

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan dan Pembuatan Prototype

Tahap perancangan dan pembuatan prototype merupakan realisasi dari metode penelitian yang telah dijelaskan pada Bab III. Pada penelitian ini berhasil dibuat dua buah prototype kolektor surya tipe *parabolic dish* dengan variasi diameter parabola sebesar 120 cm dan 100 cm. Kedua prototype memiliki konfigurasi komponen yang sama, yaitu menggunakan parabola sebagai reflektor utama, kaca cermin sebagai material reflektor, *receiver* berupa panci presto, serta rangka penyangga sebagai penopang keseluruhan sistem.

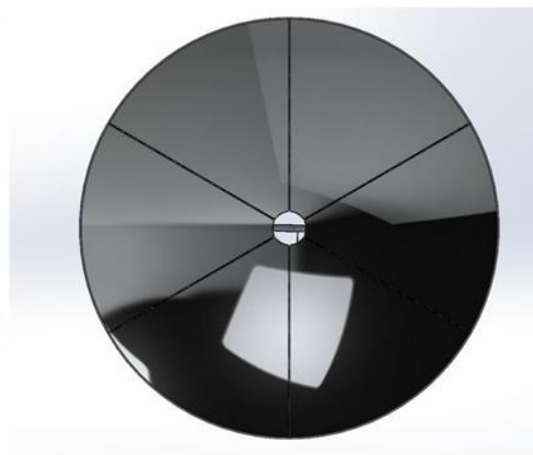
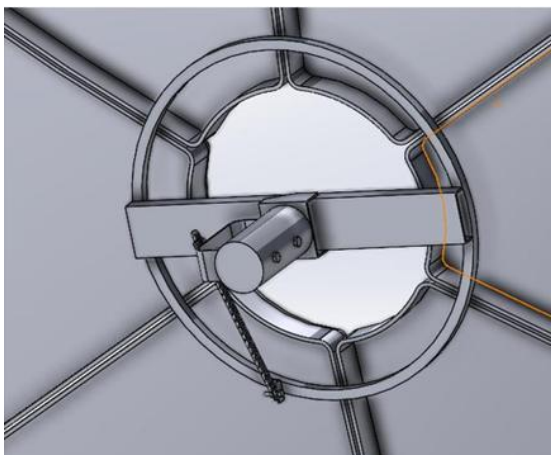
Perbedaan utama kedua prototype terletak pada ukuran diameter parabola yang digunakan. Variasi diameter tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh luas bukaan (*aperture area*) terhadap kemampuan kolektor dalam memusatkan radiasi matahari, meningkatkan temperatur *receiver*, serta memanaskan fluida kerja di dalam *receiver*. Semakin besar diameter parabola, maka semakin besar pula luas permukaan yang mampu menangkap radiasi matahari sehingga energi yang diterima *receiver* secara teoritis juga akan meningkat.

Setelah seluruh tahapan perancangan, fabrikasi, dan perakitan selesai dilakukan, kedua prototype dievaluasi untuk memastikan bahwa seluruh komponen telah terpasang dengan baik dan siap digunakan pada tahap pengujian. Hasil perancangan, fabrikasi, dan perakitan prototype dibahas lebih lanjut pada subbab berikut.

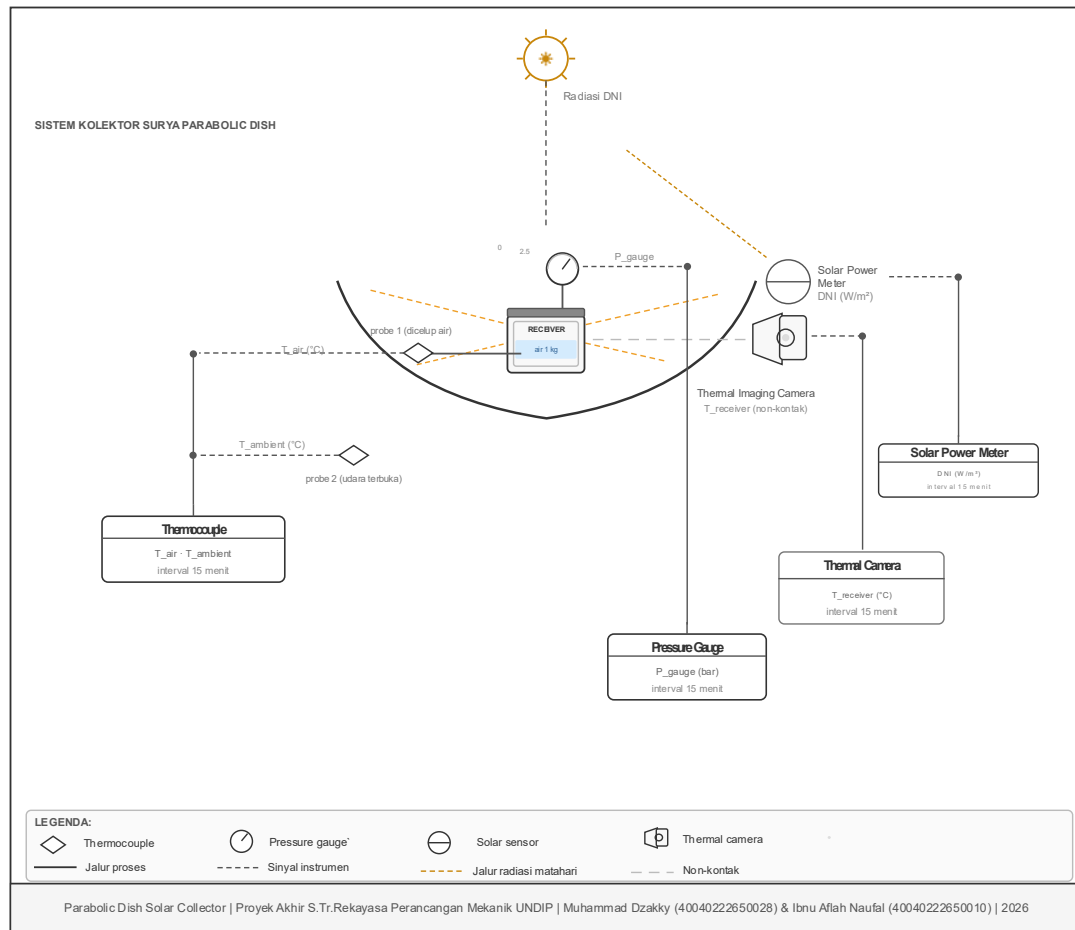
4.1.1 Hasil Perancangan Prototype

Tahap perancangan menghasilkan desain prototype yang digunakan sebagai acuan selama proses fabrikasi dan perakitan. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan posisi titik fokus parabola, dimensi *receiver*, sistem penyangga, serta kemudahan proses perakitan. Selain itu, desain juga disesuaikan dengan ukuran parabola yang digunakan sehingga konfigurasi setiap komponen tetap memiliki posisi yang sesuai terhadap titik fokus.

Pada penelitian ini dibuat dua variasi prototype dengan diameter parabola 120 cm dan 100 cm. Meskipun memiliki diameter yang berbeda, kedua prototype menggunakan konsep desain yang sama sehingga perbedaan performa yang diperoleh selama pengujian terutama dipengaruhi oleh perubahan luas aperture akibat perbedaan diameter parabola. Luas aperture yang lebih besar diperkirakan mampu mengumpulkan energi radiasi matahari dalam jumlah yang lebih besar sehingga meningkatkan energi panas yang diterima *receiver*. Hasil akhir desain prototype dapat dilihat pada Gambar 4.1, sedangkan spesifikasi utama masing-masing prototype dapat disajikan pada tabel spesifikasi apabila diperlukan.



Gambar 4.1 Desain akhir prototype kolektor surya parabolic dish



Gambar 4.2 Skema peralatan dan instrumen

4.1.2 Hasil Fabrikasi Komponen

Tahap fabrikasi menghasilkan seluruh komponen yang dibutuhkan untuk proses perakitan prototype. Komponen utama berupa parabola diperoleh dari parabola komersial yang telah diproduksi di pabrik, kemudian dilakukan penyesuaian dengan kebutuhan penelitian melalui pembuatan komponen pendukung, seperti *bracket receiver*, serta persiapan material reflektor berupa kaca cermin.

