

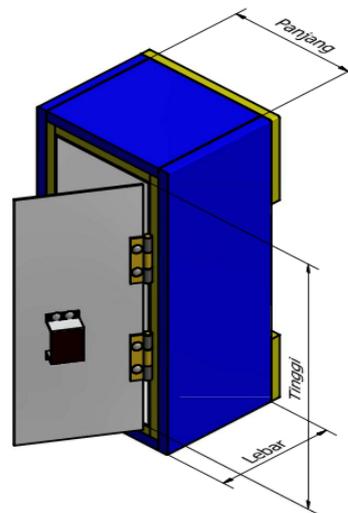
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan Desain

Perbandingan desain dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan desain rancangan dapat dilihat pada Gambar 4.1.

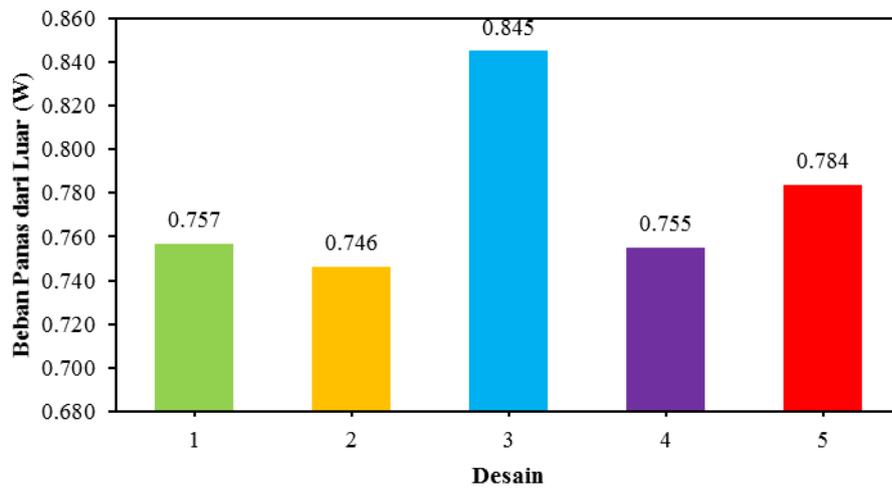
Tabel 4.1 Perbandingan desain

Desain	Q_{∞} (W)	m (kg)	P (Watt)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	0,757	1,156	25,334	0,065	0,07	0,12
2	0,746	1,143	10,927	0,055	0,057	0,14
3	0,845	1,365	34,001	0,1	0,1	0,23
4	0,755	1,163	20,95	0,06	0,065	0,15
5	0,784	1,228	13,636	0,08	0,075	0,17



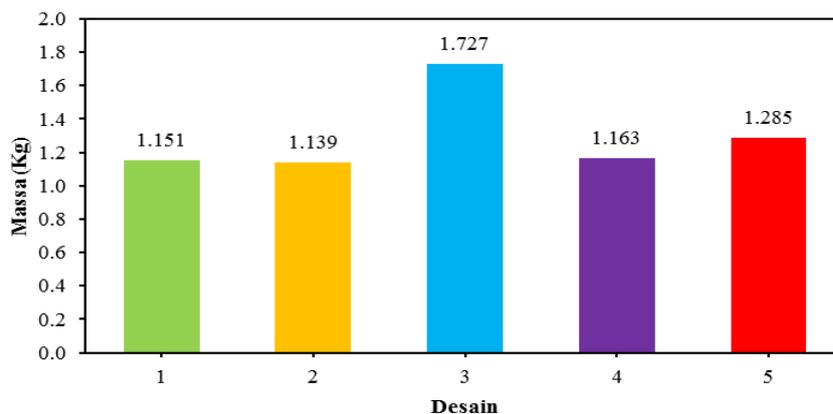
Gambar 4.1 Desain rancangan

Untuk lebih jelas dapat dilihat dari Gambar 4.2 hingga Gambar 4.4 berikut.



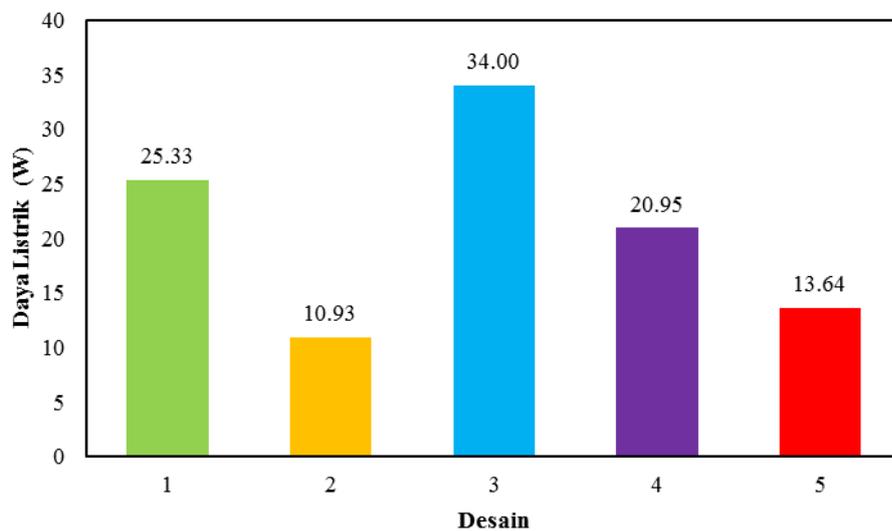
Gambar 4.2 Perbandingan beban panas dari luar

Gambar 4.2 adalah perbandingan perpindahan panas yang terjadi dari lingkungan ke dalam minuman (Q_{∞}). Untuk menghitung beban panas dari luar (Q_{∞}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8. Laju perpindahan panas yang terendah adalah desain ke-2 yaitu 0,746 W. Laju perpindahan panas yang terbesar adalah desain ke-3 yaitu 0,845 W. Dari kelima desain direkomendasikan desain ke-4 dipilih karena desain ke-4 nilai perpindahan panas terendah kedua setelah desain ke-2.



Gambar 4.3 Perbandingan massa

Gambar 4.3 adalah perbandingan massa dari ke-5 desain yang akan dipilih desain yang terbaik untuk diproduksi. Massa diperoleh dengan menjumlahkan massa dari aluminium, *polyurethane*, dan *styrofoam*. Sesuai dengan *design requirement and objective*, massa untuk pendingin minuman *portable* tidak lebih dari 2 kg. Massa terendah adalah desain ke-2 yaitu 1,139 kg, sedangkan massa tertinggi adalah pada desain ke-3 yaitu 1,727 kg. Desain ke-4 direkomendasikan untuk dipilih karena dengan massa tersebut dapat menyangga *fan* dan *heatsink* yang akan dipasang di pendingin minuman *portable*.



Gambar 4.4 Perbandingan daya yang dibutuhkan

Gambar 4.4 adalah perbandingan daya yang dibutuhkan untuk mendinginkan minuman dari ke-5 desain yang dirancang. Sumber daya yang digunakan pada alat ini adalah USB dan adaptor 12 V. Desain ke-3 diperoleh daya tertinggi yaitu sebesar 34,001 W dan terendah adalah desain ke-2 yaitu sebesar 10,927 W. Desain ke-4 daya yang dibutuhkan untuk pendingin minuman *portable* adalah terendah ke-3 sebesar 20,95 W.

