



**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

*"Alam Takambang Jadi Guru"*

**TUGAS AKHIR - MSN1.62.8002**

**ALAT PENUKAR KALOR AIR TANAH-UDARA SEBAGAI PENDINGIN  
PASIF PADA VENTILASI BANGUNAN**

**Ferdi Syaputra S**  
**NIM 19338027**

**Dosen Pembimbing**  
**Dr. Ir Remon Lapisa, S.T., M.T., M.Sc.**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**Departemen Teknik Mesin**  
**Fakultas Teknik**  
**Padang**  
**2023**

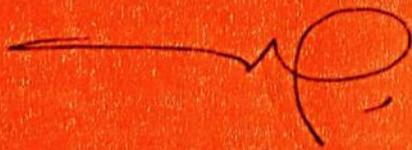
## PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Judul : Alat penukar kalor air tanah-udara sebagai pendingin pasif  
pada ventilasi bangunan  
Nama : Ferdi Syaputra S  
NIM : 19338027  
Tahun Masuk : 2019  
Program Studi : S1 Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Padang, 23 Mei 2023

Disetujui oleh,

Koordinator Program Studi  
S1 Teknik Mesin



Dr. Ir Remon Lapisa, S.T., M.T., M.Sc.  
NIP. 197709182008121001

Pembimbing



Dr. Ir Remon Lapisa, S.T., M.T., M.Sc.  
NIP. 197709182008121001

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

*Dinyatakan lulus setelah mempertahankan Tugas Akhir di depan tim penguji  
Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin,  
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.*

Judul : Alat penukar kalor air tanah-udara sebagai pendingin pasif  
pada ventilasi bangunan  
Nama : Ferdi Syaputra S  
NIM : 19338027  
Tahun Masuk : 2019  
Program Studi : S1 Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Padang, 23 Mei 2023

### Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

1. Ketua : Dr. Ir Remon Lapisa, S.T., M.T., M.Sc.



2. Anggota : Bulkia Rahim, S.Pd., M.Pd.T.



3. Anggota : Dr. Rizky Ema Wulansari, S.Pd., M.Pd.T.



## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulisan saya, Tugas Akhir dengan judul “Alat penukar kalor air tanah-udara sebagai pendingin pasif pada ventilasi bangunan adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Negeri Padang, maupun di Perguruan Tinggi Lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, penilaian, dan rumusan saya sendiri, tanpa bantuan tidak sah dari pihak lain, kecuali arahan dari tim pembimbing dan penguji.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila ada dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 23 Mei 2023

Saya yang menyatakan,



Ferdi Syaputra S  
NIM 19338027

## ABSTRAK

**Ferdi Syaputra S,2023. Alat Penukar Kalor Air Tanah-Udara Sebagai Pendingin Pasif pada Ventilasi Bangunan. Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.**

Konsumsi energi untuk sistem pengkondisian udara dan kenyamanan termal bangunan di Indonesia cukup tinggi. Salah satu solusi yang dikembangkan ialah menggunakan *inersia termal* yang tersimpan di dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk rancang bangun serta menguji efektivitas perpindahan kalor antara tanah-udara sebagai pendingin pasif pada sistem ventilasi bangunan. Penelitian dilakukan selama 48 jam dan kecepatan udara masuk 4,68 m/s, hasil pengukuran menunjukkan berbagai kondisi cuaca maupun suhu meliputi intensitas cahaya rata-rata 1822,6 Lux, temperature lingkungan rata-rata 28,4 °C, kelembapan rata-rata 99,4 %, temperature ruangan rata-rata 30 °C, temperatur air rata-rata 28 °C dan temperatur tanah rata-rata 28,1 °C dan nilai efektivitas maksimum sebesar 2,46 dan nilai minimum udara sebesar 0,9. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perpindahan kalor air tanah-udara yang digunakan sebagai pendingin pasif pada sistem ventilasi bangunan dapat menurunkan temperatur mencapai 2-10°C.