Kaca cermin dipotong menjadi beberapa segmen berukuran $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ menggunakan *glass cutter*. Pemotongan dilakukan mengikuti garis yang telah ditentukan sehingga diperoleh ukuran yang seragam dan memudahkan proses

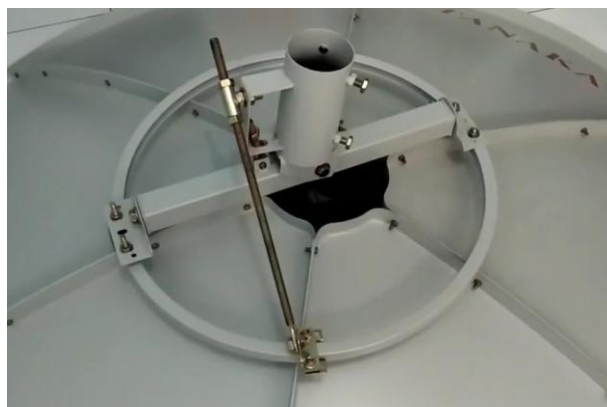
pemasangan pada permukaan parabola. Penggunaan segmen kaca berukuran kecil bertujuan agar setiap potongan dapat mengikuti kontur paraboloid dengan lebih baik sehingga mampu membentuk permukaan reflektor yang mendekati bentuk parabola ideal. Hasil pemotongan kaca reflektor dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.3 Hasil pemotongan kaca reflektor berukuran 5 cm × 5 cm

4.1.3 Hasil Perakitan Prototype

Tahap perakitan dilakukan setelah seluruh komponen selesai difabrikasi. Perakitan diawali dengan pemasangan parabola pada rangka penyangga sehingga diperoleh struktur yang kokoh dan mudah diarahkan mengikuti pergerakan matahari selama pengujian. Hasil pemasangan parabola pada rangka penyangga dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.4 Hasil perakitan parabola pada rangka penyangga

Tahap berikutnya adalah pemasangan potongan kaca reflektor pada seluruh permukaan parabola menggunakan lem silikon tahan cuaca. Potongan kaca disusun mengikuti kontur parabola hingga seluruh permukaan tertutup secara merata. Kerapatan pemasangan kaca sangat berpengaruh terhadap kemampuan parabola dalam memantulkan dan memusatkan radiasi matahari menuju titik fokus. Hasil pemasangan kaca reflektor dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.5 Hasil pemasangan kaca reflektor pada permukaan parabola

Setelah seluruh kaca reflektor terpasang, dilakukan pemasangan *receiver* berupa panci presto pada titik fokus parabola menggunakan *bracket* yang telah difabrikasi sebelumnya. Selain berfungsi sebagai penyerap energi panas (*absorber*), *receiver* juga dimodifikasi dengan pemasangan termokopel dan *pressure gauge* untuk memudahkan proses pengambilan data temperatur dan tekanan selama pengujian. Hasil pemasangan *receiver* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.6 Hasil pemasangan receiver pada titik fokus parabola

Seluruh komponen yang telah dirakit kemudian diperiksa kembali untuk memastikan posisi *receiver*, kekuatan struktur penyangga, serta kondisi kaca reflektor telah sesuai dengan rancangan. Berdasarkan hasil pemeriksaan, kedua prototype dengan variasi diameter 120 cm dan 100 cm telah memenuhi konfigurasi yang direncanakan dan siap digunakan pada tahap pra-pengujian serta pengujian performa termal yang dibahas pada subbab berikutnya.

4.1.4 Hasil Pra-Pengujian

Sebelum dilakukan pengujian performa termal, prototype kolektor surya *parabolic dish* terlebih dahulu menjalani tahap pra-pengujian untuk memastikan seluruh komponen berfungsi sesuai dengan rancangan. Pra-pengujian bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan parabola dalam memusatkan radiasi matahari pada titik fokus, memastikan posisi *receiver* telah sesuai dengan fokus parabola, serta memeriksa kestabilan struktur selama proses pengoperasian.

Pengujian titik fokus dilakukan dengan mengarahkan parabola menuju matahari pada kondisi cuaca cerah, kemudian meletakkan media kardus pada perkiraan

titik fokus parabola. Penggunaan kardus bertujuan untuk mengamati konsentrasi energi radiasi matahari yang dipantulkan oleh permukaan reflektor. Apabila titik fokus telah sesuai, energi panas yang terkonsentrasi akan menghasilkan kenaikan temperatur yang signifikan pada permukaan kardus hingga muncul perubahan warna atau bekas terbakar seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.7 Hasil pengujian titik fokus

Berdasarkan hasil pengujian pada prototipe, dapat diketahui bahwa seluruh segmen kaca reflektor telah bekerja sesuai fungsinya dalam memantulkan radiasi matahari menuju titik fokus. Perbedaan diameter parabola memengaruhi besarnya energi yang berhasil dikumpulkan, namun tidak mengubah kemampuan sistem dalam membentuk titik fokus.

4.2 Pelaksanaan Pengujian

4.2.1 Lokasi, Waktu, dan Kondisi Cuaca

Pengujian unjuk kerja kedua prototipe dilaksanakan di area terbuka bebas bayangan (*unshaded area*) di Kampus RPM Pleburan, Kota Semarang. Pengujian

prototipe diameter 120 cm dilaksanakan pada 21 Juli 2026, sedangkan prototipe diameter 100 cm dilaksanakan pada 7 Juni 2026. Kedua sesi pengujian berlangsung pada rentang waktu pukul 10.00–14.00 WIB dengan kondisi cuaca cerah berawan sebagian (*partly clear sky*). Pencatatan data dilakukan secara simultan untuk seluruh variabel pada interval waktu 15 menit, menghasilkan total 17 titik data pengukuran per prototipe.

4.2.2 Pelaksanaan Tracking dan Pencatatan Data

Selama pelaksanaan, sistem *tracking* manual satu sumbu disesuaikan setiap 15 menit bersamaan dengan waktu pencatatan data, dengan menggeser sudut kemiringan parabola agar bayangan *receiver* senantiasa jatuh tepat pada receiver. Pada pengujian $D = 120$ cm, kondisi DNI relatif stabil pada kisaran 798,6–931,9 W/m² tanpa gangguan tutupan awan yang signifikan sepanjang sesi pengujian. Pada pengujian $D = 100$ cm, intensitas radiasi juga relatif stabil di rentang 828,4–988,7 W/m² sepanjang sesi tanpa gangguan cuaca yang signifikan.



Gambar 4.8 Dokumentasi pelaksanaan pengujian di lapangan

4.2.3 Pemasangan Probe Temperatur

Probe temperatur dipasang pada dua titik pengukuran yang berbeda untuk memperoleh data suhu yang representatif selama pengujian berlangsung. Probe termokopel pertama dicelupkan langsung ke dalam air di dalam panci presto hingga mencapai bagian tengah volume fluida, sehingga nilai yang terbaca mewakili suhu rata-rata air (T_{air}) dan bukan suhu dinding atau permukaan panci. Probe kedua ditempatkan di udara terbuka pada jarak aman dari alat uji dan diberi naungan kecil agar terlindung dari radiasi matahari langsung, sehingga mampu mengukur suhu ambient ($T_{ambient}$) tanpa terpengaruh panas pantulan reflektor. Kedua probe dihubungkan ke data logger yang merekam data secara *real-time*, sehingga pembacaan suhu air dan suhu ambient dapat dilakukan secara simultan pada setiap interval pencatatan 15 menit. Posisi kedua probe dipastikan tetap (tidak bergeser) sepanjang durasi pengujian untuk menjaga konsistensi titik pengukuran antar interval waktu.



Gambar 4.9 Cara pemasangan probe temperature

4.2.4 Mengatur Titik Fokus

Pengaturan titik fokus dilakukan secara manual dengan menggeser sudut kemiringan parabola mengikuti pergerakan matahari setiap 15 menit, bersamaan dengan waktu pencatatan data. Proses ini dilakukan dengan mengamati bayangan yang terbentuk oleh *receiver* pada permukaan parabola; apabila bayangan *receiver* jatuh tepat di tengah piringan dan tegak lurus terhadap arah datang sinar matahari, posisi fokus dinyatakan optimal. Apabila bayangan bergeser dari posisi tengah akibat perubahan sudut datang matahari seiring berjalannya waktu, sudut kemiringan dan arah hadap parabola disesuaikan kembali hingga bayangan kembali berada tepat di tengah *receiver*. Penyesuaian titik fokus secara berkala ini penting untuk memastikan

seluruh energi radiasi yang dipantulkan reflektor tetap terkumpul pada receiver sepanjang durasi pengujian pukul 10.00–14.00 WIB.