Adapun perbandingan perpindahan panas transien (beban panas produk) dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Perbandingan perpindahan panas transien

Desain	Qc (W)					
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	20 Menit	25 Menit	30 Menit
1	69,747	35,252	23,754	18,005	14,555	12,255
2	42,558	21,652	14,683	11,199	9,108	7,715
3	101,194	51,02	34,295	25,932	20,915	17,57
4	53,02	26,887	18,177	13,821	11,208	9,466
5	42,551	21,668	14,706	11,226	9,138	7,745

Tabel 4.2 adalah perbandingan perpindahan panas transien dari ke-5 desain terhadap waktu pendinginan. Perpindahan panas transien merupakan jumlah kalor yang harus diserap oleh modul termoelektrik. Jumlah kalor yang harus diserap modul termoelektrik selama pengujian adalah 30 menit. Perhitungan perpindahan panas transien menggunakan persamaan 24. Desain ke-3, jumlah kalor yang harus diserap adalah yang tertinggi yaitu sebesar 17,57 W. Sedangkan, jumlah kalor terendah yang harus diserap elemen *peltier* adalah sebesar 7,715 W pada desain ke-2.

Setelah dilakukan perbandingan, diperoleh desain ke-4 yaitu untuk beban minuman kotak 250 ml yang dianggap terbaik dibandingkan desain yang lain. Karena sesuai dengan *design requirement and objective* yaitu massa yang ringan dan mampu menahan *heatsink* dan *fan*, daya listrik rendah, jumlah kalor yang harus diserap modul termoelektrik rendah dan desain ke-4 dianggap mampu mendinginkan minuman selama 30 menit.

4.2 Uji Kinerja Alat

Untuk mengetahui kinerja alat pendingin minuman *portable* ini maka dilakukan pengujian di laboratorium. Setelah alat terinstal semua, maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur termometer digital 4 *channel* tipe K . Pengukuran dilakukan dengan memasang termokopel pada setiap titik pengukuran yang akan diukur, yaitu termokopel diletakan pada ruang pendingin untuk mengetahui temperatur ruang pendingin, pada *heatsink* untuk mengetahui temperatur sisi panas elemen *peltier* setelah di *mounting* dengan

heatsink, pada dinding luar untuk mengukur perubahan temperatur dinding bagian luar dari alat pendingin minuman *portable* ini, dan pada dinding dalam untuk mengukur perubahan temperatur dinding bagian dalam. Pengujian ini dilakukan selama 30 menit. Pengujian dengan menggunakan USB dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan pengujian dengan menggunakan adaptor sebagai daya utama dapat dilihat pada Gambar 4.6.



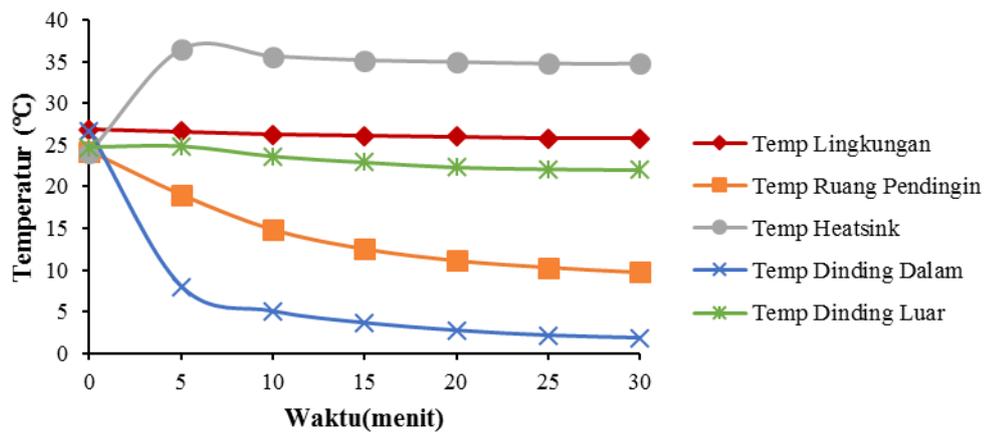
Gambar 4.5 Pengujian dengan menggunakan USB sebagai daya utama



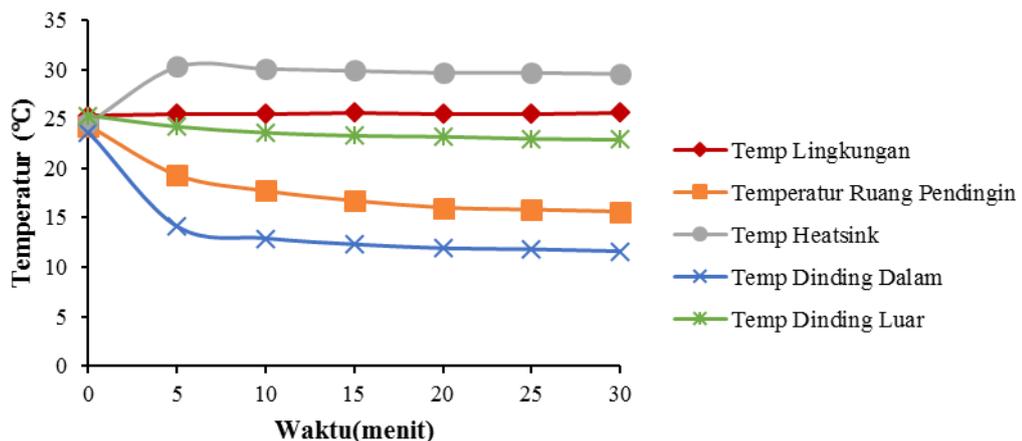
Gambar 4.6 Pengujian dengan menggunakan adaptor sebagai daya utama

4.2.1 Variasi Pengujian Tanpa Beban Pendingin

Daya yang dialirkan ke elemen *peltier* dengan menggunakan adaptor 12 V 3,75 A dan dengan menggunakan *port* USB 5 V 1 A. Pada Gambar 4.7 berikut dapat dilihat perubahan temperatur menggunakan adaptor. Sedangkan pada Gambar 4.8 adalah grafik perubahan temperatur dengan menggunakan USB.



Gambar 4.7 Perubahan temperatur tanpa beban pendingin dengan menggunakan adaptor



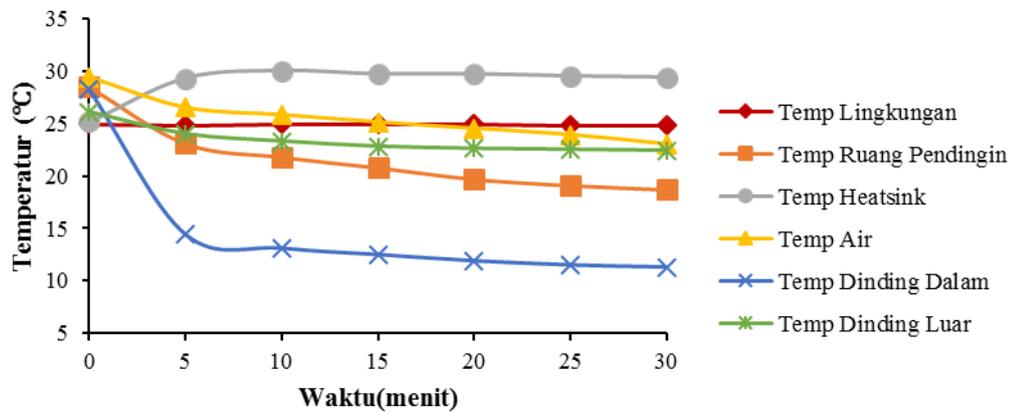
Gambar 4.8 Perubahan temperatur tanpa beban pendingin dengan menggunakan USB

Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 penurunan temperatur tanpa beban pendingin dengan menggunakan *input* daya yang berbeda. Perubahan temperatur pada ruang

