

Gambar 4.2 instalasi alat pengujian

Gambar 4.2 menunjukkan instalasi alat pengujian *box carrier* yang sebenarnya di lab *heat transfer* DTM FTUI. Terlihat bahwa instalasi yang dilakukan dalam pengujian di lab sama persis dengan yang tertera pada skema instalasi pengujian pada Gambar 4.1.

4.3 KOMPONEN DAN PERALATAN PENGUJIAN

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai peralatan yang digunakan untuk pengujian kinerja *carrier box*. Peralatan tersebut berupa peralatan listrik seperti *power supply*, sensor temperatur berupa termokopel beserta data kalibrasinya, data akuisisi, *hot wire* anemometer

Tabel IV.1. Spesifikasi

A. Peltier	
Dimensi (pxlxt)	40mm x 40mm x 4 mm
Tegangan	12 V DC
Arus maksimum	5 Ampere

B. Power supply Peltier dan Heat pipe	
Brand	Universal Power Supply
Input	100 - 220 V AC
Output Maksimum	30 V DC
	10 Ampere

C. Heat pipe-Fan	
Brand	Zalman
Heat Pipe	Pure Copper
	pxlxt = 120x123x67 mm ³

D. Ruang Pendingin box	
Material	Alumunium
Dimensi	Panjang = 240 mm
	Lebar = 160 mm
	Tinggi = 200 mm
	Tebal = 2 mm

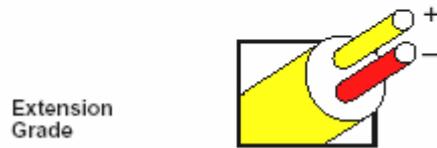
F. Isolator	
Material	<i>Polyurethane / isopropane</i>
Densitas	50 kg/m ³ /

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai peralatan yang digunakan untuk pengujian kinerja *cool box carrier*. Peralatan tersebut berupa peralatan listrik seperti *power supply*, sensor temperatur berupa termokopel dan temperatur digital.

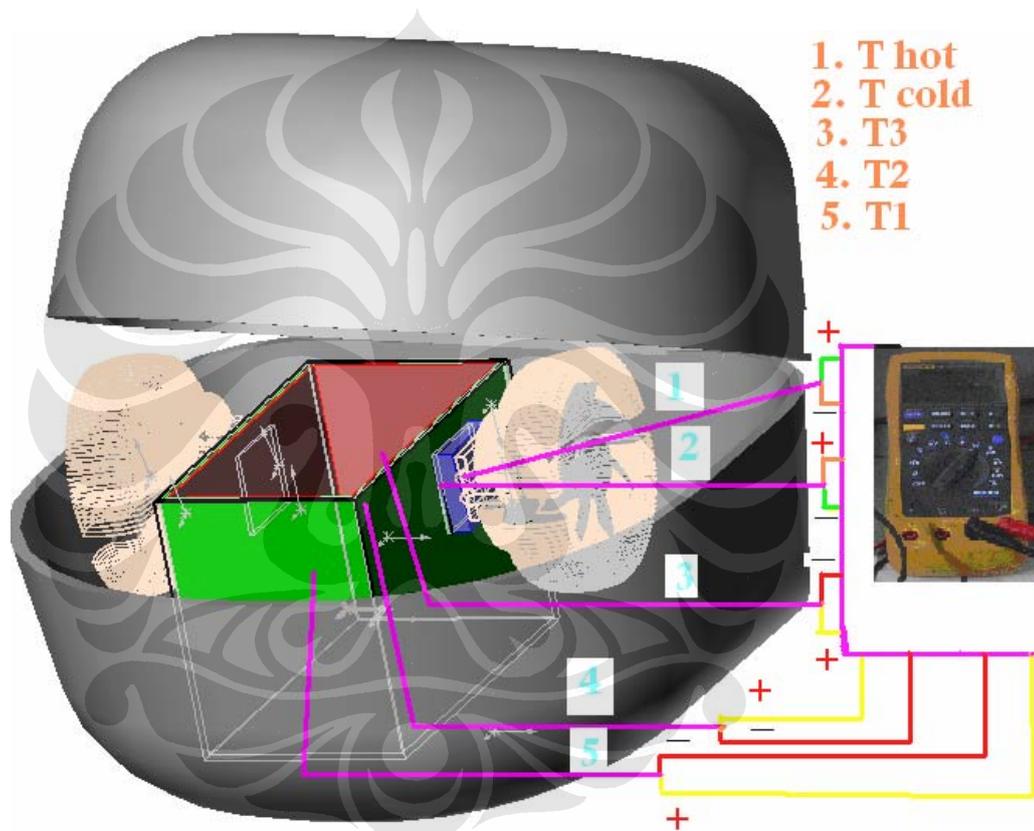
4.3.1 Termokopel

Termokopel yang digunakan dalam penelitian ini adalah termokopel tipe K, dengan material pembentuknya adalah *kromel* (Nikel-Kromium) dan *alumel* (Nikel-Alumunium), Gambar 4. 3 Termokopel menggunakan prinsip efek *Seebeck* dalam pengukuran temperatur, dengan pembangkit tegangan sebagai fungsi dari gradien temperatur. Nilai dan fungsi dari gradien temperatur tersebut bergantung pada jenis komposisi material termokopel yang digunakan.

Nickel-Chromium vs. Nickel-Aluminum



Gambar 4. 3. Termokopel tipe K Standar



Gambar 4.4 memperlihatkan skema peletakan termokopel pada pengujian *box carrier*.