Gambar 4.10 Cara mengatur titik fokus

4.2.5 Kondisi Fluida Kerja

Volume air yang digunakan sebagai fluida kerja pada kedua prototipe adalah 1 liter (setara 1 kg) dari kapasitas total panci presto sebesar 8 liter. Suhu awal air (T_0) pada prototipe D = 120 cm adalah $27,3^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada D = 100 cm adalah $35,6^{\circ}\text{C}$. Secara ideal memang seharusnya suhu awal air (T_0) sama, dan kami mencatat ini sebagai keterbatasan penelitian (*limitation*). Namun untuk menyamakan (T_0) secara eksak dibutuhkan pengujian di hari yang sama dengan dua unit sekaligus, sedangkan kami hanya memiliki satu set instrumen (parabola). Mengulang pengujian di hari yang sama tidak memungkinkan karena keterbatasan sumber daya dan cuaca. Sebelum pemanasan dimulai, panci presto diisi air kemudian ditutup rapat dengan katup pengaman (*safety valve*) dalam posisi tertutup sepenuhnya sejak awal hingga akhir pengujian, sehingga sistem berada dalam kondisi tertutup penuh selama seluruh durasi pengujian berlangsung.

4.2.6 Validasi Pengujian

Pengujian kedua prototipe dilakukan pada hari yang berbeda, yaitu $D = 120$ cm pada 21 Juli 2026 dan $D = 100$ cm pada 7 Juni 2026. Meskipun demikian, validitas perbandingan kedua dataset dapat dipertahankan apabila kondisi cuaca—yang tercermin dari intensitas radiasi matahari langsung (Direct Normal Irradiance, DNI)—pada kedua hari pengujian berada pada kisaran yang tidak berbeda secara signifikan dapat dilihat pada gambar 4.10. Konsistensi kondisi radiasi matahari antar hari merupakan syarat penting agar perbedaan performa yang terukur dapat dikaitkan secara kausal dengan perbedaan diameter parabola, bukan dengan perbedaan kondisi lingkungan.

Untuk membuktikan hal tersebut, dilakukan perbandingan langsung nilai DNI pada setiap interval waktu antara kedua sesi pengujian. Hasil perbandingan disajikan pada Tabel 4.1 berikut.

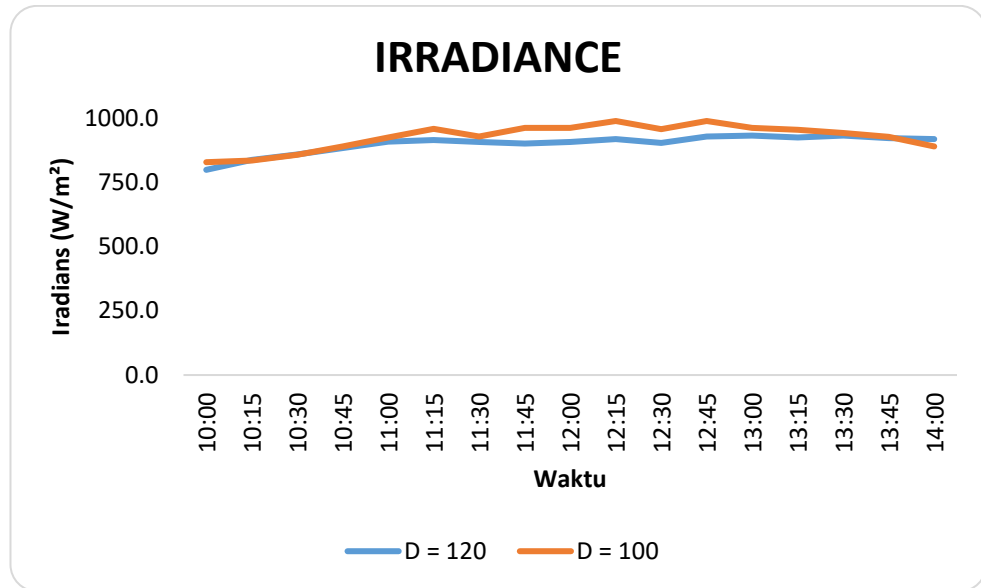
Tabel 4.1 Perbandingan Nilai DNI Pengujian $D = 120$ cm (21 Juli 2026) dan $D = 100$ cm (7 Juni 2026)

No.	Waktu (WIB)	DNI $D=120$ cm (W/m^2) 21 Juli 2026	DNI $D=100$ cm (W/m^2) 7 Juni 2026	Selisih (W/m^2)
1	10:00	798.6	828.4	29.8
2	10:15	837.5	835.2	2.3
3	10:30	858.9	856.7	2.2
4	10:45	883.0	889.2	6.2
5	11:00	908.3	924.4	16.1
6	11:15	914.5	958.0	43.5
7	11:30	907.0	928.8	21.8
8	11:45	901.2	961.9	60.7
9	12:00	907.0	961.4	54.4
10	12:15	918.3	988.7	70.4
11	12:30	903.4	956.4	53.0
12	12:45	927.9	988.7	60.8
13	13:00	931.9	962.2	30.3

No.	Waktu (WIB)	DNI D=120 cm (W/m ²) 21 Juli 2026	DNI D=100 cm (W/m ²) 7 Juni 2026	Selisih (W/m ²)
14	13:15	924.9	954.5	29.6
15	13:30	931.6	941.6	10.0
16	13:45	922.4	926.4	4.0
17	14:00	917.8	889.3	28.5
	Rata-rata	899.7	926.6	26.9

Berdasarkan Tabel 4.1, nilai DNI rata-rata pada pengujian D = 120 cm adalah 899,7 W/m², sedangkan pada pengujian D = 100 cm adalah 926,6 W/m², dengan selisih rata-rata sebesar 26,9 W/m² atau sekitar 2,7% dari nilai rata-rata DNI D = 120 cm. Selisih tersebut tergolong kecil dan berada dalam batas kewajaran variasi kondisi atmosfer hari ke hari. Secara per-interval, selisih DNI terbesar terjadi pada pukul 12.15 WIB sebesar 70,4 W/m², sedangkan selisih terkecil terjadi pada pukul 10.30 WIB (2,2 W/m²). Terdapat beberapa interval pada rentang pukul 11.45–12.45 WIB dengan selisih DNI yang melampaui 5% dari nilai rata-rata keseluruhan (913,2 W/m²), meskipun demikian selisih tersebut masih dapat dikaitkan dengan fluktuasi alami kondisi atmosfer dan tidak menggugurkan validitas perbandingan secara keseluruhan.

Dengan demikian, meskipun pengujian dilaksanakan pada dua hari yang berbeda, kesamaan kondisi iradiasi matahari yang dibuktikan melalui data DNI terukur menjamin bahwa perbandingan performa termal antara prototipe D = 120 cm dan D = 100 cm tetap valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Seluruh perbedaan performa yang dibahas pada sub-bab berikutnya dapat dikaitkan dengan perbedaan diameter parabola, bukan dengan perbedaan kondisi cuaca antar hari pengujian.



