....	5
2.2 <i>Agarose gel electrophoresis</i>	6
2.3 DNA.....	6
2.3.1 Faktor yang mempengaruhi laju migrasi DNA.....	7
2.4 Agarosa gel.....	9
2.5 Larutan Tris-Acetate-EDTA (TAE).....	10

2.6 Elektroforesis	10
2.7 Termoelektrik.....	11
2.7.1 Awal perkembangan <i>thermoelectric</i>	11
2.7.2 Prinsip kerja termoelektrik	12
2.7.3 Parameter penggunaan elemen pendingin termoelektrik.....	14
2.7.4 Aplikasi termoelektrik	16
2.7.4.1 Kotak pembawa vaksin.....	16
2.7.4.2 <i>Air Conditioner</i>	17
2.7.4.3 Lemari pendingin termoelektrik	18
2.7.4.4 <i>Cryoconcentration cell</i>	19
2.7.4.5 Kotak pembawa darah.....	20
2.7.4.6 Pendingin <i>microprocessor</i>	21
2.7.4.7 <i>Cryosurgery</i>	22
2.7.5 Sistem pendingin termoelektrik.....	23
2.7.5.1 <i>Heat sink fan</i>	23
2.7.5.2 <i>Heat pipe</i>	24
2.7.5.3 Sistem berpendingin air	28
2.8 Perhitungan COP.....	29
BAB 3.....	31
PERANCANGAN DAN PERAKITAN ALAT ELEKTROFORESIS	
TERMOELEKTRIK.....	31
3.1 Perancangan Sistem	31
3.2 Pembuatan alat.....	37
3.2.1 Pembuatan <i>body</i>	37
3.3 Proses perakitan alat.....	38
3.4 Spesifikasi teknis.....	40
BAB 4.....	41
PENGUJIAN ALAT ELEKTROFORESIS	41
4.1 Tujuan pengujian.....	41
4.2 Instalasi Pengujian	41
4.3 Komponen Pengujian	42

4.3.1 Termokopel.....	42
4.3.2 Data akuisisi	44
4.3.3 <i>Power supply</i>	46
4.3.4 Regulator.....	46
4.3.5 Heat sink silicone compound	46
4.4 Variasi pengambilan data.....	47
4.4.1 Pengujian <i>heat pipe</i> dengan variasi tegangan termoelektrik	47
4.4.2 Pengujian <i>heat sink</i> dengan variasi tegangan termoelektrik.....	48
BAB 5.....	49
ANALISA DAN PERHITUNGAN	49
5.1 Hasil dan analisa pengujian.....	49
5.2 Pengujian alat elektroforesis termoelektrik.....	49
5.2.1 Analisa pengujian alat elektroforesis termoelektrik dengan <i>heat pipe</i> ..	50
5.2.2 Analisa pengujian alat elektroforesis termoelektrik dengan <i>heat sink fan</i>	52
5.2.3 Analisa perbandingan pengujian alat elektroforesis termoelektrik dengan variasi alat pembuang kalor	55
5.3 Perhitungan COP.....	56
BAB 6.....	59
KESIMPULAN DAN SARAN	59
6.1 Kesimpulan	59
6.2 Saran dan rekomendasi	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	66

DAFTAR GAMBAR

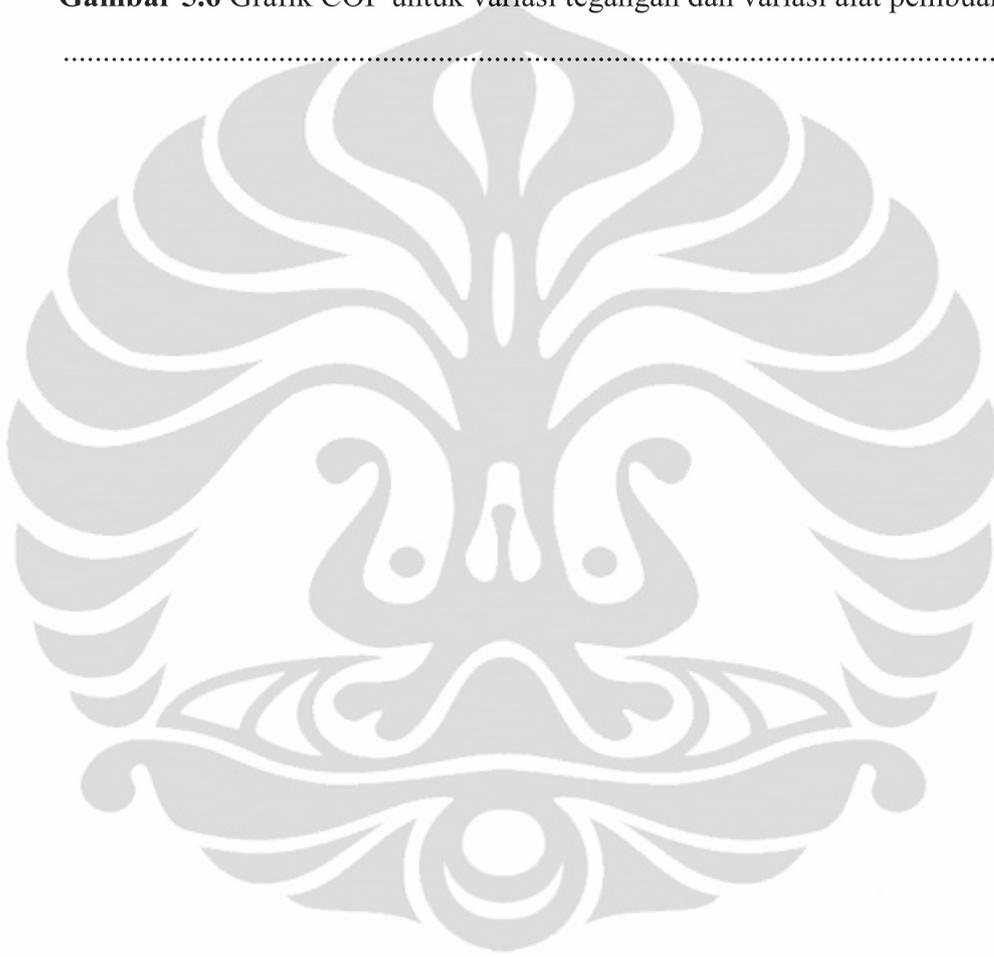
Gambar 2.1 <i>Base pair</i> pada DNA.....	7
Gambar 2.2 Contoh urutan <i>base pair</i> DNA.....	7
Gambar 2.3 Konformasi DNA.....	8
Gambar 2.4 Contoh perbedaan hasil pengukuran DNA berdasarkan konformasi.	9
Gambar 2.5 Rangkaian percobaan Seebeck.....	12
Gambar 2.6 Rangkaian percobaan termoelektrik	12
Gambar 2.7 Skema pendinginan pada termoelektrik.....	13
Gambar 2.8 Profil temperature modul TEC.....	15
Gambar 2.9 Susunan modul.....	15
Gambar 2.10 Gambar termoelektrik bertingkat dua	16
Gambar 2.11 Rancangan kotak pembawa vaksin	17
Gambar 2.12 Sistem pendingin ruang termoelektrik	18
Gambar 2.13 Skema <i>thermoelectric cryoconcentration cell</i>	20
Gambar 2.14 Rancangan kotak pembawa darah.....	21
Gambar 2.15 Skema pendinginan <i>microprocessor</i>	22
Gambar 2.16 Skema <i>cryosurgery</i> termoelektrik bertingkat.....	23
Gambar 2.17 <i>Heat sink</i>	24
Gambar 2.18 <i>Heat sink fan</i>	24
Gambar 2.19 Skema <i>heat pipe</i>	25
Gambar 2.20 Alat penukar kalor <i>water block</i>	28
Gambar 2.21 Aliran fluida kerja pada <i>water block</i>	29
Gambar 3.1 Alat elektroforesis generasi ke dua (kiri) dan alat elektroforesis pertama (kanan).....	31
Gambar 3.2 tembaga yang bereaksi dengan larutan TAE pada bak kanan dan kiri alat elektroforesis	31
Gambar 3.3 Rancangan alat elektroforesis	33
Gambar 3.4 <i>Plate sink</i>	33
Gambar 3.5 Kawat arus listrik	34
Gambar 3.6 Elemen termoelektrik bertingkat dua.....	34

Gambar 3.7 <i>Heat pipe</i>	35
Gambar 3.8 <i>Heat sink fan</i>	36
Gambar 3.9 <i>block heat sink</i>	36
Gambar 3.10 <i>Body</i>	37
Gambar 3.11 <i>thermal paste</i> pada termoelektrik dan alat pembuang kalor	38
Gambar 3.12 Susunan termoelektrik	38
Gambar 3.13 Pemasangan termoelektrik pada alat elektroforesis	39
Gambar 3.14 Alat pembuang kalor pada alat elektroforesis.....	39
Gambar 3.15 Kawat arus pada <i>chamber</i> (bak)	39
Gambar 3.16 Alat elektroforesis (a) sistem pembuang kalor <i>heat sink</i> (b) sistem pembuang kalor <i>heat pipe</i>	40
Gambar 4.1 Skema pengujian alat elektroforesis dengan alat pembuang kalor <i>heat pipe</i>	42
Gambar 4.2 Instalasi pengujian alat elektroforesis.....	42
Gambar 4.3 Termokopel tipe K	43
Gambar 4.4 Pemasangan termokopel pada titik pengukuran (a) termokopel pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik, (b) termokopel pada larutan TAE	43
Gambar 4.5 Data akuisisi NI 9211 dan <i>chassis</i> NI cDAQ-9172.....	44
Gambar 4.6 <i>Channel</i> pada modul NI 9211	44
Gambar 4.7 <i>Chassis</i> NI cDAQ 9172	45
Gambar 4.8 (a) <i>Power supply</i> MCP tipe M10-SP-3020E, (b) <i>Power supply custom</i>	46
Gambar 4.9 Regulator Matsuyama <i>Electric work type</i> SD-242.5	46
Gambar 4.10 Dow corning 340 silicone <i>heat sink compound</i> [41].....	47
Gambar 5.1 Grafik pengujian alat elektroforesis termoelektrik 8 volt dengan <i>heat pipe</i>	50
Gambar 5.2 Grafik pengujian alat elektroforesis dengan variasi tegangan pada termoelektrik	51
Gambar 5.3 Grafik pengujian alat elektroforesis termoelektrik 8 Volt dengan <i>heat sink fan</i>	53

Gambar 5.4 Grafik pengujian alat elektroforesis dengan variasi tegangan pada termoelektrik 54

Gambar 5.5 Grafik temperatur larutan TAE dengan variasi alat pembuang kalor 55

Gambar 5.6 Grafik COP untuk variasi tegangan dan variasi alat pembuang kalor 58



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konsentrasi gel agarose dan ukuran molekul DNA	8
Tabel 2.2 Hasil penelitian lemari pendingin termoelektrik	19
Tabel 2.3 Fluida kerja <i>heat pipe</i>	26
Tabel 2.4 Karakteristik kondisi operasi <i>heat pipe</i>	27
Tabel 3.1 Perbandingan temperatur larutan TAE pada alat elektroforesis generasi pertama dan ke dua	32
Tabel 4.1 Spesifikasi data akusisi NI 9211	45
Tabel 4.2 Spesifikasi teknis <i>thermal paste</i>	47
Tabel 4.3 Variasi tegangan termoelektrik dengan daya yang digunakan (<i>heat pipe</i>)	48
Tabel 4.4 Variasi tegangan termoelektrik dengan daya yang digunakan (<i>heat sink</i>)	48
Tabel 5.1 Tabel hasil pengujian alat elektroforesis 8 Volt	51
Tabel 5.2 Hasil pengujian variasi tegangan termoelektrik dengan alat pembuang kalor <i>heat pipe</i>	52
Tabel 5.3 Tabel hasil pengujian alat elektroforesis 8 Volt	53
Tabel 5.4 Hasil pengujian variasi tegangan termoelektrik dengan alat pembuang kalor <i>heat sink</i>	55
Tabel 5.5 Perbandingan Temperatur larutan TAE akhir pada <i>heat sink fan</i> dan <i>heat pipe</i>	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data pengujian
Lampiran 2	Desain alat elektroforesis



DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
A	Luas	m^2
c_p	Kalor spesifik pada tekanan konstan	J/kg.K
G	Area/Length dari termoelektrik	cm
h	Koefisien perpindahan kalor konveksi	W/m^2K
I	Arus Listrik	Amper
k	Konduktivitas termal	$W/m.K$
l/L	Panjang	m
N	Jumlah Termokopel	
P	Daya	W
q	Laju perpindahan kalor	W
Q_c	Beban Pendinginan	
R	Hambatan listrik	Ohm
R_t	Hambatan termal total	$^{\circ}C/W$
t	Tebal	m
T	Temperatur	$^{\circ}C$
T_a	Temperatur Lingkungan	$^{\circ}C$
T_L	Temperatur Kabin	$^{\circ}C$
T_s	Temperatur Generator	$^{\circ}C$
T_m	Temperatur rata-rata	$^{\circ}C$
U	Koefisien perpindahan kalor keseluruhan	$W/m^2.K$
V	Tegangan	Volt
x	Jarak	m
Z	Figure of Merit	K^{-1}
m	Massa	Kg
Huruf Yunani		
α	Koefisien Seebeck	V/K
ρ	Resistivity	ohm cm

η

Efficiency

-

Subskrip

abs

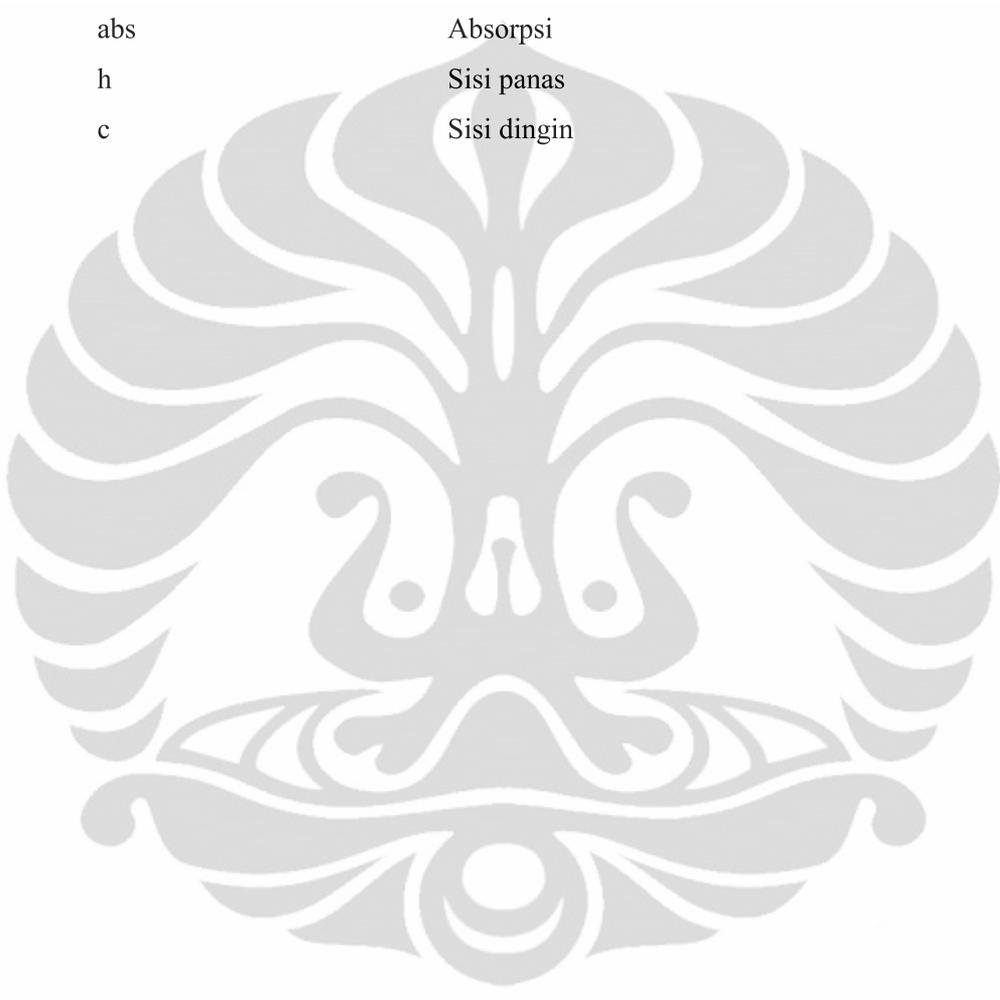
Absorpsi

h

Sisi panas

c

Sisi dingin



ABSTRAK

Nama : Ardhana P
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : UNJUK KERJA APLIKASI SISTEM PENDINGINAN PADA ALAT ELEKTROFORESIS TERMoeLEKTRIK

Elektroforesis merupakan peristiwa pergerakan molekul-molekul kecil yang dibawa oleh muatan listrik akibat adanya pengaruh medan listrik. Peristiwa ini dimanfaatkan pada bidang kedokteran untuk menggerakkan DNA, dimana pergerakan DNA ini berfungsi untuk mengidentifikasi DNA. Teknik identifikasi seperti ini biasa disebut dengan kromatografi, yaitu proses pemisahan suatu campuran senyawa. Dimana DNA dengan fragmen pendek akan bermigrasi lebih jauh dibanding fragmen DNA yang lebih panjang. Dengan begitu fragmen DNA akan terpisah dari molekul lain yang tercampur bersamanya. Akan tetapi arus listrik yang digunakan untuk membuat fragmen DNA bermigrasi dapat menimbulkan panas, yang kemudian akan diterima gel agarosa. Panas berlebih ini harus dihindari karena dapat menyebabkan *Agarose Gel electrophoresis* tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan alat elektroforesis yang sudah ada, dikombinasikan dengan termoelektrik, guna menyerap kalor yang dihasilkan oleh *Agarose Gel electrophoresis*. Alat pembuang kalor yang digunakan pada sisi panas termoelektrik adalah *heat pipe* dan *heat sink*. Temperature larutan TAE terendah yang berhasil dicapai dalam eksperimen ini adalah 10,75°C dengan nilai COP 0,51. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan termoelektrik pada alat elektroforesis ini dapat digunakan sebagai sistem pendinginan *Agarose Gel electrophoresis*.

Kata kunci :

Elektroforesis, kromatografi, Termoelektrik, *Heat Pipe*, *heat sink*, Temperature larutan TAE

ABSTRACT

Name : Ardhana P
Majority : Mechanical Engineering
Title : COOLING SYSTEM PERFORMANCE OF
ELECTROPHORESIS THERMOELECTRIC DEVICE

Electrophoresis is phenomenon of molecule movement which brought by electric current. This phenomenon used by medical sector to move the DNA, which the movement of DNA function is to identify the DNA. This identification method called by chromatograph. Chromatograph is separation of mixing compound. The short fragment of DNA will move farther than the long one. As a consequence the DNA fragment will separate from another molecule. But then the current of electricity which use to move the DNA fragmen can produce heat. Overheated must be avoided because that bringing on *Agarose Gel electrophoresis* do not operate very well. The objective of this experiment is to improve electrophoresis device, which is combined with thermoelectric. The function of thermoelectric to absorb the heat that *Agarose Gel electrophoresis* produce. On the hot side of thermoelectric the writer put heat ejector (heat pipe and heat sink). The lowest temperature of TAE solution that reached in this experiment is 10,75°C with COP 0,51. The result of this experiment is the application of thermoelectric can be use as cooling system in *Agarose Gel electrophoresis*.

Keyword :

Electrophoresis, Chromatograph, Thermoelectric, Heat pipe, Heat sink, TAE solution temperature.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aplikasi teknologi sudah berkembang dalam berbagai bidang, terutama di bidang kedokteran. Hal ini membuat berbagai proses penelitian di bidang kedokteran menjadi semakin mudah dan berkembang, terlihat dengan semakin banyaknya alat berbasis teknologi yang dikembangkan di bidang kedokteran.