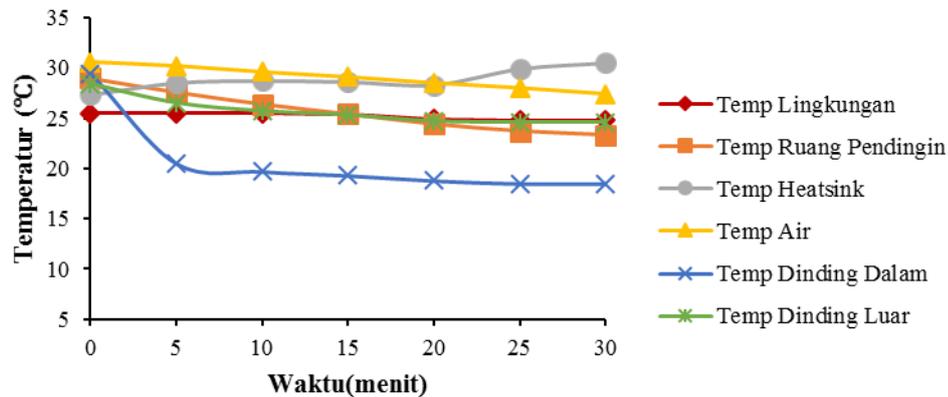
pendingin terus turun hingga ke menit 30 terutama pada menit awal, sehingga *fan* bekerja membuang panas ke lingkungan melalui *heatsink* meningkat yang mengakibatkan temperatur *heatsink* mulai naik pada menit ke-5 dan cenderung stabil pada menit ke-10 hingga menit ke-30. Pengujian pertama dilakukan tanpa menggunakan beban pendingin, dapat dilihat pada Gambar 4.7 dengan menggunakan adaptor sebagai daya utama untuk elemen *peltier*, temperatur yang dapat dicapai dalam waktu 30 menit adalah 9,7 °C. Sedangkan dengan menggunakan USB sebagai daya utama elemen *peltier* dapat dilihat pada Gambar 4.8, temperatur yang mampu dicapai dalam waktu 30 menit adalah 15,6 °C.

4.2.2 Variasi Pengujian Beban Pendingin Minuman Kaleng 250 ml

Pada pengujian dengan menggunakan beban pendingin minuman kaleng 250 ml dengan menggunakan adaptor 12 V 3,75 A dan dengan menggunakan port USB 5 V 1 A dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.9 Perubahan temperatur beban pendingin 250 ml dengan menggunakan adaptor

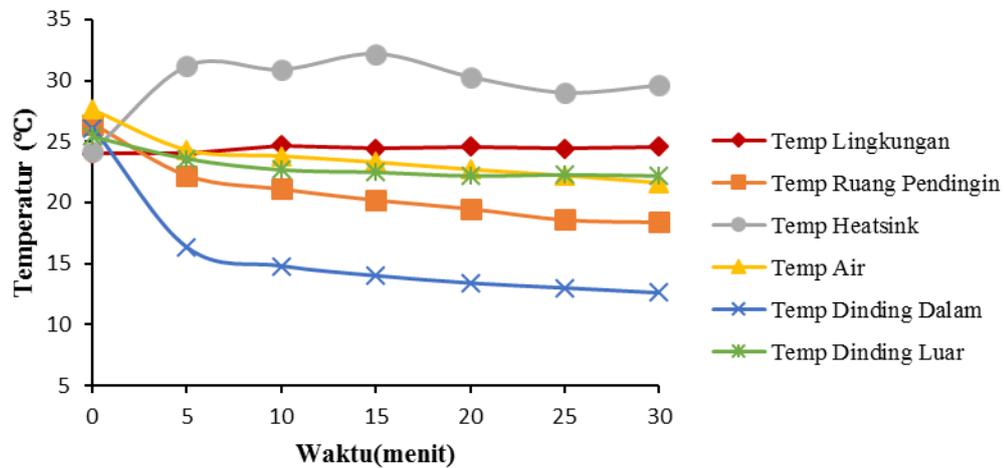


Gambar 4.10 Perubahan temperatur beban pendingin 250 ml dengan menggunakan USB

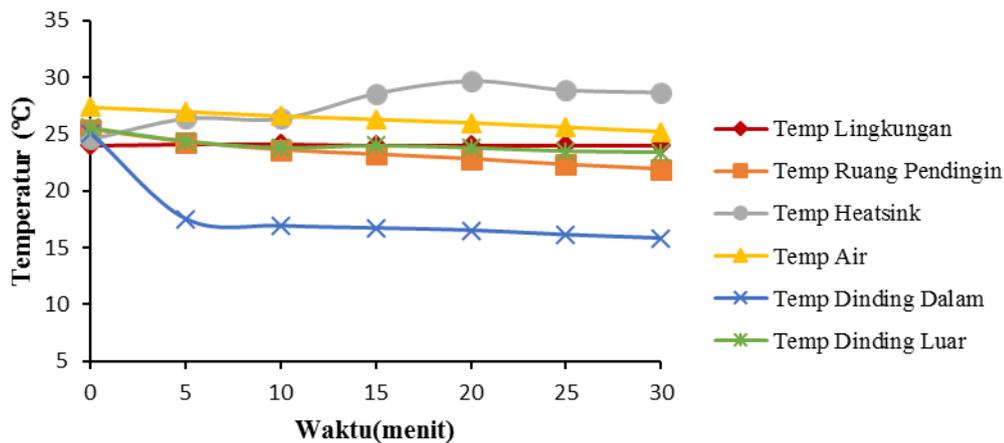
Pengujian kemampuan alat pendingin minuman *portable* dengan memberikan beban minuman kaleng 250 ml. Pengujian dilakukan selama 30 menit dengan menggunakan adaptor dan usb sebagai daya utama alat pendingin minuman *portable*. Dapat dilihat pada grafik Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, temperatur air dalam minuman kaleng cenderung turun selama 30 menit pengujian. Dengan menggunakan adaptor, temperatur air dapat mencapai 23 °C dari temperatur awal 29 °C. Sedangkan dengan menggunakan USB, temperatur air dapat mencapai 27,4 °C dari temperatur awal 30,6 °C.

4.2.3 Variasi Pengujian Beban Pendingin Susu Kotak 250 ml

Pada pengujian dengan menggunakan beban pendingin susu kotak 250 ml dengan menggunakan adaptor 12 V 3,75 A dan dengan menggunakan port USB 5 V 1 A dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.11 Perubahan temperatur beban pendingin susu kotak 250 ml dengan menggunakan adaptor

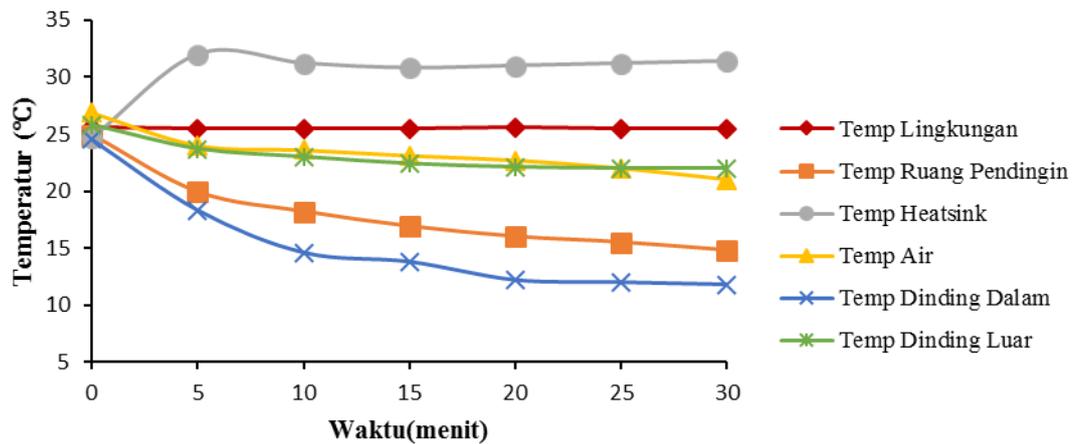


Gambar 4.12 Perubahan temperatur beban pendingin susu kotak 250 ml dengan menggunakan USB