Gambar 4.11 Perbandingan Irradiance (DNI) D = 120 cm vs D = 100 cm terhadap waktu

4.3 Data Hasil Pengukuran

Data hasil pengukuran lapangan yang diperoleh sesuai prosedur pada sub-bab 3.6.2 ditampilkan pada Tabel 4.2 untuk prototipe D = 120 cm dan Tabel 4.3 untuk prototipe D = 100 cm. Tabel ini memuat variabel yang diukur secara langsung di lapangan, yaitu intensitas radiasi matahari (DNI) dari Solar Power Meter, suhu air T_{air} dari Termokopel Tipe K, suhu permukaan receiver T_{receiver} dari *Thermal Imaging Camera*, serta tekanan gauge P_{gauge} yang terbaca langsung dari *pressure gauge* Ransburg pada tutup panci presto.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Lapangan — D = 120 cm (21 Juli 2026, Pukul 10.00–14.00 WIB)

No.	Waktu (WIB)	DNI (W/m²)	T _{air} (°C)	T _{receiver} (°C)	P _{gauge} (bar)
1	10:00	798.6	27.3	112.1	0.00
2	10:15	837.5	82.0	146.7	0.00
3	10:30	858.9	100.1	165.6	0.01
4	10:45	883.0	103.0	129.3	0.12
5	11:00	908.3	102.2	149.3	0.09
6	11:15	914.5	101.7	156.6	0.07

No.	Waktu (WIB)	DNI (W/m ²)	T _{air} (°C)	T _{receiver} (°C)	P _{gauge} (bar)
7	11:30	907.0	103.6	149.4	0.14
8	11:45	901.2	103.1	153.4	0.12
9	12:00	907.0	103.4	159.6	0.13
10	12:15	918.3	102.8	173.4	0.11
11	12:30	903.4	103.2	158.4	0.13
12	12:45	927.9	100.9	186.8	0.04
13	13:00	931.9	101.5	179.6	0.06
14	13:15	924.9	103.2	182.6	0.13
15	13:30	931.6	107.7	184.3	0.31
16	13:45	922.4	105.6	183.5	0.22
17	14:00	917.8	104.0	180.8	0.16

Sumber: Data pengukuran lapangan (Penulis, 2026)

Pada Tabel 4.2, intensitas radiasi matahari (DNI) selama pengujian $D = 120$ cm relatif stabil pada kisaran 798,6–931,9 W/m² tanpa gangguan tutupan awan yang signifikan. Suhu air T_{air} melampaui titik didih lokal (100°C) pada pukul 10.30 WIB (100,1°C), bertepatan dengan tekanan gauge yang mulai terbaca meskipun masih sangat kecil (0,0093 bar). Tekanan gauge kemudian meningkat konsisten dan bernilai positif secara jelas mulai pukul 10.45 WIB, sejalan dengan suhu air yang bertahan di atas 100°C hingga akhir pengujian pukul 14.00 WIB.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Lapangan — $D = 100$ cm (7 Juni 2026, Pukul 10.00–14.00 WIB)

No.	Waktu (WIB)	DNI (W/m ²)	T _{air} (°C)	T _{receiver} (°C)	P _{gauge} (bar)
1	10:00	828.4	35.6	70.4	0.00
2	10:15	835.2	41.5	73.2	0.00
3	10:30	856.7	57.8	76.7	0.00
4	10:45	889.2	64.7	82.8	0.00
5	11:00	924.4	78.7	84.1	0.00
6	11:15	958.0	82.9	80.8	0.00
7	11:30	928.8	95.4	92.7	0.00

No.	Waktu (WIB)	DNI (W/m ²)	T _{air} (°C)	T _{receiver} (°C)	P _{gauge} (bar)
8	11:45	961.9	102.2	98.0	0.08
9	12:00	961.4	106.0	99.2	0.24
10	12:15	988.7	101.4	112.2	0.05
11	12:30	956.4	104.9	117.7	0.19
12	12:45	988.7	101.6	146.7	0.06
13	13:00	962.2	91.3	145.2	0.00
14	13:15	954.5	86.2	144.0	0.00
15	13:30	941.6	81.6	173.8	0.00
16	13:45	926.4	81.4	115.4	0.00
17	14:00	889.3	78.2	73.7	0.00

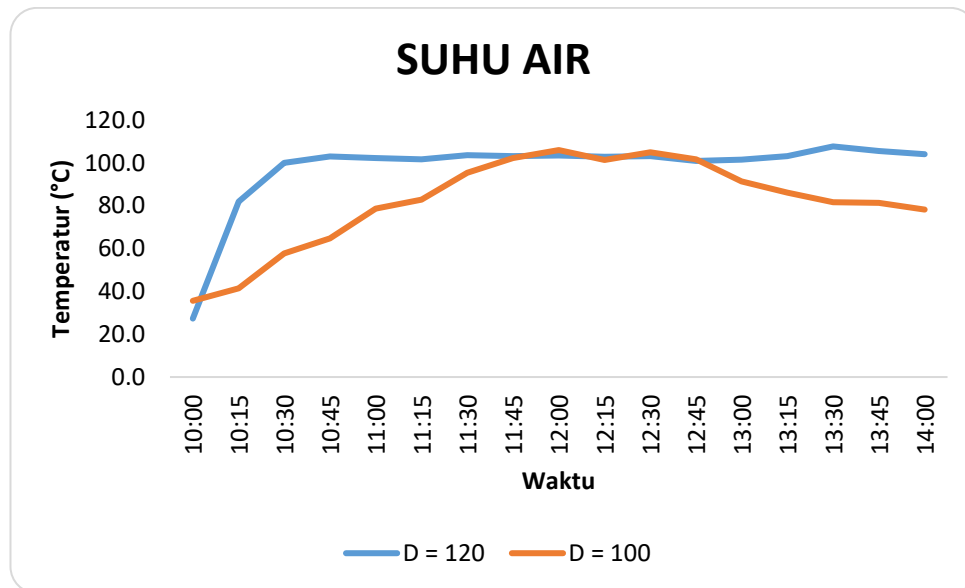
Sumber: Data pengukuran lapangan (Penulis, 2026)

Pada Tabel 4.3, data prototipe D = 100 cm menunjukkan karakteristik pemanasan yang lebih bertahap dibandingkan D = 120 cm. Suhu air baru melampaui 100°C pada pukul 11.45 WIB ($T_{\text{air}} = 102,2^{\circ}\text{C}$), yakni satu interval lebih lambat dibandingkan prototipe D = 120 cm yang melampaui 100°C pada pukul 10.30 WIB. Hal ini konsisten dengan luas aperture D = 100 cm (0,785 m²) yang lebih kecil dibandingkan D = 120 cm (1,131 m²), sehingga energi yang dikumpulkan per satuan waktu lebih rendah. Tidak terdapat gangguan cuaca signifikan pada pengujian D = 100 cm, sehingga profil DNI relatif stabil sepanjang sesi.

4.4 Analisis Termal dan Radiasi

Sub-bab ini menyajikan analisis kuantitatif dan perbandingan langsung antara kedua prototipe berdasarkan data hasil pengukuran pada Tabel 4.2 dan 4.3. Perbandingan meliputi profil suhu air dan suhu permukaan receiver, daya berguna (Q_{useful}) dan daya solar (Q_{solar}), serta kerugian radiasi (Q_{rad}) untuk prototipe D = 120 cm dan D = 100 cm.

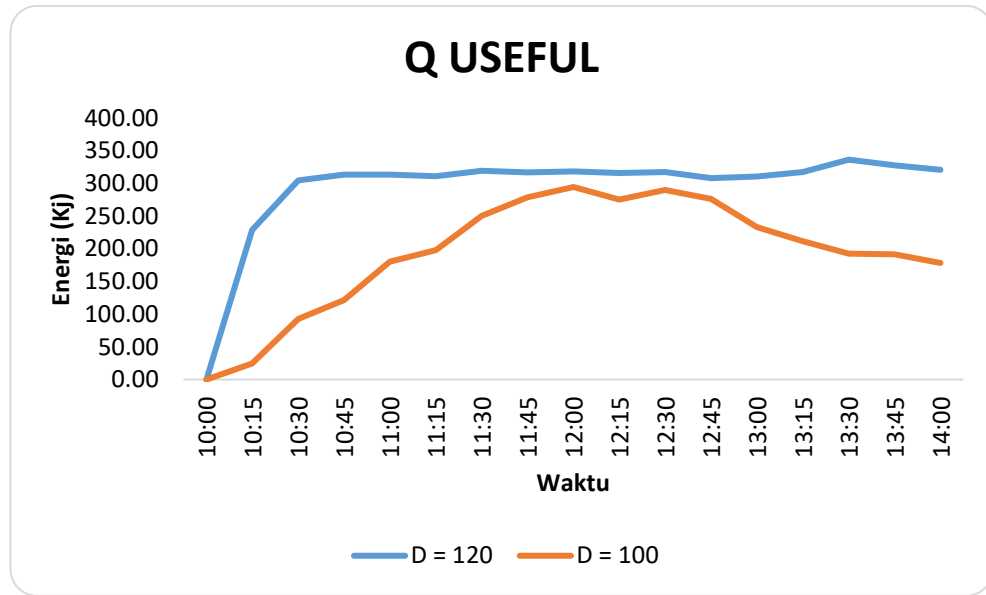
4.4.1 Perbandingan Profil Suhu Air



Gambar 4.12 Grafik perbandingan suhu air D = 120 cm vs D = 100 cm terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.11, profil suhu air kedua prototipe menunjukkan tren kenaikan yang konsisten dari awal hingga akhir pengujian. Prototipe D = 120 cm mencapai suhu di atas 100°C lebih awal, yaitu pada pukul 10.30 WIB (100,1°C), sedangkan D = 100 cm baru melampaui 100°C pada pukul 11.45 WIB (102,2°C). Suhu air maksimum D = 120 cm adalah 107,7°C (pukul 13.30 WIB) dan D = 100 cm adalah 106,0°C (pukul 12.00 WIB). Perbedaan laju pemanasan ini konsisten dengan perbedaan luas aperture (1,131 m² vs 0,785 m²), di mana D = 120 cm mampu menangkap lebih banyak energi surya per satuan waktu sehingga fluida kerja mencapai suhu yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat.