Keterangan;

T_1 = Temperatur 1/4 ruang pendinginan

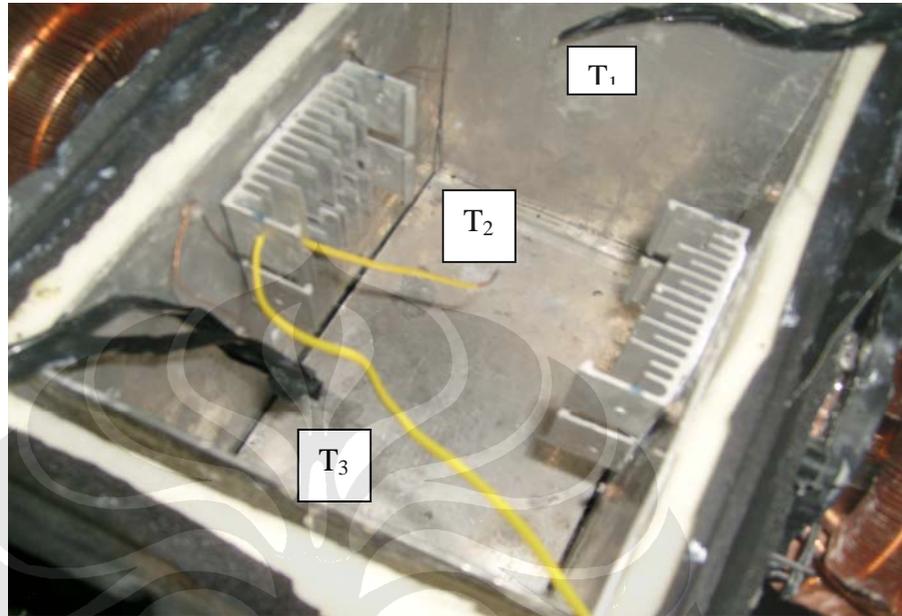
T_2 = Temperatur tengah ruang pendinginan

T_3 = Temperatur 3/4 ruang pendinginan

T_{Cold} = Temperatur sisi dingin modul peltier

T_{hot} = Temperatur sisi panas modul peltier

Terdapat 3 buah termokopel tipe K yang digunakan, yaitu : termokopel untuk mengukur T_1 dan T_3 , termokopel benang untuk mengukur sisi panas dan sisi dingin peltier. Kemudian termokopel berwarna kuning-merah yang memiliki diameter 1 mm untuk mengukur T_2 .



Gambar 4.5 Termokopel T_1 , T_2 , T_3

Untuk mendapatkan tampilan temperatur dari termokopel tipe K maka perlu dilakukan kalibrasi dengan tujuan mendapatkan konversi dari tampilan temperatur pada multimeter dengan temperatur standar. Hal ini dilakukan dengan melakukan perbandingan pengambilan data yang dilihat oleh pada termometer standar dengan pengukuran menggunakan termometer digital (*fluke*). Termometer *Fluke* memiliki sensitifitas sebesar 0.1°C .

4.3.2 DC Voltage Regulator



Gambar 4.6. Power supply untuk *Heat Pipe* dan Peltier

Untuk mengoperasikan *box carrier* digunakan *power supply* jenis DC *Voltage Regulator* yang dilengkapi alat ukur voltase dan arus yang dapat diubah nilai tegangan dan arus aktualnya. *Power supply* tersebut menggunakan tegangan input sebesar 220 VAC kemudian akan diubah menjadi arus DC dengan *range* tegangan maksimum 30 VDC dan arus 10 Ampere. Terdapat 1 buah *Power supply* yang digunakan dalam pengujian sebagai *power supply peltier* dan *fan* sisi kanan dan sisi kiri hanya menggunakan 1 *power supply* dengan cara diparalel.

4.3.3 Digital Multimeter

Alat yang digunakan untuk pembacaan temperatur pada termokopel tipe K adalah digital multimeter yang hasil keluarannya berupa tampilan digital yang dapat langsung dilihat pada layar digital .



Gambar 4.7. Multimeter

4.4 LANGKAH – LANGKAH PROSES UJI YANG DILAKUKAN

4.4.1 Langkah Proses Kalibrasi

Proses kalibrasinya dijabarkan sebagai berikut :

Bandingkan antara termokopel yang terbaca antara digital multimeter dengan termometer raksa

Tabel IV. 2 Kalibrasi termokopel K

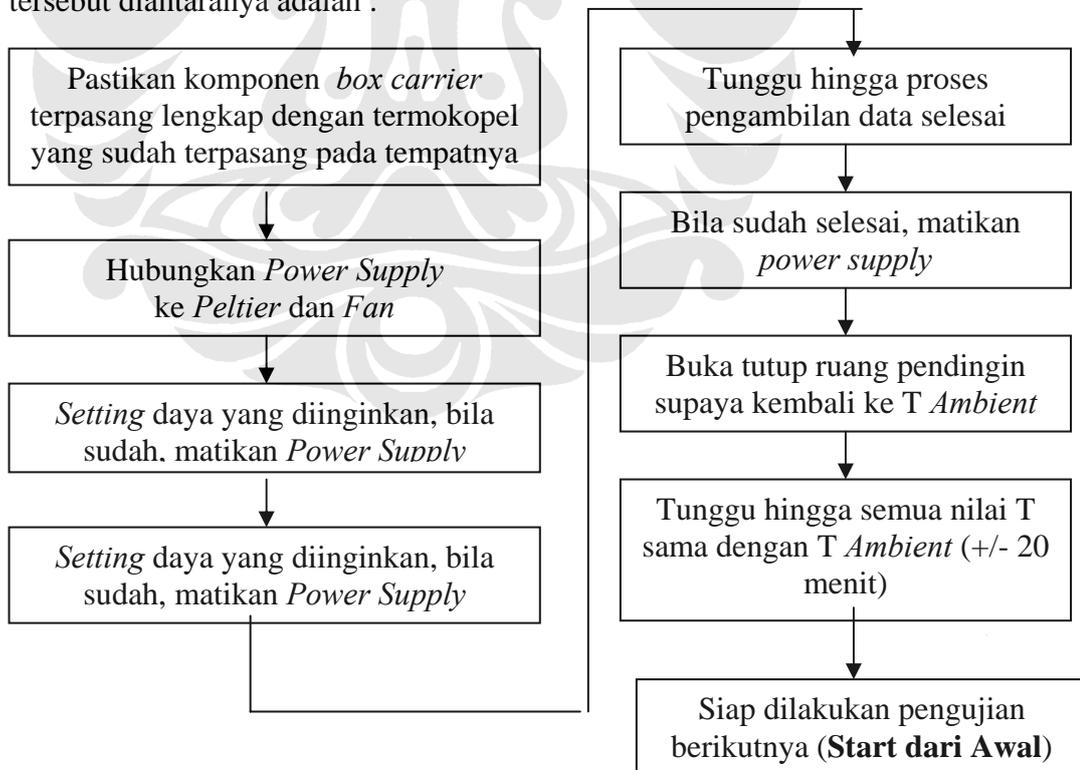
Termokopel K diameter 1mm		Termokopel K benang		Termokopel K	
29,2	27,5	29	27	44,9	45,9
28	26,5	28	26,3	28,2	28,1
21,6	20,5	20	18,8	20	19,5
20	19	14,1	13,4	14	13,3
7,9	8,2	8	8,2	9	8
7,3	7,9	7,2	7,6	6	4,7

