

MODIFIKASI AC SPLIT MENJADI AC SISTEM GEOTERMAL MENGGUNAKAN AIR SEBAGAI REFRIGERAN SEKUNDER

Widiyatmoko¹⁾, Ferry Irawan²⁾

^{1,2)} Prodi. Teknik Pendingin dan Tata Udara Politeknik Sekayu
Jl. Kolonel Wahid Udin Lk. I Kelurahan Kayuara, Sekayu 30711 Tel./Fax. +62 714 321099

Abstrak

Pengkondisian udara merupakan sistem yang digunakan untuk mengkondisikan udara sesuai dengan rancangan yang diinginkan. Penggunaan alat pengkondisian udara ini seperti pada gedung dan rumah tempat tinggal. Alat pengkondisian udara ini ada bermacam-macam tetapi yang menjadi topik dalam penelitian ini adalah AC Split yang dimodifikasi. Selain alat terdapat bermacam-macam juga sistem pengkondisian udara, tetapi penulis memilih sistem geotermal dalam penelitian ini. Teknologi geotermal adalah teknologi yang memanfaatkan suhu bumi. Penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi AC Split menjadi AC sistem geotermal. Tujuan khusus yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui performa maupun kerja kompresi dari AC split biasa dibanding dengan AC split modifikasi. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental meliputi observasi, study literatur, perancangan, pengambilan data, dan analisis terhadap sistem tata udara yang sebelum dimodifikasi dan setelah dimodifikasi. Bagian yang dimodifikasi adalah bagian kondensor. Pengambilan data dilakukan selama dua hari, dengan kondisi AC Split sebelum dimodifikasi dan setelah dimodifikasi. Hasil yang didapatkan untuk performa dan kerja kompresi sebelum dimodifikasi, didapatkan COP rata-rata adalah 4,66, dan Wk rata-rata adalah 0,61. Dan hasil yang didapatkan untuk performa dan kerja kompresi setelah dimodifikasi, didapatkan COP rata-rata adalah 4,05, dan Wk rata-rata adalah 0,56. Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi tolak ukur dan diharapkan juga adanya penelitian lebih lanjut.

Kata Kunci : Geotermal, Modifikasi, AC split, Air, Refrigeran sekunder

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penelitian maupun pengembangan pengkondisi udara dengan sistem geotermal telah banyak dilakukan dan diterapkan di eropa dan amerika. Saat ini sistem geotermal juga sudah mulai banyak diteliti dan dikembangkan di India maupun negara berkembang lainnya. Sistem geotermal mulai banyak dikembangkan seiring dengan cadangan energi di bumi yang sebagian besar mengandalkan energi fosil mulai menipis. Oleh karena itu, dunia harus terus mengembangkan dan menerapkan sistem maupun teknologi yang mengarah pada efisiensi energi.

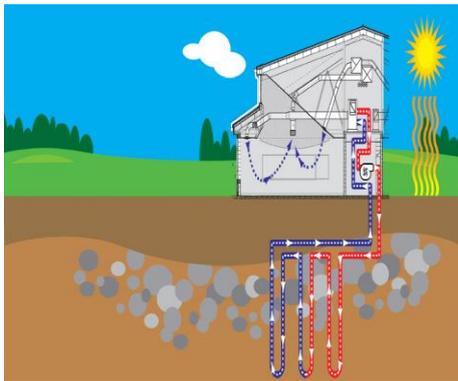
Dewasa ini, penelitian banyak dikembangkan dalam peningkatan penyerapan sistem refrigerasi. Pendingin kompresi gas mekanis memerlukan energi yang besar. (Masheiti, S., dan Agnew, B., 2010). Sistem HVAC adalah salah satu komponen terbesar dalam konsumsi energi di sebuah gedung. Untuk rumah pribadi dapat mengkonsumsi energi hingga 42%. Terdapat pilihan dengan efisiensi tinggi tersedia seperti pompa kalor geotermal. Pompa kalor geotermal memiliki efisiensi tertinggi dengan konsumsi energi tahunan hingga separuh dari

sistem yang biasanya. (Calabro, G., dan Fazio, A., 2012)

Berdasar organisasi pengamat dunia, gedung-gedung mengkonsumsi sekitar 40% produksi energi (Mali, S.N., et al, 2014). Menurut Sadowska dan Kazowski (Mali, S.N., et al, 2014) tabung bumi adalah solusi penyimpanan energi. Mereka telah sukses telah menurunkan suhu gedung sekitar 2 sampai dengan 3 derajat. Menurut Calabro dan Fazio (2012) perubahan iklim dan dampak lingkungan lain yang negatif, dikombinasikan dengan ketergantungan energi bahan bakar fosil yang biayanya terus naik terhadap kebutuhan energi, menunjukkan kebutuhan untuk mencari sumber terbarukan yang bahkan tersedia secara lokal. Hal ini menjadi alasan mengapa banyak hal menarik berkaitan dengan geotermal.

Geotermal merupakan teknologi yang memanfaatkan suhu bumi (Gambar 1.). Terdapat dua jenis geotermal, yaitu *high grade geothermal* dan *low grade geothermal*. *High grade geothermal* adalah panas dan tekanan bumi yang merubah air menjadi uap. *Low grade geothermal* adalah energi kalor pada permukaan bumi. Pada kesempatan

berikutnya, *low grade geothermal* disebut dengan geothermal.