Agarose gel elektroforesis (AGE) adalah salah satu contoh alat kedokteran berbasis teknologi tersebut. AGE merupakan sebuah alat identifikasi fragmen asam nukleat seperti DNA (Deoxyribonucleic acid) yang mengaplikasikan proses elektroforesis dalam cara kerjanya [1,2].

Dalam proses elektroforesis arus listrik dialirkan ke dalam larutan buffer yaitu Tris-asetate (TAE). Muatan listrik yang berada pada larutan TAE akan membawa fragmen-fragmen DNA bergerak melalui matriks-matriks pada gel agarose, dimana DNA dengan fragmen pendek akan bermigrasi lebih jauh dibanding fragmen DNA yang lebih panjang. Dengan begitu fragmen DNA akan terpisah dari molekul lain yang tercampur bersamanya [3].

Selain itu, membandingkan panjang migrasi fragmen DNA ini dengan panjang migrasi DNA marker maka DNA tersebut dapat diketahui berat molekulnya [4-7]. Dengan menggunakan AGE, dapat dilakukan identifikasi terhadap fragmen DNA yang ingin diteliti seperti untuk mengetahui adanya kontaminasi atau kerusakan pada bahan [6-8].

Arus listrik yang digunakan untuk membuat fragmen DNA bermigrasi dapat menimbulkan panas, yang kemudian akan diterima gel agarose. Panas ini bertambah ketika pengukuran dipercepat karena voltase listrik yang dialirkan ke larutan buffer diperbesar. Panas berlebih ini harus dihindari karena dapat menyebabkan AGE tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya [9-15].

Oleh karena itu, pada alat ini ditambahkan modul termoelektrik (peltier) dan sistem pendingin termoelektrik. Kegunaan dari pendinginan ini adalah membuang kalor berlebih yang dihasilkan oleh arus listrik dan diterima gel agarose, sehingga temperatur di gel agarose dapat dijaga pada suhu ruangan, dibawah 30°C [10, 13-14].

1.2 Perumusan Masalah

Dalam pemakaian sistem pendingin termoelektrik pada AGE diperlukan penyerapan kalor oleh modul termoelektrik pada AGE sehingga alat dapat digunakan sebagaimana fungsinya. Selain itu untuk dapat menghasilkan unjuk kerja yang melebihi sistem pendinginan termoelektrik yang telah diuji sebelumnya.

Dalam penelitian kali ini, pembuatan AGE menggunakan 2 keping termoelektrik bertingkat dua dan sistem pembuangan panas(heat pipe atau heat sink) dengan menggunakan daya yang dihasilkan oleh catu daya.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. merancang dan membuat sebuah AGE dengan desain yang efisien dan mudah digunakan
2. merancang dan membuat suatu sistem perpindahan kalor pada alat AGE dimana target temperatur yang diinginkan pada gel agarose dapat tercapai
3. melihat pengaruh digunakannya heat pipe dan heat sink fan pada sistem pendinginan AGE.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Sistem pembuangan panas yang menggunakan heat pipe dan heat sink
2. Pengujian juga dilakukan dengan memberi variasi pembebanan pada regulator 80 Volt, 90 Volt, 100 Volt, 135 Volt dan 150 Volt

3. Voltase yang digunakan pada termoelektrik berkisar antara 1 Volt sampai 8 Volt.
4. Beban pendinginan pada plate sink (kaca) dan larutan TAE.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
Merupakan proses pengumpulan data mengenai materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal, situs internet, serta narasumber ahli.
2. Perancangan alat
Tahap ini dilakukan dengan melakukan modifikasi berdasarkan rancangan alat sudah ada sebelumnya, baik AGE buatan Haolia Rahman maupun yang sudah ada di pasaran. Perancangan alat mempertimbangkan sifat material, keefisienan alat saat digunakan, serta sisi ergonomis rancangan. Setelah itu rancangan alat dibuat dengan menggunakan *software* gambar yaitu *Solidwork*.
3. Pembuatan alat
Pada proses ini alat yang akan dibuat diwujudkan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.
4. Pengujian alat
Proses ini bertujuan untuk menguji efektifitas sistem pemindah kalor pada alat, serta kelayakan pengoperasian AGE untuk mengidentifikasi DNA.
5. Pengolahan data
Setelah melakukan pengujian data yang telah diperoleh diolah untuk dianalisis lebih jauh.
6. Analisa dan kesimpulan
Dari analisa pengolahan data dapat ditarik kesimpulan mengenai performa sistem pemindah kalor dan kelayakannya untuk digunakan mengidentifikasi DNA.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan peneletian.

BAB 2 : DASAR TEORI

Bab ini diuraikan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini.

BAB 3 : PERANCANGAN DAN PERAKITAN ALAT ELEKTROFORESIS TERMOELEKTRIK

Bab ini berisi langka-langkah yang telah dilakukan dari perancangan hingga perakitan alat elektroforesis yang telah didesain.

BAB 4 : PENGUJIAN ALAT ELEKTROFORESIS

Bab ini berisi skema alat elektroforesis dan langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengambilan data, mulai dari persiapan hingga pelaksanaan pengambilan data, serta penjelasan mengenai peralatan yang digunakan dalam keseluruhan proses pengujian dan pengambilan data temperatur alat elektroforesis.

BAB 5 : ANALISA DAN PERHITUNGAN

Bab ini berisikan tentang analisa dari data dan grafik dari pengujian alat elektroforesis yang telah dilakukan

BAB 6 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian dan analisa yang telah dilakukan, selain itu apabila terdapat kekurangan-kekurangan, saran apa yang harus diberikan untuk mengatasinya.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Kromatografi

Dalam dunia mikrobiologi dan kedokteran asam nukleat seperti DNA (*Deoxyribonucleic acid*) yang digunakan dalam penelitian harus diidentifikasi terlebih dahulu. Dalam melakukan identifikasi ini proses yang paling sering digunakan adalah kromatografi, yaitu proses pemisahan suatu campuran senyawa. Terdapat berbagai jenis kromatografi, salah satu diantaranya adalah elektroforesis [1-2, 11].

Pada proses elektroforesis terjadi pemisahan komponen-komponen dengan pengaruh arus listrik sehingga terjadi laju migrasi [2]. Elektroforesis untuk pemisahan dan identifikasi DNA dapat terbagi menjadi dua kategori berdasarkan medium yang digunakan, yaitu *Polyacrilamid Gel Elektrophoresis* dan *Agarose Gel Elektrophoresis* [11]. Perbandingan dari kedua metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Elektroforesi dengan *polyacrylamid gel*
 - Daya yang digunakan ekstrim tinggi jika dibandingkan dengan menggunakan agarosa.
 - Pembuatan gelnya lebih sulit dibanding gel agarose, karena biasanya digunakan poliakrilamid dengan resolusi yang tinggi.
 - Medan gerak vertikal.
2. Elektroforesis dengan gel agarosa
 - Daya yang digunakan lebih rendah (dibanding *polyacrylamid gel*).
 - Mempunyai laju pemisahan lebih cepat.
 - Medan gerak horizontal.

Untuk memilih metode yang dapat dipakai ditentukan dari ukuran molekul DNA yang ingin diidentifikasi. *Polyacrylamid gel* umumnya dipakai untuk ukuran molekul DNA sangat kecil (dibawah 0,5 kb), sedangkan gel agarosa paling umum digunakan dalam penelitian mikrobiologis yang melibatkan molekul DNA dengan ukuran menengah ke atas (0,5 – 50 kb) [16].

2.2 *Agarose Gel Electrophoresis*

AGE adalah sebuah alat kedokteran yang berfungsi sebagai pengidentifikasi fragmen DNA yang bekerja dengan proses elektroforesis dan dengan menggunakan gel agarosa [8-11].

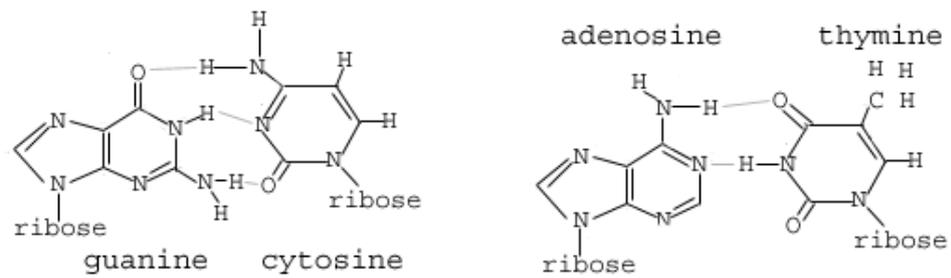
Cara kerja singkat dari alat ini adalah, DNA yang akan diteliti dituangkan pada gel agarosa yang sudah diberi lubang. Gel ini diletakkan pada wadah AGE berisi larutan buffer yang fungsinya meneruskan aliran listrik. Larutan buffer yang digunakan pada AGE adalah larutan *Tris-Acetate-EDTA* (TAE) [11]. Saat larutan TAE dialiri listrik, gel agarosa akan meneruskan aliran listrik itu sehingga DNA yang diletakkan di atasnya akan terpisah dari molekul-molekul bukan DNA lainnya yang tercampur dalam sampel. Fragmen DNA akan bergerak sesuai dengan ukurannya dan bergerak melewati matriks gel menuju kutub positif. Pergerakan DNA dalam gel tersebut dapat dilihat dengan menggunakan pewarna *fluorescent* seperti *Ethidium Bromida* (EtBr) [6]. Migrasi dari DNA kemudian dapat menjadi dasar identifikasi dari DNA tersebut dengan cara membandingkannya dengan DNA *marker* yang sudah ada [8-9].

AGE dapat diaplikasikan untuk hal-hal berikut ini:

1. Memisahkan fragmen DNA dari molekul lain
2. Mengetahui berat molekul suatu bahan
3. Mengetahui adanya kerusakan atau kontaminasi bahan
4. Mengetahui adanya antibodi terhadap virus tertentu

2.3 DNA

DNA (*Deoxyribonucleic acid*) adalah asam nukleat yang mengandung instruksi genetik yang menentukan sifat gen dari suatu makhluk hidup. Terdapat empat macam base pada DNA yaitu *adenine* (abbreviated A), *thymine* (T), *cytosine* (C), *guanine* (G). DNA dibentuk dari pasangan-pasangan base (*base pair*) yang dibentuk dari 2 jenis base yang berikatan dengan ikatan hidrogen, contohnya base A membentuk *base pair* dengan T, base C membentuk base pair dengan G [18] seperti pada gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 Base pair pada DNA

ATCGATTGAGCTCTAGCG
TAGCTAACTCGAGATCGC

Gambar 2.2 Contoh urutan base pair DNA

Dalam menentukan panjang dari fragmen DNA biasanya digunakan satuan kb (*kilobase pair*) dimana 1 kb sama dengan 1000 bp (*base pair*). Setelah AGE dijalankan, molekul-molekul DNA mengalami separasi dan berjalan seiring dengan arus listrik. Jarak perpindahan DNA diukur dengan satuan kb dan dibandingkan dengan DNA *marker* [19-22].

Temperatur penyimpanan DNA yang dianjurkan adalah pada -20°C hingga -4°C [18-21]. DNA (tanpa tambahan) dapat mengalami kerusakan struktur jika berada pada temperatur yang tinggi [22]. Hal itu dikarenakan DNA terdiri dari dua jalinan yang dihubungkan dengan ikatan hidrogen, dan ikatan itu sangat rentan untuk rusak pada suhu tinggi. Nilai temperatur maksimal yang dapat diterima DNA ini berbeda-beda tergantung pada jenis dari DNA nya, namun cenderung stabil pada temperatur ruangan [10, 20-21]. Oleh karena itu pembuatan AGE harus mempertimbangkan cara menjaga temperatur DNA agar strukturnya tidak mengalami kerusakan. Selebihnya untuk kepentingan penelitian AGE dioperasikan pada temperatur ruangan untuk menjaga kestabilan struktur DNA.

2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Laju Migrasi DNA

1. Ukuran molekul DNA

Molekul yang berukuran lebih kecil akan lebih mudah melalui pori-pori (matriks) gel sehingga laju migrasinya lebih cepat [19, 23].

2. Konsentrasi gel agarosa

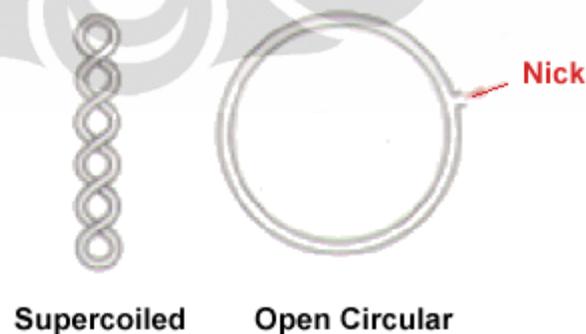
Konsentrasi agarosa yang digunakan akan menentukan besarnya pori-pori gel yang akan memisah-misahkan DNA. Semakin rendah konsentrasi agarose maka matriks gel akan semakin kecil dan fragmen DNA dapat dipisah semakin jauh berdasarkan ukurannya. Yang biasa digunakan adalah konsentrasi 1% [6].

No	Konsentrasi Gel Agarosa (%)	Effisiensi range pemisahan pada DNA linier (kb)
1	0.3	60 – 5
2	0.6	20 – 1
3	0.7	10 - 0.8
4	0.9	7 - 0.5
5	1.2	6 - 0.4
6	1.5	4 - 0.2
7	2.0	3 - 0.1

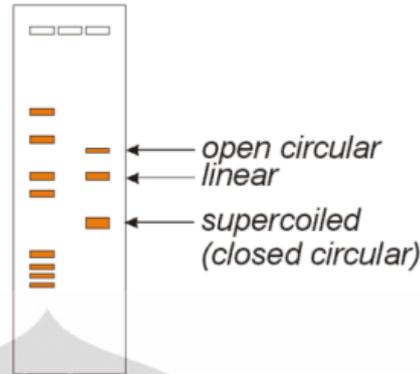
Tabel 2.1 konsentrasi gel agarose dan ukuran molekul DNA

3. Konformasi DNA

Laju migrasi juga tergantung pada bentuk/konformasi DNA. Ada 3 macam bentuk DNA yaitu *supercoiled*, *circular-opened*, dan linier. Urutan konformasi DNA mulai dari yang paling cepat adalah *supercoiled*, *circular-opened* dan linear [18-19, 23] seperti pada gambar 2.3. Sedangkan perbedaan hasil pengukuran DNA untuk ukuran yang berbeda-beda terlihat seperti pada gambar 2.4 [6].



Gambar 2.3 Konformasi DNA [6]



Gambar 2.4 Contoh perbedaan hasil pengukuran DNA berdasarkan konformasinya [6]

4. Voltase

Penambahan voltase yang dialirkan ke larutan buffer berarti arus yang diberikan juga semakin besar, sehingga kecepatan migrasi DNA bertambah. Namun bila terlalu besar akan menimbulkan panas yang jika terlalu besar dapat menyebabkan panas berlebih yang menyebabkan gel meleleh [6].

5. Keberadaan pewarna DNA

Intercalating agent ethidium bromide (EtBr) adalah pewarna fluoresen untuk deteksi asam nukleat, EtBr ini akan mengikat pada sela-sela pasangan basa DNA. EtBr dapat mengurangi mobilitas DNA linier sampai 15% [6]. EtBr digunakan untuk mendeteksi asam nukleat seperti DNA.

6. Komposisi buffer elektroforesis

Buffer elektroforesis yang digunakan harus sesuai dengan pelarut yang digunakan untuk pembuatan gel agarosa [6].

2.4 Agarosa Gel

Agarosa merupakan fraksi agar-agar yang merupakan polimer netral dan mengandung sulfat, dan dalam bentuk gel sangat sesuai untuk keperluan penelitian bioteknologi. Gel agarosa dapat dicetak dengan memanaskan agarosa dalam larutan bufer sampai didapatkan larutan jernih. Larutan yang masih cair (dengan temperatur sekitar 60°C) dituangkan ke dalam pencetak gel. Segera setelah itu, sisir ditempatkan di dekat tepian gel dan gel dibiarkan mengeras. Kepadatan gel bergantung pada presentase agarosa di dalam larutan tadi. Apabila

gel telah mengeras, sisir dicabut sehingga akan terbentuk sumur-sumur yang digunakan untuk menempatkan larutan DNA. Jika gel ditempatkan ke dalam tangki elektroforesis yang mengandung larutan bufer dan tangki tersebut dialiri listrik, molekul DNA yang bermuatan negatif pada pH netral akan bergerak (migrasi) ke arah positif (anoda) [11].

Temperatur pada AGE harus dijaga dengan baik agar tidak sampai ke titik leleh gel, yaitu pada kisaran 60°C. Titik leleh gel agarosa dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi agarose pada pelarut (air) [24].

Pada gel agarosa yang digunakan sebagai medium DNA, temperatur yang dianjurkan hanya pada kisaran temperatur 15-25°C, karena diluar temperatur itu struktur gel akan rusak dan mempengaruhi hasil pengambilan data [9,10].

2.5 Larutan *Tris-Acetate-EDTA* (TAE)

Tris-Acetate-EDTA atau TAE adalah larutan buffer yang biasa digunakan untuk elektroforesis dengan gel agarosa (AGE) [25]. Larutan ini berfungsi untuk meneruskan arus listrik sehingga diterima oleh fragmen DNA yang berada pada gel agarosa yang terendam pada larutan tersebut. Yang terpenting adalah menjaga suhu larutan TAE agar berada pada temperatur dibawah 40°C dimana larutan ini bekerja paling baik sebagai larutan buffer pada temperatur 4-25°C [25, 26].

2.6 Elektroforesis

Elektroforesis adalah pergerakan molekul-molekul kecil yang dibawa oleh muatan listrik akibat adanya pengaruh medan listrik [4]. Pergerakan ini dapat dijelaskan dengan gaya Lorentz.

$$F_e = qE \dots\dots\dots(2.1)$$

F : gaya Lorentz

q : muatan yang dibawa objek

E : muatan listrik

Pergerakan muatan listrik pada larutan buffer (TAE) menyebabkan timbulnya kalor. Besarnya kalor sebanding dengan daya digunakan pada proses elektroforesis dalam satuan Watt.

$$P = I^2R \dots\dots\dots(2.2)$$

P : daya digunakan selama elektroforesis

I : arus yang mengalir pada larutan buffer

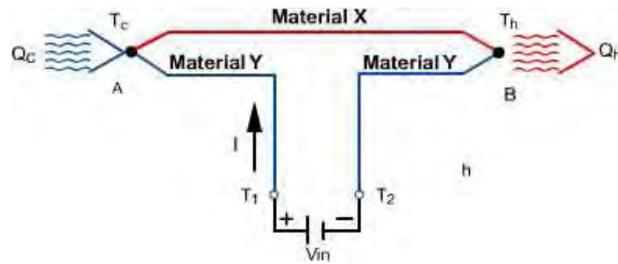
R : hambatan pada larutan buffer

2.7 Termoelektrik

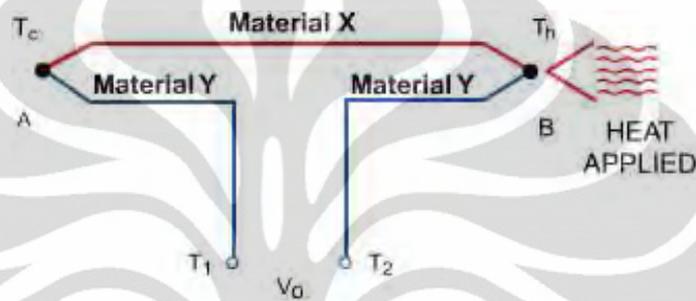
Pendingin termoelektrik merupakan *solid state technology* yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin selain sistem *vapor compression* yang masih memanfaatkan refrigeran[34]. Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang menggunakan refrigeran sebagai media penyerap kalor, teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala besar dan kecil[35]

2.7.1 Awal Perkembangan *Thermoelectric*

Pada awal abad ke 19 dua orang ilmuwan Thomas Seebeck dan Jean Charles Athanase Peltier menjadi orang pertama yang mengetahui fenomena yang menjadi dasar untuk perkembangan *thermoelectric* saat ini. Pada tahun 1821 Seebeck melakukan penelitian yang menghasilkan kesimpulan apabila kita memberikan perbedaan temperatur pada sepanjang sisi pertemuan dua konduktor yang berbeda, arus listrik akan mengalir diantara dua konduktor tersebut. Pada tahun 1834 Termoelektrik, mempelajari kebalikan dari efek yang diteliti oleh Seebeck, Termoelektrik menemukan jika kita mengalirkan arus listrik diantara dua konduktor listrik, akan menghasilkan perbedaan temperatur diantara kedua sisi konduktor, dimana pada satu sisi akan terjadi penyerapan kalor dan sisi lainnya akan terjadi pada sisi lainnya.