**Kata Kunci :** Lingkungan, Tanah, Pendingin Pasif, Perpindahan Kalor Air Tanah-Udara, Ventilasi Bangunan.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“ALAT PENUKAR KALOR AIR TANAH-UDARA SEBAGAI PENDINGIN PASIF PADA VENTILASI BANGUNAN”**.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan bagian dari pemenuhan persyaratan Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis sangat menyadari bahwa tanpa bimbingan dan bantuan dari semua pihak, penulis tidak mungkin dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada::

1. Kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan dan keselamatan kepada penulis.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga tercinta yang selalu mendoakan dan mendukung setiap langkah yang penulis tempuh dalam pendidikan.
3. Bapak Drs. Purwantono, M.Pd. Selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Dr. Ir Remon Lapisa, S.T., M.T., M.Sc. Selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin dan selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Zainal Abadi, S.Pd., M.eng. Selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah membimbing dalam bidang akademik.
6. Bapak Bulkia Rahim, S.Pd, M.Pd.T. Selaku Dosen Peninjau yang telah memberikan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Ibu Dr. Rizky Ema Wulansari, S.Pd., M.Pd.T. Selaku Dosen Peninjau yang telah memberikan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Bapak Dan Ibu Dosen beserta Staf Administrasi Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang telah membimbing penulis selama kuliah.

9. Rekan–rekan mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.
10. Semua pihak yang tidak di sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini

Walaupun demikian, dalam proposal ini penulis menyadari masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan penelitian ini

Padang, 23 Mei 2023



Ferdi Syaputra S  
NIM. 19338027

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah .....	5
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	6
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	7
A. Perpindahan Panas.....	7
B. Alat Penukar Panas ( <i>Heat Exchanger</i> ).....	9
C. Tipe-tipe <i>Heat Exchanger</i> .....	11
D. Efektivitas Penukar Panas .....	14
E. Ventilasi .....	15
F. Standar Ventilasi .....	16

G. Kenyamanan Termal .....	17
H. Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal.....	19
I. Profil Temperatur Tanah .....	21
J. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Temperatur Tanah.....	24
K. Keseimbangan Panas Tanah.....	25
L. Penelitian yang Relevan .....	26
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
A. Jenis Penelitian.....	29
B. Waktu dan Tempat dilaksanakan .....	29
C. Metode Penelitian.....	30
D. <i>Flowchart</i> .....	30
E. Parameter Pengujian.....	32
F. Alat dan Bahan Penelitian .....	32
G. Pengambilan Data .....	35
H. <i>Set-Up Eksperimen</i> .....	37
I. Metode Pengolahan Data .....	38
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
A. <i>Desain</i> Rangkaian Tabung Alat Penukar Kalor .....	29
B. <i>Desain</i> Rangkaian Slang dan Pipa .....	39
C. Hasil <i>Desain</i> Perancangan Alat.....	40
D. Hasil Data Penelitian Alat Penukar Kalor Air Tanah-Udara .....	41
1. Kondisi Luar Bangunan .....	41
2. Kondisi Temperatur Bangunan dan Temperatur Luar .....	43
3. Kondisi Temperatur $T_{soil}$ , $T_{water}$ , $T_{in}$ , $T_{out}$ Eksperimen.....	45
4. Kondisi Temperatur $T_{in}$ dan $T_{out}$ .....	47

5. Nilai Efektivitas Alat Penukar Kalor Secara Eksperimen.....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	57
A. Kesimpulan.....	57
B. Saran.....	58
<b>DAFTAR RUJUKAN</b> .....	61
<b>LAMPIRAN</b> .....	62