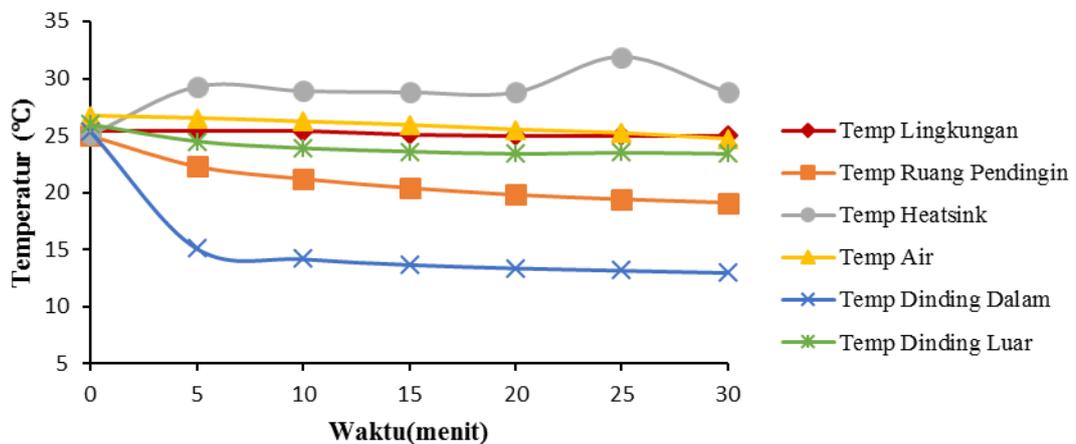
Pengujian berikutnya yaitu dengan menggunakan beban pendingin susu kotak 250 ml. Pengujian dilakukan variasi daya dengan menggunakan adaptor dan USB. Dengan menggunakan adaptor sebagai daya utama, temperatur air selama 30 menit pengujian mencapai 21,6 °C dari temperatur awal 27,6 °C. Sedangkan, dengan menggunakan USB, temperatur air selama 30 menit pengujian mencapai 24,7 °C dari temperatur awal 26,7 °C.

4.2.4 Variasi Pengujian Beban Pendingin Minuman 140 ml

Pada pengujian dengan menggunakan beban pendingin minuman 140 ml dengan menggunakan adaptor 12 V 3,75 A dan dengan menggunakan port USB 5 V 1 A dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.13 Perubahan temperatur beban pendingin minuman 140 ml dengan menggunakan adaptor



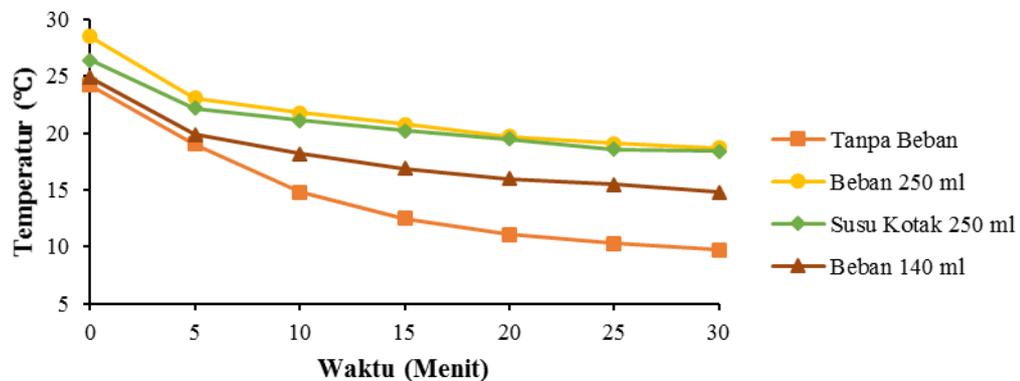
Gambar 4.14 Perubahan temperatur beban pendingin minuman 140 ml dengan menggunakan USB

Pengujian terakhir yaitu dengan menggunakan beban pendingin minuman 140 ml menggunakan daya dari adaptor dan USB. Dengan menggunakan adaptor sebagai daya utama, temperatur air minuman 140 ml mencapai 21 °C dari

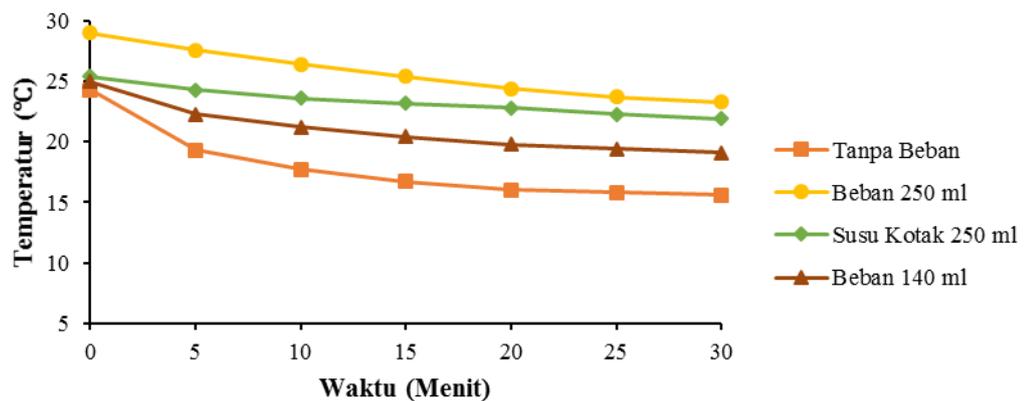
temperatur awal 26,9 °C. Sedangkan, dengan menggunakan USB temperatur air minuman 140 ml hanya mencapai 24 °C dari temperatur awal 26,7 °C.

4.2.5 Perubahan Temperatur Ruang Pendingin

Daya yang dialirkan ke modul termoelektrik dengan menggunakan adaptor 12 V 3,75 A dan dengan menggunakan *port* USB 5 V 1 A. Pada Gambar 4.15 dapat dilihat perubahan temperatur pada ruang pendingin menggunakan adaptor. Sedangkan pada Gambar 4.16 adalah grafik perubahan temperatur dengan menggunakan USB.



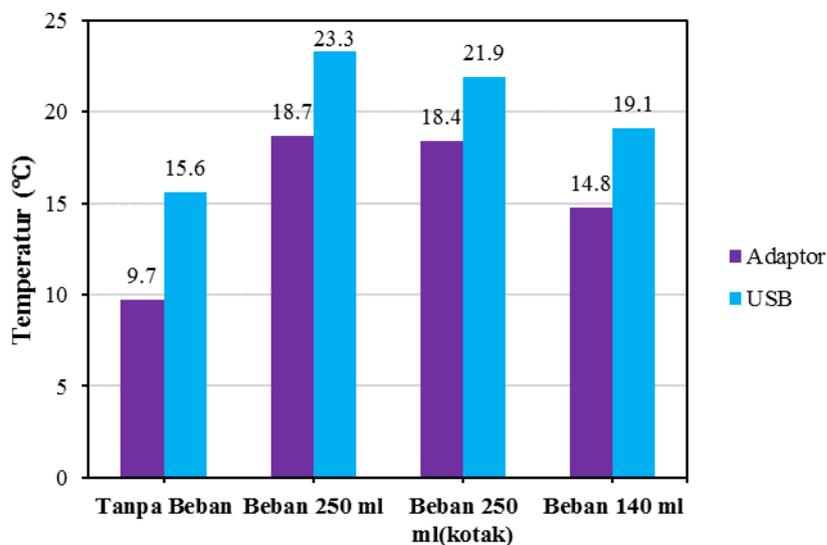
Gambar 4.15 Temperatur ruang pendingin dengan variasi beban pendingin menggunakan adaptor



Gambar 4.16 Temperatur ruang pendingin dengan variasi beban pendingin menggunakan USB

Pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 penurunan temperatur pada ruang pendingin terus menerus hingga menit ke-30. Dengan beban pendingin yang

semakin besar kinerja pendingin minuman *portable* semakin meningkat untuk mampu mendinginkan beban pendingin yang harus didinginkan hingga temperatur 30 menit. Penurunan temperatur dipengaruhi oleh temperatur lingkungan yang selalu berubah, hal ini dapat dilihat pada grafik Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 temperatur awal tidak sama untuk setiap pengujian. Dengan beban 250 ml temperatur ruang pendingin dapat mencapai 18,7 °C selama 30 menit dengan daya utama menggunakan adaptor. Sedangkan dengan menggunakan USB temperatur yang dapat dicapainya selama 30 menit dengan beban 250 ml sebesar 23,3 °C. Penggunaan USB sebagai daya utama untuk pendingin minuman *portable* cenderung lama penurunan temperatur ruang pendingin. Dapat dilihat pada Gambar 4.16 temperatur mengalami penurunan yang sangat kecil ketika menit ke-25 menuju menit ke-30. Hal ini karena daya dari USB masih kurang mampu untuk mendinginkan ruang pendingin.



