

INVESTIGASI EKSPERIMEN TATA UDARA PADA SISTEM GEOTERMAL

Haryanto¹, Widiyatmoko¹, Yulius Oktarianto¹

Teknik Pendingin dan Tata Udara Politeknik Sekayu

Email : wididasyat@gmail.com

ABSTRAK

Geothermal merupakan teknologi yang memanfaatkan suhu bumi. Terdapat dua jenis geothermal, yaitu high grade geothermal dan low grade geothermal. sistem geothermal dikembangkan dalam refrigerasi dan tata udara guna untuk efisiensi energi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh antara reservoir yang berada di permukaan tanah dan reservoir yang berada di dalam tanah terhadap COP serta kapasitas pendinginan pada pada sistem geothermal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini metode experimental. Pengujian koefisien performa (COP) dilakukan dengan pengambilan data temperatur, tegangan listrik, debit aliran, dan arus listrik dengan selang waktu 1 jam. Untuk mendapatkan koefisien performa (COP) dilakukan perhitungan kapasitas pendinginan (q_L) dan daya total yang masuk pada sistem ($W_{(net.in)}$). Sehingga diketahui nilai koefisien performa (COP). Setelah didapatkan nilai kapasitas pendinginan dan COP, dibuat grafik hubungan COP terhadap waktu dan grafik hubungan kapasitas pendinginan terhadap waktu. Berdasar grafik untuk yang reserfoirnya berada di atas tanah, diketahui bahwa semakin lama, COP terus mengalami peningkatan dari 0,89 sampai 2,27 dan kapasitas pendinginannya juga terus mengalami peningkatan dari 111,3 Watt sampai 306,1 Watt. Berdasar grafik untuk yang reserfoirnya berada di atas tanah, diketahui bahwa semakin lama, COP terus mengalami peningkatan dari 1,03 sampai 2,69 dan kapasitas pendinginannya juga terus mengalami peningkatan dari 139,1 Watt sampai 361,8 Watt. COP sistem geothermal yang reserfoirnya beada di atas tanah dan di dalam tanah mendapatkan hasil yang berbeda. COP rata-ratanya dari sistem geothermal yang reserfoirnya berada di atas tanah 1,403 sedangkan COP pada sistem geothermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah 1,529. Kapasitas pendinginan sistem geothermal yang reserfoirnya beada di atas tanah dan di dalam tanah mendapatkan hasil yang berbeda. Kapasitas pendinginannya rata-ratanya dari sistem geothermal yang reserfoirnya berada di atas tanah 211,48 Watt sedangkan kapasitas pendinginannya pada sistem geothermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah 233,76.

Kata kunci : *Sistem geothermal, Kapasitas pendinginan, COP*

1. Latar Belakang

Mesin pendingin yang sudah umum dipakai di Indonesia selama ini menggunakan sistem kompresi uap dimana didalam pengoprasiannya membutuhkan daya listrik yang cukup besar serta efek buruk dari refrigeran yang digunakan terhadap lingkungan sekitar.

Konsumsi listrik yang terbesar pada gedung adalah sistem pendinginan udaranya. Pendingin udara air conditioner (AC) konvensional mengkonsumsi energi listrik yang relatif sangat besar. Hal ini tentunya menuntut daya listrik yang besar. Pada umumnya listrik masih dihasilkan bahan bakar fosil, sehingga penggunaan AC konvensional berdampak tidak langsung pada emisi gas rumah kaca, sebagai penyebab peningkatan efek pemanasan global. Selanjutnya, karena suhu lingkungan semakin panas, semakin banyak industri, rumah tinggal, dan gedung yang menggunakan AC, sehingga menyebabkan siklus perusakan lingkungan dan krisis energi terus berlanjut.

Namun, penghambatan penggunaan AC adalah hal yang mustahil dilakukan. Karena itu,

diperlukan inovasi pendingin udara yang menggunakan sumber energi terbarukan, serta ramah lingkungan, salah satunya adalah AC dengan pemanfaatan pendinginan tanah untuk penukar kalor pada sistem low grade geothermal. Geothermal merupakan teknologi yang memanfaatkan suhu bumi. Terdapat dua jenis geothermal, yaitu high grade geothermal dan low grade geothermal. High grade geothermal adalah panas dan tekanan bumi yang merubah air menjadi uap, sehingga uap tersebut dapat menjalankan turbin untuk menghasilkan listrik. Low grade geothermal adalah temperatur dingin pada tanah yang digunakan untuk sistem pendinginan. Banyaknya penerapan maupun penelitian tentang geothermal di eropa maupun di amerika khususnya sebagai pompa kalor (pemanas ruangan) maupun pendingin ruangan. (Widiyatmoko, 2014,hal 7-8)

Jindal TK 2012 telah melakukan kajian tentang analisis transfer kalor sistem pendinginan dan pemanasan geothermal. Kalor dipindahkan melalui saluran dapat dijelaskan dengan hukum termodinamika. Jindal TK (2012) menyimpulkan bahwa kecepatan aliran memiliki efek yang sangat

besar karakteristik perpindahan kalor di saluran. Ketebalan pipa tidak memiliki dampak besar pada perpindahan kalor. Terdapat perbedaan kecil perpindahan kalor dan temperatur pada keluaran untuk logam yang berbeda seperti aluminium, tembaga, dan besi cor. Bagaimanapun juga perpindahan kalor untuk pipa poly butyle terpengaruh tetapi hanya mencapai maksimum 5%. Dampak kecil tentang jenis material maupun ketebalan disebabkan bumi diasumsikan memiliki kapasitas penyerapan kalor tidak terbatas (sumber : T.K,2012)

Mali S.N. (2014) menerapkan atau mengaplikasikan teknik pendinginan geotermal untuk menikatkan kondisi termal pada rumah tempat tinggal. Pada penelitian menggunakan pipa PVC sebagai penukar kalor yang melewati bumi, menunjukan bahwa udara di dalam ruangan mengalami penurunan. Dapat diketahui bahwa semakin besaar diameter, semakin besar pula efek pendinginannya. Hasil penelitian menunjukan bahwa menggunakan metode ini temperatur dalam ruangan menurun hingga 10°, yang jelas akan mengurangi beban pendinginan pada sebuah gedung tempat tinggal.