Gambar 2. 5 Rangkaian percobaan Seebeck

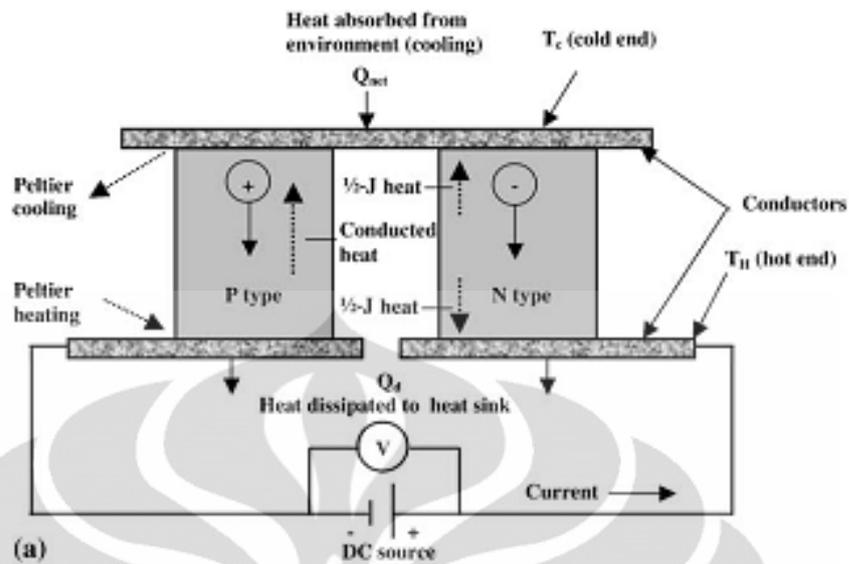


Gambar 2. 6 Rangkaian percobaan Termoelektrik

Pada tahun 1854, William Thomson, mengeluarkan penjelasan yang lebih komprehensif dari percobaan Seebeck dan Termoelektrik dan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai keterkaitan dari dua percobaan sebelumnya, namun pada saat itu fenomena ini masih dianggap sebatas percobaan laboratorium tanpa aplikasi praktis. Perkembangan teknologi dibidang semikonduktor telah mendorong perkembangan material untuk *thermoelectric*, saat ini kebanyakan *thermoelectric* terbuat dari susunan Bismuth Telluride (Bi_2Te_3).

2.7.2 Prinsip Kerja Termoelektrik

Modul termoelektrik atau yang biasa disebut peltier merupakan alat pemompa kalor yang bekerja dengan mengubah beda potensial listrik menjadi perbedaan temperatur. Efek peltier bekerja ketika suatu modul yang tersusun dari material semikonduktor tipe-n dan tipe-p dilewatkan arus searah [27].



Gambar 2.7 Skema pendinginan pada termoelektrik [27]

Gambar 2.7 menunjukkan aliran elektron dari semikonduktor tipe P yang memiliki tingkat energi lebih rendah, menyerap kalor di bagian yang didinginkan lalu elektron mengalir menuju semikonduktor tipe N melalui konduktor penghubung yang permukaannya (T_c) akan mengalami penurunan temperatur. Kalor yang diserap akan berpindah melalui semikonduktor bersamaan dengan pergerakan elektron ke sisi panas modul (T_h). Pada kondisi ideal, jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin dan dilepas pada sisi panas bergantung pada koefisien Peltier dan arus listrik yang digunakan. Pada saat dioperasikan jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin akan berkurang dikarenakan dua faktor, yaitu kalor yang terbentuk pada material semikonduktor dikarenakan perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas modul (conducted heat) dan Joule Heat yang nilainya akan sama dengan kuadrat dari arus listrik yang digunakan. Sehingga pada kondisi apapun kesetimbangan termal yang terjadi karena efek Peltier pada sisi dingin akan sama dengan jumlah kalor yang terbentuk pada semikonduktor dijumlahkan dengan $1 \frac{1}{2}$ Joule heat.

Selain ukuran yang relatif kecil, modul termoelektrik memiliki keunggulan lain, yaitu :

- Modul termoelektrik tidak memiliki bagian yang bergerak, sehingga untuk perawatan lebih mudah.

- Pengujian usia pakai telah membuktikan bahwa modul termoelektrik bias digunakan selama 100.000 jam.
- Modul termoelektrik tidak memiliki kandungan chloroflourocarbons (CFC) atau material lainnya yang membutuhkan penambahan berkala.
- Modul termoelektrik bisa dioperasikan pada lingkungan yang terlalu kecil bagi sistem pendingin konvensional.

Dengan berbagai keunggulan yang terdapat pada modul termoelektrik, penggunaan termoelektrik saat ini telah melingkupi banyak area penggunaan, misalnya teknologi militer ruang angkasa, instrument, biologi, medikal, serta produk komersial lainnya[27].

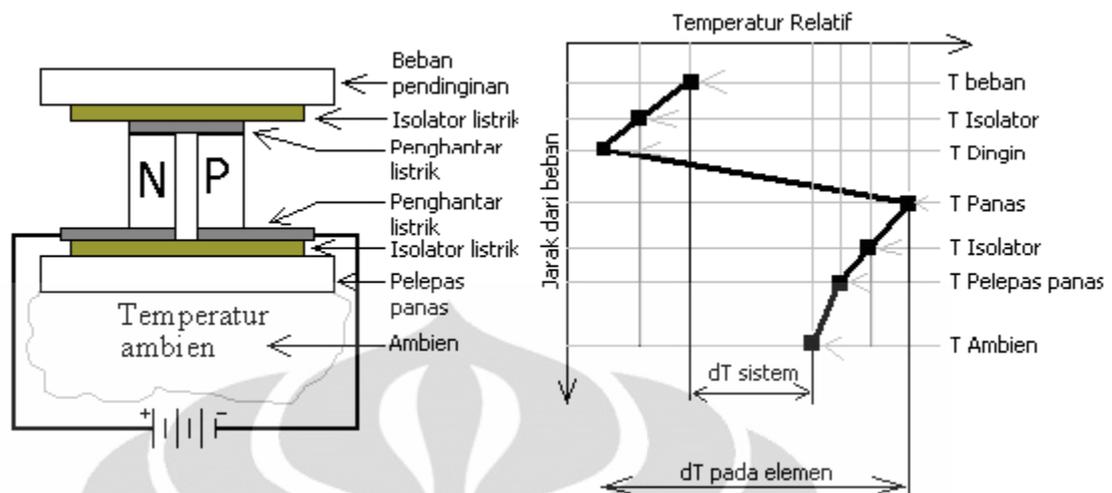
2.7.3 Parameter Penggunaan Elemen Pendingin Termoelektrik

Dalam penggunaan termoelektrik ada beberapa parameter yang penting yang dapat menunjukkan karakteristik dan unjuk kerja dari termoelektrik itu sendiri. Parameter pemilihan modul termoelektrik adalah sebagai berikut:

- Jumlah kalor yang akan diserap oleh sisi dingin modul
- Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul ketika beroperasi.
- Daya listrik yang digunakan oleh modul.
- Temperatur tertinggi dan terendah lingkungan dimana modul beroperasi [27, 28].

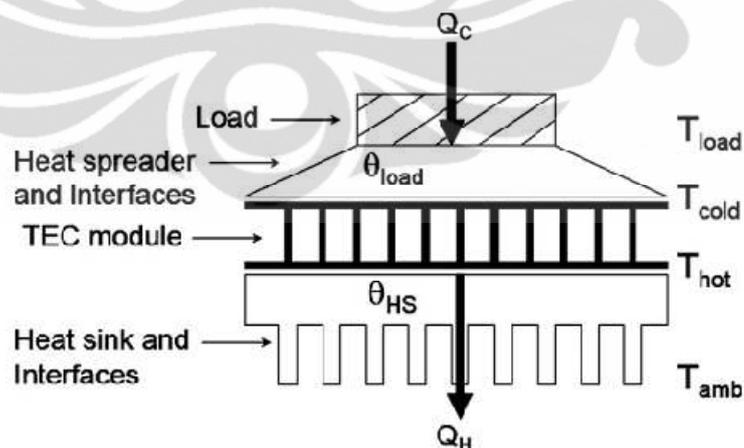
Terdapat dua faktor yang mempengaruhi nilai temperature sisi panas modul termoelektrik, yaitu:

- Temperatur lingkungan (*ambient temperature*).
- Efisiensi *Heat Sink* yang digunakan pada sisi panas modul.



Gambar 2. 8 Profil temperatur modul TEC

Gambar menunjukkan profil temperature kerja termoelektrik. Terdapat dua macam ΔT temperature yaitu ΔT sistem dan ΔT pada elemen. ΔT sistem merupakan perbedaan temperature antara beban pendinginan dan lingkungan, sedang ΔT elemen merupakan perbedaan temperature antara sisi dingin dan sisi panas elemen termoelektrik. Secara umum pencapaian ΔT ($T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}}$) dari modul termoelektrik akan selalu mendekati konstan. Jadi apabila T_{panas} makin rendah, T_{dingin} akan makin dingin begitupun sebaliknya.



Gambar 2.9 Susunan modul [27]

Suatu modul termoelektrik satu tingkat dapat mencapai perbedaan temperatur hingga 72°C diantara kedua sisinya. Untuk mendapatkan delta

temperatur yang lebih besar hal termudah yang dapat dilakukan adalah dengan menempelkan sisi panas termoelektrik ke sisi dingin termoelektrik lainnya.



Gambar 2.10 Gambar termoelektrik bertingkat dua

2.7.4 Aplikasi Termoelektrik

2.7.4.1 Kotak Pembawa Vaksin[36,37]

Vaccine Carrier Box yang telah dikembangkan diharapkan mampu untuk menyimpan vaksin untuk kebutuhan imunisasi pada anak-anak, sehingga dengan imunisasi penyakit-penyakit infeksi seperti TBC, polio, tetanus, difteri, tetanus dan lainnya yang masih berjangkit di Indonesia dapat ditekan khususnya pada lapisan masyarakat yang tinggal di pedalaman yang sulit dijangkau dan tidak tersedianya energi listrik.

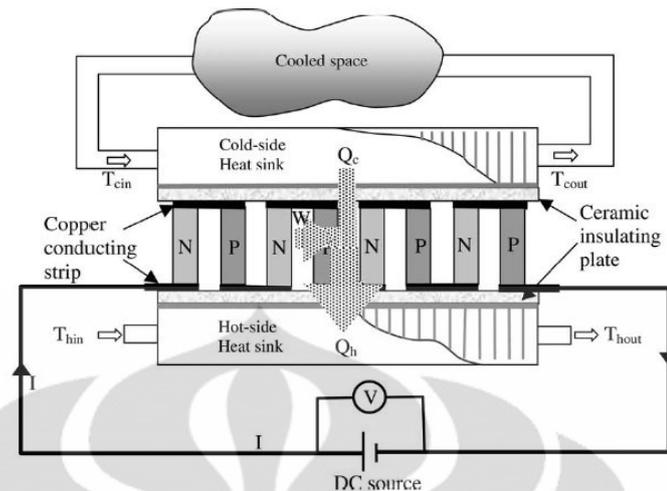
Vaccine Carrier Box harus mampu menjaga temperatur antara 2-8°C yang merupakan range temperatur yang cocok bagi vaksin supaya tidak rusak. Alat ini biasa dipakai baik untuk mengambil vaksin ke daerah tingkat II maupun untuk membawa vaksin ke lapangan. Untuk menjaga suhu vaksin di dalam alat tetap pada 2°C — 8°C diperlukan 4 buah cold pack volume 6 liter atau es batu, dengan kondisi ini vaccine carrier dapat mempertahankan suhu tersebut sekitar 36 jam. *Vaccine carrier box* seperti yang terlihat pada gambar 2.9 menggunakan dua buah elemen termoelektrik yang digunakan disusun seri secara kelistrikan dan paralel secara termal.



Gambar 2. 11 Rancangan kotak pembawa vaksin

2.7.4.2 Air Conditioner

Teknologi termoelektrik juga telah dapat diaplikasikan pada sistem pendinginan ruangan (*air conditioner*). Penelitian dilakukan dengan membandingkan kinerja *air conditioner* yang menggunakan sistem *vapour compression* dan *absorption air conditioner* menunjukkan antara ke tiga sistem tersebut sistem pendingin *vapour compression* mempunyai COP yang paling baik disusul *absorption* dan termoelektrik, sedangkan dari biaya perawatan *absorption* mempunyai biaya perawatan yang paling kecil kemudian disusul *vapour compression air conditioner* dan termoelektrik *air conditioner*.^[38] Kelebihan Termoelektrik *air conditioner* antara lain ramah lingkungan, serta diperkirakan penggunaan termoelektrik akan semakin meluas dengan adanya kesepakatan global untuk bebas refrigeran pendingin yang dapat merusak ozon.



Gambar 2. 12 Sistem pendingin ruangan termoelektrik.[38]

Pada gambar 2.10, menjelaskan skema kerja Termoelektrik *air conditioner*. dimana udara pada daerah yang didinginkan dengan cara melewati sisi dingin *heat sink* dan bersikulasi didalamnya, sedangkan kalor pada sisi panas dilepaskan dengan cara mengalirkan udara ke sisi panas *heat sink*.

2.7.4.3 Lemari Pendingin Termoelektrik

Aplikasi termoelektrik sebagai lemari pendingin memiliki persamaan dengan aplikasi pendingin ruangan. Dalam percobaan yang dilakukan oleh Gao Min dan D.M. Rowe,[34] lemari pendingin termoelektrik dibagi menjadi tiga tipe berdasarkan jenis *heat exchanger* yang digunakan pada sisi panas dan sisi dinginnya yaitu *solid heat exchanger* pada sisi panas dan sisi dingin (TER 1), *solid heat exchanger* pada sisi dingin dan sirkulasi *liquid* pada sisi panas (TER 2), dan sirkulasi *liquid* pada kedua sisi termoelektriknya (TER 3). Ketiga tipe lemari pendingin ini dibandingkan unjuk kerjanya dengan lemari pendingin kompersi uap (CCR).

Tabel 2. 2 Hasil penelitian lemari pendingin termoelektrik[34]

Cooling performance comparison between conventional and thermoelectric refrigerators (CDP was measured when the inside cabinet is cooled from 23 to 8 °C)

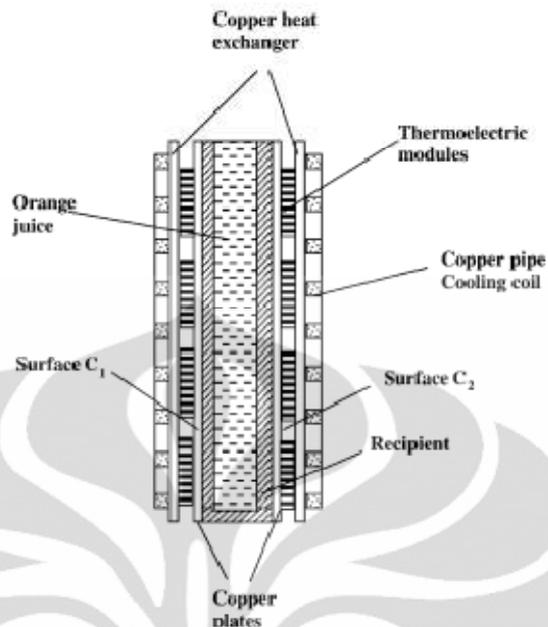
	VOL (l)	P (W)	ΔT_{ab} (K)	COP	CDP (min)	Q_t (W)	AEC (kW h)
CCR	90 + 25	110	16	~0.8	45	~20	250 – 450
TER-1	115	15 – 215	9 – 18	0.3 – 1.1	35–200	15 – 25	520 + 70 ^a
TER-2	115	52	10	~0.3	120	~15	450 + 50 ^a
TER-3	40	120	16	~0.2	45	~7	350 – 850

^a 70 and 50 kW h are energy consumption by fans to provide forced air convection.

Dari tabel hasil penelitian tersebut terlihat unjuk kerja sistem termoelektrik masih berada dibawah unjuk kerja sistem kompresi uap. Nilai COP yang dicapai sistem termoelektrik belum mampu melampaui nilai COP sistem kompresi uap namun sistem termoelektrik mampu menghasilkan penurunan temperatur (ΔT_{ab}) setara dengan penurunan temperatur sistem kompresi uap.

2.7.4.4 Cryoconcentration Cell

Thermoelectric Cryoconcentration Cell dirancang untuk menghasilkan jus jeruk murni. Alat ini menggunakan modul termoelektrik sebagai pengganti pendingin konvensional yang menggunakan NH₃ sebagai refrijeran. Cryoconcentration Cell menggunakan 16 modul termoelektrik pada tiap sisinya (sisi C1 dan sisi C2) untuk menghasilkan temperatur dingin yang dimanfaatkan untuk membekukan air yang terdapat pada jus. Temperature kerja dari alat ini adalah -80C, pada kondisi ini air akan berubah menjadi es dan jus akan tetap berada pada fase cair karena titik beku dari jus adalah -120 C. Air yang sudah menjadi es akan dipisahkan dari jus. Untuk menyerap kalor yang dihasilkan sisi panas modul termoelektrik digunakan alat penukar kalor yang terbuat dari pelat tembaga yang dikombinasikan dengan pipa tembaga yang dialiri air. [39]



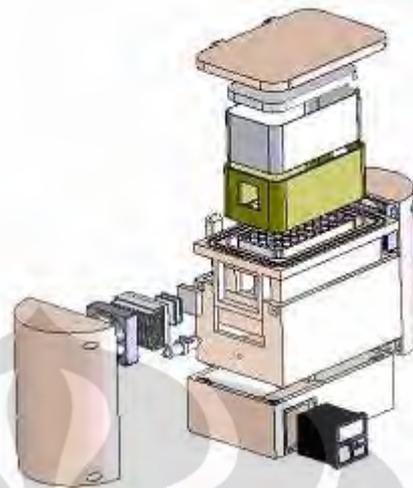
Gambar 2.13 Skema *Thermoelectric Cryoconcentration Cell*. [39]

2.7.4.5 Kotak Pembawa Darah

Kelemahan *blood carrier* konvensional dirasakan terutama dalam pengambilan sampel darah pada daerah pedalaman/pedesaan yang membutuhkan perjalanan yang panjang dan sulit dijangkau.

Untuk mengatasi keterbatasan ini maka perlu dikembangkan suatu alat penyimpan darah (*Blood carrier*) yang mudah dalam transportasi, hemat energi dan memenuhi standar penyimpanan sampel darah yang diambil untuk mendukung data monitoring salah satu kondisi gizi pada suatu daerah sehingga bisa secepat mungkin Pemerintah mengambil langkah-langkah untuk memperbaiki kondisi gizi daerah tersebut.