Catatan – catatan penting yang harus diperhatikan dalam proses kalibrasi :

- Pastikan *heater* tidak bersentuhan langsung dengan termokopel karena akan berdampak pada ketidaktepatan hasil dan rusaknya termokopel.

4.4.2 Langkah Proses Pengujian

Dalam proses pengujian, tentunya ada aturan – aturan yang harus diikuti supaya hasil pengujian sesuai standar dan dapat diakui hasilnya. Langkah-langkah tersebut diantaranya adalah :



Gambar 4.8 Skema proses pengujian

Catatan – catatan penting yang harus diperhatikan dalam proses pengujian ialah :

- Peletakan posisi *box carrier* dalam pengujian sebaiknya melihat juga lingkungan sekitar jalur udara masuk dan udara keluar *fan*. Sebaiknya disekitarnya tidak ada sumber panas yang dapat menyebabkan proses pendinginan *heat sink* oleh *fan* menjadi tidak maksimal yang pada akhirnya berakibat tidak optimalnya proses pendinginan dan ketidaktepatan hasil data pengujian.
- Dalam memasang termokopel pada *box carrier*, sebaiknya dipastikan termokopelnya statis di tempat, tidak berubah – ubah dalam semua proses pengambilan data. Bila posisi termokopel berbeda – beda, maka hasil data yang didapat tidak akurat dan cenderung tidak dapat dibandingkan antara pengujian satu dengan lainnya.
- Kabel – kabel komponen dihubungkan dengan *power supply*. Untuk *peltier*, nyalakan *power supply* dan atur besar tegangan dan arus hingga didapat besar daya yang diinginkan.
- Setelah proses pengaturan daya selesai, matikan kembali *power supply* dan pastikan tunggu terlebih dahulu hingga semua display temperatur sesuai dengan temperatur *ambient*. Untuk mempercepat proses, tutup *box carrier* dibuka sehingga proses pertukaran temperatur lebih cepat. Bila sudah sama, barulah proses pengambilan data dimulai.

4.5 Prosedur Pengujian Komponen dan Peralatan Pengujian

Prosedur pengujian menjelaskan mengenai urutan langkah-langkah yang dilakukan untuk mengaktifkan alat uji. Pengambilan data pengujian bertempat di laboratorium *Heat Transfer* lantai 3 Departemen Teknik Mesin FTUI dengan asumsi temperatur ambien sekitar 28-29°C. Terdapat beberapa variasi

pengambilan data pengujian untuk membandingkan dengan desain sebelumnya sekaligus mengetahui karakter dari alat *box carrier*. Pengambilan data dilakukan dengan beberapa variasi. Variasi pengujian tersebut meliputi :

1. Variasi Daya Peltier dengan Beban Kosong dan Box Terbuka

Variasi daya dengan beban kosong dilakukan untuk mendapatkan daya yang optimal untuk mendinginkan ruang *cool box* dengan beban kosong sekaligus mengetahui kebocoran yang terjadi dan untuk membandingkan unjuk kerja terhadap desain alat pada percobaan sebelumnya. Daya optimal tersebut akan digunakan pada proses pengujian selanjutnya. Adapun variasi daya yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Sekitar 24 Watt, dengan nilai tegangan 12 VDC dan Arus 2 Ampere
- Sekitar 24,6 Watt, dengan nilai tegangan 12,3 VDC dan Arus 2 Ampere
- Sekitar 29,25 Watt, dengan nilai tegangan 13 VDC dan Arus 2,25 Ampere
- Sekitar 30,36 Watt, dengan nilai tegangan 13,2 VDC dan Arus 2,3 Ampere
- Sekitar 32,4 Watt, dengan nilai tegangan 13,5 VDC dan Arus 2,4 Ampere

2. Penggunaan Daya Optimal

Penggunaan daya optimal dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja alat dan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi setimbang pada range suhu yang diperlukan, yaitu 5 °C.

3. Variasi Daya Peltier dengan Beban Kosong dan Box Tertutup.

Variasi daya dengan beban kosong dan box tertutup dilakukan untuk mendapatkan daya yang optimal untuk mendinginkan ruang *cool box* dengan beban kosong box tertutup yang akan diuji dengan aki motor.