Gaffar G. Momin (2013) telah melakukan penelitian tentang investegasi ekperimental tata udara geotermal. Pada penelitian ini Momin melakukan variasi menggunakan koil penguap dan tidak menggunakan koil penguap, penelitian dilakukan di ruangan yang bersuhu 32°C sampai dengan 40°C dari investigasinya, momin mendapatkan kesimpulan bahwa pengkondisian udara geotermal memberikan suhu keluaran relative konstan mendekati 25°C, dimana suhu ini adalah suhu nyaman tubuh manusia. Dengan menambahkan koil penguap pada sistem , Coefesien of performance (COP) sistem hamper dua kali lebih efektif. (Momin,G.G,2013)

Efisiensi energi merupakan sebuah metode, teknik, dan prinsip-prinsip yang memungkinkan untuk dapat menghasilkan penggunaan energi lebih efisien dan membantu penurunan permintaan energi global dimana dunia harus meningkatkan efesiensi energi.

Dengan menerapkan sistem geotermal di Indonesia berharap masyarakat dapat lebih memanfaatkan energi yang berada di dalam tanah untuk menghemat energi yang digunakan khususnya pada sistem tata udara.

1.1. Tujuan

Dalam penelitian ini memiliki tujuan :

- 1) Untuk mengetahui pengaruh antara reservoir yang berada di permukaan tanah dan reservoir yang berada di dalam tanah terhadap COP pada sistem geotermal.
- 2) Untuk mengetahui kapasitas pendinginan pada sistem geotermal yang reserfoinya

berada di atas tanah dan sistem geotermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah.

1.2. Pembatasan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh jika reservoir ditanam di bawah tanah terhadap COP pada sistem geotermal.
- 2) Bentuk, ukuran, dan bahan yang digunakan untuk lapisan reservoir sama.

2. Landasan Teori

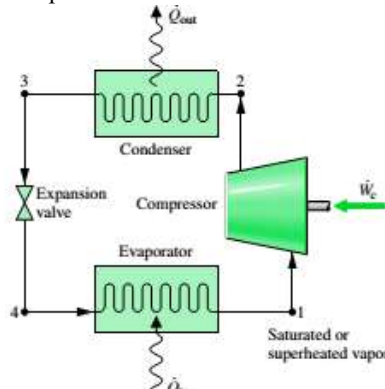
2.1 Pengertian Refrigerasi

Refrigerasi adalah proses pelepasan kalor dari tempat yang tidak diinginkan. Kalor yang diambil dari makanan bertujuan untuk menjaga kualitas dan cita rasa makan tersebut. Sedangkan kalor yang diambil dari suatu ruangan bertujuan untuk menjaga kenyamanan manusia didalamnya. Banyak sekali penerapannya didalam dunia industri dimana kalor yang telah dilepas dari beberapa tempat atau material untuk tujuan yang diinginkan. (Miller, R. 2006 . Hal :50)

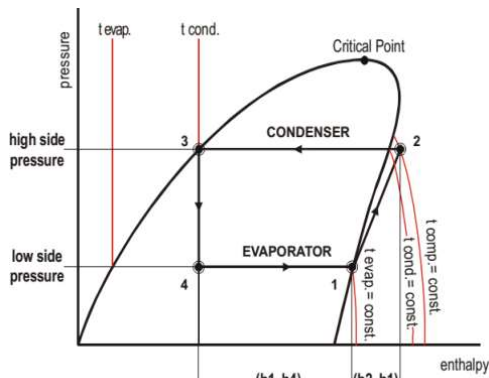
Secara umum, bidang refrigerasi mencakup kisaran temperatur sampai 125 K, Sedangkan proses-proses yang berlangsung dibawah 125 K sering deisebut kriogenik (Cryogenics). Perbedaan ini dikarenakan adanya fenomena-fenomena khas yang terjadi pada temperatur dibawah 100 K, dimana pada kisaran temperatur ini gas-gas seperti nitrogen, oksigen, hidrogen dan helium dapat mencair. (ASHRAE.2006, hal. 38).

2.2 Siklus Kompresi Uap

Siklus Kompresi Uap merupakan jenis refrigerasi yang paling banyak digunakan saat ini. Mesin refrigerasi siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Susunan empat komponen tersebut secara skematik ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Diagram Proses Siklus Kompresi Uap (Moran, M., J, Saphiro, H., N, 2006)



Gambar 2.2 Diagram p-h (RCO MODULE, 2000)

Cara Kerja Siklus Kompresi Uap;

1. Proses 1-2 (kompresi) ; refrigeran meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian oleh kompresor uap tersebut dinaikkan tekanannya menjadi uap super panas dengan temperatur yang tinggi, lebih tinggi dari temperatur lingkungan sehingga pembuangan panas bisa berlangsung.