Konsep desain *blood carrier* adalah mudah dibawa, mudah dimanufaktur, berkapasitas cukup luas 50 tube (kapasitas *blood carrier* di dapat berdasarkan peninjauan di Seameo Tropmed, Salemba), mampu menjaga suhu optimum sampel darah di kisaran $4^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}$, memenuhi segi estetika, bobot yang ringan, hemat energi, tidak berbahaya dan ramah terhadap lingkungan dan harga terjangkau. Kotak pembawa darah ini menggunakan 2 buah elemen peltier yang disusun paralel secara termal dan seri secara kelistrikan.

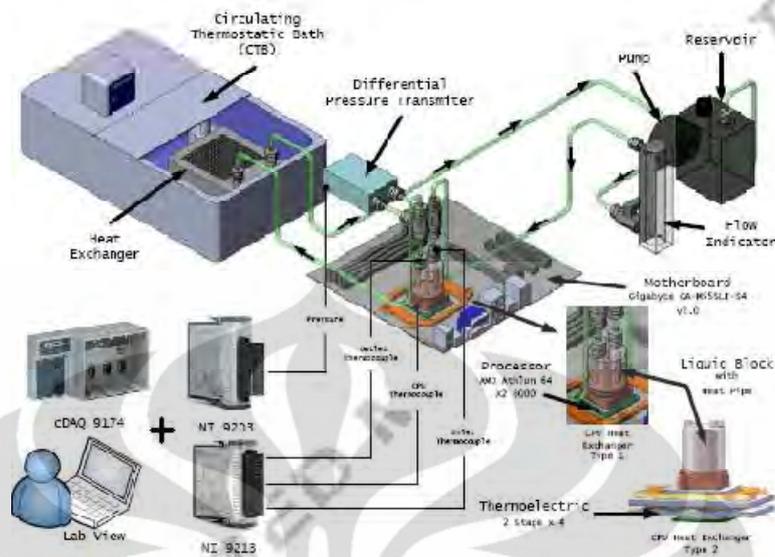


Gambar 2. 14 Rancangan kotak pembawa darah.

2.7.4.6 Pendingin *Microprocessor*

Kalor yang dihasilkan oleh sebuah *microprocessor* dapat mencapai 110-140W sehingga sistem pendingin udara yang konvensional sudah tidak mencukupi untuk membuang kalor yang dihasilkan.

Sehingga untuk mengatasi masalah ini dikembangkan sebuah sistem pendingin termoelektrik yang dikombinasikan dengan *heat pipe liquid block* dengan fluida kerja nanofluid [42, 33, 46]. Cara pendinginan yang dilakukan yakni dengan menempelkan sisi dingin termoelektrik pada *microprocessor* sehingga termoelektrik dapat men-*absorb* panas yang dihasilkan oleh *microprocessor*, dan sisi panas termoelektrik di-*absorb* oleh heat pipe dan kalor akan dibuang dengan bantuan CTB. Pada aplikasinya sistem ini sudah dapat mencapai temperatur 17°C (kondisi *idle*) dan 23°C (kondisi maksimal) dimana nanofluid yang digunakan pada *heat pipe* adalah TiO₂ 1% [43].



Gambar 2. 15 Skema pendinginan *microprocessor*[43].

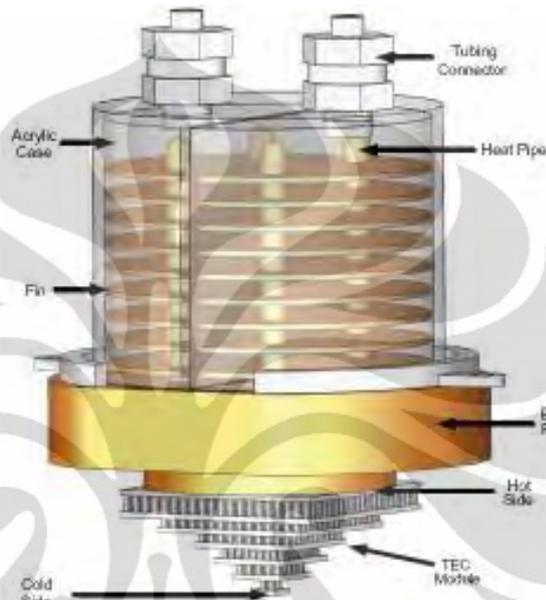
2.7.4.7 Cryosurgery

Cryosurgery adalah pengobatan yang efektif untuk memusnahkan sel kanker ataupun jaringan dengan proses pendinginan yang cepat dan teratur pada temperatur rendah. Teknologi *cryosurgery* yang ada sekarang ini memanfaatkan sifat dari nitrogen cair untuk menurunkan temperatur hingga -50°C . Akan tetapi nitrogen cair memiliki beberapa kekurangan :

- Dalam segi penyimpanan, nitrogen cair sangat sulit dalam penyimpanannya karena membutuhkan ruangan penyimpanan yang besar dan apabila tidak tepat akan mengakibatkan nitrogen cair cepat menguap.
- Pada kondisi temperatur ruangan nitrogen cair cepat menguap
- Pada saat penggunaannya, temperatur dari nitrogen cair ini tidak dapat diatur sehingga sangat berbahaya ketika akan digunakan ke tubuh manusia pada kondisi tertentu

Sehingga digunakan *cryosurgery* berpendingin termolektrik bertingkat. Pengembangan alat ini memiliki kelebihan yang tidak bisa didapat dari nitrogen cair yaitu mudah dalam segi transportasi (mobile), hemat energi, dan memenuhi standar yang ditetapkan oleh pihak kedokteran sehingga dapat digunakan sebagaimana yang kita inginkan.

Konsep alat ini menggunakan sistem pendinginan termoelektrik [45] dimana kalor yang dihasilkan pada sisi panas yang dihasilkan oleh termoelektrik di-*absorb* oleh heat pipe, lalu kalor tersebut akan dibuang oleh CTB. Dalam eksperimen alat ini dapat mencapai suhu $-96,07$ pada sisi dinginnya dengan kondisi CTB 0°C [44].



Gambar 2. 16 skema *cryosurgery* termoelektrik bertingkat [44]

2.7.5 Sistem Pendingin Termoelektrik

Untuk mendapatkan temperatur sisi dingin yang lebih rendah, digunakan sistem pendingin yang dapat membantu mengalirkan kalor dari sisi panas modul. Ada beberapa alat yang bisa digunakan untuk membantu mengalirkan kalor dari sisi panas modul, diantaranya :

2.7.5.1 Heatsink Fan

Heat sink terdiri dari plat-plat aluminium yang berfungsi untuk mengalirkan panas yang tidak diinginkan dan mencegah terjadinya *overheat* yang mana akan menentukan nilai *Coefficient Of Performance* (COP) . Keberadaan plat-plat ini memungkinkan panas menyebar ke luasan permukaan yang lebih besar. Penggunaan *heat sink* membantu meningkatkan luasan dari permukaan untuk mempercepat proses perpindahan kalor [29].



Gambar 2.17 *heat sink*

Pembuangan kalor dari *heat sink* biasanya dibantu oleh kipas yang dipasang pada *heat sink* untuk mempercepat laju perpindahan kalor. *Heat sink* dengan fan ini disebut dengan *Heatsink fan* (HSF). Alat ini sering digunakan untuk mendinginkan CPU.



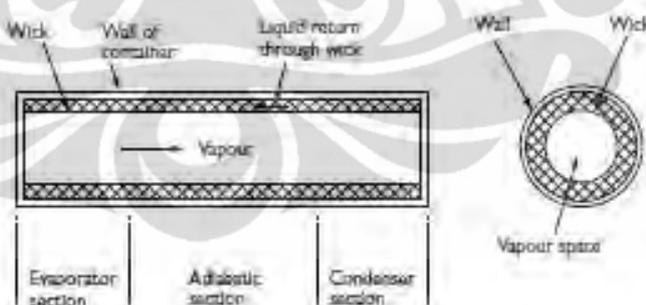
Gambar 2.18 *heatsink fan*

2.7.5.2 Heat Pipe

Teknologi *heat pipe* telah lebih dahulu digunakan secara luas pada bidang teknologi peralatan ruang angkasa. *Heat pipe* memiliki nilai konduktivitas termal yang sangat tinggi, jika dibandingkan dengan logam – logam lainnya *heat pipe* memiliki nilai konduktivitas termal ratusan kali lebih besar. Dengan sifatnya ini, *heat pipe* mampu memindahkan kalor dengan penurunan temperatur sepanjang *heat pipe* lebih kecil. Pada umumnya *heat pipe* hanya membutuhkan satu per seribu perbedaan temperatur (ΔT) yang dibutuhkan batangan tembaga untuk memindahkan sejumlah kalor antara dua titik. *Heat pipe* merupakan suatu alat

yang bersifat pasif yang tidak memiliki bagian yang bergerak dan tidak membutuhkan bantuan tenaga selain kalor yang akan dipindahkan. Cara kerja *heat pipe* didasarkan oleh perubahan fase yang dialami oleh fluida kerja yang digunakan.

Biasanya *heat pipe* terdiri atas pipa vakum yang tertutup (*closed evacuated envelope*), *wick* dan fluida kerja. Fluida kerja yang bersifat mudah menguap akan menyerap kalor dari sumber panas pada bagian evaporator, perubahan temperature yang dialami oleh fluida kerja mengakibatkan terjadinya peningkatan tekanan pada fluida kerja sehingga terjadi perubahan fase dari wujud cair menjadi uap. Uap yang terbentuk akan bergerak ke kondenser dan terjadi pelepasan kalor sehingga fluida kerja kembali ke wujud cair. [30]. Bagian yang menjadi ciri khas dari *heat pipe* adalah proses kembalinya fluida kerja dari kondenser ke evaporator, tanpa mekanisme kembali fluida kerja yang berawal dari evaporator akan terjadi akumulasi fluida kerja pada bagian kondenser dan akan mengakibatkan keringnya fluida kerja pada bagian evaporator. Dibutuhkan suatu mekanisme aliran kembali dari kondenser ke evaporator, untuk memungkinkan mekanisme aliran balik fluida kerja ini dibutuhkan *wick* yang dirancang khusus. [40]



Gambar 2.19 skema heat pipe [30]

Ada tiga komponen dasar pada *heat pipe*, yaitu :

1. *Container*

Container merupakan wadah bagi fluida kerja dan menjadi isolator dari lingkungan luar. Oleh karena itu *container* harus tahan terhadap tekanan sehingga tidak terjadi kebocoran, material dari *container* harus mampu menjaga tekanan di

dalam dinding *heat pipe* dan memungkinkan perpindahan kalor dari dan ke dalam fluida kerja. *Container* biasanya terbuat dari tembaga, aluminium dan *stainless steel*.

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan material *container* untuk *heat pipe* adalah :

- Kesesuaian antara fluida kerja dan kondisi kerja dari *heat pipe*
- Perbandingan antara kekuatan material dengan rasio massa material.
- Konduktivitas termal
- Kemudahan untuk pembuatan, termasuk proses pengelasan, proses pemesinan dan tingkat keuletan dari material.
- Porositas

2. Fluida Kerja

Table 2.3 Fluida kerja *heat pipe*.

Media	Titik Lebur (°C)	Titik Didih Pada Tekanan Atmosfer (°C)	Temperatur Kerja (°C)
Helium	-271	-261	-271 to -269
Nitrogen	-210	-196	-203 to -160
Ammonia	-78	-33	-60 to 100
Acetone	-95	57	0 to 120
Methanol	-98	64	10 to 130
Flutec PP2	-50	76	10 to 160
Ethanol	-112	78	0 to 130
Water	0	100	30 to 200
Toluene	-95	110	50 to 200
Mercury	-39	361	250 to 650
Sodium	98	892	600 to 1200
Lithium	179	1340	1000 to 1800
Silver	960	2212	1800 to 2300

Fluida kerja merupakan “pembawa” kalor dari sumber panas yang kemudian dilepas ke lingkungan. Kebanyakan produsen menggunakan air, methanol atau alkohol sebagai fluida kerja.

Ada beberapa hal yang bisa menjadi dasar dalam pemilihan fluida kerja *heat pipe*, yaitu:

- Kesesuaian dengan *wick* dan dinding material
- Memiliki stabilitas termal yang baik.
- Tekanan uap tidak terlalu tinggi atau rendah melebihi kisaran temperatur kerja.
- Memiliki nilai kalor laten yang tinggi untuk meningkatkan jumlah kalor yang bisa diserap.
- Memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi.
- Memiliki nilai kekentalan yang rendah baik pada fase cair maupun uap.

3. *Wick*.

Wick merupakan struktur berongga yang terdapat pada bagian dalam dari *container*. Bagian ini juga disebut struktur kapiler, fungsi utama dari *wick* adalah menghasilkan tekanan kapiler untuk mengangkut fluida kerja dari kondenser ke evaporator. Biasanya *wick* terbuat dari material berserat seperti keramik, baja aluminium, nikel dan tembaga dengan berbagai variasi ukuran pori. Jenis – jenis *wick* antara lain :

- *Sintered powder*
- *Grooved tube*
- *Screen mesh*

Tabel 2.4 Karakteristik kondisi operasi *heat pipe*

Temperature Range (°C)	Heat Pipe Working Fluid	Heat Pipe Container Material
-200 to -80	<i>Liquid Nitrogen</i>	<i>Stainless Steel</i>
-70 to 60	<i>Liquid Amonia</i>	<i>Nickel, Aluminium, Stainless Steel</i>
-45 to 120	<i>Methanol</i>	<i>Copper, Nickel, Stainless Steel</i>
5 to 230	<i>Water</i>	<i>Copper, Nickel</i>
190 to 550	<i>Mercury 0.02 % Magnesium 0.001 %</i>	<i>Stainless Steel</i>
400 to 800	<i>Potassium</i>	<i>Nickel, Stainless Steel</i>
500 to 900	<i>Sodium</i>	<i>Nickel, Stainless Steel</i>
900 to 1500	<i>Lithium</i>	<i>Niobium 1% Zirconium</i>

1500 to 2000	<i>Silver</i>	<i>Tantalum 5 % Tungsten</i>
--------------	---------------	----------------------------------

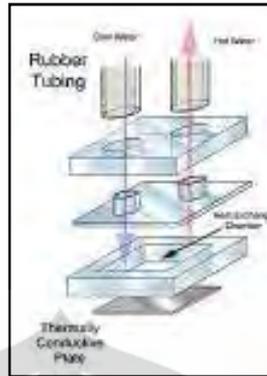
2.7.5.3 Sistem Berpendingin Air

Sistem berpendingin air yang digunakan pada penelitian adalah jenis *water block* yang terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian bawah (base), bagian ini merupakan bagian yang mengalami kontak langsung dengan perangkat yang didinginkan dan perpindahan kalor terjadi. Untuk bagian ini, biasanya material terbuat dari material dengan konduktivitas termal (*thermal conductivity*) yang tinggi seperti tembaga, perak atau aluminium. Bagian kedua adalah bagian atas (*top*), pada bagian ini memastikan fluida kerja keluar dan masuk dengan baik ke dalam *water block*. Biasanya bagian ini disambungkan dengan selang yang terhubung dengan pompa fluida pendingin yang dalam penelitian kali ini, fluida yang digunakan adalah air dan campuran air & *ethylene glycol*.



Gambar 2.20 Alat penukar kalor *water block*

Cara kerja dari *water block* ini adalah fluida kerja menuju ke sebuah radiator yang. Air yang sudah dingin kembali ditampung di reservoir, di mana di dalamnya juga terdapat *water pump*. Di sini air yang sudah dingin didorong *water pump* kembali menuju *water block*. Teknik pendinginan sebetulnya dapat dianalogikan dengan *air cooling*. Perbedaannya adalah pada jenis fluida yang digunakan, karena fluida cairan memiliki nilai konduktivitas termal yang jauh lebih baik bila dibandingkan dengan udara sehingga perpindahan kalor yang terjadi lebih baik.



Gambar 2.21 Aliran fluida kerja pada *water block*

2.8 Perhitungan COP

Nilai COP adalah suatu nilai yang menunjukkan jumlah kalor yang dipindahkan dari sistem ke lingkungan dibagi dengan jumlah energi yang digunakan. Perhitungan nilai COP secara garis besar mengikuti persamaan berikut :

$$COP = \frac{Q_c}{P} \dots \dots \dots (2.3)$$

Q_c : Beban pendinginan

P : Daya yang digunakan

Nilai COP untuk sistem pendingin absorpsi mengikuti persamaan berikut :

$$COP = \frac{\text{desired output}}{\text{required input}} = \frac{Q_L}{Q_{gen}} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$COP_{Optimum} = \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \left(\frac{T_L}{T_a - T_L}\right) = \frac{T_L(T_s - T_a)}{T_s(T_a - T_L)} \dots \dots \dots (2.5)$$

T_a : Temperatur lingkungan

T_L : Temperatur kabin

T_s : Temperatur generator

Terdapat dua persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai COP untuk sistem pendingin termoelektrik [31, 32]:

$$COP = \frac{Q_c}{P} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Q_c = 2N \left[(\alpha \cdot I \cdot T_c) - \left(\frac{I^2 \rho}{2G} \right) - (K \cdot \Delta T \cdot G) \right] \dots\dots\dots (2.7)$$

$$COP(opt) = \left(\frac{T_c}{T_h - T_c} \right) \left[\frac{\sqrt{1 + Z \cdot T_m} - \frac{T_h}{T_c}}{\sqrt{1 + Z \cdot T_m} + 1} \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

T_m : $\frac{1}{2}(T_h + T_c)$ (Kelvin)

ΔT : $T_h - T_c$ (Kelvin)

T_h : Temperatur sisi panas termoelektrik (Kelvin)

T_c : Temperatur sisi dingin termoelektrik (Kelvin)

Z : Figure of merit (Kelvin⁻¹)

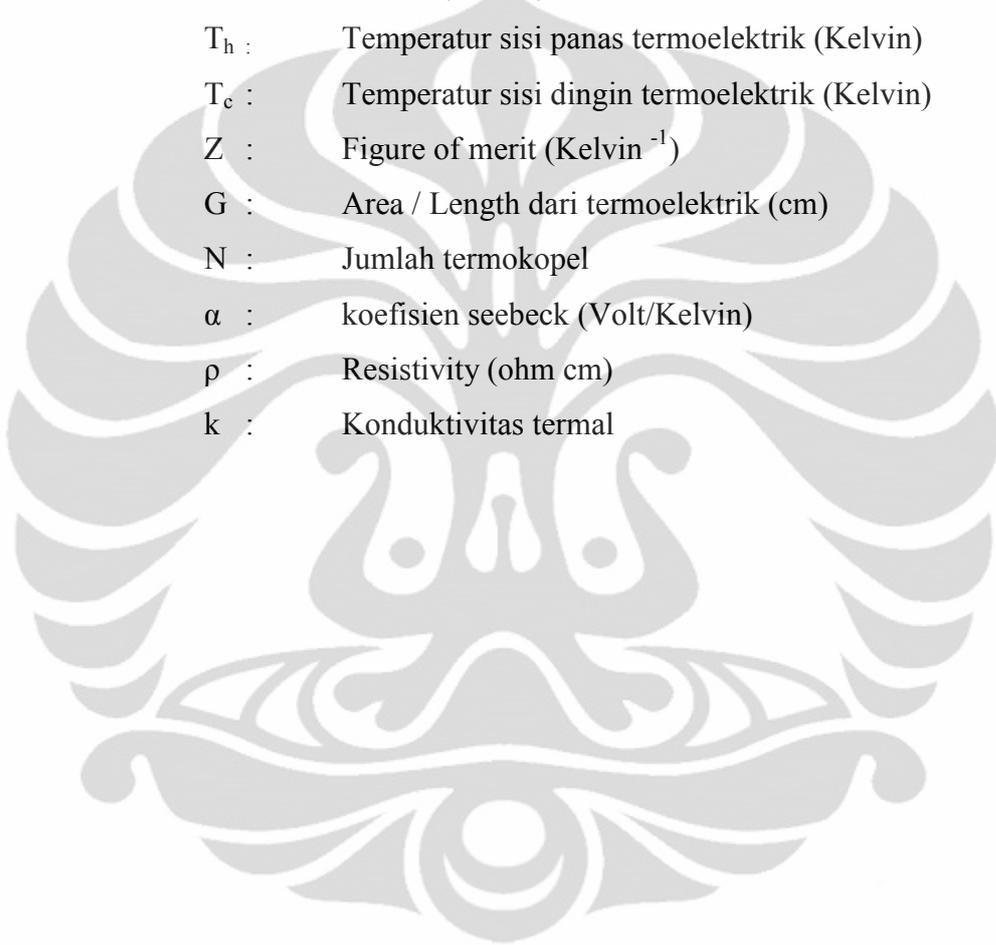
G : Area / Length dari termoelektrik (cm)

N : Jumlah termokopel

α : koefisien seebeck (Volt/Kelvin)

ρ : Resistivity (ohm cm)

k : Konduktivitas termal



BAB 3

PERANCANGAN DAN PERAKITAN ALAT ELEKTROFORESIS TERMOELEKTRIK

3.1 PERANCANGAN SISTEM

Tujuan dari perancangan alat elektroforesis termoelektrik dengan heat pipe ini adalah merancang alat kedokteran yang handal (menghasilkan fragmen DNA yang bagus), mudah dirakit, dan murah. Selain itu pada perancangan juga memiliki kelebihan dari alat (skripsi) yang sebelumnya[24] seperti :

- Memiliki dimensi yang kecil



Gambar 3.1 alat elektroforesis generasi kedua (kiri) dan alat elektroforesis pertama (kanan)

- Tidak menggunakan material (tembaga) yang dapat bereaksi dengan larutan TAE



Gambar 3.2 tembaga yang bereaksi dengan larutan TAE pada bak kiri dan kanan alat elektroforesis

- Penggunaan daya termoelektrik yang lebih kecil (lebih hemat energi), karena alat elektroforesis generasi pertama menggunakan tiga termoelektrik sedangkan generasi kedua hanya menggunakan dua termoelektrik.
- Lebih mudah dirakit (memungkinkan dilakukan maintenace terutama pada bagian kawat)
- Dapat mencapai suhu kerja yang lebih dingin

Tabel 3.1 perbandingan temperatur larutan TAE pada alat elektroforesis generasi pertama dan kedua

Voltase regulator (volt)	temperatur larutan TAE (°C)	
	alat elektroforesis generasi pertama	alat elektroforesis generasi kedua
80	26,03	3,82
100	28,9	10,75

Tahap perancangan alat elektroforesis ini dimulai dengan membuat gambar kerja pada *solidwork* setelah itu dilanjutkan dengan dengan pemilihan material. Ketika material sudah dipilih lalu dilanjutkan dengan merealisasikan rancangan dalam bentuk jadi yang berlangsung selama tujuh hari.