4. *Cool Box* dengan Beban

Penggunaan daya 30,36 W dengan box motor terbuka diberikan beban kaleng minuman 1,2,3,4,5 dan 6 untuk mengetahui temperatur ruang setelah diberikan beban.

BAB V

HASIL DAN ANALISA

5.1 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

Pengujian yang dilakukan menghasilkan data – data berupa waktu, temperatur ruang pendingin, temperatur sisi dingin *peltier*, dan temperatur sisi panas *peltier*. Data berupa angka tersebut di-*convert* ke bentuk grafik sehingga dapat lebih mudah dipahami, dibandingkan, dan dianalisa lebih lanjut.

5.1.1 Pengujian dengan Variasi Daya Peltier

Pengujian dilakukan pada temperatur ambien 28°C - 29°C dengan kondisi ruang pendingin *cool box* tanpa beban. Pengujian yang dilakukan pada alat sebelumnya, peltier dapat optimum pada *supply* daya 30 Watt. Berdasarkan data referensi tersebut maka pengujian yang dilakukan saat ini mengambil kisaran daya sekitar 29.25 Watt, 30.36 Watt dan 32.4 Watt, sedangkan untuk aki yang mempunyai tegangan sekitar 12 V akan dilakukan pengujian juga. Pengaturan *power supply* untuk mendapatkan variasi daya peltier adalah sebagai berikut :

Tabel V.1 Pengaturan *power supply*

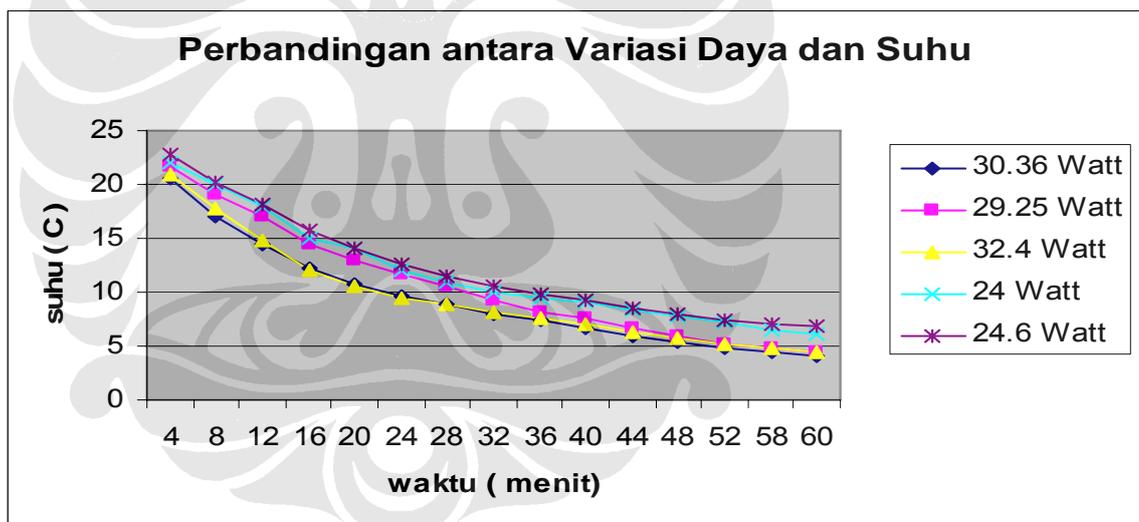
Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
12	2	24
12,3	2	24,6
13	2.25	29.25
13.2	2.3	30.36
13.5	2.4	32.4

Power supply yang digunakan memiliki layar yang menunjukkan nilai tegangan dan arus aktual yang bekerja pada peltier. Nilai tegangan dan arus tersebut dapat diatur sesuai keinginan.

Lama pengambilan data tiap daya yang diberikan adalah 60 menit

Tabel V.2 Temperatur ruang vaksin terhadap variasi daya

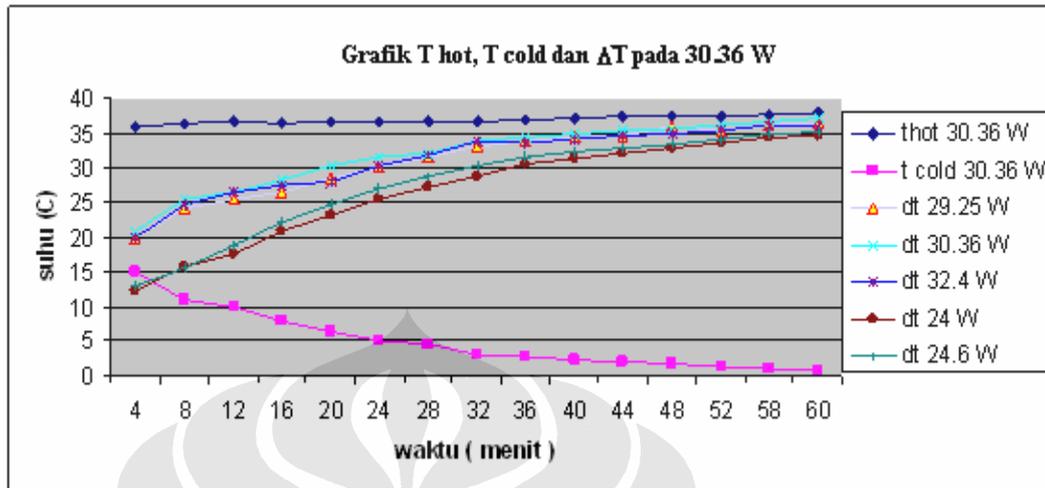
t (menit)	T Ruang cool box (C)				
	24 W	24,6 W	29,25 W	30,36 W	32,4 W
4	24,6	25	22	20,5	20,7
8	22	22,6	19,7	16	16,5
12	20,5	20,2	17,7	14,7	14,9
16	19,2	19	16	12,6	12,8
20	17,4	18	14	10,8	11
24	15,7	16,5	12,4	10	10,3
28	14	15,7	11	8,6	8,8
32	12,4	13,5	10	7	7,3
36	11	11,9	8	5,9	6
40	9,7	10,4	7,4	5,4	5,7
44	8,5	9	6,5	5	5,2
48	7,6	8	5,6	4,7	4,8
52	6,9	7,4	4,8	4,3	4,5
56	6,5	6,8	4,5	4	4,2
60	6,2	6,6			