Proses yang terjadi didalam kompresor diasumsikan sebagai proses isentropic dan besarnya kerja kompresi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut: (Dossat R.J., 1961 hal. 123-124)

$$q_w = (h_2 - h_1) \tag{2.1}$$

dengan:

q_w = Besarnya kerja kompresi (kJ/kg)

h_1 = Enthalpy refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = Enthalpy refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

2. Proses 2-3 (kondensasi) ; setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada dalam fase panas lanjut dengan tekanan dan temperatur tinggi. Untuk merubah wujudnya menjadi cair (kondensasi), kalor harus dilepaskan ke lingkungan melalui alat yang disebut dengan kondensor. Refrigeran keluar kondensor sudah berupa refrigeran cair. Proses kondensasi berlangsung pada temperature dan tekanan yang konstan. Proses ini terjadi di kondensor dimana uap refrigeran bertemperatur dan bertekanan tinggi yang masuk ke kondensor melalui discharge line dikondensasikan didalam kondensor sehingga refrigeran yang keluar dari kondensor diharapkan berubah fasa dari fasa uap ke fasa cair. Besarnya kalor yang dilepas di kondensor dapat dinyatakan dengan persamaan berikut: (Dossat, R.J., 1961 hal. 125)

$$q_c = (h_2 - h_3) \tag{2.2}$$

dengan :

q_c = Besarnya kalor yang dipindahkan kondensor (kJ/kg)

h_2 = Enthalpy refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

h_3 = Enthalpy refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

3. Proses 3-4 (ekspansi); refrigeran dalam keadaan wujud cair jenuh (tingkat keadaan 3) kemudian mengalir melalui alat ekspansi. Refrigeran mengalami ekspansi pada entalpi konstan dan berlangsung secara tak reversibel sehingga tekanan refrigeran menjadi rendah (tekanan evaporator). Refrigeran keluar alat ekspansi berwujud campuran uap-cair pada tekanan dan temperatur rendah.

4. Proses 4-1 (evaporasi); Refrigeran dalam fase campuran uap-cair, mengalir melalui evaporator. Di dalam evaporator refrigeran mengalami proses penguapan sebagai akibat dari panas yang diserap dari sekeliling evaporator. Dengan adanya penyerapan panas ini, maka disekeliling evaporator (ruangan yang dikondisikan) menjadi dingin atau temperaturnya turun. Selanjutnya refrigeran yang meninggalkan evaporator dalam fase uap jenuh. Besarnya kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut: (Dossat R.J., 1961 hal.. 125)

$$q_e = (h_1 - h_4) \tag{2.3}$$

dengan:

q_e = Besarnya kalor yang dibuang kondensor (kJ/kg)

h_1 = Enthalpy refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)

h_4 = Enthalpy refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)

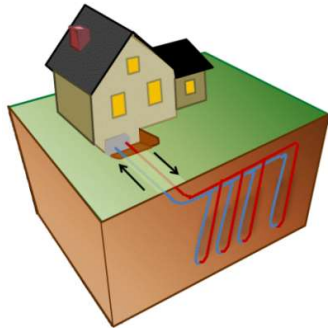
2.3 Siklus Sistem Geotermal

Teknologi geotermal merupakan proses untuk menyalurkan panas ataupun dingin kedalam gedung. Sistem pemanasan dan pendingin geotermal mentrasfer energi dingin dari tanah, termasuk air bawah tanah untuk memanaskan atau mendinginkan gedung. Dibawah 10 kaki, suhu atau air tanah bervariasi dari 500 – 550⁰F (100 – 130⁰C) sepanjang tahun. Terdapat dua desain yang digunakan dalam industri, geotermal menggunakan geotermal secondary ground loop dan Direct Exchange (DX) bawah tanah.

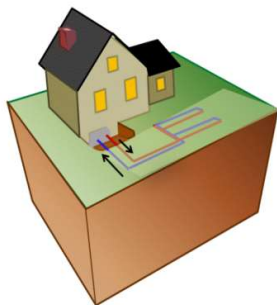
Keuntungan terbesar dari geotermal yaitu adalah performa yang lebih baik dibandingkan dengan sistem tradisional karena teknologi ini mengambil keuntungan dari temperatur yang lebih stabil sepanjang tahun, sehingga coefficient of performance (COP) meningkat, sedangkan biaya operasional dari pemanasan dan pendinginan, berkurang. Sistem geotermal diklasifikasikan

sebagai berikut : (Kasich J.R. dan Tailor. M, 2012, hal.8)

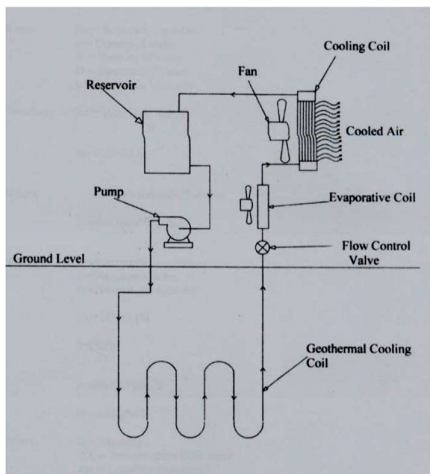
1. Sistem Terbuka : air tanah sebagai penukar kalor
2. Sistem Tertutup : jika terdapat penukar kalor bawah tanah, dan air tanah tidak sebagai penukar kalor (gambar 2.1 dan gambar 2.2).