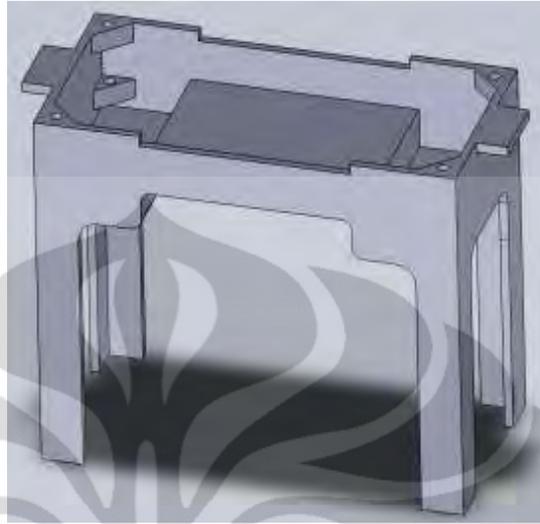
Pada alat elektroforesis termoelektrik ini terdiri dari bagian-bagian dan komponen memiliki fungsinya masing-masing. Berikut akan dijelaskan komponen dan bagian yang digunakan pada sistem elektroforesis termoelektrik tersebut.

1. *Body*

Body merupakan kesatuan alat yang terbuat dari akrilik, yang berfungsi sebagai rangka, chamber atau sumur dimana larutan buffer ditempatkan dan bejana (tempat) dimana proses elektroforesis itu berlangsung. Adapun sifat-sifat material ini dipilih karena:

- Ketersediaan material di pasaran yang cukup banyak
- Mudah dibentuk
- Merupakan isolasi listrik; sehingga arus listrik tidak berjalan pada pada body.
- Transparan; agar proses elektroforesis dapat dikontrol dan dilihat

- Tidak getas; karena memiliki keuletan yang cukup tinggi diharapkan tidak mudah rusak atau pecah saat mengalami benturan.



Gambar 3.3 rancangan alat elektroforesis

2. Plate sink

Terletak di tengah chamber yang merupakan media penyerap kalor, dimana kalornya akan dihantarkan kebawah *plate* dan diserap oleh termoelektrik. Material yang dipilih untuk *plate sink* ini adalah kaca, karena kaca merupakan isolator listrik yang buruk (nilai resistivity tinggi $2 \times 10^{11} \Omega$) namun memiliki nilai konduktivitas termal yang tidak terlalu buruk diantara jenis bahan non-logam lainnya yaitu $1,05 \text{ W/(m K)}$. Karena jika *plate sink* merupakan metal (tembaga) yang dapat menghantarkan listrik maka arus listrik akan mengalir pada *plate sink*, bukan pada larutan TAE, sehingga proses elektroforesis tidak berlangsung.



Gambar 3.4 *Plate sink*

3. Kawat arus listrik

Merupakan kawat yang berguna untuk menghantarkan listrik pada bak atau *chamber* selama proses elektroforesis berlangsung. Material yang digunakan adalah kawat *stainless steel*, karena *stainless steel* adalah metal yang dapat menghantarkan listrik selain itu *stainless steel* tidak bereaksi dengan larutan TAE yang akan menghasilkan karat.



Gambar 3.5 kawat arus listrik

4. Elemen Peltier (termoelektrik)

Sistem pendinginan pada alat elektroforesis termoelektrik ini menggunakan dua buah termoelektrik (bertingkat dua) yang berfungsi sebagai alat pemompa kalor. Penggunaan dua peltier disusun secara bertingkat pada chamber tengah, dimaksudkan agar pendinginan terkonsentrasi pada *chamber* tengah. Dimana pada *chamber* tengah merupakan bagian terpanas selama proses elektroforesis berlangsung. Termoelektrik yang digunakan adalah termoelektrik yang terdapat dipasaran (Glodok).

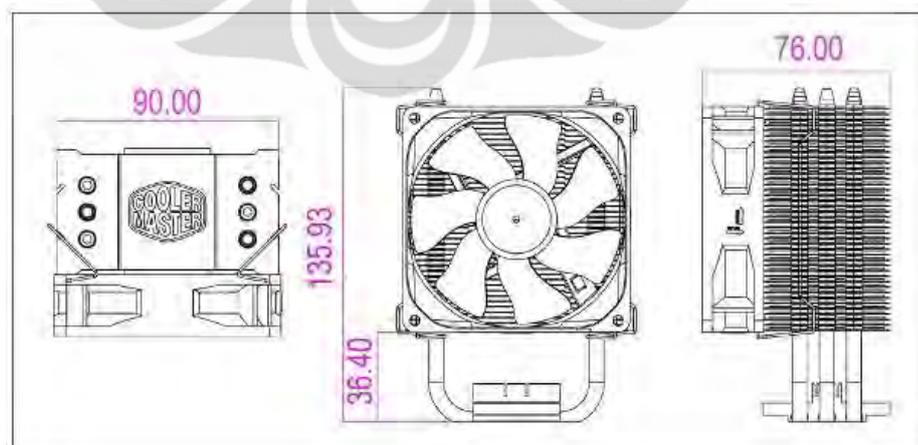


Gambar 3.6 elemen termoelektrik bertingkat dua

5. Heat Pipe

Heat pipe ini adalah sebagai komponen yang berfungsi untuk membuang kalor yang dikeluarkan oleh elemen termoelektrik untuk dibuang ke lingkungan. *Heat pipe* yang digunakan terdapat dipasaran dengan tipe cooler master hyper TX3, dengan spesifikasi :

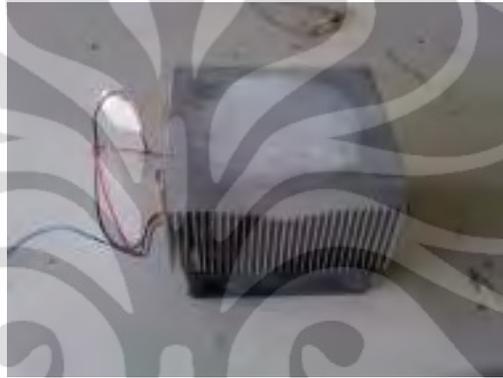
Dimensi	: 90 x 51 x 139 mm
Berat	: 470 gram
Material heat sink	: Alumunium fin
Heatpipes	: 3 buah
Dimensi fan	: 92 x 92 x 25 mm
Kecepatan fan	: 800 – 2800 rpm
Aliran udara fan	: 15.7 - 54.8 CFM



Gambar 3.7 Heat pipe

6. Heat Sink Fan

Heat sink fan adalah komponen yang berfungsi untuk membuang kalor yang dikeluarkan oleh elemen termoelektrik untuk dibuang ke lingkungan. *Heat sink fan* yang digunakan terbuat dari material aluminium. Fungsinya hampir sama dengan *heat pipe* akan tetapi pada heat sink pembuangan kalor hanya memanfaatkan perpindahan kalor secara konduksi (aluminium), dimana kalor nantinya akan dibuang oleh fan.



Gambar 3.8 Heat sink fan

7. Block Heat Sink

block heat sink adalah komponen yang berfungsi untuk memindahkan kalor secara konduksi. *Block heat sink* hampir sama dengan *heat sink fan* yakni terbuat dari aluminium akan tetapi pada block heat sink tidak dilengkapi dengan fan. *Block heat sink* pada percobaan ini berguna agar terdapat bidang kontak antara termoelektrik (sisi panas) dengan *heat sink fan*.



Gambar 3.9 Block heat sink

3.2 PEMBUATAN ALAT

Setelah perancangan alat disetujui maka langkah berikutnya adalah merealisasikan rancangan tersebut. Alat yang dibuat adalah satu buah yang akan digunakan untuk pengambilan data kemudian diberikan variabel tertentu agar dapat dibandingkan hasilnya.

Proses pembuatan alat ini sangat bervariasi tergantung dari komponen-komponennya, ada yang langsung dibeli, ada yang harus dibuat khusus (*customize*), dan ada yang harus diproses lebih lanjut.

3.2.1 Pembuatan *Body*

body dibuat dengan material akrilik. Pengerjaan komponen ini dibuat pada workshop yang sudah ahli dalam bidang pembentukan material kaca dan akrilik guna mendapatkan hasil yang baik. Agar pembuatan *body* sesuai dengan rancangan dan dapat di-*assembly* dengan komponen lainnya (termoelektrik) maka termoelektrik diberikan terlebih dahulu agar dapat terpasang dengan baik pada *body*.



Gambar 3.10 *Body*

3.3 PROSES PERAKITAN ALAT

Setelah seluruh komponen alat telah siap, langkah selanjutnya adalah merakit komponen-komponen tersebut menjadi sebuah alat elektroforesis termoelektrik. Langkah-langkah perakitannya adalah sebagai berikut:

1. Oleskan *thermal paste* pada kedua termoelektrik di kedua sisi termoelektrik, selain itu oleskan juga pada permukaan alat pembuang kalor (heat pipe dan heat sink) yang terkena sisi panas dari termoelektrik.



Gambar 3.11 Thermal paste pada termoelektrik dan alat pembuang kalor

2. Susun secara bertingkat (ditumpuk) kedua termoelektrik tersebut. Dengan menempelkan sisi panas dari satu termoelektrik ke sisi dingin dari termoelektrik yang lain.



Gambar 3.12 susunan termoelektrik

3. Pasang termoelektrik pada *body* alat elektroforesis di bawah plate sink (kaca).



Gambar 3.13 pemasangan termoelektrik pada alat elektroforesis

4. Pasang alat pembuang kalor (*heat pipe* maupun *heat sink*) pada sisi panas termoelektrik.



Gambar 3.14 alat pembuang kalor pada alat elektroforesis

5. Pasang kawat arus pada ruang chamber elektroforesis.



Gambar 3.15 kawat arus pada *chamber* (bak)

3.4 SPESIFIKASI TEKNIS



(a)

(b)

Gambar 3.16 alat elektroforesis; (a) sistem pembuang kalor *heat sink*; (b) sistem pembuang kalor *heat pipe*

Spesifikasi Teknis alat elektroforesis termoelektrik

Dimensi : P x L x T (190 x 107 x 177) mm

Tegangan : 8 volt DC (maksimum)

Daya : 33,6 Watt (Maksimum)

Elemen Pendingin :Termoelektrik dua tingkat

Material Body : Akrilik

Alat Pembuang Kalor: Heat pipe atau Heat sink

BAB 4

PENGUJIAN ALAT ELEKTROFORESIS

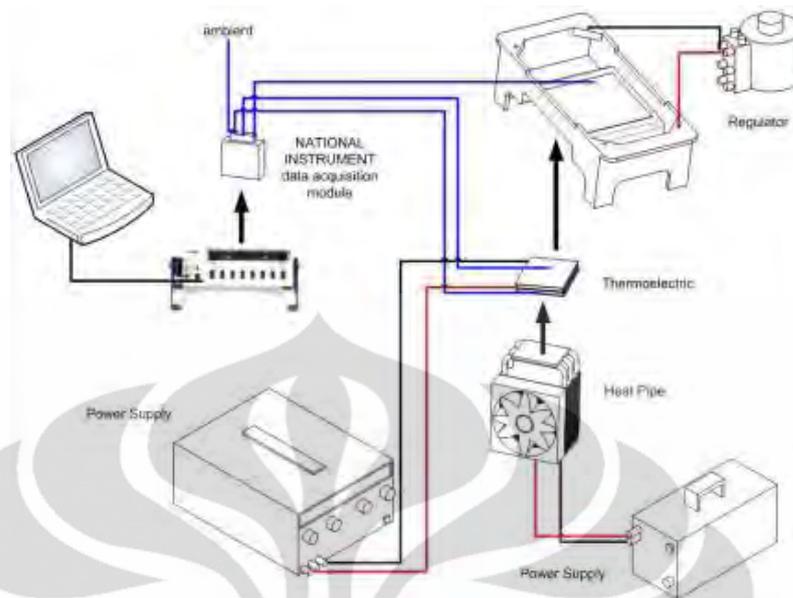
4.1 TUJUAN PENGUJIAN

Pengujian modul termoelektrik pada alat elektroforesis bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari alat elektroforesis dengan menggunakan modul termoelektrik bertingkat dua dan alat pembuang kalor (*heat pipe* dan *heat sink*) sebagai pendingin sisi panas modul termoelektrik. Pengujian dilakukan untuk mengetahui temperatur dari larutan TAE. Selain itu dilakukan juga pengukuran temperature pada sisi panas dan dingin termoelektrik guna mengetahui grafik karakteristik dari termoelektrik itu sendiri.

4.2 INSTALASI PENGUJIAN

Urutan instalasi dalam pengujian yang dilakukan adalah :

1. Masukkan larutan TAE ke dalam chamber atau bak hingga bagian tengah terendam oleh larutan.
2. Pemasangan termokopel pada empat titik, yakni pada sisi panas dan dingin modul termoelektrik, larutan TAE, dan suhu ruangan..
3. Rakit modul termoelektrik pada body alat elektroforesis di bawah *plate sink* (kaca) dan pasang alat pembuang kalor (*heat sink* atau *heat pipe*) pada sisi panas modul termoelektrik.
4. Hubungkan semua termokopel tersebut ke modul *National Instrument* yang kami gunakan sebagai data akuisisi.
5. Set voltase pada regulator (Voltase yang diinginkan) lalu hubungkan regulator dengan alat elektroforesis pada *jack* yang sudah tersedia.
6. Hubungkan kabel kipas dan modul termoelektrik pada *power supply*.
7. *National Instrument* data akuisisi dihubungkan dengan komputer.
8. Melakukan *set-up* terhadap software labview dan pengujian setiap sensor untuk memastikan bahwa sensor tersebut bekerja secara normal.
9. Pengambilan data dilakukan



Gambar 4.1 skema pengujian alat elektroforesis dengan alat pembuang kalor heat pipe

4.3 KOMPONEN PENGUJIAN

Komponen yang dibutuhkan agar pengujian dan pengambilan data dapat dilakukan adalah :



Gambar 4.2 Instalasi pengujian alat elektroforesis

4.3.1 Termokopel

Termokopel merupakan sensor suhu yang paling umum digunakan. Pada pengujian ini termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K. Termokopel tipe K adalah termokopel yang umum digunakan, mudah dicari, lebih murah dan tersedia untuk rentang temperatur -200°C hingga 1200°C .

Agar mendapat data hasil pembacaan termokopel akurat, termokopel harus diletakkan pada posisi yang tepat, kesalahan pada posisi termokopel bisa mengakibatkan data yang didapat menjadi tidak valid. Berikut ini dijelaskan mengenai posisi dan gambar peletakan termokopel pada pengujian alat elektroforesis.



Gambar 4.3 Termokopel tipe K

1. Temperatur sisi panas modul termoelektrik
2. Temperature sisi dingin modul termoelektrik
3. Temperature larutan TAE
4. Temperature ruangan



(a)

(b)

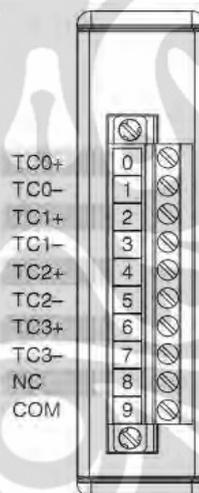
Gambar 4.4 pemasangan termokopel pada titik pengukuran (a) termokopel pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik, (b) termokopel pada larutan TAE

4.3.2 Data Akuisisi

Dalam pengambilan data digunakan data akuisisi untuk membaca termokopel tipe K yang digunakan. Data akuisisi yang digunakan pada pengujian ini adalah NI 9211 dengan empat *channel* termokopel produksi *National Instruments*.



Gambar 4.5 Data akuisisi NI 9211 dan *Chassis* NI cDaq-9172



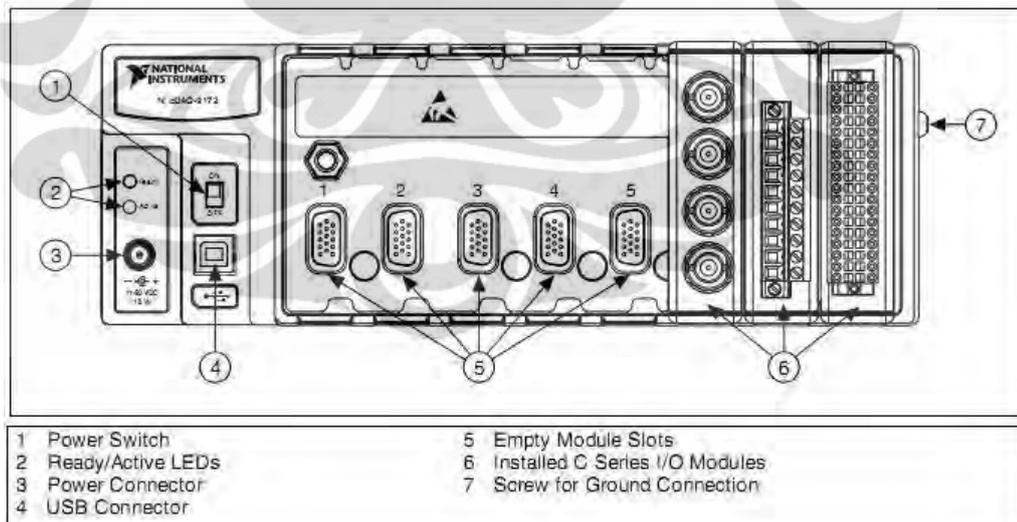
Gambar 4.6 Channel pada modul NI 9211

Data akuisisi ini menggunakan *software* sebagai *interface* yang dioperasikan dengan menggunakan sistem operasi windows vista dengan menggunakan *software* Lab View untuk pengambilan data.