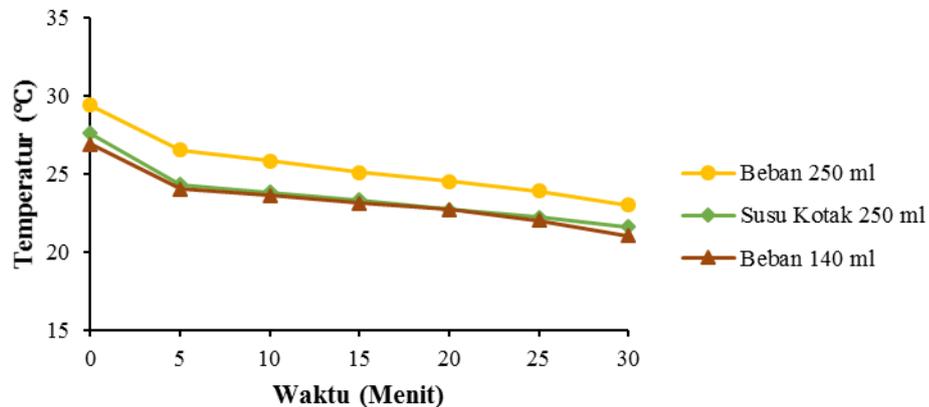
Gambar 4.17 Perubahan temperatur ruang pendingin pada menit ke-30

Pada Gambar 4.17 dapat dilihat perbandingan temperatur ruang pendingin dengan menggunakan beban pendingin dan tanpa menggunakan pendingin variasi *input* daya adaptor dan USB. Temperatur ruang pendingin yang mampu dicapai tanpa beban pendingin dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 9,7 °C dan 15,6 °C. Temperatur ruang pendingin yang mampu dicapai

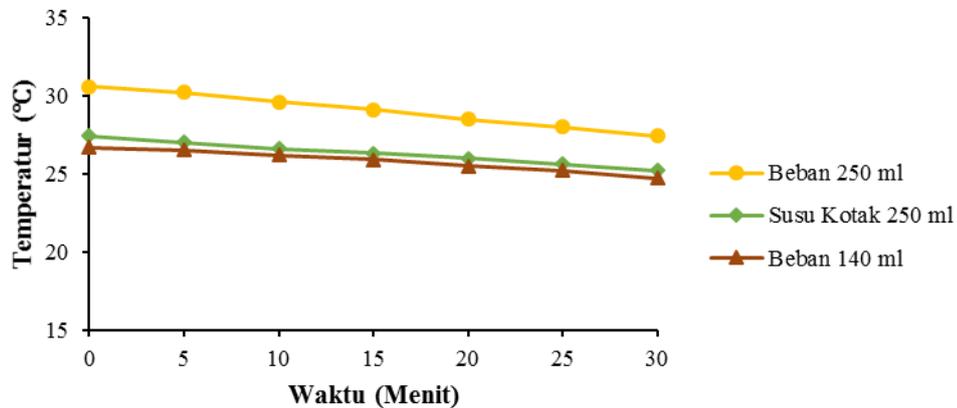
menggunakan beban pendingin minuman kaleng 250 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 18,7 °C dan 23,3 °C. Temperatur ruang pendingin yang mampu dicapai menggunakan beban pendingin minuman susu kotak 250 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 18,4 °C dan 21,9 °C. Temperatur ruang pendingin yang mampu dicapai menggunakan beban pendingin minuman 140 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 14,8 °C dan 19,1 °C.

4.2.6 Perubahan Temperatur Air pada Beban Pendingin

Temperatur air akan mengalami penurunan seiring dengan turunnya temperatur di dalam ruang pendingin. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber daya utama adaptor dan USB. Hasil pengujian dengan menggunakan adaptor dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 menggunakan USB sebagai daya utamanya.

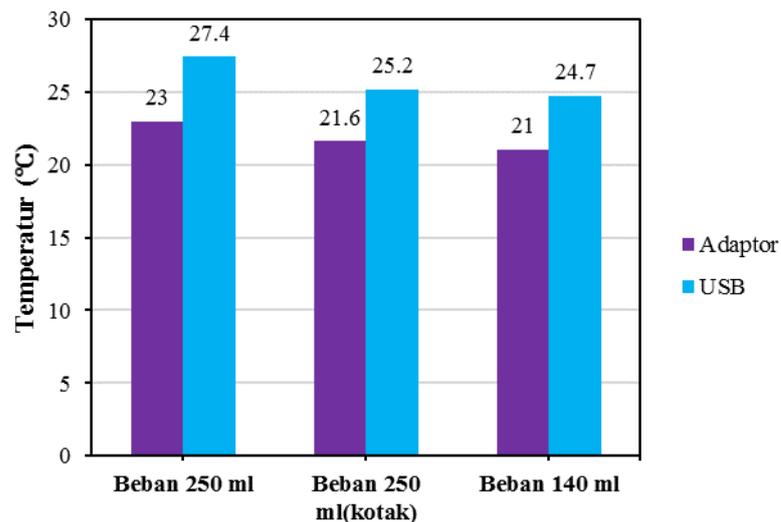


Gambar 4.18 Temperatur air beban pendingin menggunakan adaptor



Gambar 4.19 Temperatur air beban pendingin menggunakan USB

Pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa temperatur air akan turun hingga menit ke-30. Grafik pada Gambar 4.18 ketika menit awal temperatur air mengalami penurunan yang cukup besar hingga 3 °C, kemudian temperatur turun perlahan. Hal ini karena pada menit pertama modul termoelektrik sisi dingin mampu mendinginkan air minuman kemasan dengan baik dan daya yang disalurkan dari adaptor awal tidak stabil.



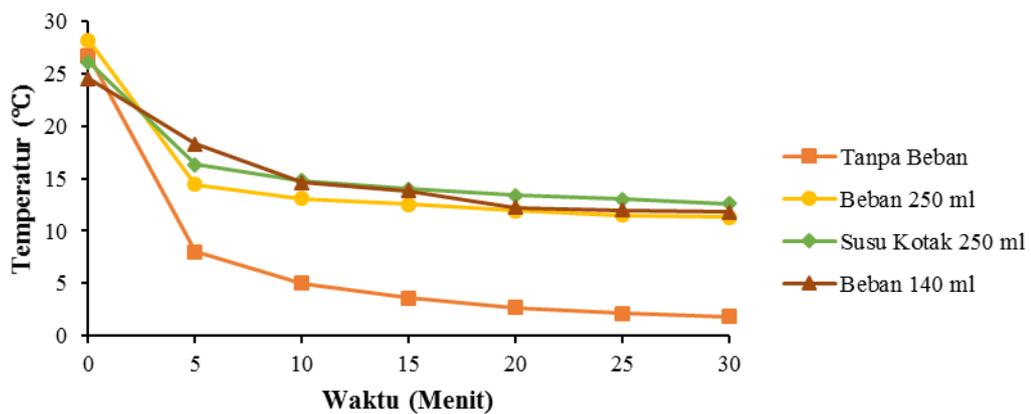
Gambar 4.20 Perubahan temperatur air minuman kemasan pada menit ke-30

Pada Gambar 4.20 dapat dilihat perbandingan temperatur air minuman kemasan variasi *input* daya adaptor dan USB. Temperatur air minuman kemasan 250 ml yang mampu dicapai dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30

menit adalah 23 °C dan 27,4 °C. Temperatur air minuman susu kotak 250 ml yang mampu dicapai dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 21,6 °C dan 25,2 °C. Temperatur air minuman 140 ml yang mampu dicapai dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 21 °C dan 24,7 °C.