Gambar 1. Sistem tertutup geotermal penukar kalor Direct Exchange pipa terpasang verti al. (Kasich J.R. dan Tailor , M, 2012, hal.9)



Gambar 2. Sistem tertutup geotermal pertukaran langsung Direct Exchange pipa terpasang Horizontal. (Kasich J.R. dan Tailor , M, 2012, hal.9)



Gambar 3. Sistem geothermal (Momin G.G.,2013, hal 166)

Dari siklus sistem geothermal menunjukkan bahwa siklus bekerja dari pompa yang menghisap air dari coil pendingin yang berada diatas menuju reservoir, lalu reserfoir akan di mensirkulasikan dengan menggunakan pompa agar dapat bersirkulasi pada sistem. Setelah melewati reserfoir, air tersebut akan dikondisikan karena temperatur air lebih tinggi dari temperatur tanah sehingga kalor pindah dari air ke tanah, selanjutnya air akan memasuki flow control valve atau katup pengontrol manual setelah itu temperatur yang rendah akan disirkulasikan melalui cooling coil dengan menggunakan Blower, karena beda temperature kalor yang berada di dalam ruangan tersebut akan di serap oleh udara dingin yang berasal dari cooling coil, di sini akan terjadi proses perpindahan kalor secara langsung (konduksi). Secara tidak langsung maka dengan menggunakan sistem geotermal diatas kita dapat menurunkan suhu pada ruangan dengan memanfaatkan suhu konstan pada tanah.

2.4 Komponen-komponen sistem geotermal

1. Pompa

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat yang lain, melalui media pipa (saluran) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung terus menerus.

2. Reservoir

Reservoir pendingin berfungsi untuk memasok air terus- menerus setelah pompa air sehingga tidak ada gelembung udara masuk pompa untuk menghindari fenomena aerasi. Reservoir mendapat pendingin dari outlet penukar panas.

3. Flowmeter

Flowmeter adalah alat untuk mengukur jumlah atau laju aliran dari suatu fluida yang mengalir dalam pipa atau sambungan terbuka. alat ini terdiri dari primary device, yang disebut sebagai alat utama dan secondary device (alat bantu sekunder).

4. Flow control valve

Katup pengontrol aliran adalah katup yang berfungsi mengatur jumlah aliran rfluida yang akan masuk ke actuator.

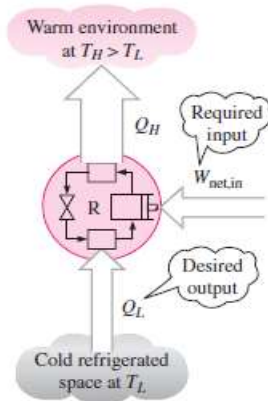
5. Evaporator

Evaporator dalam sistem pendingin berfungsi untuk menyerap panas ke dalam sistem dari apa pun media adalah untuk didinginkan. Proses menyerap panas ini dicapai dengan mempertahankan coil evaporator pada suhu lebih rendah dari media yang akan didinginkan.

2.5 Koefisien performa (COP)

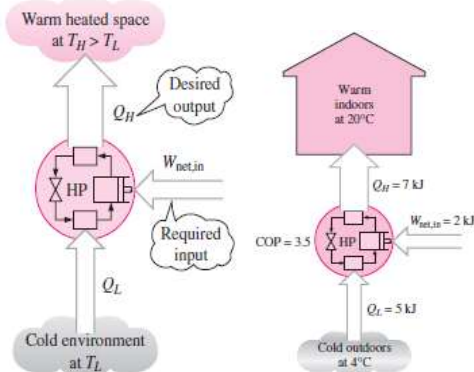
a) Koefisien Performa Refrigerasi

Efisiensi refrigerasi dinyatakan dalam koefisien Kinerja (COP), dinotasikan dengan COP_R. Tujuan dari refrigerasi adalah untuk menghilangkan panas (Q_L) dari ruang didinginkan. Untuk mencapai tujuan ini, membutuhkan masukan kerja yaitu $W_{net.in}$ (Gambar 4)



Gambar 4. Coefficient of performance refrigerator (Cengel Y.A. and Boles A.M, Fifth edition, Hal 313).

b) Coefisien Performa Pompa Panas



Gambar 5. Coefficient of performance heat pump (Cengel Y.A. and Boles A.M, Fifth edition, Hal 314)

Perangkat lain yang mentransfer panas dari media-suhu rendah untuk satu-suhu tinggi adalah pompa panas, ditunjukkan secara skematis pada gambar diatas. Refrigerasi dan pompa panas beroperasi pada siklus yang sama tetapi berbeda dalam mereka tujuan. Tujuan dari Refrigerasi adalah untuk mempertahankan pendinginan ruang pada suhu rendah dengan menghilangkan panas dari dalam ruangan.

3. Metodologi Penelitian

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram alir penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yang mana yang menjadi acuan pengambilan data adalah untuk mengetahui perbedaan koefisien performa (COP) dan kapasitas pendinginannya pada sistem geotermal yang reserfoirnya berada diatas tanah dan sistem geotermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah. Untuk itu, data yang diperlukan adalah suhu dan laju aliran air yang berpengaruh pada COP. Dalam mengamati perubahan-perubahan yang terjadi, diperlukan membuat perangkat uji dan kemudian pengambilan data. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali dengan pengambilan data per 1 jam sekali, dari jam 08:00-17:00 WIB. Data yang telah diambil digunakan untuk menganalisa pengaruh COP pada sistem geotermal dan kapasitas pendinginannya.

3.3 Tempat dan waktu pengambilan data

Untuk memperoleh data yang diinginkan, maka penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bengkel Mekanik Politeknik sekayu. Pengambilan data dilakukan 2 hari, yaitu pada tanggal 24 – 25 juni 2016.