Tabel 4.1 Spesifikasi Data Akusisi NI 9211

Product Name	NI 9211
Operating System	Windows
Measurement Type	Temperature, Thermocouple, Voltage
Channels	0 - 4
Resolutions	24 bits
Output to Computer	USB
Operating Temperature	-40 to 70
Input Measurement Voltage	-80 mV to 80 mV
Thermocouple Type	J,K,R,S,T,N,E

Modul NI 9211 dipasang pada salah satu port yang terdapat pada sasis cDAQ 9172, dari sasis ini akan dihubungkan ke komputer melalui kabel USB (*universal serial bus*) yang selanjutnya dengan bantuan *software* Lab View akan menampilkan hasil pembacaan temperatur dari termokopel.



Gambar 4.7 Chassis NI cDAQ 9172

4.3.3 Power Supply



Gambar 4. 8 (a)Power supply MCP tipe M10-SP-3020E, (b) Power supply custom

Pada pengambilan data alat elektroforesis ini terdapat dua jenis *power supply* yang digunakan, untuk memberikan variasi tegangan yang digunakan untuk sistem termoelektrik (maksimum 8 volt), dan kipas (12 volt). Yaitu *power supply* tipe MCP M10-SP-3020E dan *power supply custom*

4.3.4 Regulator

Pada pengambilan data, regulator berfungsi sebagai alat pemberi arus bolak-balik (AC) pada larutan TAE, dimana arus bolak-balik ini berfungsi untuk menggerakkan (migrasi) DNA pada gel agarosa. Pada pengambilan data, regulator yang digunakan adalah *Matsuyama Electric Work type SD-242.5* yang memiliki output maksimal 240 Volt.



Gambar 4.9 Regulator *matsuyama Electric Work type SD-242.5*

4.3.5 Heat Sink Silicone Compound

Penggunaan *silicone compound* atau *thermal paste* berfungsi sebagai pelumas antara kontak hot side modul termoelektrik dengan cold side modul termoelektrik yang lain dan hot side termoelektrik dengan alat pembuang kalor (heat pipe atau heat sink), dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas

termal antara pertemuan dua permukaan dengan cara mengisi celah udara yang terbentuk antara dua permukaan yang akan dihubungkan, celah udara biasanya 8000 kali lebih tidak efisien ketika terjadi konduksi panas.



Gambar 4.10 Dow Corning 340 silicone *heat sink compound* [41]

Tabel 4.2 Spesifikasi teknis *thermal paste*

Warna	Putih
Temperature Range	-45° C to 200 ° C
Thermal Conductivity	0.55 W/m.K
Specific Gravity	2.1
Volume Resistivity	2e+015 ohm-centimeters

4.4 VARIASI PENGAMBILAN DATA

Terdapat beberapa variabel yang dilakukan dalam pengujian. Tujuannya agar didapatkan titik kerja optimum (temperatur terendah pada larutan TAE), unjuk kerja, dan karakteristik dari alat elektroforesis ini.

4.4.1 Pengujian *Heat Pipe* dengan Variasi Tegangan Termoelektrik

Pengujian *heat pipe* dengan variasi tegangan termoelektrik ini agar diketahui performa dari termoelektrik untuk mendinginkan larutan TAE. Pada variasi pengujian ini dicari voltase termoelektrik yang dapat mendinginkan dan menghasilkan temperatur terendah pada larutan TAE.

Tabel 4.3 Variasi tegangan termoelektrik dengan daya yang digunakan (*heat pipe*)

Tegangan termoelektrik (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	0,5	0,5
2	1,1	2,2
3	1,7	5,1
4	2,3	9,2
5	2,9	14,5
6	3,3	19,8
7	3,8	26,6
8	4,2	33,6

4.4.2 Pengujian *Heat sink* dengan Variasi Tegangan Termoelektrik

Pengujian *heat pipe* dengan variasi tegangan termoelektrik ini agar diketahui performa dari termoelektrik untuk mendinginkan larutan TAE. Pada variasi pengujian ini dicari voltase termoelektrik yang dapat mendinginkan dan menghasilkan temperatur terendah pada larutan TAE. Selain itu pada pengujian ingin diketahui pengaruh alat pembuang kalor (*heat sink* dan *heat pipe*) terhadap temperatur yang dihasilkan pada larutan TAE, agar didapat sistem pendinginan yang terbaik.

Tabel 4.4 Variasi tegangan termoelektrik dengan daya yang digunakan (*heat sink*)

Tegangan termoelektrik (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	0,5	0,5
2	1,1	2,2
3	1,7	5,1
4	2,3	9,2
5	2,9	14,5
6	3,3	19,8
7	3,8	26,6
8	4,2	33,6

BAB 5

ANALISA DAN PERHITUNGAN

5.1 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

Pada bab ini akan disajikan data-data dan analisa dari hasil pengujian alat elektroforesis dengan termoelektrik bertingkat dua dengan menggunakan alat pembuang kalor untuk menyerap sisi panas pada termoelektrik bertingkat dua.

Beberapa variasi yang dilakukan dalam pengujian adalah voltase catu daya untuk termoelektrik dan alat pembuang kalor yang digunakan yakni *heat pipe* dan *heat sink*. Pengujian pertama yang pertama dilakukan adalah pengujian termoelektrik bertingkat dua dengan menggunakan *heat pipe* dan pembebanan pada regulator sebesar 100 Volt, dengan variasi pada tegangan masukkan sebesar 1 V hingga 8 V. Pengujian yang kedua adalah pengujian termoelektrik bertingkat dua dengan menggunakan *heat sink* dan pembebanan pada regulator sebesar 100 Volt, dengan variasi pada tegangan masukkan sebesar 1 V hingga 8 V.

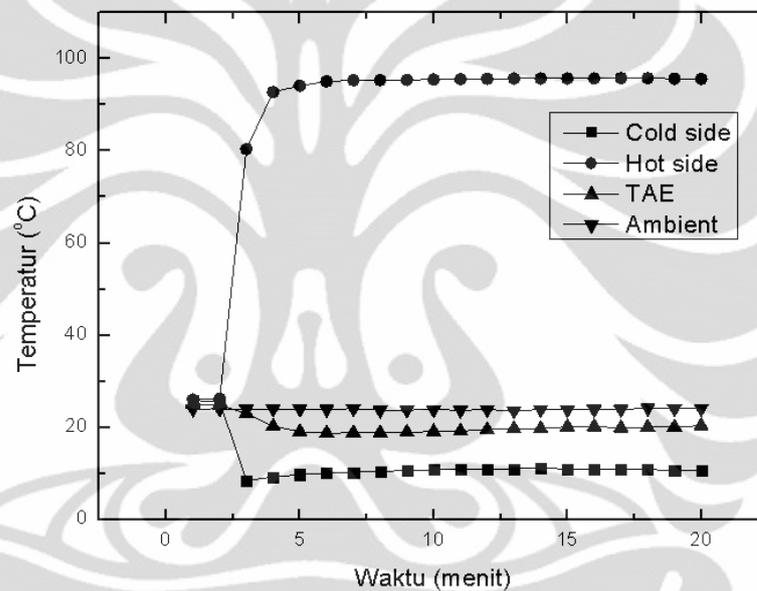
Lamanya pengambilan data adalah 20 menit. Selama pengambilan data, data akusisi akan melakukan pencatatan data mentah setiap detiknya dan akan dirata-ratakan menjadi setiap menit menggunakan *Microsoft excel*. Selanjutnya akan disajikan dalam bentuk grafik perubahan temperature terhadap waktu dengan menggunakan *Origin*.

5.2 PENGUJIAN ALAT ELEKTROFORESIS TERMOELEKTRIK

Pengujian alat elektroforesis ini dilakukan untuk mengetahui temperatur larutan TAE dari alat elektroforesis ini. Parameter yang tetap pada pengujian adalah jenis termoelektrik yang digunakan, sedangkan parameter yang tidak tetap adalah alat pembuang kalor, yakni *heat pipe* dan *heat sink*, dan tegangan masukkan pada termoelektrik.

5.2.1 Analisa Pengujian alat elektroforesis termoelektrik dengan *heat pipe*

Pengujian pertama yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui temperatur TAE dari alat elektroforesis ketika menggunakan termoelektrik bertingkat dua sebagai pendingin larutan. Banyaknya pengambilan dan variasi yang dilakukan adalah delapan kali. Dimana variasi yang dilakukan adalah tegangan masukan pada termoelektrik, yakni 1 Volt hingga 8 Volt . Untuk setiap kondisi dilakukan pengujian selama 20 menit dengan menggunakan alat pembuang kalor yaitu *heat pipe*.



Gambar 5.1 grafik pengujian alat elektroforesis termoelektrik 8 volt dengan *heat pipe*

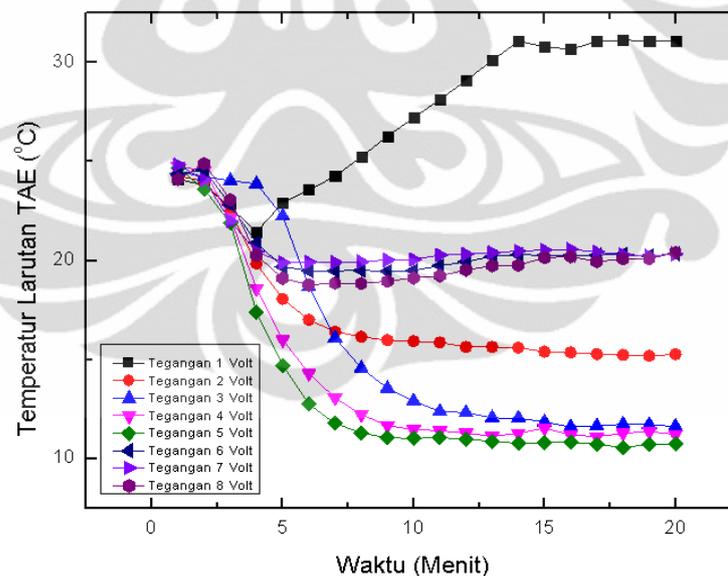
Grafik diatas merupakan pengujian alat elektroforesis termoelektrik dengan tegangan masukan 8 Volt dengan alat pembuangan kalor *heat pipe*, dan beban dari regulator sebesar 100 Volt. Dari grafik terlihat ketika termoelektrik baru dinyalakan terdapat perubahan temperatur yang cukup signifikan, baik pada sisi dingin maupun sisi panas termoelektrik. Dalam waktu 2 menit pertama sisi dingin termoelektrik langsung mencapai 8°C akan tetapi pada menit berikutnya terdapat sedikit kenaikan pada sisi dingin termoelektrik, hal ini disebabkan sisi panas yang sudah *overheated* sehingga kalor yang dihasilkan sudah tidak mampu dibuang. Sehingga terjadi kenaikan temperature pada sisi panas yang diikuti juga kenaikan pada sisi dingin.

Di dalam proses ini juga terjadi pendinginan pada larutan TAE. Dimana pada menit terakhir penujian temperatur larutan TAE mencapai 20,41°C. Berikut adalah tabel kondisi pengujian alat elektroforesis termoelektrik 8 Volt dengan *heat pipe* pada saat awal dan akhir pengambilan data :

Tabel 5. 1 Tabel hasil pengujian alat elektroforesis 8 volt

	T.awal	T.Akhir
Cold Side	25.88 °C	10.76 °C
Hot Side	26.05 °C	95,62 °C
Ambient	24.04 °C	24.1 °C
TAE	25.11 °C	20,42

Berikut grafik temperatur larutan TAE dengan variasi pada tegangan masukkan termoelektrik dengan alat pembuangan kalor *heat pipe*, dan beban dari regulator sebesar 100 Volt.



Gambar 5.2 grafik pengujian alat elektroforesis dengan variasi tegangan pada termoelektrik

Dari grafik terlihat bahwa tegangan pada termoelektrik yang menghasilkan temperatur terdingin pada larutan TAE adalah 5 Volt. Hal ini dapat disebabkan karena pada voltase tinggi, *heat pipe* yang digunakan tidak dapat lagi membuang panas yang dihasilkan (ΔT tinggi) sehingga terjadi *overheated* pada sisi panas

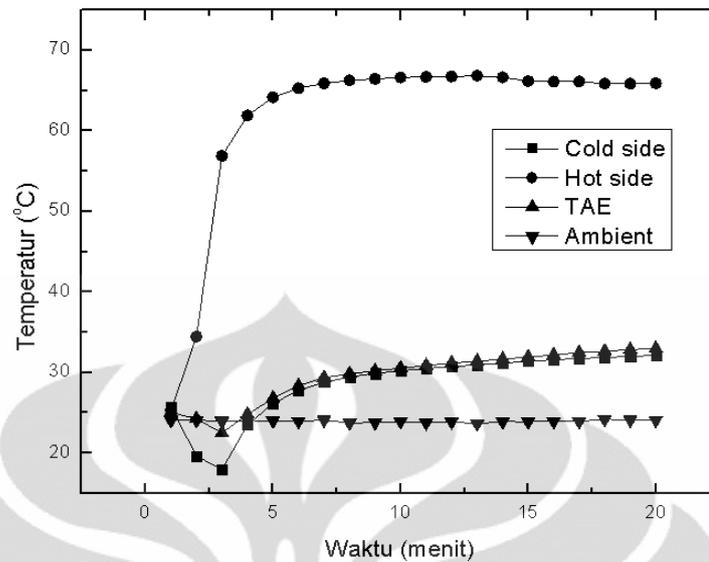
yang mengakibatkan sisi dingin termoelektrik tidak maksimal, sedangkan pada voltase rendah, kalor yang mampu diserap oleh termoelektrik menjadi terbatas sehingga temperature yang dihasilkan pada sisi dingin juga kurang maksimal walaupun kalor yang dihasilkan pada sisi panas tidak terlalu besar dan tidak terjadi *overheated* (ΔT rendah), maka temperatur larutan TAE pada 1 volt tidak mampu mendinginkan larutan TAE dengan baik. Sedangkan pada voltase 5 Volt merupakan titik optimum dimana kalor yang mampu diserap cukup besar (temperatur sisi dingin cukup rendah) akan tetapi kalor yang dihasilkan pada sisi panas tidak berlebih sehingga kalor dapat dibuang dengan baik oleh *heat pipe* dan tidak terjadi *overheated*. Berikut adalah tabel temperatur larutan TAE dengan variasi tegangan masukkan termoelektrik.

Tabel 5.2 hasil pengujian variasi tegangan masukkan termoelektrik dengan alat pembuang kalor *heat pipe*

voltase termoelektrik (Volt)	Temperatur Larutan TAE
1	31,10
2	15,27
3	11,64
4	11,22
5	10,75
6	20,34
7	20,34
8	20,42

5.2.2 Analisa Pengujian alat elektroforesis termoelektrik dengan *heat sink fan*

Pengujian berikutnya dilakukan untuk mengetahui temperatur larutan TAE dari alat elektroforesis termoelektrik, ketika menggunakan alat pembuang kalor yaitu *heat sink fan*. pengambilan data dilakukan sebanyak delapan kali dengan variasi yang dilakukan adalah tegangan masukkan pada termoelektrik, yakni dari 1 Volt hingga 8 Volt. Untuk setiap kondisi lamanya pengujian adalah 20 menit.



Gambar 5.3 grafik pengujian alat elektroforesis termoelektrik 8 volt dengan *heat sink fan*

Grafik diatas merupakan pengujian alat elektroforesis termoelektrik dengan tegangan masukan 8 Volt dengan alat pembuangan kalor *heat sink fan*, dan beban dari regulator sebesar 100 Volt. Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *heat pipe* dengan tegangan masukkan termoelektrik 8 volt, karena terdapat kenaikan temperatur pada sisi dinginnya. Hal ini disebabkan oleh kalor yang tidak mampu dibuang oleh heat sink fan pada sisi panas termoelektrik (*overheated*). Pada menit ke 3 termoelektrik dapat mencapai suhu 17,95°C (temperatur terendah) akan tetapi pada menit berikutnya sisi dingin akan terus mengalami kenaikan temperatur hingga pada menit ke 20. Sempat terjadi pendinginan pada larutan TAE (menit ke 3) akan tetapi kenaikan temperatur pada sisi dingin mengakibatkan kenaikan temperatur larutan TAE sehingga pada akhir pengambilan data didapat temperatur TAE 32,98°C.

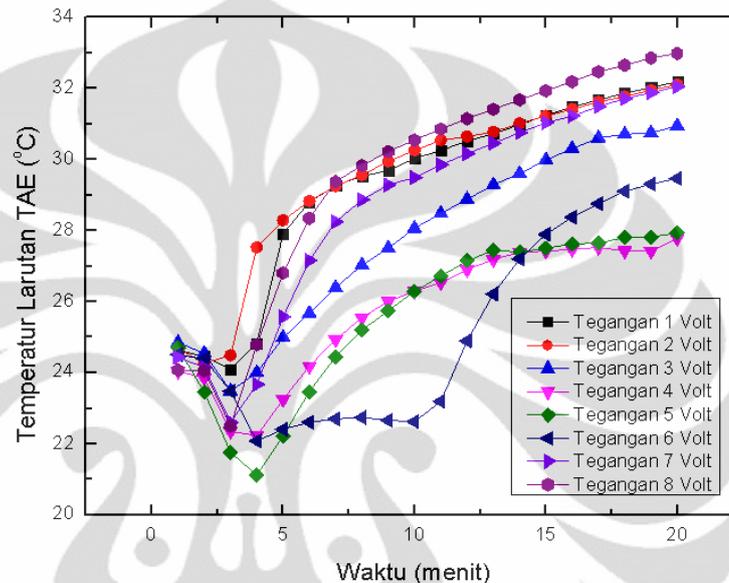
Berikut adalah tabel kondisi pengujian alat elektroforesis termoelektrik 8 Volt dengan *heat sink* pada saat awal dan akhir pengambilan data :

Tabel 5. 3 Tabel hasil pengujian alat elektroforesis 8 volt

	T.awal	T.Akhir
Cold Side	25,71 °C	32,14 °C
Hot Side	25.26 °C	65,89 °C

Ambient	24.00 °C	24.07 °C
TAE	25.08 °C	32,98

Berikut grafik temperatur larutan TAE dengan variasi pada tegangan masukkan termoelektrik dengan alat pembuangan kalor *heat sink fan*, dan beban dari regulator sebesar 100 Volt.