4.4.2 Perbandingan Daya Berguna



Gambar 4.13 Grafik perbandingan q useful D = 120 cm vs D = 100 cm terhadap waktu

Nilai Q_{useful} , Q_{solar} , dan kerugian radiasi Q_{rad} pada setiap interval waktu pengujian untuk D = 120 cm dan D = 100 cm disajikan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Q_{useful} , Q_{solar} , dan Q_{rad} per Interval — D = 120 cm

No.	Waktu (WIB)	Q_{useful} (kJ)	Q_{solar} (kJ)	Q_{rad} (W)
1	10:00	0.00	812.89	61.44
2	10:15	228.86	852.49	103.98
3	10:30	304.60	874.27	132.35
4	10:45	313.38	898.81	80.73
5	11:00	313.38	924.56	109.76
6	11:15	311.29	930.87	120.21
7	11:30	319.24	923.24	108.20
8	11:45	317.15	917.33	115.27
9	12:00	318.40	923.24	126.70
10	12:15	315.89	934.74	148.56
11	12:30	317.57	919.57	123.53
12	12:45	307.94	944.51	174.53
13	13:00	310.45	948.58	161.98

14	13:15	317.57	941.46	167.10
15	13:30	336.39	948.28	169.34
16	13:45	327.61	938.91	166.36
17	14:00	320.91	934.23	161.66
—	Total	4980.63	15567.98	—

Sumber: Data pengolahan (Penulis, 2026)

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Q_{useful} , Q_{solar} , dan Q_{rad} per Interval — $D = 100$ cm

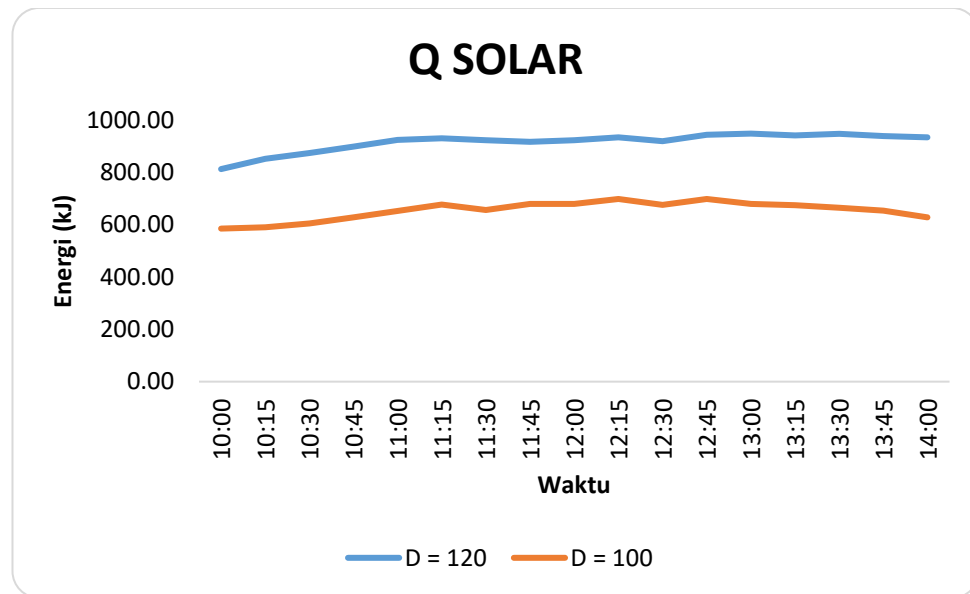
No.	Waktu (WIB)	Q_{useful} (kJ)	Q_{solar} (kJ)	Q_{rad} (W)
1	10:00	0.00	585.26	26.13
2	10:15	24.69	590.07	27.33
3	10:30	92.88	605.26	29.35
4	10:45	121.75	628.22	33.69
5	11:00	180.33	653.09	34.39
6	11:15	197.90	676.83	30.27
7	11:30	250.20	656.20	42.32
8	11:45	278.65	679.58	48.51
9	12:00	294.55	679.23	45.94
10	12:15	275.31	698.52	62.10
11	12:30	289.95	675.70	65.96
12	12:45	276.14	698.52	105.70
13	13:00	233.05	679.79	102.48
14	13:15	211.71	674.35	100.86
15	13:30	192.46	665.24	150.33
16	13:45	191.63	654.50	63.43
17	14:00	178.24	628.29	25.33
—	Total	3289.44	11128.65	—

Sumber: Data pengolahan (Penulis, 2026)

Berdasarkan Gambar 4.12 dan Tabel 4.3, Q_{useful} $D = 120$ cm meningkat tajam dari 0 kJ pada pukul 10.00 WIB menjadi 228,86 kJ pada pukul 10.15 WIB, kemudian stabil di kisaran 307–336 kJ per interval hingga akhir pengujian. Q_{solar} berfluktuasi mengikuti pola DNI, dengan nilai tertinggi 948,58 kJ pada pukul 13.00 WIB. Secara keseluruhan, total Q_{useful} $D = 120$ cm mencapai 4.980,63 kJ dari total

Q_{solar} 15.567,98 kJ. Untuk $D = 100$ cm (Tabel 4.4), Q_{useful} meningkat secara bertahap dari 0 kJ (10.00 WIB) hingga puncak 294,55 kJ pada pukul 12.00 WIB, kemudian menurun seiring turunnya DNI dan suhu di sore hari. Total Q_{useful} $D = 100$ cm adalah 3.289,44 kJ dari total Q_{solar} 11.128,65 KJ.

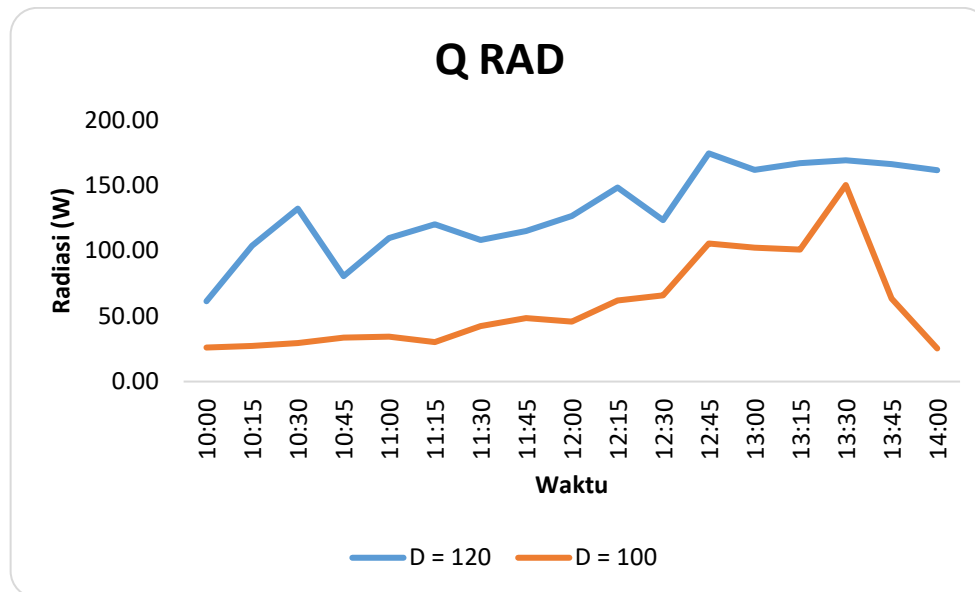
4.4.3 Perbandingan Daya Solar



Gambar 4.14 Grafik perbandingan Q_{solar} $D = 120$ cm vs $D = 100$ cm terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.13, Q_{solar} $D = 120$ cm konsisten lebih tinggi dari $D = 100$ cm pada seluruh interval waktu, karena luas aperture yang lebih besar ($1,131 \text{ m}^2$ vs $0,785 \text{ m}^2$) memungkinkan penangkapan energi surya yang lebih besar per satuan waktu. Pola Q_{solar} pada kedua prototipe mengikuti tren DNI harian, dengan nilai tertinggi di sekitar pukul 12.00–13.00 WIB dan sedikit penurunan menjelang pukul 14.00 WIB seiring menurunnya sudut elevasi matahari.