4 Hasil dan Pembahasan

4.2 Koefisien Performa Sistem Geotermal

Efisiensi refrigerasi dinyatakan dalam koefisien Kinerja (COP), dinotasikan dengan COP_R. Tujuan dari refrigerasi adalah untuk menghilangkan panas (Q_L) dari ruang

didinginkan. Untuk mencapai tujuan ini, membutuhkan daya masukan sistem yaitu $W_{(net.in)}$. Kemudian COP dari refrigerasi dapat dideskripsikan sebagai :

$$COP_R = \frac{\text{desired output}}{\text{required input}} = \frac{q_L}{W_{net.in}} \dots\dots(2.4)$$

q_L = Perpindahan kalor pada koil pendingin (watt), dan $W_{(net.in)}$ = Masukan kinerja (Watt)

efek refrigerasi (q_L) adalah suatu proses penyerapan kalor yang terjadi pada evaporator dengan cara mendistribusikan suhu yang dingin keruangan lalu udara panas pada ruangan diserap oleh koil pendingin sehingga suhu pada ruangan dapat menurun. Perpindahan kalor pada evaporator (q_L) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$q_L = C \times \dot{m} \times \Delta T \text{ (pers 2.6)}$$

Dimana: C = Spesifik panas air $kJ/(kg \text{ } ^\circ C)$ (Tabel A-9)

\dot{m} = Laju aliran massa kg/s

ΔT = Perbedaan temperatur $^\circ C$

Untuk mendapatkan nilai spesifik panas air (C) ditunjukkan pada Tabel A-9 di bawah ini:

† Adaptasi dari A. I. Brown dan S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," 3d ed., M. Hill Book Company, New York, 1958.

Gambar 1. Tabel spesifik panas air

Untuk mendapatkan nilai laju aliran massa (\dot{m}) dapat melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.7 yaitu sebagai berikut:

$$\dot{m} = Q \times \rho \text{ (pers 2.7)}$$

Dimana: Q = Debit aliran m^3/s

ρ = Densitas (massa jenis air) kg/m^3

Debit aliran (Q) adalah kecepatan aliran fluida per satuan waktu. Nilai debit ditunjukkan pada tabel 4.1 dan 42.

Densitas (massa jenis air) (ρ) adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Dalam SI untuk nilai densitas (massa jenis air) yaitu 1000 kg/m^3 . (Young H.D. and Freedman A.R,2002, hal 425)

Daya masukan sistem $W_{(net.in)}$ adalah suatu daya yang dihasilkan oleh suatu pompa dan koil pendingin. Daya masukan sistem $W_{(net.in)}$ dapat dihitung dengan persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$W_{(net.in)} = V.I.\cos\phi$$

Dimana: V = voltase (V)

I = Arus (A)

$\cos\phi$ = estimasi power factor (0,8)

4.3 Perhitungan koefisien performa (COP)

Untuk melakukan perhitungan COP pada sistem geotermal yang reserfoirnya berada di atas tanah dan sistem geotermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah perlu untuk mengetahui data hasil pengukuran. Dibawah ini tabel hasil pengambilan data pertama sistem geotermal yang reserfoirnya berada di atas tanah dan pengambilan data kedua sistem geotermal yang reserfoirnya berada di atas dalam yaitu sebagai berikut:

a. Data hasil pengukuran pada saat reserfoir berada di atas tanah pada sistem geotermal.

Tabel 2. Hasil pengukuran pada saat reserfoir berada di atas

Waktu (Jam)	Temp Lingkungan (°C)	T_{in} Tanah (°C)	T_{out} Tanah (°C)	T_{in} Evaporator (°C)	T_{out} Evaporator (°C)	Temp Ruang (°C)	Volt (V)	Arus listik pada pompa (A)	Arus Koil pendingin (A)	Debit (liter/jam)
08.00	29,0	30,4	29,1	29,0	29,4	29,0	210	0,6	0,2	240
09.00	29,8	30,4	29,1	29,0	29,5	29,1	210	0,6	0,2	240
10.00	31,1	31,4	30,2	29,1	29,6	29,3	210	0,6	0,2	240
11.00	32,1	31,5	30,5	29,3	29,9	29,6	210	0,6	0,2	240
12.00	32,6	31,7	31,0	29,9	30,7	30,0	210	0,6	0,2	240
13.00	32,8	31,9	31,0	30,0	30,8	30,2	210	0,6	0,2	240
14.00	32,8	32,1	31,4	30,4	31,2	31,4	210	0,6	0,2	240
15.00	33,9	33,3	32,6	31,6	32,6	32,8	210	0,6	0,2	240
16.00	34,9	34,7	32,9	31,8	32,9	32,3	210	0,6	0,2	240
17.00	34,8	34,9	32,9	31,8	32,9	32,4	210	0,6	0,2	240

b. Data hasil pengukuran pada saat reserfoir berada di atas tanah pada sistem geotermal.

Tabel 3 Hasil pengukuran pada saat reserfoir berada di dalam tanah

Waktu (Jam)	Temp Lingkungan (°C)	T _{in} Tanah (°C)	T _{out} Tanah (°C)	T _{in} Evaporator (°C)	T _{out} Evaporator (°C)	Temp Ruangan (°C)	Volt (V)	Arus listik pada pompa (A)	Arus coil (A)	Debit (liter/jam)
08.00	29,1	29,8	29,0	28,9	29,5	29,0	210	0,6	0,2	240
09.00	29,8	29,9	29,1	29,0	29,6	28,9	210	0,6	0,2	240
10.00	31,3	29,9	29,1	29,1	29,8	29,4	210	0,6	0,2	240
11.00	32,1	30,0	29,5	29,3	29,9	29,5	210	0,6	0,2	240
12.00	32,4	30,4	29,6	29,5	30,4	30,0	210	0,6	0,2	240
13.00	32,8	30,6	29,8	29,5	30,4	30,0	210	0,6	0,2	240
14.00	32,8	30,8	29,8	29,8	30,8	30,3	210	0,6	0,2	240
15.00	33,6	31,4	30,8	30,4	31,4	31,5	210	0,6	0,2	240
16.00	34,5	31,6	30,6	30,4	31,5	31,8	210	0,6	0,2	240
17.00	34,5	31,7	30,9	30,5	31,8	31,8	210	0,6	0,2	240

c. Hasil perhitungan

Dari hasil pengukuran data pertama dan kedua dapat dilakukan perhitungan. Dibawah ini adalah contoh perhitungan pada jam 08.00 dengan sistem geotermal yang reserfoirnya berada di atas tanah yaitu sebagai berikut:

Diketahui: C = 4,175 kJ/(kg °C)
 ρ = 1000 kg/m³ .
 Q = 240 Liter/jam
 Ditanya: COP ??
 COP = q_L/W_(net.in) (pers 2.4)
 q_L = C x m x ΔT (pers 2.6)

Dalam persamaan di atas kita harus mencari laju aliran (ṁ) dengan melakukan perhitungan sebagi berikut:

ṁ = Q x ρ (pers 2.7)
 Q = 240 liter/jam (Tabel 2, 3)
 = 240/3600 Dikonversi menjadi liter/s
 = 0,06667 liter/s dikonfersi menjadi

0,06667/1000 = 6,6667 x 10⁽⁻⁵⁾ m³/s
 ṁ = Q x ρ
 = 6,667 x 10⁽⁻⁵⁾ m³/s x 1000 kg/m³
 = 0,06667 kg/s

Perhitungan laju aliran telah didapatkan nilai 0,06667 kg/s dan sekarang dapat dilakukan perhitungan q_L dengan memasukkan data hasil perhitungan sebelumnya seperti yang ditunjukkan dibawah ini:

q_L = C x ṁ x ΔT
 = 4,175 kJ/(kg °C) x 0,06667 kg/s x (29,4 °C-29,0°C)
 = 0,1113 kJ/s = 111,3 Watt (1 kJ/s = 1000 Watt)

Dibawah ini dapat dilihat hasil perpindahan kalor pada koil pendingin q_L pada sistem geotema yang resefoirnya beada di atas tanah dan sistem geotermal yang berada di dalam tanah dengan perhitungan per jam pada tabel 4.3 dan 4.4:

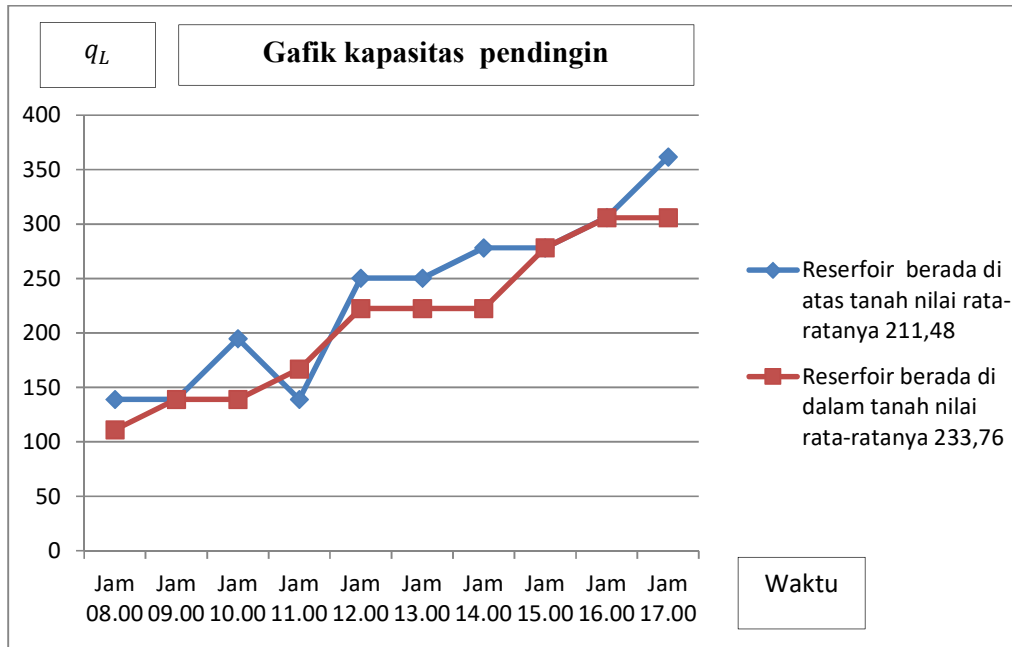
Tabel 4. (q_L) sistem geotermal pada reserfoir berada diatas tanah

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
q _L (Watt)	111,3	139,1	139,1	167	222,6	222,6	222,6	278,3	306,1	306,1
Nilai Rata-rata	211,48									

Tabel 5. (q_L) sistem geotermal pada reserfoir berada di dalam tanah

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
q _L (Watt)	139,1	139,1	194,8	139,1	250,5	250,5	278,3	278,3	306,1	361,8
Nilai Rata-rata	233,76									

Setelah proses pehitungan data dapat di lihat di bawah ini grafik dari kapasitas koil pendingin (q_L) yaitu sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik kapasitas pendingin (qL)

Pada grafik kapasitas pendinginan jam 08.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 111,3 Watt dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya

- 1) didalam tanah 139,1 Watt sehingga pada jam 08.00 bisa dikatakan bahwa kapasitas pendinginan dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah. Pada grafik kapasitas pendinginan jam 09.00 menunjukkan bahwa kesamaan performa dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 139,1 Watt dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah 139,1 Watt sehingga pada jam 09.00 bisa dikatakan bahwa kapasitas pendinginan dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah dan pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah dikatakan stabil.
- 2) Pada grafik kapasitas pendinginan jam 10.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 139,1 Watt dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 194,8 Watt sehingga pada jam 10.00 bisa dikatakan bahwa kapasitas pendinginan dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.
- 3) Pada grafik kapasitas pendinginan jam 11.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok

dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 167 Watt dan pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah 139,1 Watt sehingga pada jam 11.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah.