Gambar 5.4 grafik pengujian alat elektroforesis dengan variasi tegangan pada termoelektrik

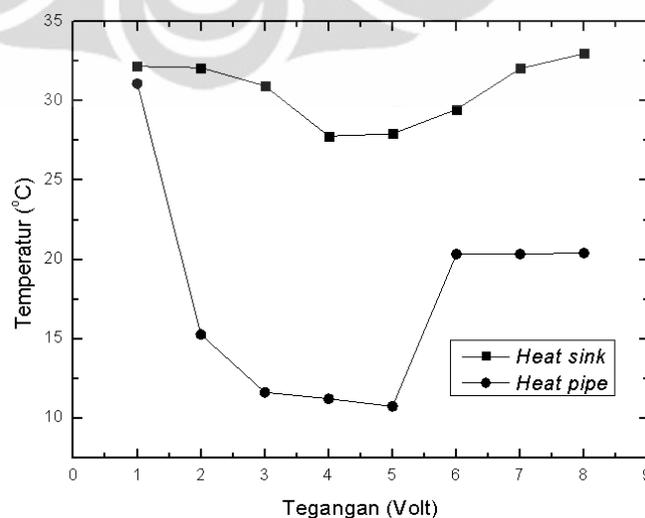
Dari grafik terlihat bahwa tegangan pada termoelektrik yang menghasilkan temperatur terdingin pada larutan TAE adalah 4 Volt. Hal ini dapat disebabkan karena pada voltase tinggi, *heat sink* yang digunakan tidak mampu menghantarkan kalor yang dihasilkan dengan baik sehingga performa termoelektrik menjadi kurang maksimal, sedangkan pada voltase rendah, kalor yang mampu diserap oleh termoelektrik menjadi terbatas sehingga temperature yang dihasilkan pada sisi dingin tidak terlalu rendah walaupun kalor yang dihasilkan pada sisi panas tidak terlalu besar. Pada tegangan 4 Volt merupakan titik terbaik dimana kalor yang mampu diserap cukup besar (temperatur sisi dingin cukup rendah) akan tetapi kalor yang dihasilkan pada sisi panas tidak berlebih sehingga kalor dapat dihantarkan lebih baik oleh *heat sink*. Berikut adalah tabel temperatur larutan TAE dengan variasi tegangan masukkan termoelektrik.

Tabel 5.4 hasil pengujian variasi tegangan termoelektrik dengan alat pembuang kalor *heat sink*

voltase termoelektrik (Volt)	Temperatur Larutan TAE
1	32,19
2	32,10
3	30,95
4	27,79
5	27,93
6	29,46
7	32,05
8	32,98

Kecenderungan penggunaan sistem pendinginan heat sink fan ini, adalah temperatur yang pada menit awal cenderung turun akan tetapi sekitar pada waktu 3 menit, sisi dingin dari termoelektrik cenderung naik. Hal ini dapat disebabkan oleh kemampuan heat sink fan untuk mengalirkan kalor sudah mencapai batas maksimal (menit ke 3), sehingga kalor pada sisi panas termoelektrik tidak dapat diserap (dihantarkan) dengan baik, sistem pemompaan kalor pada sisi dingin menjadi kurang baik sehingga pada menit berikutnya temperatur sistem pendinginan (sisi dingin termoelektrik) menjadi naik.

5.2.3 Analisa perbandingan pengujian alat elektroforesis termoelektrik dengan variasi alat pembuang kalor

**Gambar 5.5** grafik temperatur larutan TAE dengan variasi alat pembuang kalor

Dari grafik diatas dapat dilihat temperatur larutan TAE pada penggunaan *heat pipe* memiliki temperatur yang lebih rendah dibanding dengan menggunakan *heat sink fan*. Dari kedua pengujian ini dapat dianalisa bahwa, kecenderungan alat pembuang kalor *heat sink* tidak terlalu baik untuk menghantarkan (membuang) kalor hal ini terlihat pada temperatur akhir larutan TAE. Pembuangan kalor yang tidak baik mengakibatkan performa (pemompaan kalor) pada termoelektrik menjadi tidak maksimal sehingga sistem pendingin yang terjadi tidak terlalu baik (temperatur yang dihasilkan tidak terlalu rendah).

Tabel 5.5 Perbandingan temperatur larutan TAE akhir pada *heat sink fan* dan *heat pipe*

voltase termoelektrik (Volt)	Temperatur Larutan TAE (HSF)	Temperatur Larutan TAE (<i>heat pipe</i>)
1	32,19	31,10
2	32,10	15,27
3	30,95	11,64
4	27,79	11,22
5	27,93	10,75
6	29,46	20,34
7	32,05	20,34
8	32,98	20,42

5.3 Perhitungan Nilai COP

Untuk melakukan perhitungan nilai COP aktual diperlukan perhitungan nilai beban pendinginan dari setiap komponen yang didinginkan pada alat elektroforesis ini, selain itu terdapat beban kalor yang dihasilkan dari arus bolak-balik pada regulator. Berikut adalah contoh perhitungan COP pada alat elektroforesis termoelektrik dengan tegangan termoelektrik 5 Volt, menggunakan *heat pipe* dengan voltase regulator 100Volt.

1. Beban pendinginan

- Kaca (*plate sink*)

$$T_{\text{awal}} = 24,68^{\circ}\text{C} = 297,83 \text{ K}$$

$$T_{\text{akhir}} = 10,75^{\circ}\text{C} = 283,9 \text{ K}$$

$$m.C_p.\Delta T = 0,044 \text{ kg} \cdot 840 \text{ J/kg} \cdot (297,83 - 283,9) \text{ K} = 514,85 \text{ Joule}$$

- Larutan TAE

$$T_{\text{awal}} = 24,68^\circ\text{C} = 297,83 \text{ K}$$

$$T_{\text{akhir}} = 10,75^\circ\text{C} = 283,9 \text{ K}$$

$$m.C_p.\Delta T = 0,076 \text{ kg} \cdot 3930 \text{ J/kg} \cdot (297,83 - 283,9) \text{ K} = 4160,61 \text{ Joule}$$

$$\text{➤ Total beban pendinginan} = 514,85 \text{ Joule} + 4160,61 \text{ Joule} = 4675,46 \text{ Joule}$$

2. Kalor yang dihasilkan oleh regulator

Untuk mengetahui beban kalor yang dihasilkan oleh regulator kita harus mengetahui temperatur kestabilan (T_{akhir}) pembebanan regulator tanpa sistem pendingin.

$$T_{\text{awal}} = 24,68^\circ\text{C} = 297,83 \text{ K}$$

$$T_{\text{akhir}} = 38,53^\circ\text{C} = 311,68 \text{ K}$$

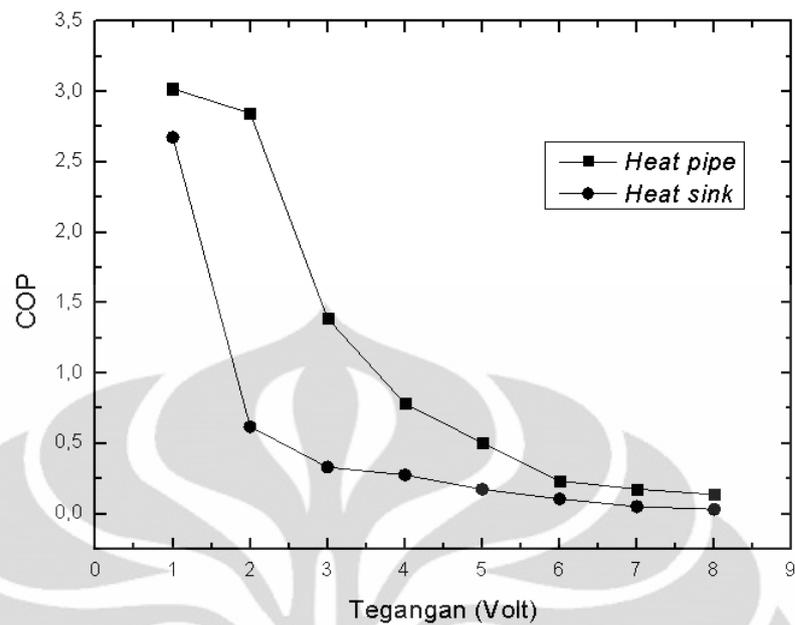
$$m.C_p.\Delta T = 0,076 \text{ kg} \cdot 3930 \text{ J/kg} \cdot (311,68 - 297,83) \text{ K} = 4126,19 \text{ Joule}$$

$$\begin{aligned} \text{Total beban pendinginan} &= \text{Beban pendinginan} + \text{kalor yang dibangkitkan} \\ &= 4675,46 \text{ Joule} + 4126,19 \text{ Joule} \\ &= 8801,65 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\text{Daya pendinginan} = \frac{\text{Total beban pendinginan}}{\text{Lamanya pengujian}} = \frac{8801,65 \text{ Joule}}{1200 \text{ detik}} = 7,33 \text{ Watt}$$

$$\text{COP} = \frac{\text{Daya pendinginan}}{\text{Daya pada termoelektrik}} = \frac{7,33}{14,5} = 0,51$$

Berikut adalah nilai COP untuk semua variasi tegangan termoelektrik dan variasi alat pembuang kalor (*heat pipe* dan *heat sink*).



Gambar 5.6 grafik COP untuk variasi tegangan dan variasi alat pembuang kalor

Grafik diatas merupakan karakteristik COP pada alat elektroforesis dimana COP tertinggi pada voltase 1 (terendah) dengan menggunakan heat pipe, sedangkan COP dengan sistem pendinginan terbaik (temperatur larutan TAE terendah) hanya 0,51. Hal ini karena COP merupakan nilai dari tingkat keefisienan penggunaan energi, bukan berdasarkan nilai dari tingkat pendinginan saja.

Pada grafik terlihat bahwa pada tegangan 1 Volt (heat pipe) kemampuan pendinginan termoelektrik menurun, ini diperlihatkan dengan gradien kemiringan yang tidak curam dibanding voltase diatasnya.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari semua pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Setiap alat pembuang kalor (*heat pipe* atau *heat sink*) mempunyai batas maksimal kalor yang dapat dibuang. Sehingga pendinginan yang maksimal (temperatur larutan TAE terendah) bukan pada voltase tertinggi (8 Volt), karena pada voltase tersebut kemampuan termoelektrik untuk memompa kalor lebih baik sehingga menghasilkan temperatur pada sisi panas yang tinggi. Temperatur (kalor) yang tinggi ini sudah melewati batas kemampuan alat pembuang kalor untuk memindahkan (membuang) kalor ke lingkungan
2. Heat pipe memiliki kemampuan untuk membuang (menghantarkan) kalor lebih baik dibanding dengan heat sink
3. Pada sistem pendinginan alat elektroforesis termoelektrik ini spesifikasi terbaik adalah pada tegangan masukan termoelektrik 5 Volt dengan menggunakan heat pipe.
4. Nilai COP tertinggi diperoleh dari pengujian tegangan termoelektrik 1 Volt dengan menggunakan heat pipe, hal ini karena pada voltase tersebut pembebanan kalor pada alat pembuang kalor tidak terlalu besar sehingga kalor yang dihasilkan sisi panas dapat ditransfer (diteruskan) dengan baik oleh heat pipe.

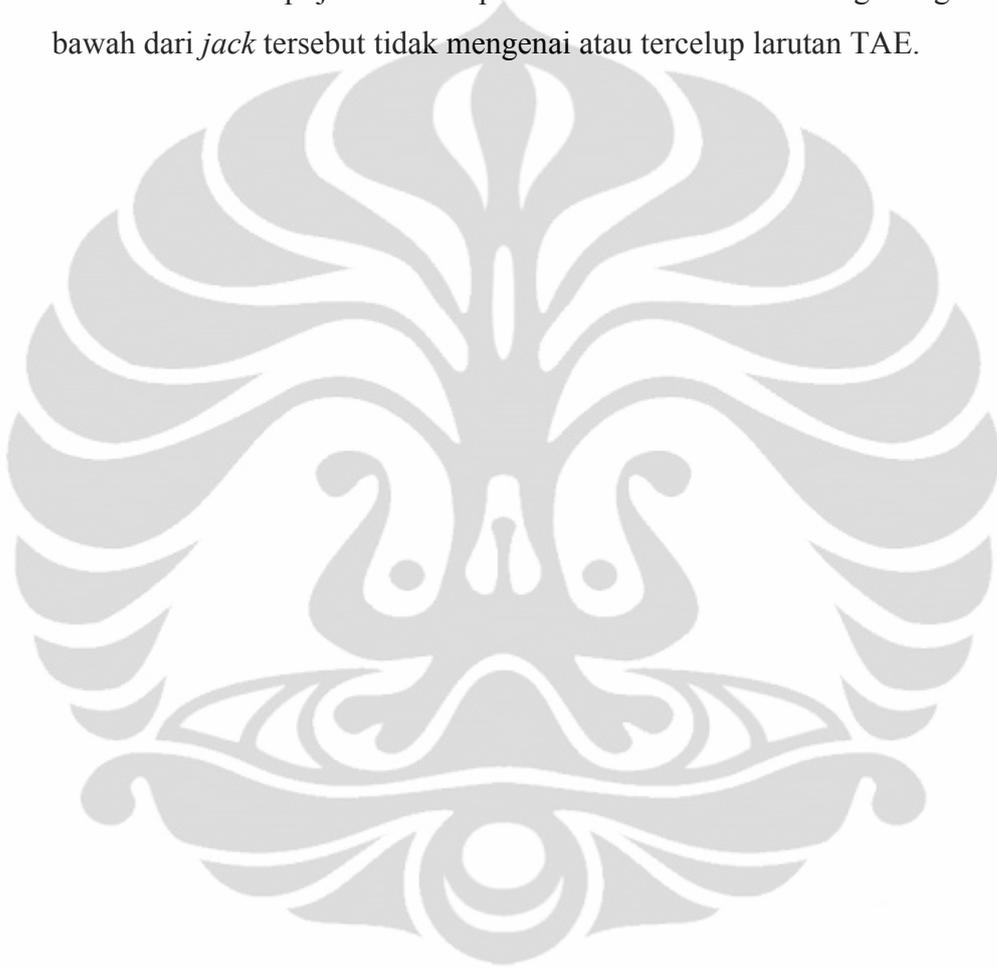
6.2 Saran dan rekomendasi

Setelah melakukan proses perancangan, pengujian dan analisa terhadap alat, terdapat beberapa saran dan rekomendasi untuk pengembangan alat elektroforesis termoelektrik berikutnya :

1. Desain *body* elektroforesis pada bagian tengah bak (bak tengah) dengan ketinggian yang lebih tinggi dari alat elektroforesis penulis, karena hal ini dapat memudahkan dalam pengujian menggunakan DNA. Sebab dalam pengujian dengan DNA gel agarosa harus tercelup dengan larutan TAE.
2. Penempatan termokopel harus sangat diperhatikan karena jika penempatannya salah maka data yang dihasilkan tidak mempresentasikan keadaan yang

sebenarnya dan data yang dihasilkan tidak valid. Pastikan lilitan pertama pada termokopel itu terletak atau mengenai pada bidang atau ruang yang ingin diukur, karena pada lilitan pertama itulah temperatur diukur.

3. Gunakan *jack* (menghubungkan regulator dengan alat elektroforesis) dengan material yang tahan korosi (*stainless steel*) karena sifat larutan TAE yang sangat korosif. Akan tetapi jika tidak dapat ditemukan usahakanlah agar bagian terbawah bawah dari *jack* tersebut tidak mengenai atau tercelup larutan TAE.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.brighthub.com/science/medical/articles/6604.aspx/20/04/2011>.
- [2] Haleem J. Issaqa, Hongyu Xu, King C. Chana, Michael C. Dean, *Effect of temperature on the separation of DNA fragments by highperformance liquid chromatography and capillary electrophoresis: a comparative study*, Journal of Chromatography B, 738 (2000) 243–248.
- [3] Gritter, dkk., 1991, *Pengantar Kromatografi*, Hal.34-35,186, ITB Press, Bandung.
- [4] Boffey, S. 1986. *Molecular Biology Techniques*. P153-196 dalam Wilson, K. Dan Goulding, K.H. (eds). *A Biologist's Guide to Principles and Techniques of Practical Biochemistry*, 3th ed. Richard Clay Ltd. Britain.
- [5] Rachel R. Ogorzalek Loo, Charles Mitchell, Tracy I. Stevenson, Joseph A. Loo, Philip C. Andrews, *Diffusive transfer to membranes as an effective interface between gel electrophoresis and mass spectrometr*, International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes 169/170 (1997) 273-290
- [6] Fatchiyah, Ph. D., 2008, *Gel Elektroforesis*, Lab. Sentral Biologi Molekuler dan Seluler Departemen Biologi Universitas Brawijaya.
- [7] http://www.sparknotes.com/biology/molecular/structureofnucleicacids/section2_rhtml/01/05/2011
- [8] Gary W Slater, Martin Kenward, Laurette C McCormick, Michael G Gauthier, *The theory of DNA separataion by capillary electrophoresis*, Current Opinion in Biotechnology ,2003, 14:58-64.
- [9] Melinda Szoke, Maria Sasvari-Szekely, Andras Guttman, *Ultra-thin-layer agarose gel electrophoresis I. Effect of the gel concentration and temperature on the separation of DNA fragment*, Journal of Chromatography A, 830 (1999) 465–471.
- [10] Jiang Jiang, Noh Jin Park, Shen Hu, David T. Wong, *A universal pre-analytic solution for concurrent stabilization of salivary proteins, RNA and DNA at ambient temperature*, archives of oral biology 54 (2009) 268-273.
- [11] B.D.M. Theophilus and R. Rapley, *Methods in Molecular Biology, vol 187 : PCR Mutation Detection Protocols*, Humana Press Inc, Totowa, NJ.

- [12] A. Cifuentes, M.A. Rodriguez, F.J. Garcia-Montelongo, *Separation of basic proteins in free solution capillary electrophoresis: effect of additive, temperature and voltage*, Journal of Chromatography A, 742 (1996) 257-266.
- [13] Jetse C. Reijenga, Leonardo G. Gagliardi, Ernst Kenndler, *Temperature dependence of acidity constants, a tool to affect separation selectivity in capillary electrophoresis*, Journal of Chromatography A, 1155 (2007) 142–145.
- [14] Kausiki Datta, Andy J. Wowor, Allison J. Richard, and Vince J. LiCata, *Temperature Dependence and Thermodynamics of Klenow Polymerase Binding to Primed-Template DNA*, Biophysical Journal Volume 90 (2006) 1739–1751.
- [15] Satoshi Ohtake, Russell Martin, Atul Saxena, Binh Pham, Gary Chiueh, Manuel Osorio, Dennis Kopecko, DeQi Xu, David Lechuga-Ballesteros, Vu Truong-Le, *Room temperature stabilization of oral, live attenuated Salmonella enteric serovar Typhi-vectored vaccines*, Vaccine 29 (2011) 2761–2771.
- [16] <http://www.vivo.colostate.edu/hbooks/genetics/biotech/gels/principles.html/01/05/2011>.
- [17] Hirabayashi, Ken-ichi Kasai, *Effects of DNA topology, temperature and solvent viscosity on DNA retardation in slalom chromatography*, Journal of Chromatography A, 893 (2000) 115–122.
- [18] Y. Z. Chen and E. W. Prohofsky, *Sequence and temperature effect on hydrogen bond disruption in DNA determined by a statistical analysis*. European Biophysics Journal Volume 25, Number 1, 9-18
- [19] D. Poland and H.A. Scheraga, 1970, *Theory of Helix-Coil Transitions in Biopolymers*, Academic Press, New York.
- [20] http://www.diffen.com/difference/Special:Compare/DNA_RNA/28/04/2011.
- [21] Mariella Ivanova, Elena Tzvetanova, Veska Jetcheva, Ferenc Kila'r, *Abnormal Protein patterns in blood serum and cerebrospinal fluid detected by capillary electrophoresis*, J. Biochem. Biophys. Methods 53 (2002) 141–150

- [22] Andras Guttman, *Effect of temperature on separation efficiency in capillary gel electrophoresis*, trends in analytical chemistry, vol. 15, no. 5, 1996
- [23] http://biochemistry.yonsei.ac.kr/biochem_molecular/gene_cloning_20.php/01/05/2011
- [24] Haolia Rahman, *Penggunaan modul termoelektrik untuk optimasi alat agarose gel elektroforesis*, skripsi, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 2007.
- [25] Ogden, R. C., and Adams, D. A., *Electrophoresis in agarose and acrylamide gels*. Methods Enzymo 152 (1987) 61-87.
- [26] Tomas Masek, Vaclav Vopalensky, Petra Suchomelova, Martin Pospisek, *Denaturing RNA electrophoresis in TAE agarose gels*, Analytical Biochemistry 336 (2005) 46–50.
- [27] S.B. Riffa, Xiaoli Ma, *Thermoelectrics: a review of present and potential applications*, Applied Thermal Engineering 23 (2003) 913–935.
- [28] F.L Tan, S.C. Fok, *Methodology on Sizing and Selecting Thermoelectric Cooler from Different TEC Manufacturers in Colling System Design*.
- [29] <http://www.techterms.com/definition/heatsink/03/05/2011>.
- [30] David reay and Peter Kew, *Heat Pipes: Theory, Design, and Applications* Fifth edition, Butterworth-Heinemann, 2006.
- [31] ASHRAE handbooks 2005
- [32] Thermoelectric Handbook, Production Assembly Information Performance and Properties, Melcor
- [33] C.T. Nguyen, G. Roy, C. Gauthier, N. Galanis, Heat transfer enhancement using Al₂O₃– water nanofluid for an electronic liquid cooling system, Applied Thermal Engineering, 27 (8-9) (2007) 1501-1506.
- [34] Min Gao, Rowe D.M (2005), “Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic – refrigerators” *Journal of Applied Thermal Engineering*, 83 (2006) 133-152.
- [35] S.B Riffat, S.A Omer, Xiaoli Ma. “A novel thermoelectricrefrigeration system employing heat pipes and phse change material: an experimental investigation”. *journal of renewable energy* 23 (2001) 313-323.