Gambar 1. Teknologi geothermal memanfaatkan suhu bumi (Sumber: <http://www.advancenrg.com/geothermal.html> (diakses 1 april 2015))

Banyaknya penerapan maupun penelitian tentang geothermal di eropa maupun amerika khususnya sebagai pompa kalor (pemanas ruangan) maupun pendingin ruangan, meningkatkan rasa ingin tahu penulis tentang penerapan maupun penelitian geothermal di asia, khususnya di Indonesia. Karena dengan penerapan sistem geothermal di Indonesia, diharapkan seluruh warga Indonesia sadar akan pentingnya efisiensi energi. Dengan adanya efisiensi energi, khususnya energi listrik, akan menghemat banyak biaya yang dampaknya adalah banyaknya daerah-daerah yang juga akan menikmati energi listrik, sehingga pendidikan maupun perekonomian di Indonesia akan lebih baik, dan pengentasan kemiskinan di Indonesia dapat tercapai. Sehingga penelitian dan pengembangan sistem geothermal penting untuk dilakukan.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan:

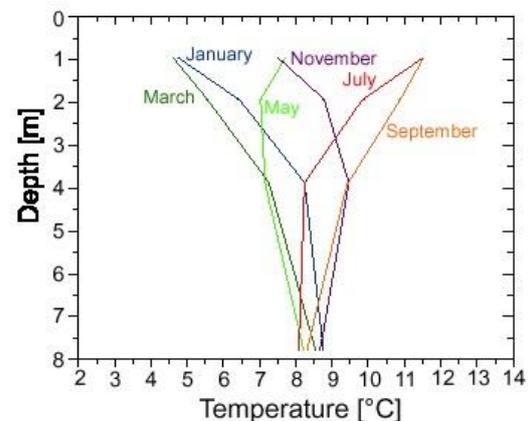
- Untuk mengetahui performa AC split sebelum dimodifikasi dan setelah dimodifikasi menjadi AC sistem geothermal
- Untuk mengetahui kerja kompresi AC split sebelum dimodifikasi, dan setelah dimodifikasi menjadi AC sistem geothermal

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teknologi geothermal

Teknologi geothermal merupakan proses untuk menyalurkan panas ataupun dingin ke dalam gedung. Sistem pemanasan dan pendinginan geothermal mentransfer energi kalor dari bumi, termasuk air bawah tanah dan pompa kalor atau penukar kalor, untuk memanaskan atau

mendinginkan gedung. Dibawah 10 kaki, suhu atau air tanah bervariasi dari 50⁰-55⁰F (10⁰-13⁰C) sepanjang tahun (Kasich, J.R., dan Taylor, M., 2012) (Gambar 2.)



Gambar 2. Hubungan antara kedalaman dan temperatur

Sumber :

<http://www.geothermie.de/wissenswelt/archiv/englisch/description-of-groundsource-types-for-the-heat-pump.html> (diakses tanggal 2 april 2015)

Perpindahan kalor antara ruang kosong dan bumi dapat dicapai dengan melewati fluida melalui pipa. Hal ini dapat dilakukan dengan cara pipa berputar di dalam tanah atau dengan memompa air tanah melewati penukar kalor, kemudian dikembalikan lagi ke bumi. Sehingga sistem pemanasan atau pendinginan geothermal dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. (Kasich, J.R., dan Taylor, M, 2012).

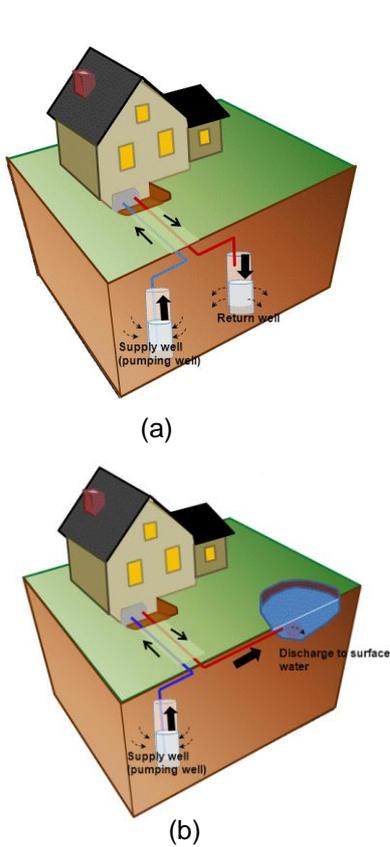
Dalam beberapa kasus, pompa kalor geothermal (biasa disebut dengan *ground-source*) dapat menggunakan bumi sebagai sumber kalor. Pompa geothermal membutuhkan pipa tertanam dengan kedalaman 1 sampai dengan 2 meter. Walau pompa kalor geothermal lebih mahal dalam pemasangan, tetapi lebih efisien (sampai 45 persen lebih efisien daripada pompa kalor dengan sumber udara). COP pompa kalor geothermal sekitar 4,0. (Cengel Y. A., dan Boles, M. A., 2006)