Gambar 5.1. Grafik karakter T_2 pada daya 24 W, 24.6 W, 29.25 W, 30.36 W, 32.4 W

Terlihat pada Gambar 5.1 diatas, hasil pengujian antara ketiga variasi daya dengan penurunan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) terhadap waktu (menit). Setiap variasi daya hampir memiliki alur penurunan temperatur yang sama. Terlihat pada grafik bahwa *supply* daya 30.36 Watt pada Peltier dapat mencapai suhu dibawah 5°C pada menit ke-48, dan *Supply* daya 32.4 Watt baru mancapai temperatur 5°C pada menit ke-50, sedangkan *supply* daya 29.25 Watt mencapai temperatur 5°C pada menit ke-56, sehingga diperoleh bahwa, daya 30.3 Watt mampu mencapai temperatur 8°C 2 menit lebih cepat dibanding dengan daya 32.4 Watt. Sedangkan

untuk daya yang sesuai dengan aki motor yaitu 24 dan 24.6 W hanya dapat mencapai temperatur sekitar 6 °C.



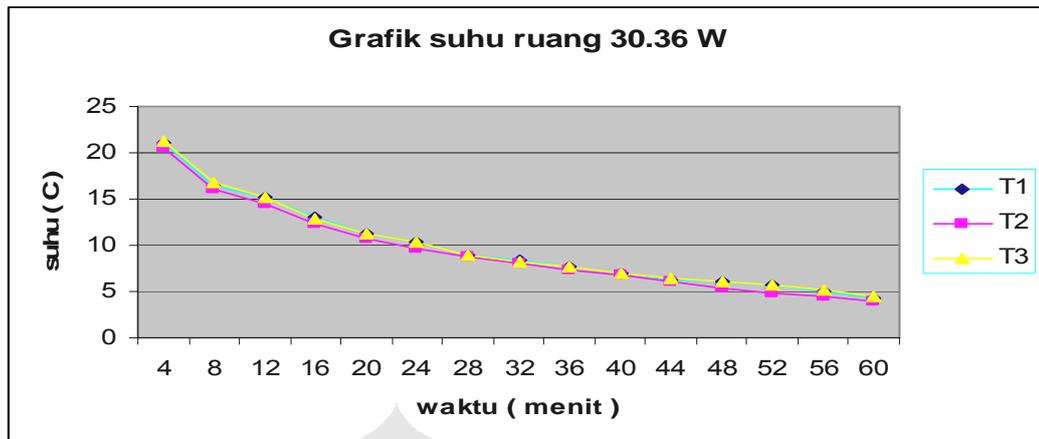
Gambar 5.2. Grafik karakter T_{hot} , T_{cold} , ΔT pada daya 30.36 Watt

Pada gambar terlihat bahwa ΔT pada 30,3 Watt mempunyai alur kenaikan yang stabil. Pada T_{hot} suhu stabil, hal ini karena heat pipe mempunyai kemampuan membuang kalor sangat baik.

Temperatur disekitar heat pipe 30-32°C. Dalam pengujian 24 W, 24.6 W, 29.25W, 30.36W, 32.4W *heat pipe* dan *fan* yang digunakan sama persis. Sehingga kapasitas serapan dan buangan kalornya seharusnya semakin besar, bila daya semakin besar. Namun dalam kasus ini, kalor yang diserap *heat pipe* seharusnya cenderung sama dikarenakan besar variasi daya yang tidak terlalu besar. Hal ini ditunjukkan dengan grafik ΔT dalam berbagai variasi daya pada gambar 5.2. Dari data tersebut, ΔT 29.25W dan 32.4W besarnya cenderung sama. Namun pada 30.36W sedikit lebih rendah dibandingkan kedua daya tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa proses serapan kalor oleh *heat pipe* pada pengujian 30.36W lebih maksimal. Berdasarkan analisa, mungkin hal ini terjadi karena pada 30.36W proses serapan kalor paling sempurna.

Jadi, berdasarkan data dan analisa tersebut disimpulkan bahwa daya 30.36 Watt ialah daya yang paling optimal untuk operasi *carrier box*. Daya 30.36 Watt ini akan digunakan dalam pengujian – pengujian selanjutnya.

5.1.2 Penggunaan Daya Optimal



Gambar 5.3. Grafik karakter T_1, T_2, T_3 pada daya 30.36 Watt

Pada gambar 5.3 terlihat bahwa t_1 dan t_3 mempunyai temperatur yang hampir sama sedangkan t_2 mempunyai temperatur paling dingin. Hal ini dikarenakan prinsip perpindahan kalor konduksi dan konveksi. Perpindahan kalor secara konduksi dijelaskan pada persamaan (5.1). Hal ini ditegaskan dengan rumus perpindahan kalor konduksi :

$$Q = k.A. \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (5.1)$$

Dimana : Q = Kalor yang diserap (W)

k = Konduktivitas termal (W/m K)

ΔT = Selisih temperatur yang tinggi dengan yang rendah ($^{\circ}\text{C}$)

ΔX = Tebal penampang permukaan (m)

A = Luas Permukaan (m^2)

Dari persamaan (5.1) terlihat bahwa penyerapan kalor berbanding terbalik dengan jarak. Posisi T_2 yang terletak lebih dekat dengan sisi dingin peltier dan *cold sink* daripada T_1 dan T_3 mempunyai suhu yang lebih rendah.