- [36] Nandy Putra, Haryo Tedjo, RA Koestoer, Pemanfaatan Elemen Peltier Bertingkat dua pada aplikasi Kotak Vaksin, *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IV, 21-22 November 2005, ISBN 979-97158-0-6, Universitas Udayana, Bali, Indonesia.*
- [37] Nandy Putra, Uji Unjuk Kerja Kotak Vaksin berbasis Elemen Peltier Ganda, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 27 Juni 2006. ISBN 979-99266-1-0
- [38] S.B. Riffat, Guoquan Qiu, "Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air-conditioners". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 24 (2004) 1979-1993.
- [39] M.A. Sanz-Bobi, Rafael Palacios, Antonio Arenas, Thermoelectricity applied to the cryoconcentration of orange juice, in : 15th International Conference on Thermoelectric, promising, 1996, pp. 259 -263.
- [40] A. Hamilton, J.Hu, An electronic cryoprobe for cryosurgery using heat pipes and thermoelectric coolers : a preliminary report, *Journal of Medical Engineering & Technology*, May/June 1993.
- [41] <http://www.dowcorning.com/applications/search/products/details.aspx?prod01015443&type=PROD>
- [42] A.G. Agwu Nnanna, W. Rutherford, W. Elomar, B. Sankowski, Assessment of thermoelectric module with nanofluid heat exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 29 (2-3)(2009) 491-500.
- [43] Nandy Putra, Yanuar, Ferdiansyah N. Iskandar, Application of Nanofluids to a Heat Pipe Liquid-Block and the Thermoelectric Cooling of Electronic Equipment, *Experimental Thermal and Fluid Science* (2011), doi: 10.1016/j.expthermflusci.2011.04.015
- [44] Nandy Putra, Ardiyansyah, William Sukyono, David Johansen, Ferdiansyah N. Iskandar, The characterization of a cascade thermoelectric cooler in a cryosurgery device, *Cryogenics*, 50 (2010) 759-764
- [45] Jianlin Yu, Hua Z, Kangshan X. Analysis of optimum configuration of two-stage thermoelectric modules. *Cryogenics* 2007;47:89–93.

- [46] U.S. Choi, Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, D.A. Siginer and H.P. Wang, eds., FED-vol. 231/MD-Vol. 66, ASME, New York, 1995 pp. 99-105.





Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat pipe (termoelektrik 1 Volt)

Menit	temperatur sisi panas	temperatur sisi dingin	temperatur TAE	ambient
1	25,07	25,07	24,10	23,98
2	28,39	22,04	23,82	23,73
3	29,25	19,40	22,68	23,81
4	29,84	19,77	21,45	23,91
5	30,67	20,53	22,92	24,03
6	31,55	21,46	23,57	24,16
7	32,50	22,32	24,26	23,85
8	33,50	23,30	25,25	24,00
9	34,47	24,35	26,27	23,92
10	35,48	25,38	27,22	23,95
11	36,52	26,39	28,13	23,82
12	37,49	27,29	29,10	23,79
13	38,46	28,35	30,10	23,55
14	39,48	29,32	31,08	23,90
15	39,44	29,15	30,80	23,81
16	39,49	29,15	30,67	23,86
17	39,48	29,15	31,07	23,87
18	39,44	29,15	31,13	24,06
19	39,49	29,15	31,10	24,21
20	39,48	29,15	31,10	24,08

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat pipe (termoelektrik 2 Volt)

Menit	temperatur sisi panas	temperatur sisi dingin	temperatur TAE	ambient
1	25,10	25,18	24,28	24,04
2	26,50	24,03	24,01	24,09
3	35,10	15,75	22,51	23,97
4	34,11	13,98	19,84	24,06
5	33,63	13,20	18,07	24,01
6	33,35	12,79	17,01	23,95
7	33,21	12,49	16,42	24,11
8	33,11	12,38	16,15	23,75
9	33,04	12,32	15,98	23,79
10	32,95	12,30	15,94	23,93
11	32,89	12,25	15,87	23,77
12	32,91	12,13	15,64	23,90
13	32,91	12,19	15,64	23,65
14	32,91	12,32	15,61	23,92
15	32,92	12,18	15,40	23,89

16	32,89	12,15	15,36	23,94
17	32,89	12,13	15,28	23,93
18	32,95	12,00	15,24	24,21
19	32,93	11,94	15,19	24,10
20	32,93	12,06	15,27	24,08

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat pipe (termoelektrik 3 Volt)

Menit	temperatur sisi panas	temperatur sisi dingin	temperatur TAE	ambient
1	25,56	25,38	24,50	26,27
2	25,47	25,16	24,25	26,29
3	25,35	24,96	24,04	26,32
4	26,46	24,08	23,88	26,25
5	41,37	12,59	22,25	26,19
6	40,91	10,14	18,68	26,19
7	40,36	9,00	16,10	26,16
8	39,99	8,36	14,58	26,17
9	39,76	8,00	13,56	26,18
10	39,68	7,77	12,91	26,10
11	39,59	7,48	12,39	26,09
12	39,59	7,52	12,33	26,11
13	39,56	7,39	12,07	26,23
14	39,52	7,41	12,05	26,30
15	39,47	7,28	11,86	26,20
16	39,43	6,96	11,60	26,14
17	39,40	7,03	11,65	26,13
18	39,35	7,11	11,74	26,15
19	39,35	7,09	11,72	26,14
20	39,30	7,06	11,64	26,18

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat pipe (termoelektrik 4 Volt)

Menit	temperatur sisi panas	temperatur sisi dingin	temperatur TAE	ambient
1	25,68	25,61	24,77	25,71
2	29,71	23,25	24,55	25,72
3	49,92	10,38	22,16	25,75
4	48,97	8,29	18,60	25,69
5	48,34	7,18	16,01	25,68
6	48,04	6,61	14,31	25,69
7	47,83	6,09	13,07	25,70
8	47,70	5,75	12,23	25,73

9	47,64	5,50	11,67	25,79
10	47,59	5,41	11,47	25,80
11	47,58	5,42	11,42	25,74
12	47,54	5,24	11,29	25,74
13	47,56	5,39	11,14	25,80
14	47,54	5,41	11,28	25,84
15	47,54	5,67	11,54	25,84
16	47,52	5,48	11,21	25,93
17	47,52	5,47	11,11	25,94
18	47,55	5,51	11,30	25,92
19	47,49	5,51	11,38	25,95
20	47,47	5,43	11,23	26,10

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat pipe (termoelektrik 5 Volt)

Menit	temperatur sisi panas	temperatur sisi dingin	temperatur TAE	ambient
1	25,16	24,58	23,68	23,98
2	26,37	23,97	23,61	23,73
3	56,16	8,77	21,89	23,81
4	57,94	6,67	17,39	23,91
5	57,75	5,82	14,70	24,03
6	57,59	5,25	12,75	24,16
7	57,48	4,84	11,78	23,85
8	57,42	4,67	11,30	24,00
9	57,47	4,66	11,05	23,92
10	57,49	4,70	11,03	23,95
11	57,49	4,77	11,07	23,82
12	57,48	4,79	10,99	23,79
13	57,43	4,77	10,88	23,55
14	57,43	4,79	10,78	23,90
15	57,42	5,00	10,81	23,81
16	57,45	5,12	10,84	23,86
17	57,53	5,09	10,74	23,87
18	57,71	4,70	10,54	24,06
19	57,82	4,63	10,74	24,21
20	57,85	4,77	10,75	24,08

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat pipe (termoelektrik 6 Volt)

Menit	temperatur sisi panas	temperatur sisi dingin	temperatur TAE	ambient
1	26,44	26,64	24,38	26,15

2	46,04	18,18	24,59	26,19
3	66,94	8,71	22,82	26,15
4	67,65	8,21	20,89	26,13
5	67,89	7,87	19,69	26,15
6	68,30	7,72	19,49	26,15
7	68,37	7,80	19,49	26,19
8	68,49	7,85	19,51	26,19
9	68,50	7,90	19,47	26,22
10	68,58	7,92	19,50	26,21
11	68,59	8,03	19,75	26,22
12	68,60	8,03	19,95	26,33
13	68,59	8,18	20,21	26,37
14	68,54	8,29	20,30	26,37
15	68,58	8,08	20,27	26,34
16	68,61	8,18	20,27	26,32
17	68,62	8,28	20,28	26,26
18	68,59	8,39	20,33	26,23
19	68,57	8,39	20,24	26,19
20	68,62	8,28	20,34	26,17

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat pipe (termoelektrik 7 Volt)

Menit	temperatur sisi panas	temperatur sisi dingin	temperatur TAE	ambient
1	26,21	26,79	24,83	26,15
2	52,35	15,66	24,07	26,19
3	78,41	8,55	21,99	26,15
4	80,20	8,95	20,46	26,13
5	80,75	8,94	19,90	26,15
6	81,02	8,99	19,93	26,15
7	81,04	9,11	19,91	26,19
8	80,97	9,14	19,94	26,19
9	80,96	9,25	20,04	26,22
10	80,99	9,23	20,05	26,21
11	81,01	9,31	20,28	26,22
12	81,05	9,40	20,33	26,33
13	81,11	9,33	20,41	26,37
14	81,38	9,39	20,49	26,37
15	81,65	9,57	20,54	26,34
16	81,73	9,75	20,57	26,32
17	81,72	9,79	20,44	26,26
18	81,73	9,71	20,30	26,23
19	81,83	9,70	20,23	26,19

20	81,85	9,66	20,34	26,17
----	-------	------	-------	-------

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat pipe (termoelektrik 8 Volt)

Menit	temperatur sisi panas	temperatur sisi dingin	temperatur TAE	ambient
1	26,05	25,88	24,11	26,76
2	26,23	25,60	24,90	26,77
3	80,39	8,54	23,07	26,75
4	92,76	9,27	20,27	26,70
5	94,14	9,80	19,11	26,68
6	95,08	10,13	18,78	26,68
7	95,33	10,26	18,86	26,68
8	95,35	10,53	18,85	26,63
9	95,42	10,62	18,97	26,51
10	95,47	10,87	19,13	26,48
11	95,53	10,87	19,23	26,46
12	95,62	10,90	19,53	26,50
13	95,71	11,05	19,74	26,53
14	95,71	11,17	19,77	26,41
15	95,71	11,02	20,15	26,44
16	95,70	10,84	20,20	26,81
17	95,75	11,05	19,95	26,76
18	95,75	10,94	20,08	26,73
19	95,66	10,60	20,10	26,71
20	95,61	10,76	20,42	26,69

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat sink (termoelektrik 1 Volt)

Menit	temperatur sisi dingin	Ambient	temperatur sisi panas	temperatur TAE
1	26,50	26,15	26,00	26,64
2	26,37	26,19	25,96	26,46
3	23,01	26,15	27,95	26,10
4	22,57	26,13	28,28	26,83
5	23,03	26,15	28,42	27,92
6	23,56	26,15	28,60	28,80
7	24,04	26,19	28,76	29,27
8	24,41	26,19	28,89	29,52
9	24,72	26,22	29,01	29,69
10	24,97	26,21	29,11	30,02
11	25,15	26,22	29,15	30,25
12	25,33	26,33	29,28	30,52
13	25,54	26,37	29,41	30,72

14	25,74	26,37	29,49	30,98
15	25,92	26,34	29,51	31,24
16	26,07	26,32	29,52	31,48
17	26,21	26,26	29,52	31,67
18	26,33	26,23	29,53	31,87
19	26,45	26,19	29,54	32,02
20	26,57	26,17	29,52	32,19

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat sink (termoelektrik 2 Volt)

Menit	temperatur sisi dingin	Ambient	temperatur sisi panas	temperatur TAE
1	27,01	26,76	26,55	26,69
2	22,55	26,77	29,70	26,27
3	19,80	26,75	31,70	26,49
4	20,09	26,70	31,93	27,53
5	20,60	26,68	32,13	28,29
6	21,06	26,68	32,26	28,83
7	21,44	26,68	32,34	29,25
8	21,74	26,63	32,39	29,56
9	21,97	26,51	32,45	29,95
10	22,08	26,48	32,56	30,25
11	22,26	26,46	32,60	30,54
12	22,42	26,50	32,64	30,64
13	22,60	26,53	32,69	30,77
14	22,74	26,41	32,72	31,01
15	22,89	26,44	32,74	31,22
16	23,04	26,81	32,77	31,41
17	23,16	26,76	32,81	31,62
18	23,31	26,73	32,82	31,77
19	23,44	26,71	32,86	31,95
20	23,55	26,69	32,88	32,10

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat sink (termoelektrik 3 Volt)

Menit	temperatur sisi dingin	Ambient	temperatur sisi panas	temperatur TAE
-------	------------------------	---------	-----------------------	----------------

1	26,18	25,71	25,53	25,85
2	24,80	25,72	26,46	25,55
3	16,65	25,75	33,53	23,49
4	16,95	25,69	34,61	24,01
5	17,61	25,68	35,11	24,99
6	18,17	25,69	35,45	25,67
7	18,60	25,70	35,68	26,40
8	18,97	25,73	35,83	27,03
9	19,27	25,79	35,95	27,50
10	19,51	25,80	36,05	28,06
11	19,76	25,74	36,09	28,48
12	19,97	25,74	36,10	28,88
13	20,16	25,80	36,16	29,28
14	20,31	25,84	36,23	29,60
15	20,46	25,84	36,28	29,98
16	20,60	25,93	36,36	30,30
17	20,74	25,94	36,41	30,60
18	20,86	25,92	36,45	30,71
19	20,98	25,95	36,50	30,75
20	21,09	26,10	36,62	30,95

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat sink (termoelektrik 4 Volt)

Menit	temperatur sisi dingin	Ambient	temperatur sisi panas	temperatur TAE
1	24,49	23,98	24,34	24,05
2	19,45	23,73	28,42	23,85
3	13,75	23,81	36,29	22,36
4	15,06	23,91	37,80	22,23
5	16,19	24,03	38,54	23,25
6	17,00	24,16	39,02	24,19
7	17,64	23,85	39,35	24,93
8	18,09	24,00	39,54	25,55

9	18,44	23,92	39,70	26,01
10	18,71	23,95	39,86	26,30
11	18,97	23,82	39,92	26,54
12	19,18	23,79	39,98	26,91
13	19,35	23,55	39,98	27,19
14	19,45	23,90	40,05	27,39
15	19,54	23,81	40,08	27,43
16	19,58	23,86	40,07	27,47
17	19,65	23,87	40,05	27,53
18	19,66	24,06	40,07	27,43
19	19,72	24,21	40,11	27,42
20	19,76	24,08	40,21	27,79

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat sink (termoelektrik 5 Volt)

Menit	temperatur sisi dingin	Ambient	temperatur sisi panas	temperatur TAE
1	24,15	24,04	24,22	23,70
2	22,69	24,09	25,41	23,46
3	12,66	23,97	39,25	21,76
4	14,94	24,06	42,40	21,12
5	16,51	24,01	43,67	22,23
6	17,57	23,95	44,40	23,47
7	18,33	24,11	44,89	24,45
8	18,90	23,75	45,17	25,20
9	19,35	23,79	45,30	25,75
10	19,70	23,93	45,45	26,29
11	19,97	23,77	45,58	26,72
12	20,22	23,90	45,74	27,15
13	20,46	23,65	45,80	27,44
14	20,58	23,92	45,78	27,40
15	20,69	23,89	45,78	27,50
16	20,77	23,94	45,76	27,63
17	20,83	23,93	45,80	27,64

18	20,93	24,21	45,92	27,81
19	20,95	24,10	45,96	27,82
20	20,98	24,01	45,98	27,93

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat sink (termoelektrik 6 Volt)

Menit	temperatur sisi dingin	Ambient	temperatur sisi panas	temperatur TAE
1	26,75	26,47	26,29	26,51
2	25,88	26,48	27,03	26,39
3	14,30	26,50	44,21	23,48
4	16,99	26,47	48,79	22,08
5	18,35	26,46	50,68	22,41
6	19,02	26,48	51,67	22,61
7	19,38	26,49	52,16	22,71
8	19,58	26,48	52,37	22,74
9	19,61	26,51	52,47	22,66
10	19,60	26,55	52,57	22,62
11	19,96	26,58	52,60	23,20
12	20,80	26,54	52,69	24,89
13	21,56	26,51	52,85	26,22
14	22,22	26,51	53,09	27,20
15	22,74	26,55	53,34	27,89
16	23,13	26,54	53,53	28,38
17	23,45	26,50	53,60	28,76
18	23,71	26,53	53,56	29,11
19	23,92	26,51	53,58	29,31
20	24,12	26,50	53,54	29,46

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat sink (termoelektrik 7 Volt)

Menit	temperatur sisi dingin	Ambient	temperatur sisi panas	temperatur TAE
1	26,00	26,27	25,91	25,44
2	23,80	26,29	28,38	25,15

3	15,06	26,32	49,47	22,61
4	20,02	26,25	54,94	23,67
5	22,48	26,19	57,06	25,57
6	23,97	26,19	57,62	27,16
7	24,96	26,16	57,79	28,25
8	25,62	26,17	57,99	28,86
9	26,07	26,18	58,19	29,29
10	26,42	26,10	58,16	29,49
11	26,71	26,09	58,18	29,85
12	26,97	26,11	58,76	30,16
13	27,34	26,23	59,12	30,46
14	27,59	26,30	59,32	30,76
15	27,80	26,20	59,46	31,03
16	27,98	26,14	59,45	31,22
17	28,14	26,13	59,49	31,49
18	28,28	26,15	59,48	31,71
19	28,39	26,14	59,49	31,88
20	28,49	26,18	59,52	32,05

Data pengujian alat elektroforesis 100 V heat sink (termoelektrik 8 Volt)

Menit	temperatur sisi dingin	Ambient	temperatur sisi panas	temperatur TAE
1	25,71	26,15	25,26	25,08
2	19,66	26,19	34,47	24,26
3	17,95	26,15	56,90	22,50
4	23,51	26,13	61,91	24,79
5	26,17	26,15	64,17	26,81
6	27,76	26,15	65,29	28,35
7	28,81	26,19	65,90	29,37
8	29,45	26,19	66,26	29,83
9	29,88	26,22	66,46	30,22
10	30,22	26,21	66,63	30,55
11	30,51	26,22	66,70	30,85

12	30,73	26,33	66,75	31,15
13	30,95	26,37	66,83	31,41
14	31,17	26,37	66,64	31,68
15	31,40	26,34	66,18	31,93
16	31,59	26,32	66,10	32,19
17	31,76	26,26	66,11	32,47
18	31,87	26,23	65,87	32,65
19	32,02	26,19	65,85	32,85
20	32,14	26,17	65,89	32,98