Keuntungan terbesar dari sistem geothermal 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 (Clement, R., et al, 2012). Sistem geothermal diklasifikasikan sebagai berikut :

2.1.1. Sistem Terbuka

Sistem terbuka geothermal memanfaatkan air tanah sebagai penukar kalor (Clement, R., et al, 2012) (Gambar 3). Sistem terbuka mengambil

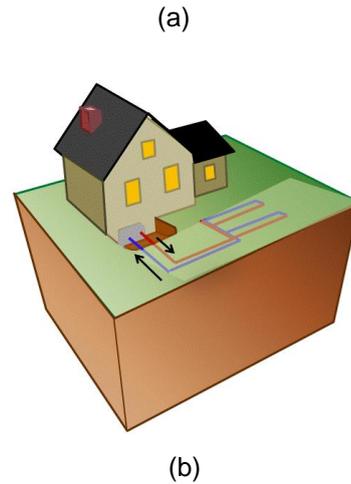
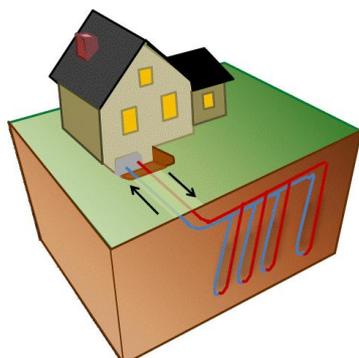
air tanah dari sumur kemudian dilewatkan melalui sistem penukar kalor .



Keterangan : (a) Air tanah dipompa ke penukar kalor dan dikembalikan ke sumur
 (b) Air tanah dipompa ke penukar kalor dan dikembalikan ke air permukaan/kolam
Gambar 3. Geotermal sistem terbuka (Kasich, J.R., dan Taylor, M., 2012)

2.1.2. Sistem Tertutup

Sistem tertutup geotermal merupakan sistem penukar kalor bawah tanah, tetapi air tanah tidak sebagai penukar kalor (Clement, R., et al, 2012). Sistem tertutup geotermal memutar fluida penukar kalor yang biasanya menggunakan air atau fluida lainnya melalui pipa. Pipa tersebut terpasang *loop* atau *multiple loop* yang diletakkan secara vertical ke dalam bumi atau horizontal pada permukaan bumi (Gambar 4.)



Keterangan : (a) *loop* tertutup terpasang secara vertikal
 (b) *loop* tertutup terpasang secara horisontal
Gambar 4. Geotermal sistem tertutup (Kasich, J.R., dan Taylor, M., 2012)

2.2. Konsumsi Energi Listrik di Indonesia

Dalam rangka mempertahankan kelangsungan perusahaan penyedia tenaga listrik dan peningkatan mutu pelayanan kepada konsumen, maka perlu dilakukan penyesuaian tarif tenaga listrik yang disediakan oleh PT Pembangkit Listrik Negara (Persero), dimana Besarannya Tarif Tenaga Listrik (TTL) tahun 2011 mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 8 Tahun 2011.

Tabel 1. Perkembangan subsidi listrik dan kebijakan

Tahun	Alokasi Subsidi (Triliun Rp)	Realisasi Subsidi (Triliun Rp)	Kebijakan Subsidi
2000	3,93	3,93	Defisit Arus Kas
2001	4,62	4,30	Konsumen Terarah, Khusus pelanggan s.d. 450 VA dan pemakaian 60 kWh
2002	4,10	4,10	
2003	3,76	3,36	
2004	3,31	3,31	
2005	12,51	10,64	Konsumen Diperluas, TDL rata-rata lebih rendah dari BPP
2006	31,2	33,90	
2007	29,4	37,48	
2008	62,50	78,58	
2009	47,55	53,72	
2010	55,10	58,10	
2011	65,56	93,18	

Sumber : Ditjen ketenagalistrikan (ESDM, 2012)

2.3.5 Penelitian oleh Avijit Choudhry (2013)

Menurut Choudhury, A. (2013), auditor energi di India dalam beberapa kasus merekomendasikan pompa kalor berbasis air tanah untuk menggantikan sistem HVAC untuk mencapai efisiensi lebih baik. Akan tetapi pengguna harus dibuat paham dengan iklim dan kondisi India bahwa pompa kalor tidak cocok untuk iklim di India. Dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa pendingin geotermal dapat digunakan secara efektif di semua zona iklim. Pompa kalor bisa menjadi sangat ekonomis bagi industri hotel untuk menghasilkan air panas tanpa tambahan input energi. (Choudhury, A., 2013).