4.4.4 Perbandingan Kerugian Radiasi (Q_{rad})



Gambar 4.15 Grafik perbandingan Qrad D = 120 cm vs D = 100 cm terhadap waktu

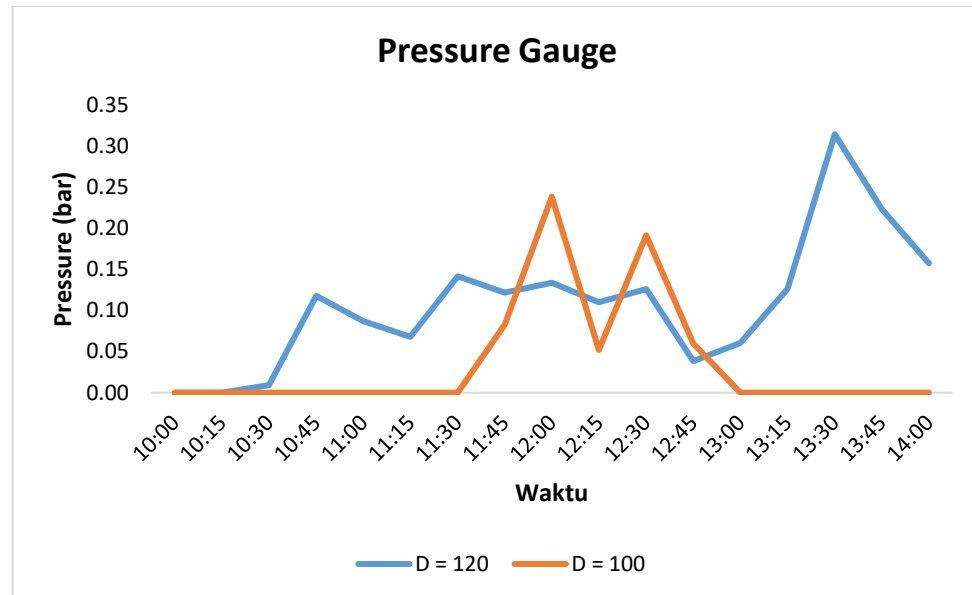
Berdasarkan Gambar 4.14 dan data pada Tabel 4.3–4.4, kerugian radiasi Q_{rad} D = 120 cm secara konsisten lebih tinggi dibandingkan D = 100 cm karena suhu permukaan receiver D = 120 cm yang lebih tinggi meningkatkan emisi radiasi termal. Q_{rad} D = 120 cm mencapai puncak 174,53 W pada pukul 12.45 WIB, ketika suhu receiver mencapai 186,8°C — suhu tertinggi sepanjang pengujian. Q_{rad} D = 100 cm menunjukkan lonjakan signifikan pada pukul 12.45 WIB (105,70 W) dan rentang 13.00–13.30 WIB (102–150 W) bersamaan dengan peningkatan suhu receiver. Rata-rata Q_{rad} D = 120 cm adalah 131,28 W, jauh lebih tinggi dari D = 100 cm (58,48 W), mengindikasikan bahwa peningkatan suhu operasi pada prototipe berdiameter lebih besar disertai kerugian termal radiasi yang lebih besar pula.

4.5 Analisis Tekanan dan Entalpi

Sub-bab ini menyajikan analisis tekanan internal panci presto yang terukur langsung melalui *pressure gauge* Ransburg selama pengujian, beserta perhitungan entalpi saturasi pada tekanan tersebut menggunakan Tabel A-5 *Saturated Water*—

Pressure Table (Cengel, 2015) untuk kedua variasi diameter.

4.5.1 Profil Tekanan Gauge



Gambar 4.15 Grafik perbandingan tekanan gauge D = 120 cm vs D = 100 cm terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.15, tekanan gauge D = 120 cm mulai terdeteksi pada pukul 10.30 WIB (0,0093 bar) bersamaan dengan suhu air yang pertama kali melampaui 100°C (100,1°C). Tekanan kemudian meningkat bertahap dan mencapai nilai maksimum 0,31 bar pada pukul 13.30 WIB yang bersamaan dengan suhu air tertinggi (107,7°C). Selama rentang pukul 10.45–14.00 WIB, tekanan gauge D = 120 cm secara umum berfluktuasi positif, menandakan bahwa panci berhasil membangun dan mempertahankan tekanan internal di atas atmosfer sepanjang sesi pengujian.

Untuk prototipe D = 100 cm, tekanan gauge mulai terdeteksi lebih lambat, yaitu pada pukul 11.45 WIB (0,0827 bar), seiring pencapaian suhu air $\geq 100^{\circ}\text{C}$ pada interval yang sama. Tekanan kemudian naik ke puncak 0,2385 bar pada pukul 12.00 WIB, lalu menurun kembali hingga nol mulai pukul 13.00 WIB. Tekanan yang bernilai nol pada pukul 13.00–14.00 WIB mengindikasikan bahwa fluida tidak lagi berada dalam

kondisi superheated dan suhu air kembali turun ke bawah titik didih normal, sebagaimana terlihat dari data suhu air yang menurun dari 106,0°C (12.00 WIB) menjadi 78,2°C (14.00 WIB).

Perbedaan perilaku tekanan antara kedua prototipe mencerminkan perbedaan kemampuan energetik masing-masing sistem. D = 120 cm, dengan luas aperture lebih besar (1,131 m²), mampu memasok kalor yang cukup untuk mempertahankan tekanan di atas atmosfer secara konsisten selama 3,5 jam, sementara D = 100 cm hanya mampu melakukannya selama sekitar 1 jam (11.45–12.45 WIB). Durasi bertekanan yang lebih panjang pada D = 120 cm berdampak langsung pada nilai Q_{useful} dan efisiensi termal keseluruhan yang lebih tinggi.

Secara termodinamika, tekanan internal yang lebih tinggi meningkatkan titik saturasi air sehingga fluida dapat menerima kalor lebih lanjut tanpa berpindah fase. Kondisi ini secara langsung memperbesar perbedaan entalpi antara keadaan akhir dan awal fluida, yang merupakan komponen utama dalam perhitungan Q_{useful}

4.5.3 Entalpi Saturasi dari Tabel Saturated Water — D = 120 cm

Tekanan gauge pada setiap titik waktu dikonversi menjadi tekanan absolut menggunakan Persamaan (2.5), kemudian digunakan untuk menginterpolasi suhu saturasi T_{sat} , entalpi cairan jenuh h_f , entalpi penguapan h_{fg} , dan entalpi uap jenuh h_g dari Tabel A-5 *Saturated Water Pressure Table* (Cengel, 2015). Hasil interpolasi untuk D = 120 cm ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.6 Tekanan Absolut dan Nilai Entalpi — D = 120 cm

No.	Waktu	P_{abs} (kPa)	T_{sat} (°C)	h_f (kJ/kg)	h_{fg} (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)
1	10:00	101.33	99.97	419.031	2256.519	2675.34
2	10:15	101.33	99.97	419.031	2256.519	2675.589
3	10:30	102.26	100.19	419.48	2256.73	2676.25
4	10:45	113.12	102.96	431.73	2249.02	2680.72