Sedang untuk persamaan konveksi dijabarkan sebagai berikut :

$$Q = h.A.\Delta T \quad (5.2)$$

Dimana, Q = Jumlah kalor yang diserap (W)

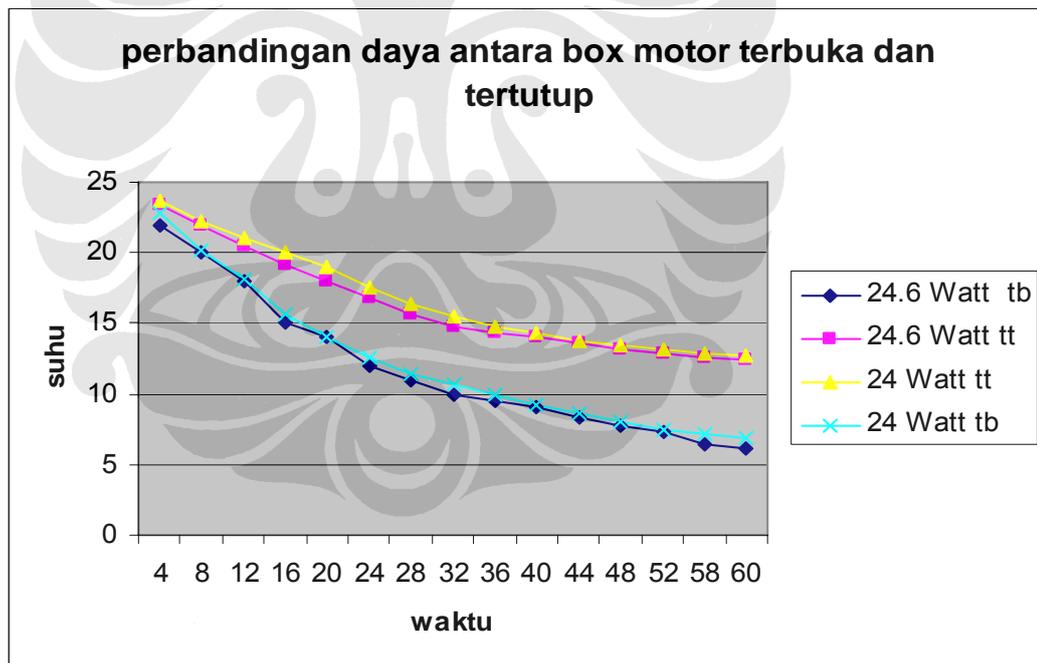
h = Koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$)

A = Luas permukaan (m^2)

ΔT = Selisih temperatur tinggi dan rendah ($^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan persamaan (5.2) tersebut dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya luas permukaan (A) maka jumlah kalor yang diserap (Q) akan bertambah. Penambahan *cold sink* berarti terjadi penambahan luas permukaan dari segi konveksi yaitu terjadi penambahan luas daerah serapan kalor dari hanya mengandalkan plat aluminium menjadi ditambah dengan *cold sink*. Dari segi konduksi yang terjadi ialah terjadinya penambahan ketebalan akibat peletakan *cold sink* yang dipasang tepat pada posisi plat aluminium yang bersentuhan langsung dengan sisi dingin *peltier*. Berdasarkan persamaan (5.1), maka penambahan ketebalan akan mengurangi penyerapan kalor yang terjadi. Penambahan *cold sink* ini juga dilakukan dengan tujuan untuk mampu menangkap kalor yang terdapat pada tengah – tengah ruang pendingin dikarenakan cukup luasnya ruang pendingin.