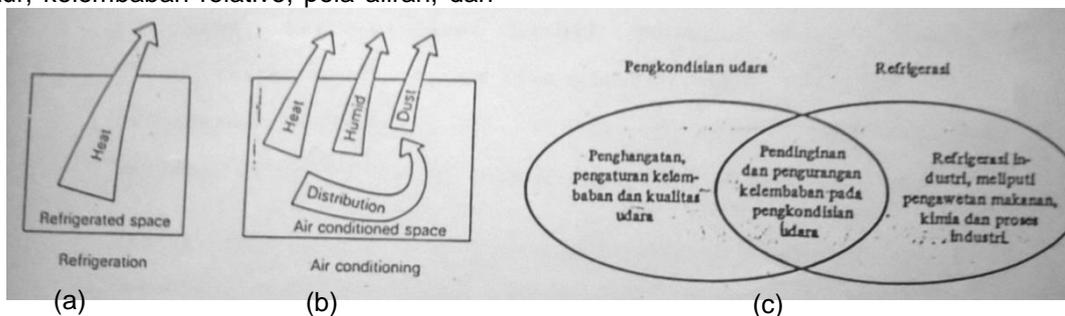
2.4. Sistem Tata Udara dan Refrigerasi

Menurut Tutuk Zakaria (1991) tata udara adalah upaya untuk mengatur secara serentak temperatur, kelembaban relative, pola aliran, dan

kualitas dari udara di dalam ruangan yang dikondisikan, sehingga tercipta keadaan nyaman bagi penghuninya. Sistem tata udara mempunyai dua fungsi utama yaitu :

- Untuk menciptakan kenyamanan bagi manusia
- Agar proses di dalam Industri lancar

Refrigerasi (pendinginan) didefinisikan sebagai suatu proses penurunan temperatur dan mempertahankannya dari suatu ruangan atau bahan di bawah temperatur lingkungannya. Tata udara didefinisikan sebagai proses pengaturan temperatur, kelembaban, distribusi, dan kebersihan udara secara serentak sedemikian rupa sehingga memenuhi kondisi udara ruangan yang diinginkan. (Zakaria, T, 1991)



Keterangan : (a) sistem refrigerasi (b) sistem tata udara (c) kaitan antara refrigerasi dan tata udara

Gambar 5. Perbedaan dan kaitan antara sistem refrigerasi dan tata udara (Zakaria, T, 1991)

Bidang-bidang refrigerasi dan tata udara saling berkaitan satu sama lain, tetapi masing-masing mempunyai ruang lingkup yang berbeda. Perbedaan dan keterkaitan antara keduanya dapat dilukiskan pada Gambar 2.4.

Pada umumnya, temperatur udara (temperatur bola kering) yang menciptakan kenyamanan adalah temperatur pada rentang 24-26°C, dengan RH (*relative humidity*) / kelembaban relative sekitar 50%-60%, dengan kecepatan aliran udara berkisar 0,1-0,2 m/s. Perbedaan temperatur udara luar dan dalam ruangan mempunyai batasan tertentu berkisar antara 6-7°C. Apabila lebih besar dari rentang tersebut, maka kebanyakan penghuni akan timbul "Cold shock" (sock dingin). (Zakaria T, 1991).

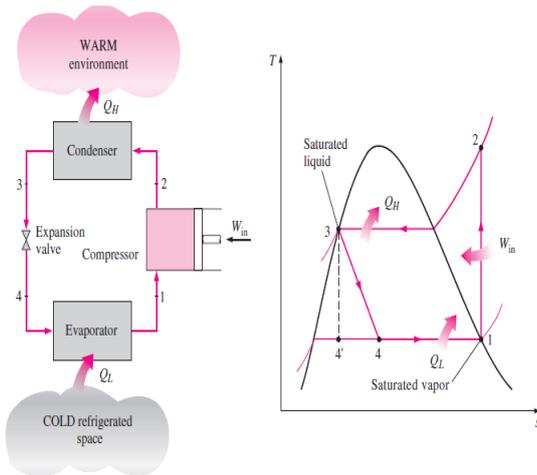
2.4.1. Refrigeran

Refrigeran adalah zat atau fluida pembawa kalor yang berfungsi mengambil kalor dari ruangan atau medium yang didinginkan dan membuangnya ke lingkungan luar. (Zakaria, T., 1991). Menurut Stoecker, W. F., and Jones, J. W., (1982) jenis refrigeran dibagi menjadi 2 yaitu refrigeran primer dan refrigeran sekunder. Refrigeran primer adalah refrigeran yang

digunakan pada sistem kompresi uap. Refrigeran sekunder merupakan fluida yang membawa panas dari benda yang didinginkan ke suatu sistem pendinginan. Suhu refrigeran sekunder akan berubah saat *refrigerant* mengambil panas namun tidak berubah fasa.

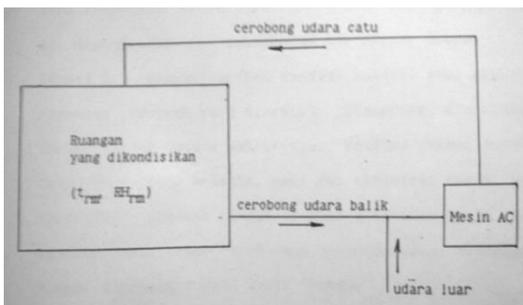
2.4.2. Siklus refrigerasi dan proses pengkondisian udara

Siklus refrigerasi atau juga biasa dengan siklus kompresi uap adalah sederetan proses yang dialami oleh refrigeran di dalam mesin refrigerasi. Mula-mula refrigeran mengalami proses kompresi (penekanan) yang menyebabkan tekanan dan temperturnya naik. Kemudian mengalami proses kondensasi (pencairan) pada temperatur dan tekanan konstan, sambil membuang kalor. Tahap berikutnya, refrigeran mengalami proses ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan dan temperatur. Selanjutnya refrigeran mengalami proses evaporasi (penguapan) pada tekanan konstan, sambil menyerap kalor dari lingkungannya (Gambar 6). (Zakaria, T., 1991).