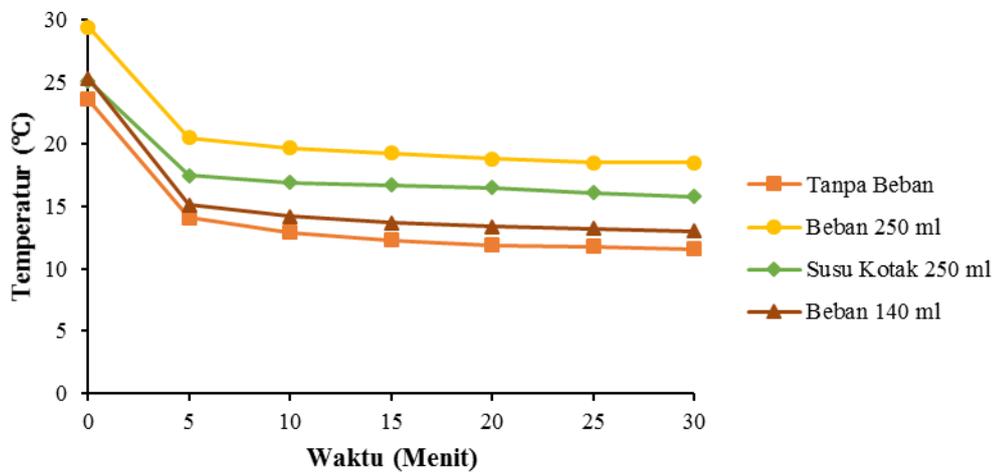
4.2.7 Perubahan Temperatur Dinding Dalam

Temperatur dinding dalam merupakan perubahan temperatur sisi dingin modul termoelektrik. Perubahan temperatur dinding dalam dengan menggunakan adaptor 12 V dan dengan menggunakan *port* USB 5 V dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 berikut.



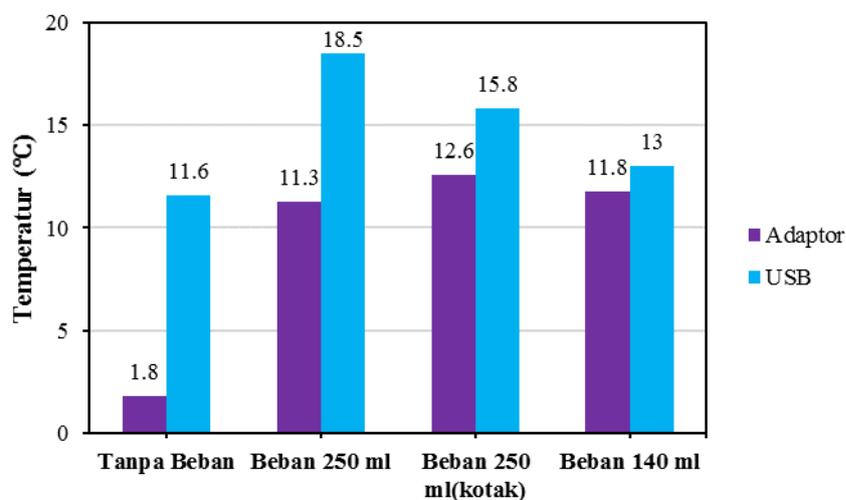
Gambar 4.21 Temperatur dinding dalam dengan variasi beban pendingin menggunakan adaptor

Temperatur dinding dalam pendingin minuman *portable* terus mengalami penurunan hingga menit 30. Pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.21 adaptor digunakan sebagai daya utama. Grafik yang ditunjukkan Gambar 4.21 temperatur dinding dalam tanpa beban pendingin mengalami penurunan hingga 1,8 °C selama 30 menit. Sedangkan dengan beban pendingin, temperatur dinding dalam terendah yang mampu dicapai pendingin minuman *portable* selama 30 menit 11,3 °C beban pendingin minuman 250 ml.



Gambar 4.22 Temperatur dinding dalam dengan variasi beban pendingin menggunakan USB

Temperatur dinding dalam yang mampu dicapai pendingin minuman *portable* menggunakan USB sebagai daya utama dapat dilihat pada Gambar 4.22. Temperatur mengalami penurunan cukup besar pada 5 menit pertama dan turun perlahan hingga menit 30. Temperatur dinding dalam tanpa beban yang mampu dicapai pendingin minuman *portable* selama 30 menit adalah 11,6 °C. Sedangkan dengan beban pendingin, temperatur dinding dalam terendah yang mampu dicapai pendingin minuman *portable* selama 30 menit 13 °C beban pendingin minuman 140 ml.

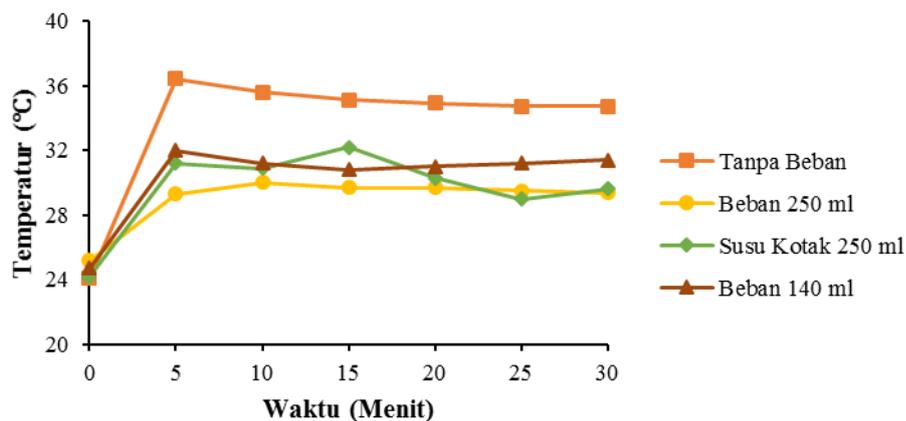


Gambar 4.23 Perubahan temperatur dinding dalam pada menit ke-30

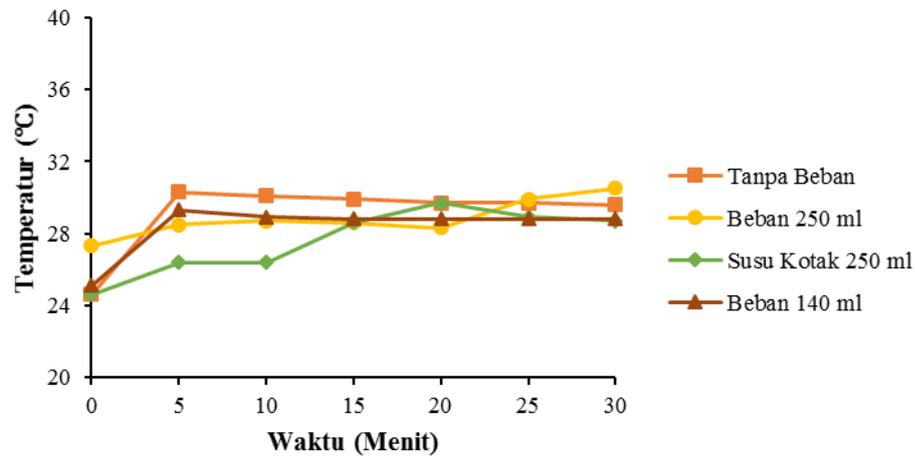
Pada Gambar 4.23 dapat dilihat perbandingan temperatur dinding dalam dengan menggunakan beban pendingin dan tanpa menggunakan pendingin variasi *input* daya adaptor dan USB. Temperatur dinding dalam yang mampu dicapai tanpa beban pendingin dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 1,8 °C dan 11,6 °C. Temperatur ruang pendingin yang mampu dicapai menggunakan beban pendingin minuman kaleng 250 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 11,3 °C dan 18,5 °C. Temperatur ruang pendingin yang mampu dicapai menggunakan beban pendingin minuman susu kotak 250 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 12,6 °C dan 15,8 °C. Temperatur ruang pendingin yang mampu dicapai menggunakan beban pendingin minuman 140 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 11,8 °C dan 13 °C.