- 4) Pada grafik kapasitas pendinginan jam 12.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 222,6 Watt dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 250 Watt sehingga pada jam 12.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.
- 5) Pada grafik kapasitas pendinginan jam 13.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 222,6 Watt dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 250,5 Watt sehingga pada jam 13.00 bisa dikatakan bahwa kapasitas pendinginan dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.
- 6) Pada grafik kapasitas pendinginan jam 14.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 222,6 Watt dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya

didalam tanah 278,3 Watt sehingga pada jam 14.00 bisa dikatakan bahwa kapasitas pendinginan dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.

- 7) Pada grafik kapasitas pendinginan jam 15.00 menunjukkan bahwa kesamaan performa dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 278,3 Watt dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 278,3 Watt sehingga pada jam 15.00 bisa dikatakan bahwa kapasitas pendinginan dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah dan pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah dikatakan stabil.
- 8) Pada grafik kapasitas pendinginan jam 16.00 menunjukkan bahwa kesamaan performa dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 306,1Watt dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 306,1 Watt sehingga pada jam 16.00 bisa dikatakan bahwa kapasitas pendinginan dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah dan pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah dikatakan stabil.
- 9) Pada grafik perbedaan kapasitas pendinginan dari jam 17.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 306,1 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 361,8 sehingga pada jam 17.00 bisa dikatakan bahwa kapasitas pendinginan dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.
- 10) Dari grafik kapasitas pendinginan diatas menunjukkan bahwa nilai rata-rata kapasitas pendinginan sistem geotermal yang reserfoirnya berada di atas tanah 211,48 watt

Tabel 6. COP sistem geotermal pada reserfoir berada diatas tanah

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
COP	0,82	1,03	1,03	1,24	1,65	1,65	1,65	2,07	2,27	2,27
Nilai rata-rata	1,403									

Tabel 7. COP sistem geotermal pada reserfoir berada didalam tanah

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
COP	1,03	1,03	1,24	1,03	1,86	1,86	2,07	2,07	2,27	2,69
Nilai rata-rata	1,529									

4.4 Grafik perbandingan COP sistem geotermal dengan keadaan reserfoir yang berada di atas tanah dan reserfoir yang berada di dalam tanah

Setelah melakukan pengambilan data dan melakukan perhitungan COP di dapatkan grafik

dan kapasitas pendinginan sistem geotermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah 233,76 watt sehingga dapat dikatakan bahwa kapasitas pendinginan sistem geotermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah lebih bagus dibandingkan reserfoir kapasitas pendinginan sistem geotermal yang reserfoirnya beada di atas tanah.

Langkah selanjutnya melakukan perhitungan $W_{(net.in)}$ dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W_{(net.in)} = V.I.\cos\phi$$

$$W_{(net.inp)} = V.I.\cos\phi$$

Dimana: $W_{(net.inp)}$ = daya pompa (Watt)
 = 210 volt x 0,6 A x 0,8
 $W_{(net.inb)}$ =daya blower (Watt)
 =100,8 Watt
 $W_{(net.intot)}$ = Daya total (Watt)
 $W_{(net.inb)} = V.I.\cos\phi$
 $\cos\phi$ = Power Faktor (0,8)
 = 210 volt x 0,2 A x 0,8
 =33,6 Watt
 $W_{(net.intot)}= W_{inp}+ W_{inc}$
 = 100,8 + 33,6
 = 134,4 Watt

Setelah nilai dari perhitungan q_L dan perhitungan $W_{(net.in)}$ dapat melakukan perhitungan COP dengan memsukan nilai tersebut kedalam persamaan seperti dibawah ini:

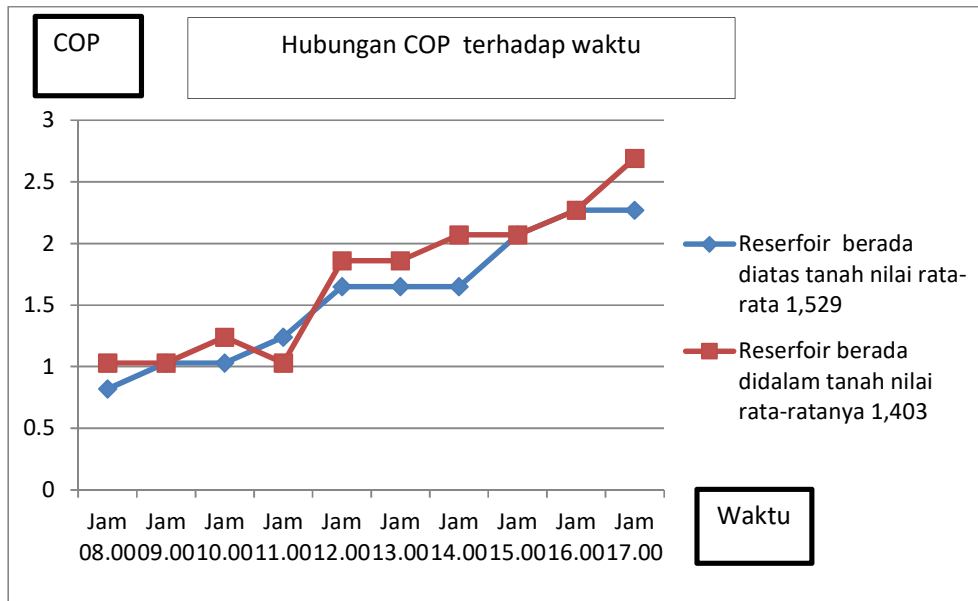
$$COP = q_L/W_{(net.in)}$$

$$= 111,3/134,5$$

$$= 0,82$$

Dibawah ini ditunjukkan hasil pehitungan COP pada sistem geotermal yang reserfoirnya berada di atas tanah dan sistem geotermal yang resefoirnya berada di dalam tanah pada tabel :

perbandingan COP sistem geotermal dengan keadaan reserfoir yang berada di atas tanah dan reserfoir yang berada di dalam tanah yaitu sebagai berikut :



Gambar 8. Grafik perbandingan COP sistem geotermal dengan keadaan reserfoir yang berada diatas tanah dan reserfoir yang berada di bawah tanah.