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1. <i>Double Pipe Heat Exchanger</i> .....	12
Gambar 2. <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> .....	13
Gambar 3. <i>Plate and Frame Heat Exchanger</i> .....	14
Gambar 4. Variasi Berdasarkan Waktu.....	22
Gambar 5. Variasi Berdasarkan Kedalaman .....	23
Gambar 6. <i>Flowchart</i> .....	31
Gambar 7. <i>Blower</i> .....	32
Gambar 8. Tabung atau Wadah.....	33
Gambar 9. a. Pipa, b. Selang Spiral .....	33
Gambar 10. <i>Data Logger</i> .....	34
Gambar 11. Termokopel .....	34
Gambar 12. Sensor.....	35
Gambar 13. Alat Penukar Kalor Air Tanah-Udara .....	36
Gambar 14. <i>Set-up</i> eksperimen .....	37
Gambar 15. <i>Node BASE, Node 2, Node 3</i> dan Termokopel.....	38
Gambar 16. Dimensi Rangkaian Tabung Alat Penukar Kalor .....	39
Gambar 17. Dimensi Rangkaian Slang dan Pipa .....	40
Gambar 18. Alat Penukar Kalor Air Tanah-Udara .....	40
Gambar 19. Kondisi Luar Bangunan .....	42
Gambar 20. Kondisi Temperatur Bangunan dan Udara Luar .....	44
Gambar 21. Kondisi $T_{soil}$ , $T_{water}$ , $T_{in}$ , $T_{out}$ Eksperimen .....	45
Gambar 22. Kondisi Temperatur $T_{in}$ dan $T_{out}$ .....	47
Gambar 23. Grafik Efektivitas Alat Penukar Kalor Air Tanah-Udara.....	49

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Batas Kenyamanan Termal .....	18
2. Efektivitas Eksperimen dari Alat Penukar Kalor Air Tanah-Udara .....	49

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Dokumentasi Penelitian .....	55
2. Data Penelitian .....	57

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Indonesia memiliki iklim tropis yang ditandai dengan intensitas radiasi matahari, temperatur, kelembaban, curah hujan yang tinggi, dan langit yang selalu mendung sehingga masyarakat membutuhkan kondisi lingkungan yang nyaman di dalam sebuah bangunan. Energi diperlukan untuk menjaga kondisi lingkungan agar tetap nyaman di dalam sebuah bangunan. Sebagian besar energi digunakan untuk memanaskan maupun mengkondisikan udara, energi tersebut yang diperoleh dari bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas bumi. Terbatasnya energi fosil mendorong manusia untuk mencari energi terbarukan yang dapat digunakan untuk memperbaiki kondisi lingkungan di dalam bangunan (Belatrache, 2016).

Kenyamanan termal adalah salah satu hal utama yang perlu diperhatikan pada sebuah bangunan (Carlucci, 2013). Sebuah bangunan mempunyai nilai estetika yang berfungsi sebagai tujuan bangunan tersebut *didesain* dan memberikan kenyamanan bagi penghuninya. Kenyamanan termal sangat dipengaruhi oleh sistem pengkondisian udara dan sistem ventilasi (Lapisa. 2014). Manusia membutuhkan kenyamanan termal agar dapat melakukan aktivitas dengan baik di rumah, sekolah atau tempat kerja, Kenyamanan termal berkaitan dengan cuaca dan temperatur lingkungan dan berbagai faktor lainnya yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal. Menurut standar yang ditentukan SNI 03-6572-2001, temperatur ruangan yang sehat adalah berkisar 18 °C-26 °C.