4.2.8 Perubahan Temperatur *Heatsink*

Heatsink digunakan untuk proses pelepasan kalor pada sisi panas modul termoelektrik dibantu dengan *fan* sebagai proses konveksi paksa agar kerja *heatsink* bisa optimal. Perubahan temperatur *heatsink* dengan menggunakan adaptor 12 V dan dengan menggunakan *port* USB 5 V dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan Gambar 4.25 berikut.



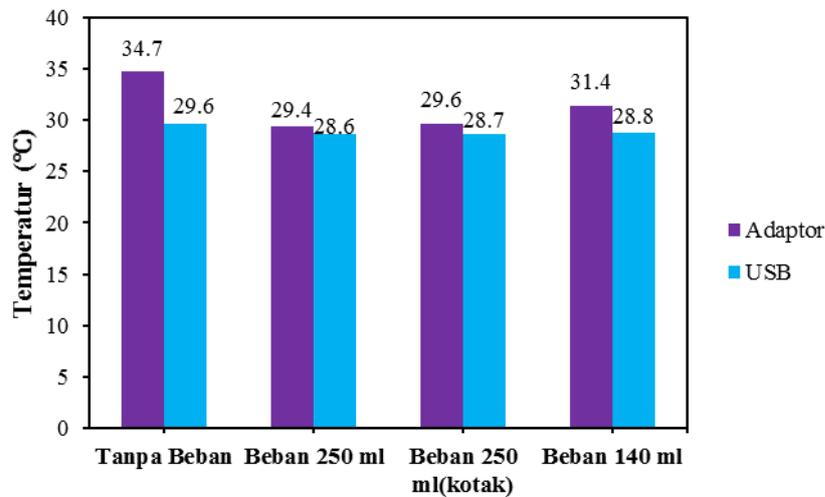
Gambar 4.24 Temperatur *heatsink* dengan variasi beban pendingin menggunakan adaptor



Gambar 4.25 Temperatur *heatsink* dengan variasi beban pendingin menggunakan USB

Pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.24 adaptor digunakan sebagai daya utama. Grafik yang ditunjukkan Gambar 4.24 temperatur *heatsink* tanpa beban pendingin lebih besar dibandingkan dengan menggunakan beban pendingin. Temperatur *heatsink* panas berpengaruh terhadap cepat dan lambatnya proses pendinginan, karena temperatur yang tinggi akan mengalami perpindahan panas ke temperatur yang rendah atau pada temperatur dinding dalam, sehingga semakin tinggi temperatur *heatsink* maka proses pendingin semakin cepat. Sedangkan, pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.25 USB sebagai daya utamanya temperatur *heatsink* dengan menggunakan beban pendingin 250 ml lebih besar dibandingkan tanpa beban pendingin. Hal ini dikarenakan pada saat pengujian dengan menggunakan beban pendingin 250 ml temperatur dinding dalam (sisi dingin modul termoelektrik) mengalami penurunan temperatur hingga 0,5 °C pada menit 20 dan juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan yang tidak stabil.

Perbandingan temperatur *heatsink* dengan variasi beban pendingin selama 30 menit pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.26 menggunakan adaptor dan USB sebagai daya utama.



Gambar 4.26 Perubahant temperatur *heatsink* pada menit ke-30

Pada Gambar 4.26 dapat dilihat perbandingan temperatur *heatsink* dengan menggunakan beban pendingin dan tanpa menggunakan pendingin variasi *input* daya adaptor dan USB. Temperatur *heatsink* tanpa beban pendingin dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 34,7 °C dan 29,6 °C. Temperatur *heatsink* beban pendingin minuman kaleng 250 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 29,4 °C 28,6 °C. Temperatur *heatsink* menggunakan beban pendingin minuman susu kotak 250 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 29,6 °C dan 28,7 °C. Temperatur *heatsink* menggunakan beban pendingin minuman 140 ml dengan menggunakan adaptor dan USB selama 30 menit adalah 31,4 °C dan 28,8 °C.

4.3 *Coefficient of Performance (COP)*

COP merupakan ukuran efisiensi dari suatu modul termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin terhadap besarnya daya listrik yang masuk (Amrullah, 2013). Besarnya COP dipengaruhi oleh besarnya nilai kalor yang diserap pada sisi dingin elemen *peltier* dan besarnya daya listrik. Nilai COP dapat diperoleh dari persamaan 17.

Diketahui dari spesifikasi elemen *peltier* TEC1-12706, $V_{max} = 16,4$ V dan $\Delta T = 75$ °C pada $T_h = 50$ °C. Sehingga dapat mencari nilai koefisien *seebeck* (S) menggunakan persamaan 15 dan nilai konduktivitas termal elemen (K_t) menggunakan persamaan 16, untuk penggunaan adaptor sebagai daya utama nilai $V = 12$ V dan nilai $I = 3,75$ A. Sedangkan, untuk USB sebagai daya utama nilai $V = 5$ V dan nilai $I = 1$ A

$$S = \frac{V_m}{T_h} = \frac{16,4V}{(50+273)K} = 0,050774 V/K$$

$$K_t = V \cdot I \cdot \frac{T_c}{2 \cdot T_h \cdot \Delta T} = 12 V \cdot 3,75 A \cdot \frac{(1,8+273)K}{2 \cdot (34,7+273)K \cdot (75+273)K} = 0,0577 W/K$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12V}{3,75A} = 3,2 \Omega$$

Setelah diperoleh nilai koefisien *seebeck* (S) dan nilai konduktivitas termal elemen (K_t) maka dapat dihitung nilai kalor pada sisi dingin modul termoelektrik (Q_c) dengan menggunakan persamaan 17 dan nilai kalor pada sisi panas modul termoelektrik (Q_h) dengan menggunakan persamaan 16. Sehingga dapat diperoleh nilai COP dari modul termoelektrik dengan menggunakan persamaan 20. Dengan menggunakan bantuan *software Ms.Excel* maka diperoleh nilai COP pada tabel 4.3.

Berikut adalah perhitungan menghitung nilai Q_c , Q_h , dan COP pada menit ke-30 menggunakan adaptor tanpa beban pendingin.

$$Q_c = S \cdot I \cdot T_c - \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R - K_t (T_h - T_c)$$

$$Q_c = 0,050774 \frac{V}{K} \cdot 3,75 A \cdot (1,8 + 273)K - \frac{1}{2} \cdot (3,75 A)^2 \cdot 3,2 \Omega - 0,0577 \frac{W}{K} ((34,7 + 273)K - (1,8 + 273)K)$$

$$Q_c = 27,923 W$$

$$Q_h = S.I.T_h + \frac{1}{2}.I^2.R - K_t(T_h - T_c)$$

$$Q_h = 0,050774 \frac{V}{K} \cdot 3,75 A \cdot (1,8 + 273)K + \frac{1}{2} \cdot (3,75 A)^2 \cdot 3,2 \Omega -$$

$$0,0577 \frac{W}{K} ((34,7 + 273)K - (1,8 + 273)K)$$

$$Q_h = 79,187 W$$

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}}$$

Sesuai dengan prinsip kerja modul termoelektrik berdasarkan efek *peltier*, kalor diserap dari sisi dingin modul termoelektrik sebesar Q_c dan kalor dilepas ke lingkungan sebesar Q_h . Selisih antara dua kalor tersebut adalah besarnya daya listrik yang dibutuhkan. (Amrullah, 2013).