No.	Waktu	P_{abs} (kPa)	T_{sat} (°C)	hf (kJ/kg)	hfg (kJ/kg)	hg (kJ/kg)
5	11:00	110.03	102.17	428.35	2251.15	2679.49
6	11:15	108.14	101.70	426.24	2252.48	2678.72
7	11:30	115.48	103.56	434.26	2247.42	2681.64
8	11:45	113.50	103.06	432.15	2248.75	2680.87
9	12:00	114.69	103.36	433.41	2247.96	2681.34
10	12:15	112.34	102.76	430.88	2249.55	2680.41
11	12:30	113.91	103.16	432.57	2248.49	2681.03
12	12:45	105.16	100.90	422.86	2254.61	2677.49
13	13:00	107.39	101.51	425.39	2253.01	2678.41
14	13:15	113.91	103.16	432.57	2248.49	2681.03
15	13:30	132.77	107.64	451.59	2236.41	2687.96
16	13:45	123.67	105.65	442.71	2242.08	2684.72
17	14:00	117.09	103.97	435.95	2246.36	2682.26

Sumber: Hasil interpolasi Tabel A-5 Saturated Water–Pressure Table, Cengel (2015)

Nilai suhu saturasi hasil interpolasi pada Tabel 4.5 menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan suhu air T_{air} yang terukur langsung melalui termokopel. Sebagai contoh, pada pukul 12.00 WIB suhu saturasi hasil interpolasi adalah 103,36°C, sangat dekat dengan suhu air terukur sebesar 103,4°C (selisih hanya 0,04°C). Kesesuaian ini memperkuat validitas data hasil pengujian secara keseluruhan dan mengonfirmasi bahwa kondisi operasi berada dalam regime uap jenuh.

4.5.4 Entalpi Saturasi dari Tabel Saturated Water — D = 100 cm

Hasil interpolasi entalpi saturasi untuk D = 100 cm ditampilkan pada Tabel 4.6. Karena tekanan positif hanya terjadi pada interval 11.45–12.45 WIB (5 titik data), sebagian besar data terinterpolasi pada kondisi tekanan atmosfer ($P_{abs} = 101,30$ kPa, $T_{sat} = 99,96^\circ\text{C}$).

Tabel 4.7 Tekanan Absolut dan Nilai Entalpi — D = 100 cm

No.	Waktu	P_{abs} (kPa)	T_{sat} (°C)	hf (kJ/kg)	hfg (kJ/kg)	hg (kJ/kg)
1	10:00	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
2	10:15	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
3	10:30	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59

No.	Waktu	P_{abs} (kPa)	T_{sat} (°C)	hf (kJ/kg)	hfg (kJ/kg)	hg (kJ/kg)
4	10:45	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
5	11:00	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
6	11:15	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
7	11:30	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
8	11:45	109.30	101.99	427.58	2251.14	2678.73
9	12:00	125.15	106.04	444.63	2240.43	2685.00
10	12:15	106.52	101.23	424.38	2253.16	2677.55
11	12:30	120.46	104.78	439.34	2243.76	2683.05
12	12:45	107.26	101.48	425.44	2252.49	2677.95
13	13:00	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
14	13:15	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
15	13:30	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
16	13:45	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59
17	14:00	101.30	99.96	419.03	2256.56	2675.59

Sumber: Hasil interpolasi Tabel A-5 Saturated Water–Pressure Table, Cengel (2015)

Pada pukul 12.00 WIB, suhu saturasi hasil interpolasi $D = 100$ cm adalah $106,04^{\circ}\text{C}$, dengan selisih hanya $0,04^{\circ}\text{C}$ terhadap T_{air} terukur ($106,0^{\circ}\text{C}$). Validasi serupa dengan $D = 120$ cm ini mengonfirmasi konsistensi termodinamika pengukuran pada kedua prototipe. Nilai h_{fg} pada tekanan puncak $D = 100$ cm (2.240,43 kJ/kg) sedikit lebih tinggi dibandingkan $D = 120$ cm (2.230,03 kJ/kg), konsisten dengan tekanan operasi yang lebih rendah pada $D = 100$ cm.

4.5.5 Indikasi Energi Laten Penguapan

Nilai entalpi penguapan h_{fg} pada kedua tabel menunjukkan tren menurun seiring meningkatnya tekanan dalam panci. Pada $D = 120$ cm, h_{fg} menurun dari 2.256,73 kJ/kg pada kondisi mendekati tekanan atmosfer (pukul 10.30 WIB) menjadi 2.236,41 kJ/kg pada tekanan puncak 0,31 bar gauge (pukul 13.30 WIB). Pada $D = 100$ cm, penurunan lebih terbatas dari 2.256,60 kJ/kg menjadi 2.240,43 kJ/kg pada tekanan

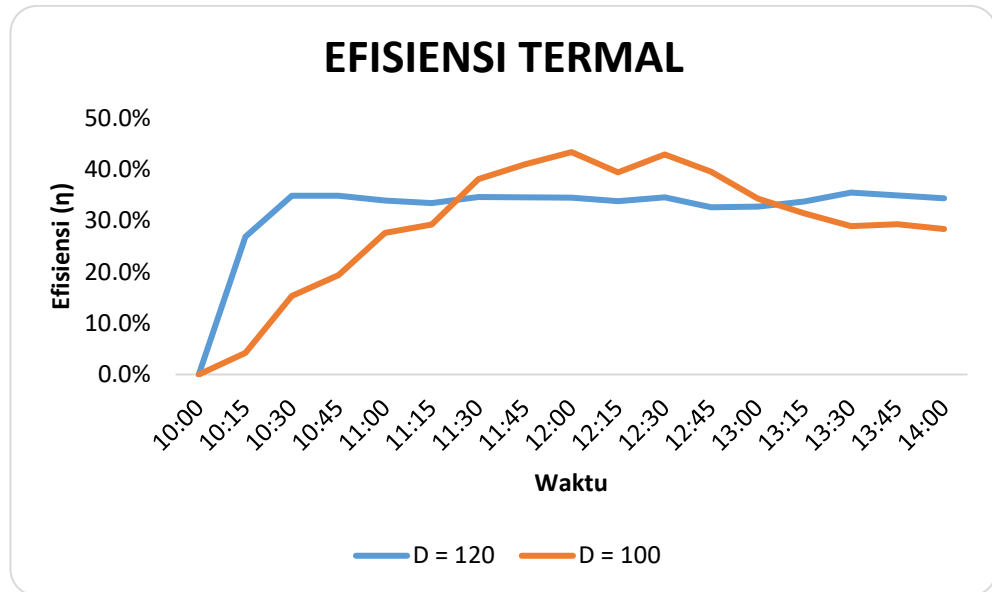
puncak 0,2385 bar gauge. Penurunan h_{fg} ini konsisten dengan sifat termodinamika fluida, di mana semakin tinggi tekanan saturasi, semakin kecil energi laten yang dibutuhkan untuk mengubah fase cair menjadi uap.

Observasi visual berupa uap yang teramati keluar melalui celah katup pengaman pada kedua prototipe selama pemanasan berlangsung mengindikasikan bahwa sebagian kecil air telah melewati proses perubahan fase. Karena massa uap aktual tidak terukur secara langsung, nilai energi laten total tidak dapat dihitung secara kuantitatif, namun estimasi h_{fg} ini memberikan gambaran kapasitas energi yang tersimpan dalam proses perubahan fase pada sistem.

Implikasi praktis dari penurunan h_{fg} seiring kenaikan tekanan adalah bahwa sistem memerlukan lebih sedikit energi untuk menguapkan satu kilogram air pada tekanan lebih tinggi. Namun, karena perbedaan tekanan yang terjadi dalam pengujian ini masih dalam rentang yang relatif kecil (0–0,31 bar gauge), perubahan h_{fg} yang terjadi tidak cukup signifikan untuk secara substansial memengaruhi perhitungan Q_{useful} keseluruhan. Perhitungan Q_{useful} menggunakan data suhu air aktual yang terukur, sehingga estimasi energi laten ini bersifat informatif dan mendukung pemahaman termodinamika sistem, bukan sebagai parameter utama perhitungan.

4.6 Efisiensi Termal Kolektor

Efisiensi termal kolektor dihitung menggunakan perbandingan Q_{useful} terhadap Q_{solar} , dan disajikan dalam dua bentuk: efisiensi per-interval waktu untuk menggambarkan perilaku dinamis kolektor, serta efisiensi keseluruhan (η_{overall}) berdasarkan akumulasi total energi sebagai nilai representatif performa sistem.