Gambar 6. Siklus refrigerasi / siklus kompresi uap (Cengel, Y. A., dan Boles, M. A., 2006)

Untuk menciptakan kenyamanan termal, udara di dalam ruangan harus diproses terlebih dahulu sehingga memenuhi persyaratan kenyamanan. Sistem tata udara secara skematis pada gambar 7. Udara catu, yaitu udara yang telah dikondisikan (temperatur dan uap air diturunkan) oleh mesin refrigerasi, dialirkan ke ruangan dan menyerap kalor yang ada di dalam ruangan. Dari dalam ruangan udara ditarik kembali dan dicampur dengan udara luar (udara segar) untuk selanjutnya dikondisikan kembali oleh mesin refrigerasi, dan proses terus berulang seperti semula.

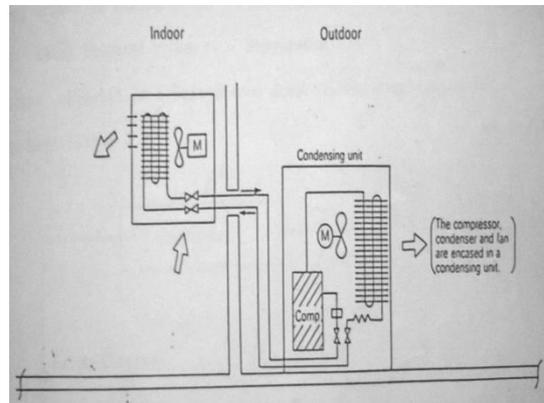


Gambar 7. Proses pengkondisian udara (Zakaria, T., 1991)

2.5. AC Split

Yaitu unit tata udara yang terbagi menjadi dua bagian, satu bagian berada dalam ruangan (*indoor unit*) dan bagian lainnya berada di luar ruangan (*outdoor unit*). *Indoor unit* dan *outdoor unit* dihubungkan dengan sistem pemipaan (Gambar 8). *Indoor unit* terdiri dari komponen-komponen evaporator, katup ekspansi, fan (kipas), dan filter udara. Sedangkan *outdoor unit*

terdiri dari kompresor, kondensor, receiver, dan fan (kipas).



Gambar 8. Skema sistem tata udara tipe terpisah (AC split) (Zakaria, T., 1991)

3. BAHAN DAN METODA

Untuk menjawab permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini maka disusun langkah-langkah penelitian. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental meliputi observasi, study literatur, perancangan, pengambilan data, dan analisis terhadap sistem tata udara yang sebelum dimodifikasi dan setelah dimodifikasi. Hal ini dapat dijelaskan dengan diagram alir pada gambar 10. Berikut di bawah ini adalah detail metodologi penelitian yang akan dilakukan.

3.1. Lokasi penelitian

Penelitian akan dilakukan di Laboratorium refrigerasi dan tata udara Politeknik Sekayu dengan alamat Jl. Kolonel Wahid Udin, Lk.1, Kayuara, Sekayu, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan, 30711.