5.1.3 Variasi Daya Peltier dengan Beban Kosong dan Box Tertutup

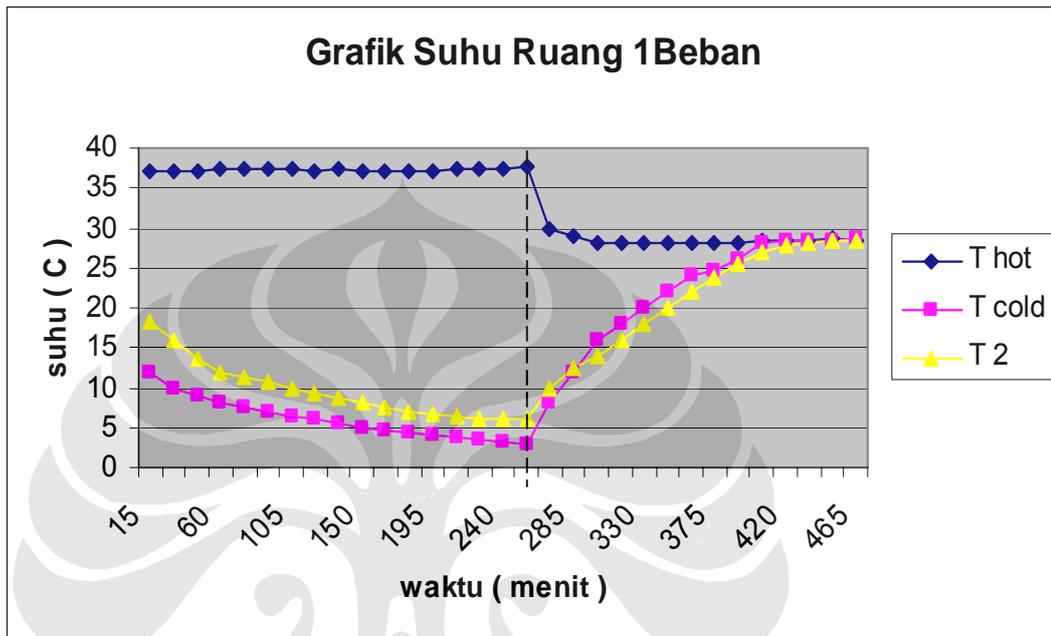


Gambar 5.4. Perbandingan daya antara box terbuka dan tertutup

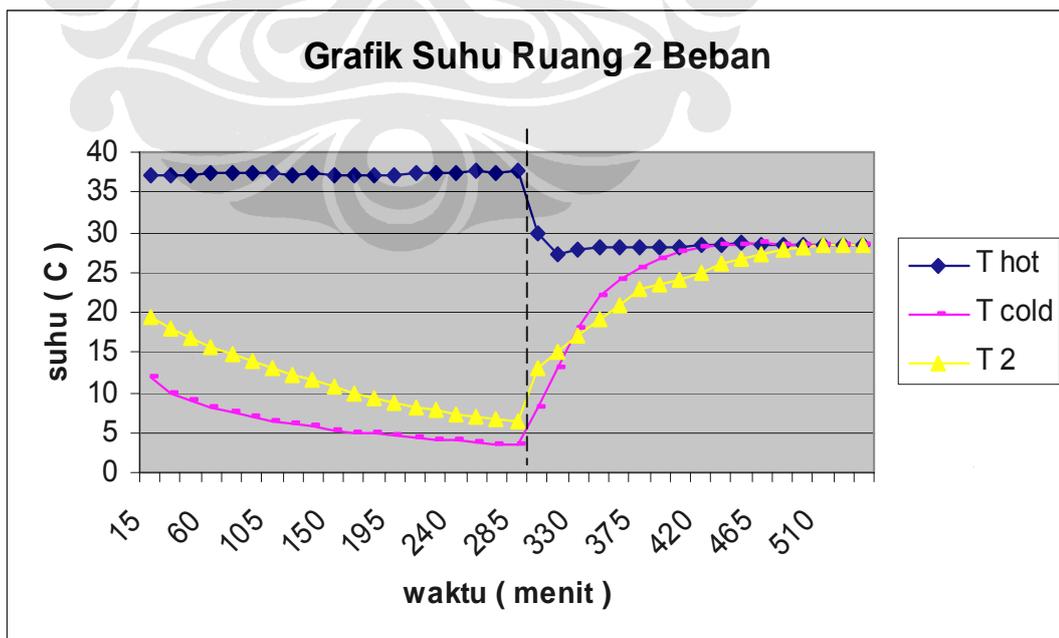
Seperti yang terlihat pada gambar 5.4 daya yang digunakan adalah 22.8 W dan 24 W hal ini karena sumber daya yang dihasilkan oleh aki adalah 22 – 25 Watt. Dalam keadaan *box* tertutup udara masuk dan keluar ke kipas *heat pipe* bercampur hal ini dikarenakan *blade* yang seharusnya menghisap udara keluar *box* ternyata menghisap udara ke dalam *box*.

5.1.4 Cool Box dengan Beban Kaleng Minuman

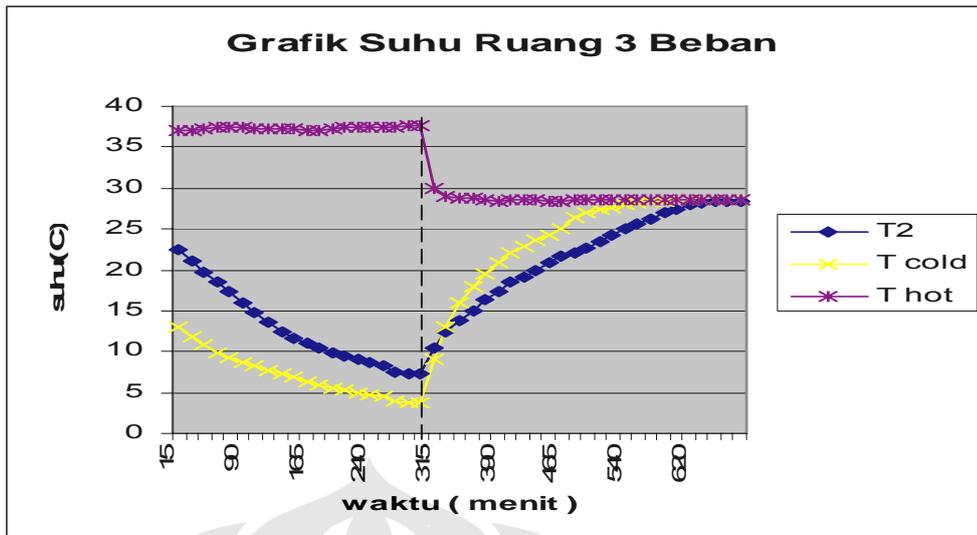
Pengujian dengan beban dilakukan menggunakan daya 30,36 W dan box dalam keadaan terbuka, pemberian beban dilakukan setelah *cool box* tanpa beban mencapai 4°C. Setelah mencapai suhu optimum kemudian peltier dimatikan.