Gambar 4.16 Grafik perbandingan efisiensi termal

Hasil perhitungan efisiensi termal per interval waktu untuk $D = 120$ cm dan $D = 100$ cm disajikan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Efisiensi Termal Kolektor per Interval Waktu — $D = 120$ cm

No.	Waktu (WIB)	Q_{useful} (kJ)	Q_{solar} (kJ)	Efisiensi (%)
1	10:00	0.00	812.89	0.00
2	10:15	228.86	852.49	26.85
3	10:30	304.60	874.27	34.84
4	10:45	313.38	898.81	34.87
5	11:00	313.38	924.56	33.90
6	11:15	311.29	930.87	33.44
7	11:30	319.24	923.24	34.58
8	11:45	317.15	917.33	34.57
9	12:00	318.40	923.24	34.49
10	12:15	315.89	934.74	33.79
11	12:30	317.57	919.57	34.53
12	12:45	307.94	944.51	32.60
13	13:00	310.45	948.58	32.73
14	13:15	317.57	941.46	33.73
15	13:30	336.39	948.28	35.47
16	13:45	327.61	938.91	34.89
17	14:00	320.91	934.23	34.35
—	Total/Keseluruhan	4980.63	15567.98	31.99

Sumber: Data pengolahan (Penulis, 2026)

Tabel 4.9 Efisiensi Termal Kolektor per Interval Waktu — D = 100 cm

No.	Waktu (WIB)	Q_useful (kJ)	Q_solar (kJ)	Efisiensi (%)
1	10:00	0.00	585.26	0.00
2	10:15	24.69	590.07	4.18
3	10:30	92.88	605.26	15.35
4	10:45	121.75	628.22	19.38
5	11:00	180.33	653.09	27.61
6	11:15	197.90	676.83	29.24
7	11:30	250.20	656.20	38.13
8	11:45	278.65	679.58	41.00
9	12:00	294.55	679.23	43.37
10	12:15	275.31	698.52	39.41
11	12:30	289.95	675.70	42.91
12	12:45	276.14	698.52	39.53
13	13:00	233.05	679.79	34.28
14	13:15	211.71	674.35	31.39
15	13:30	192.46	665.24	28.93
16	13:45	191.63	654.50	29.28
17	14:00	178.24	628.29	28.37
—	Total/Keseluruhan	3289.44	11128.65	29.56

Sumber: Data pengolahan (Penulis, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.7, efisiensi D = 120 cm meningkat dari 26,85% (10.15 WIB) dan stabil di kisaran 32–35%, dengan puncak 35,47% pada pukul 13.30 WIB bersamaan dengan suhu air tertinggi (107,7°C) dan tekanan gauge tertinggi (0,31 bar). Efisiensi termal keseluruhan D = 120 cm adalah 31,99%.

Untuk D = 100 cm (Tabel 4.8), efisiensi meningkat dari 4,18% hingga puncak 43,37% pada pukul 12.00 WIB, lalu menurun bertahap. Efisiensi keseluruhan D = 100 cm adalah 29,56%. Meskipun puncak efisiensi per-interval D = 100 cm lebih tinggi, efisiensi keseluruhan D = 120 cm tetap lebih unggul karena mampu mempertahankan output panas yang konsisten sepanjang pengujian.

Perbedaan efisiensi keseluruhan sebesar 2,43 poin persentase (31,99% vs 29,56%) menunjukkan bahwa D = 120 cm tidak hanya unggul dalam kapasitas absolut,

tetapi juga dalam efisiensi relatif konversi energi surya menjadi kalor berguna. Keunggulan ini tidak terlepas dari kemampuan $D = 120$ cm mempertahankan kondisi bertekanan lebih lama, sehingga fluida menyerap kalor dalam rentang entalpi yang lebih lebar. Untuk $D = 100$ cm, efisiensi keseluruhan yang lebih rendah sebagian besar disebabkan oleh dominasi interval awal (10.00–11.30 WIB) di mana Q_{useful} masih sangat kecil (0–250,2 kJ) dan belum mencapai kondisi operasional optimal.

Dari perspektif desain sistem, hasil ini mengindikasikan bahwa terdapat "efek momentum termal" pada kolektor surya parabolic dish dengan receiver jenis panci presto: sistem perlu waktu untuk membangun suhu dan tekanan internal yang cukup sebelum beroperasi pada efisiensi optimalnya. $D = 120$ cm mencapai kondisi optimal lebih cepat karena Q_{solar} yang lebih besar, sementara $D = 100$ cm memerlukan lebih banyak waktu pemanasan awal sehingga efisiensi rata-ratanya tertarik ke bawah oleh interval-interval awal tersebut.

Jika efisiensi dihitung hanya pada periode operasi di atas 100°C (kondisi superheated), $D = 120$ cm beroperasi pada kisaran 32–35% selama sekitar 3,5 jam, sedangkan $D = 100$ cm mencapai 28–43% hanya selama sekitar 1 jam. Rentang operasi yang lebih panjang dengan efisiensi konsisten menjadikan $D = 120$ cm sebagai pilihan yang lebih unggul untuk aplikasi yang membutuhkan pasokan panas berkelanjutan

4.7 Perbandingan Performa Kedua Prototipe

Perbandingan komprehensif antara kedua prototipe disajikan pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.10 Rekapitulasi dan Perbandingan Performa Kedua Prototipe

Parameter	$D = 120$ cm	$D = 100$ cm
Tanggal Pengujian	21 Juli 2026	7 Juni 2026
Luas Aperture (A_{ap})	1,131 m ²	0,785 m ²

Parameter	D = 120 cm	D = 100 cm
Suhu Awal Air, T_o (°C)	27,3°C	35,6°C
T_{air} Maksimum (°C)	107,7°C (13:30)	106,0°C (12:00)
P_{gauge} Maksimum (bar)	0,31 (13:30)	0,2385 (12:00)
$T_{receiver}$ Maksimum (°C)	186,8°C (12:45)	173,8°C (13:30)
Total Q_{useful} (kJ)	4.980,63 kJ	3.289,44 kJ
Total Q_{solar} (kJ)	15.567,97 kJ	11.128,65 kJ
$\eta_{overall}$ (%)	31,99%	29,56%
Rata-rata Q_{rad} (W)	131,28 W	58,48 W
T_{sat} pada P_{max} (°C)	107,64°C	106,04°C
Selisih T_{sat} vs T_{air} terukur	0,06°C (107,64 vs 107,7)	0,04°C (106,04 vs 106,0)

Sumber: Hasil pengolahan data (Penulis, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.9, prototipe D = 120 cm menunjukkan performa unggul pada sebagian besar indikator utama dibandingkan D = 100 cm. Suhu air puncak D = 120 cm mencapai 107,7°C, lebih tinggi 1,7°C dibandingkan D = 100 cm (106,0°C). Tekanan gauge maksimum D = 120 cm (0,31 bar) juga lebih tinggi dibandingkan D = 100 cm (0,2385 bar). Total Q_{useful} D = 120 cm (4.980,63 kJ) lebih tinggi 51,4% dibandingkan D = 100 cm (3.289,44 kJ), dengan selisih yang sebagian dapat dijelaskan oleh perbedaan rasio luas aperture ($1,131 : 0,785 \approx 1,44$ kali) maupun kondisi operasional yang berbeda antar hari pengujian.

Dari sisi efisiensi termal keseluruhan, D = 120 cm mencapai $\eta_{overall} = 31,99\%$, sementara D = 100 cm mencapai $\eta_{overall} = 29,56\%$. Selisih efisiensi sebesar 2,43 poin persentase ini mengindikasikan bahwa peningkatan diameter parabola berkontribusi pada peningkatan efisiensi konversi termal, meskipun suhu permukaan receiver D = 120 cm secara konsisten jauh lebih tinggi dibandingkan suhu air dibandingkan dengan D = 100 cm, yang mengindikasikan potensi kerugian panas melalui radiasi dan konveksi permukaan yang lebih besar pada prototipe berdiameter lebih besar. Validasi

termodinamika berupa kesesuaian T_{sat} interpolasi dengan T_{air} terukur (selisih $\leq 0,06^{\circ}\text{C}$) pada kedua prototipe mengonfirmasi kehandalan metode pengukuran.