Gambar 9. Laboratorium refrigerasi dan tata udara Politeknik Sekayu

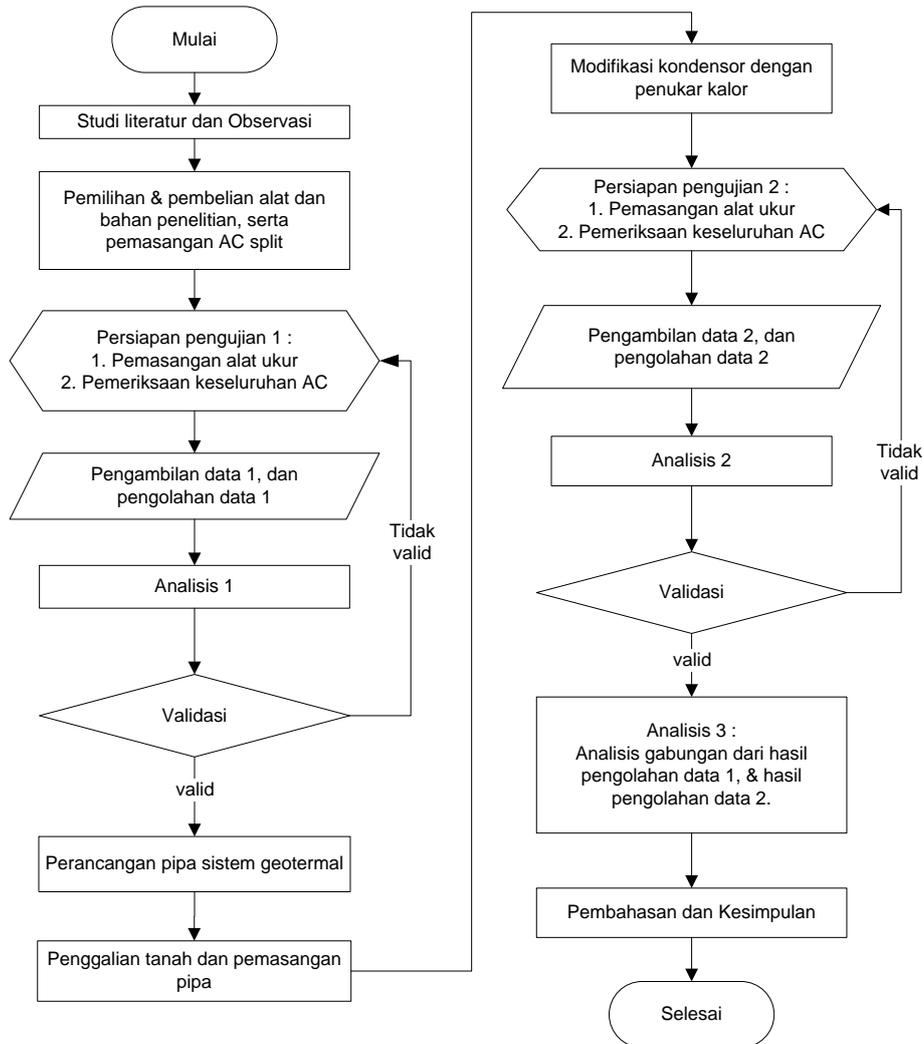
3.2. Rancangan penelitian

3.2.1. Diagram alir penelitian

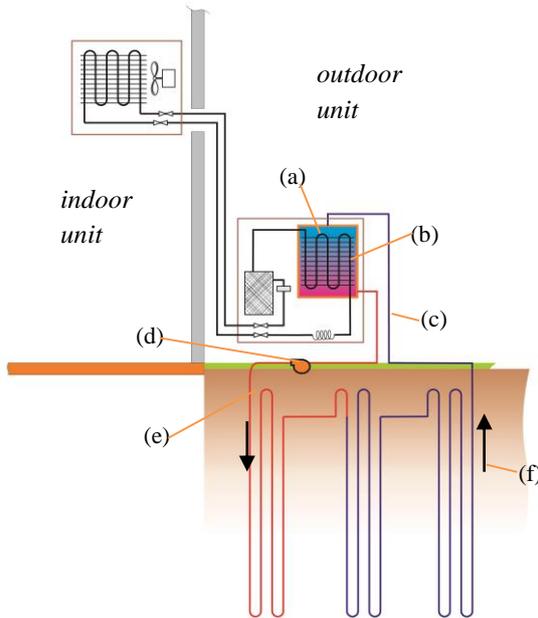
Penelitian ini dilaksanakan dengan diagram alir pada Gambar 3.2.

3.2.2. Rancangan modifikasi

Modifikasi AC *split* lebih diarahkan pada bagian kondensor. Sistem pendinginan bagian kondensor yang biasanya menggunakan udara dan kipas, diganti menggunakan penukar kalor dan suhu bumi. Rancangan modifikasi dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 10. Diagram alir penelitian



Keterangan :

- (a) Penukar kalor / *heat exchanger*
- (b) Kondensor
- (c) Saluran dari tanah
- (d) Pompa
- (e) Saluran menuju ke tanah
- (f) Arah aliran refrigeran sekunder

Gambar 11. Skema AC *split* dimodifikasi menjadi AC geotermal

3.3. Peubah yang diamati / diukur

Peubah yang diukur atau diamati adalah sebagai berikut :

3.3.1. Peubah yang diamati / diukur

Peubah yang diamati / diukur sebelum atau setelah modifikasi adalah

- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1) Suhu keluaran kompresor. | 4) Suhu keluaran evaporator. |
| 2) Suhu keluaran kondensor. | 5) Tegangan Listrik. |
| 3) Suhu keluaran kapiler. | 6) Arus Listrik. |

3.4. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data dengan cara eksperimental / percobaan di lapangan yaitu mengukur peubah yang diamati.

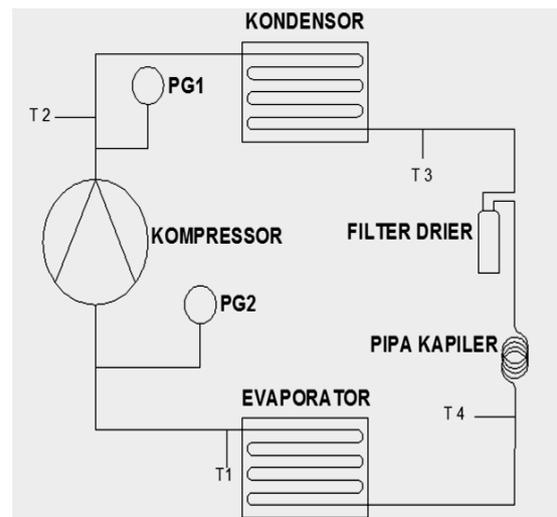
3.4.1. Prosedur pengamatan

Prosedur-prosedur pengamatan yang di lakukan yaitu sebagai berikut :

- 1) Pemeriksaan mesin sistem AC yang akan di uji.
- 2) Pemasangan alat ukur
- 3) Pemeriksaan keseluruhan sistem
- 4) Pengujian pada titik-titik yang akan diukur dan yang ingin diambil data memakai alat yang telah disiapkan.