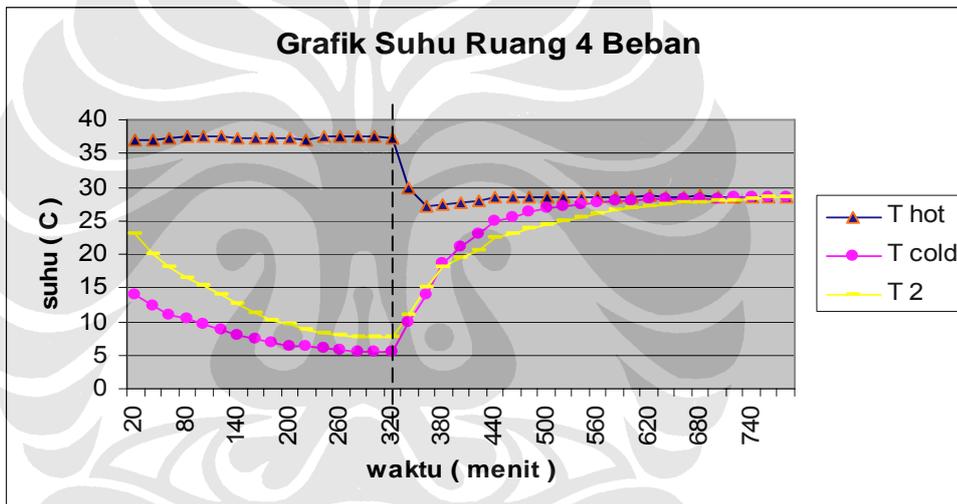
Gambar 5.5 *cool box* dengan 1 beban



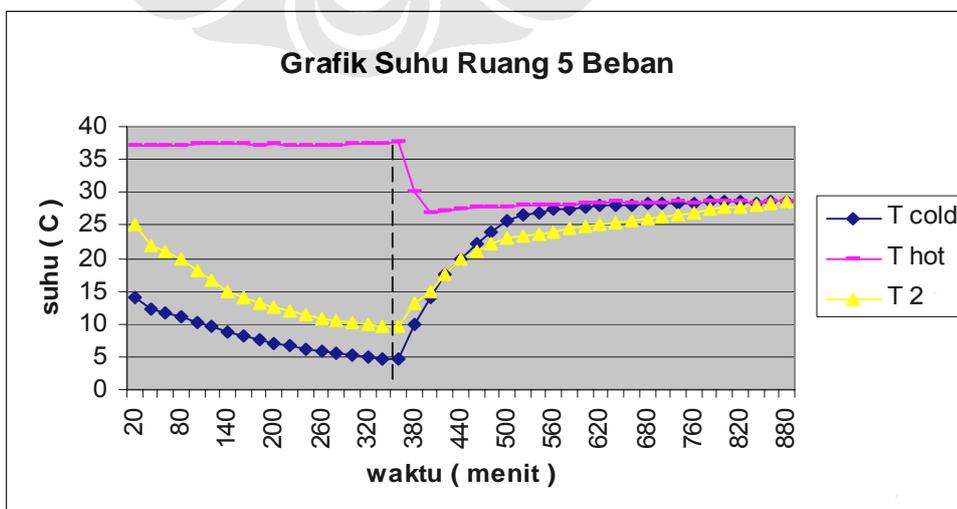
Gambar 5.6 *cool box* dengan 2 beban



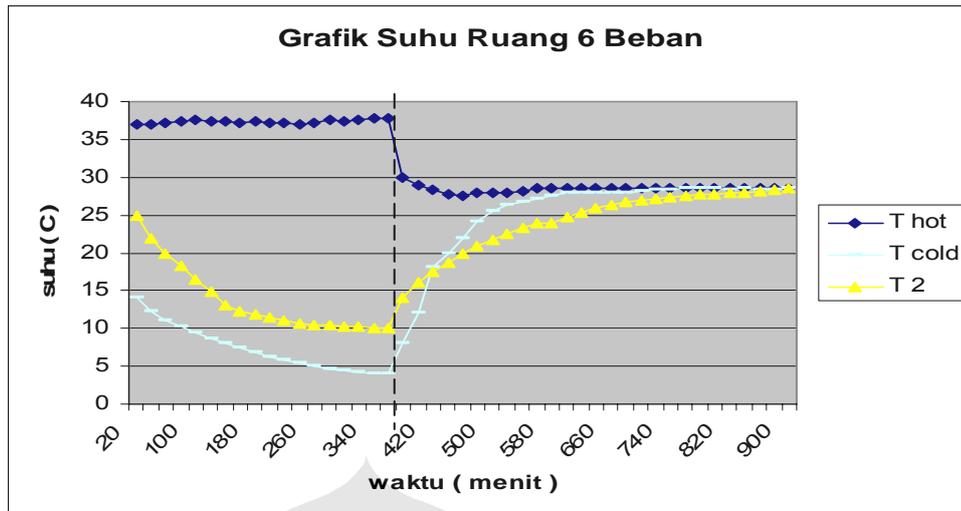
Gambar 5.7 cool box dengan 3 beban



Gambar 5.8 cool box dengan 4 beban



Gambar 5.9 cool box dengan 5 beban



Gambar 5.10 cool box dengan 6 beban

Dari gambar diatas, setelah cool box diberikan beban 1,2,3,4,5 dan 6 kaleng minuman dapat disimpulkan bahwa pemberian beban akan menaikkan temperatur ruang dan sisi dingin pada peltier, hal ini karena pemberian beban akan menambah beban kalor yang harus diserap oleh sisi dingin dari peltier. Dapat disimpulkan juga bahwa kinerja peltier hanya dapat membuat suhu ruang 6°C setelah diberikan 1 beban. Makin banyak beban membuat suhu ruang dan sisi dingin peltier bertambah. Untuk mencapai suhu optimum pada cool box dengan beban 1 memerlukan waktu 3,5 jam. Makin banyak beban waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu optimum makin lama. Sedangkan pada sisi panas dari peltier tetap stabil pada suhu sekitar 37°C baik diberikan beban maupun tidak.

Setelah peltier dimatikan temperatur ruang, sisi panas dan dingin peltier akan bergerak menuju temperatur lingkungan.