$$P_{in} = Q_h - Q_c$$

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} = \frac{Q_c}{Q_h - Q_c}$$

$$COP = \frac{27,923 W}{79,187 W - 27,923 W} = 0,545$$

Tabel 4.3 COP modul termoelektrik

Waktu (Menit Ke-)	Tanpa Beban Adaptor			Tanpa Beban USB			250 ml Adaptor		
	Qc (W)	Qh (W)	COP	Qc (W)	Qh (W)	COP	Qc (W)	Qh (W)	COP
5	29,335	79,743	0,582	11,967	17,790	2,055	31,306	79,143	0,654
10	28,650	79,476	0,564	11,900	17,773	2,026	30,942	79,160	0,642
15	28,337	79,335	0,556	11,867	17,760	2,013	30,811	79,086	0,638
20	28,130	79,261	0,550	11,845	17,749	2,006	30,662	79,052	0,634
25	27,995	79,202	0,547	11,839	17,748	2,004	30,575	79,002	0,631
30	27,923	79,187	0,545	11,829	17,743	2,000	30,531	78,977	0,630

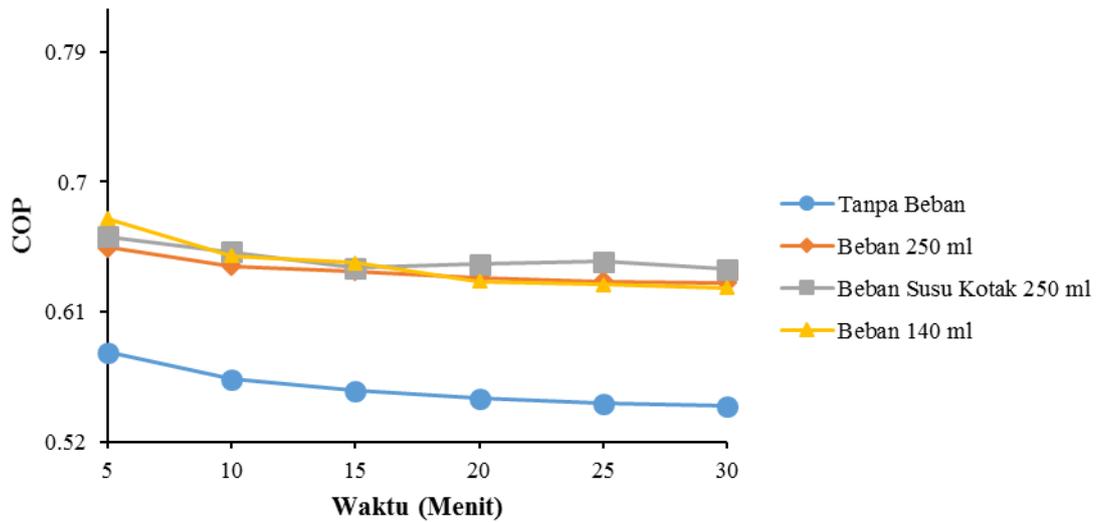
Tabel 4.4 COP Modul termoelektrik (lanjutan)

Waktu (Menit Ke-)	250 ml USB			Susu 250 ml Adaptor			Susu 250 ml USB		
	Qc (W)	Qh (W)	COP	Qc (W)	Qh (W)	COP	Qc (W)	Qh (W)	COP
5	12,346	17,752	2,284	31,667	79,504	0,662	12,188	17,640	2,236
10	12,299	17,756	2,254	31,312	79,378	0,651	12,153	17,636	2,217
15	12,276	17,749	2,243	31,039	79,504	0,640	12,127	17,731	2,164
20	12,250	17,732	2,234	30,999	79,217	0,643	12,108	17,779	2,135
25	12,222	17,801	2,191	30,975	79,022	0,645	12,091	17,741	2,140
30	12,218	17,827	2,178	30,842	79,078	0,639	12,075	17,730	2,135

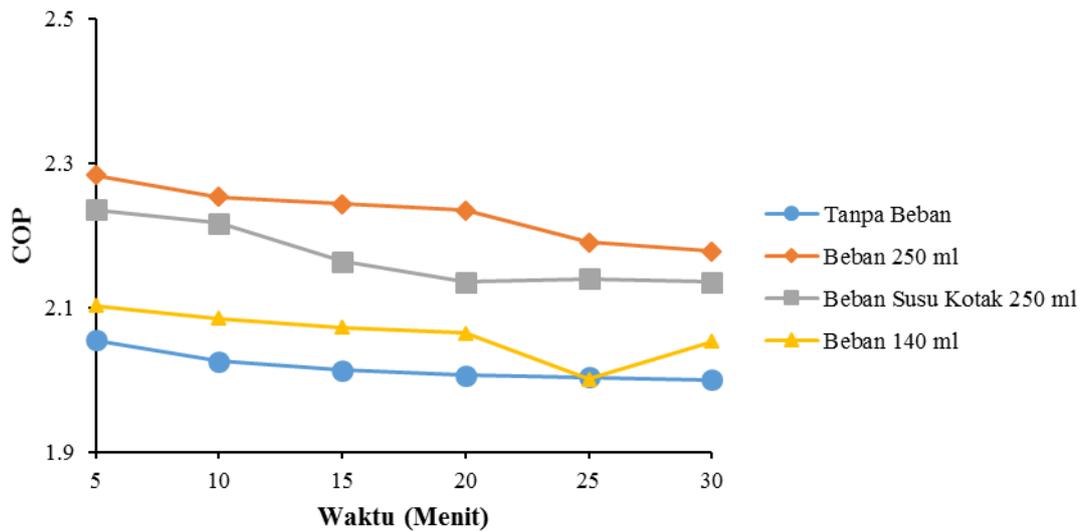
Tabel 4.5 COP Modul termoelektrik (lanjutan)

Waktu (Menit Ke-)	140 ml Adaptor			140 ml USB		
	Qc (W)	Qh (W)	COP	Qc (W)	Qh (W)	COP
5	32,118	79,727	0,675	12,031	17,752	2,103
10	31,245	79,406	0,649	11,982	17,728	2,085
15	31,070	79,307	0,644	11,954	17,721	2,073
20	30,662	79,242	0,631	11,937	17,719	2,064
25	30,602	79,257	0,629	11,905	17,855	2,001
30	30,541	79,273	0,627	11,914	17,716	2,053

Nilai COP untuk adaptor dan USB dapat dilihat pada grafik Gambar 4.27 dan Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.27 *Coefficient Of Performance* moduler termoelektrik menggunakan adaptor



Gambar 4.28 *Coefficient Of Performance* moduler termoelektrik menggunakan USB

Nilai COP adalah ukuran efisiensi dari moduler termoelektrik yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin moduler termoelektrik (Q_c) terhadap besarnya daya listrik yang masuk (P_{in}). Nilai COP tertinggi pada tegangan 12V dengan menggunakan adaptor adalah sebesar 0,675

pada 5 menit pertama dengan beban pendingin 140 ml. Sedangkan, nilai COP tertinggi pada tegangan 5 V dengan menggunakan USB adalah sebesar 2,284 dengan beban pendingin 250 ml. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan rendah memiliki nilai COP tertinggi dibandingkan tegangan tinggi sesuai dengan penelitian Amrullah,2013 yaitu tegangan 8 V nilai COP nya lebih besar dibandingkan dengan tegangan 12 V.

Kinerja modul termoelektrik juga didasarkan pada peninjauan daya listrik yang dikonsumsi dan kecepatan pendinginan. Kecepatan pendinginan yaitu kemampuan termoelektrik untuk mencapai temperatur air paling rendah selama 30 menit. Kinerja modul termoelektrik yang terbaik adalah modul termoelektrik pengujian beban pendingin minuman 140 ml dengan menggunakan adaptor karena dapat mencapai temperatur air yang paling rendah dan kecepatan pendinginan yang baik.