3.4.2. Penempatan alat ukur

Untuk mendapatkan data yang diinginkan penempatan alat ukur harus sesuai pada tempatnya. Oleh karena itu dirancang penempatan alat ukur sebagai berikut : (Gambar 12)



Keterangan :

- T1 : Tempat penempatan alat ukur pada keluaran evaporator.
- T2 : Tempat peletakan alat ukur pada keluaran kompresor.
- T3 : Tempat peletakan alat ukur pada keluaran kondensor.
- T4 : Tempat peletakan alat ukur pada keluaran pipa kapiler.
- PG 1 : *High pressure*.
- PG 2 : *Low pressure*.

Gambar 12. Penempatan alat ukur

3.4.3. Proses pengambilan data

Setelah alat ukur terpasang langkah selanjutnya adalah menjalankan sistem, dan pengambilan data, data diambil selama 240 menit dengan selang waktu 10 menit sekali. Langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Menghubungkan Steker pada listrik.
- 2) Sistem dibiarkan berjalan sekitar 30 menit sampai suhu ruangan cenderung konstan , data diambil setelah 10 menit sistem berjalan
- 3) Setelah selesai, sistem dimatikan, lalu data disusun dalam tabel.

3.5. Analisis data

Dari data hasil pengamatan yang telah disusun dalam tabel, dilakukan perhitungan COP dan efisiensi, baik sebelum maupun setelah dimodifikasi. Setelah dilakukan pengeplotan data dari tabel ke diagram *mollier* (P-h Diagram) didapatkan hasil *Enthalpy* Spesifik h_1, h_2, h_3 , dan h_4 , Temperatur kondensor dan evaporator (T_{kond} & T_{evap}) dikonversi dalam Kelvin, Sehingga efek refrigerasi dapat diketahui dengan persamaan $q_e = h_1 - h_4$, dengan kerja kompresi $q_w = h_2 - h_1$, daya kompresi (estimasi power factor = 0,8) $P = V.I.\cos\phi$. Sehingga dapat diketahui laju aliran massa $m_{ref} = \frac{\text{Daya Kompresor}}{\text{Efek Refrigerasi}}$

Kemudian dilakukan perhitungan kalor yang dilepaskan kondensor $q_c = h_2 - h_3$ dan kerja kondensor $Q_c = m_{ref} \cdot q_c$, dan dilakukan perhitungan COP actual dan kerja kompresi W_k .

$$\text{COP aktual} = \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kerja Kompresi}}$$

Langkah selanjutnya kemudian melakukan analisis berdasar data yang diambil dan hasil perhitungan dengan mengingat kembali keadaan lingkungan pada saat pengambilan data yang sekiranya dapat mempengaruhi sistem, kemudian diambil kesimpulannya.

3.6. Alat dan Bahan Penelitian

Untuk menyelesaikan permasalahan, dilakukan langkah-langkah penelitian yang sudah dijelaskan pada poin-poin di atas. Berikut ini adalah alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tersebut.

3.6.1. Alat penelitian

- Manifold gauge (alat ukur tekanan refrigeran)
- Pressure gauge (alat ukur tekanan)
- Thermometer (alat ukur temperatur/suhu)
- Tang ampere (alat ukur arus listrik)
- Voltmeter (alat ukur tegangan listrik)
- Las karbit (alat pengelas pipa tembaga)
- Alat-alat pengolah pipa seperti, *flaring tool, swaging tool, cutting tube*, dll.
- Alat-alat pendukung lainnya seperti tang, obeng, kunci pas, palu, gergaji, dll.

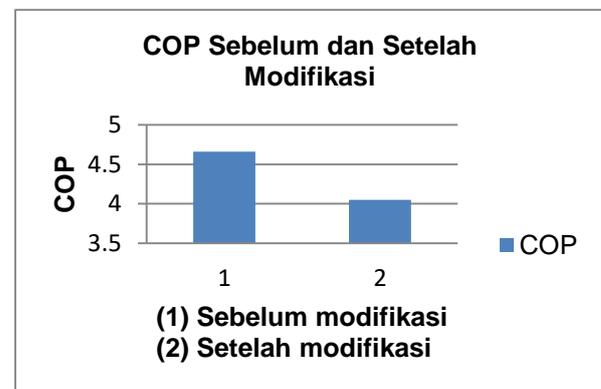
3.6.2. Bahan penelitian AC split

- Pipa tembaga 3/8 inch
- Pipa PVC 1/2 inch
- Pompa air 25 watt
- Refrigeran r22 (refrigeran primer)
- Air (refrigeran sekunder)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peneliti mengikuti alur prosedur sesuai dengan diagram alir. Pengambilan data dimulai sebelum dimodifikasi dan saat ini peneliti sudah sampai pada proses modifikasi kondensor menjadi penukar kalor. Hasil yang dicapai dapat dijelaskan sebagai berikut:

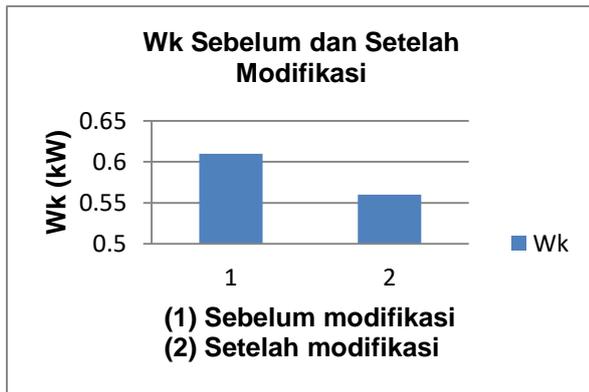
4.1. Hasil perhitungan COP



Gambar 13. Nilai rata-rata COP

Pengambilan data untuk perhitungan COP dilakukan selama dua hari. Dalam satu hari pengambilan data dilakukan selama dua jam yaitu pada pukul 09.00 WIB hingga 10.00 WIB dan pada pukul 14.00 WIB hingga 15.00 WIB. Selain itu, durasi waktu yang digunakan mulai 10 menit terus hingga kelipatannya. Setelah didapatkan data maka dilakukan pengolahan data sehingga mendapatkan nilai COP rata-rata, yang ditampilkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada gambar 13. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa COP setelah dimodifikasi lebih kecil dibandingkan sebelum dimodifikasi.

4.2. Hasil perhitungan kerja kompresi (Wk)



Gambar 14. Nilai rata-rata Wk

Pengambilan data untuk perhitungan Wk dilakukan selama dua hari. Dalam satu hari pengambilan data dilakukan selama dua jam yaitu pada pukul 09.00 WIB hingga 10.00 WIB dan pada pukul 14.00 WIB hingga 15.00 WIB. Selain itu, durasi waktu yang digunakan mulai 10 menit terus hingga kelipatannya. Setelah didapatkan data maka dilakukan pengolahan data sehingga mendapatkan nilai Wk rata-rata, yang ditampilkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada gambar 14. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa Wk rata-rata setelah dimodifikasi lebih kecil dibandingkan sebelum dimodifikasi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

- Nilai COP rata-rata AC split sebelum dimodifikasi adalah 4,66, sedangkan COP rata-rata AC split setelah dimodifikasi (sistem geotermal) adalah 4,05.
- Nilai Wk rata-rata AC split sebelum dimodifikasi adalah 0,61, sedangkan Wk rata-rata AC split setelah dimodifikasi (sistem geotermal) adalah 0,56.

DAFTAR PUSTAKA

1. Calabro, G., dan Fazio, A. 2012. *The Role of Geothermal Energy in Cooling and Heating Systems*. International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences. Vol.02. Issue 1. pp 224-232
2. Cengel, Y. A., and Boles, M. A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th ed.* McGraw-Hill

3. Choudhry, A. 2013. *HVAC vs Geothermal Heat Pump-Myth and Truth*, *Open Journal of Energy Efficiency*. Vol.02. 2013. pp 42-45
4. Clement, R., et al. 2012. *Modelling and Analyse of a Direct Expansion Geothermal Heat Pump (DX) : part 1 Modelling of Ground Heat Exchanger*. Notre-Dame Qouset Montreal (Quebec) : Canada
5. Cocchi, S., Castellucci, S., dan Tucci. 2013. *Modelling of an Air Conditioning System With Geothermal Heat Pump for a Residential Building*. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problem in Engineering. Vol.2013. Article ID 781231, pp
6. Stoecker, W.F., Jones, W.N. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning*. The McGraw-Hill, Inc. New York.
7. Jindal T.K., 2012. *Analysis of Heat Transfer Through A Duct Of Geothermal Cooling and Heating System*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Vol. 2. Issue 10. Oct. 2012. pp 284-287
8. Kasich, J.R. dan Taylor, M. 2012. *Recommendations for Geothermal Heating and Cooling Systems*. Ohio Water Resource Council : Ohio
9. Mali, S.N., More, A.B., Patil, D.S. 2014. *Application of Geothermal Cooling Techniques 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
10. Masheiti, S., dan Agnew, B. 2010. *Thermodynamic Simulation Modelling of Low Temperatur Geothermal Source Located in Arid-Zone Area North Africa*. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. Vol.4. No.1. Jan. 2010. pp 61-68
11. Momin, G.G. 2013. *Experimental Investigation of Geothermal Air Conditioning*. American Journal of Engineering Research (AJER). Vol.02. Issue 12. pp 157-170
12. Zakaria, T. 1991. *AIR CONDITIONING & REFRIGERATION*. ITB : Bandung
13. [http://www.esdm.go.id/berita/listrik/39-listrik/6373-pemakaian-listrik%09 semester-12013-tumbuh-tinggi-di-sektor-produktif-dan-rendah-di%09kelompok-konsumtif.html](http://www.esdm.go.id/berita/listrik/39-listrik/6373-pemakaian-listrik%09%20semester-12013-tumbuh-tinggi-di-sektor-produktif-dan-rendah-di%09kelompok-konsumtif.html), diakses tanggal 1 April 2015
14. <http://www.advancenrg.com/geothermal.html>, diakses 1 april 2015
15. <http://www.geothermie.de/wissenswelt/archiv/englisch/description-of-groundsource-types-for-the-heat-pump.html>, diakses tanggal 2 april 2015