Dari grafik perbandingan COP pada sistem geotermal dengan keadaan reserfoir yang berada diatas tanah dan reserfoir yang berada didalam tanah di atas dapat di analisa yaitu sebagai berikut :

- 1) Pada grafik perbedaan COP jam 08.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 0,82 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 1,03 sehingga pada jam 08.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.
- 2) Pada grafik perbedaan COP jam 09.00 menunjukkan bahwa kesamaan performa dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 1,03 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 1,03 sehingga pada jam 09.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah dan pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah dikatakan stabil.
- 3) Pada grafik perbedaan COP jam 10.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 1,03 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 1,24 sehingga pada jam 10.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.

- 4) Pada grafik perbedaan COP jam 11.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 1,24 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 1,03 sehingga pada jam 11.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah.
- 5) Pada grafik perbedaan COP jam 12.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 1,65 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 1,86 sehingga pada jam 12.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.
- 6) Pada grafik perbedaan COP jam 13.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 1,65 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 1,86 sehingga pada jam 13.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.
- 7) Pada grafik perbedaan COP jam 14.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 1,65 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 1,86 sehingga pada jam 14.00 bisa

dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.

- 8) Pada grafik perbedaan COP jam 15.00 menunjukkan bahwa kesamaan performa dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 2,07 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 2,07 sehingga pada jam 15.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah dan pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah dikatakan stabil.
- 9) Pada grafik perbedaan COP jam 16.00 menunjukkan bahwa kesamaan performa dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 2,27 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 2,27 sehingga pada jam 16.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah dan pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah dikatakan stabil.
- 10) Pada grafik perbedaan COP jam 17.00 menunjukkan bahwa selisih yang mencolok dari yang dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah 2,27 dan sistem geotermal yang pada reserfoirnya didalam tanah 2,69 sehingga pada jam 17.00 bisa dikatakan bahwa COP dari sistem geotermal yang pada reserfoirnya di dalam tanah lebih bagus dari pada sistem geotermal yang pada reserfoirnya diatas tanah.
- 11) Dari melihat nilai rata-rata COP dari jam 08.00 – 17.00 yaitu untuk sistem geotermal yang berada di atas tanah 1,403 dan sistem geotermal reserfoirnya yang berada di dalam tanah 1,529. Dapat kita analisa bahwa performa pada sistem geotermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah lebih tinggi dibandingkan dari performa dari sistem geotermal yang reserfoir berada diatas tanah.

5 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diselesaikan maka dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. COP sistem geotermal yang reserfoirnya beada di atas tanah dan di dalam tanah mendapatkan hasil yang berbeda. COP rata-ratanya dari sistem geotermal yang reserfoirnya berada di atas tanah 1,403 sedangkan COP pada sistem geotermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah 1,529.
2. Kapasitas pendinginan sistem geotermal yang reserfoirnya beada di atas tanah dan di dalam tanah mendapatkan hasil yang berbeda. Kapasitas pendinginannya rata-ratanya dari sistem geotermal yang reserfoirnya berada di

atas tanah 211,48 Watt sedangkan kapasitas pendinginannya pada sistem geotermal yang reserfoirnya berada di dalam tanah 233,76.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruce, R.M, Young, D.F and Theodore, H.O. 2003. Mekanika Fluida, Edisi Keempat. Penerbit Erlangga: Jakarta
- Cengel, Y.A. and Boles M.A. "Thermodynamics An Engineering Approach, Seventh Edition. The Mc Graw-Hill Companies, Inc., 1221 Ivenue The Amaricas, New York
- Dossat, R.J.. 1961. Principles Of Refrigeration, Wiley International Edition. John Wiley And Sons, Inc New York and London
- Holman, J.1994. Perpindahan Kalor, Edisi Keenam. Penerbit Erlangga: Jakarta
- Jindal, T.K, 2012, "Analisis Of Heat Tranfer Through A Duct Of Geothermal Cooling And Heating System", International Journal Of Emerging Technology and Advanced EGINEERING, Vol. 2, Issuo 10, Oct . 2012, pp 284-287
- Kasich, J.R. And Taylor, M, 2012, "Recommendations For Geothermal Heating and Cooling System" Ohio Water Resource Council: Ohio
- Mali, S.N., More, A.B, Patil, D.S, 2014, "Application Of Geothermal Cooling Tchniques To Improve Thermal Condition Of Residential Building" International Journal Of Civil and Structural Engineering Research, Vol.2, Issue 1, April-September 2014, pp 158-161
- Masashi, F. 1989. Fundamentals Of Refrigeration And Air Conditioning. Overseas Volcational Training Association Employment Promotion Corporation: Japan
- Miller, R. 2009. HVAC Troubleshooting Guide. The McGraw-Hill Companies, Inc, New York
- Momin, G.G, 2013, "Experimental Investeigation Of Geothermal Air conditioning", American Jurnal Of Engineering Research (AJER) Vol.02, Issue 12, PP157-170
- Smith, P, 2004. Valve Selection Handbook, Fifth Edition. Engineering Fundamental For Selecting The Right Valve Design For Every Industrial Flow Application. Elsevier, Inc. Amsterdam