Meningkatkan kenyamanan termal bagi penghuni di iklim tropis, bangunan biasanya dilengkapi dengan alat pengkondisian udara dan ventilasi yang biasanya dikenal dengan sistem *Heating Ventilating and Air Conditioning* (HVAC) (Lundgren-Kownacki.2017). Akan tetapi sistem HVAC pada sebuah bangunan membutuhkan energi yang cukup besar dan berpotensi merusak lingkungan (Davis. 2021). Konsumsi energi bangunan untuk sistem HVAC sekitar 40% dari total konsumsi energi bangunan (Prasetyo. 2019). Tingginya pertumbuhan konsumsi energi di sektor bangunan yang tidak didukung oleh produksi dan cadangan energi yang memadai dapat mengganggu stabilitas ketahanan energi. Karena itu, perlu dilakukan upaya intensif untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energi di semua sektor. Untuk keamanan energi dan pelestarian lingkungan, diperlukan meminimalkan konsumsi energi dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh sistem HVAC pada bangunan. Meskipun efisiensi energi sangat signifikan, namun kenyamanan termal penghuni tetap menjadi syarat utama yang harus diperhatikan dalam proses desain dan konstruksi bangunan. (Lapisa, 2023)

Karena meningkatnya kebutuhan manusia akan udara yang nyaman, kenaikan harga energi dan masalah lingkungan, sekarang masyarakat mencari energi terbarukan yang dapat memenuhi semua masalah tersebut. Solusi yang bisa dikembangkan ialah dengan menggunakan inersia termal yang tersimpan di dalam tanah, energi ini dapat dimanfaatkan sebagai

ventilasi maupun sistem pengkondisian udara dengan menggunakan alat yang disebut penukar kalor antara air tanah-udara (Belatrache, 2016).

Daerah iklim tropis dengan temperatur luar bangunan yang relatif hangat, tanah dapat bertindak sebagai media pendingin, mentransfer panas berlebih dari bangunan. Tanah menerima energi matahari melalui permukaannya dan berfungsi sebagai reservoir energi matahari yang besar. Naik turunnya temperatur tanah tergantung dengan kedalaman tanah. Pada kedalaman 10 meter tanah memiliki temperatur lebih tinggi dari udara luar di musim dingin, sebaliknya tanah memiliki temperatur lebih rendah dari udara luar di musim panas. Hal ini merupakan potensi untuk menggunakan inersia tanah untuk pendinginan pasif pada bangunan (Terang UHS Ginting Manika, 2020).

Alat penukar kalor air tanah-udara terdiri dari selang spiral yang di letakkan di dalam tabung atau wadah kemudian wadah tersebut di isi air dan di timbun ke dalam tanah untuk mensuplai pengkondisian udara pada sebuah bangunan. Fenomena yang terjadi cukup sederhana dan bergantung pada perbedaan temperatur antara air tanah-udara lingkungan. Udara lingkungan dialirkan kedalam selang spiral yang di letakan di dalam sebuah tabung atau wadah yang ditimbun didalam tanah menggunakan *blower* dan mengalami perpindahan panas langsung dengan air tanah-udara tersebut bersirkulasi di dalam ruangan uji dan yang dimana udara di ruang uji nantinya di salurkan menuju ke sebuah bangunan.

Pengembangan metode sistem perpindahan panas di dalam tanah ini selain untuk pendinginan pada sebuah bangunan yang berbiaya murah juga diharapkan dapat memperbaiki sistem ventilasi di dalam sebuah bangunan karena pertukaran udara didalam sebuah bangunan dengan udara segar di luar bangunan yang dimana bertujuan untuk mengurangi dan menggantikan udara berpolutan (zat yang berbahaya bagi manusia) di dalam sebuah bangunan. Polutan merupakan zat berbahaya bagi manusia , termasuk karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), bakteri dan virus-virus yang terdapat di dalam sebuah bangunan dan juga dapat mengurangi kadar CFC (*Chloro-Fluoro-Carbon*) dalam udara yang banyak digunakan mesin-mesin pendingin ruangan seperti AC (*air conditioner*).

Bangunan yang sehat dan nyaman dimana terdapat sistem ventilasi yang baik, karena dimana sistem ventilasi digunakan pada bangunan untuk sirkulasi udara dan pengkondisian udara maka sistem ventilasi sangat perlu diperhatikan. Untuk meminimalisir resiko yang merugikan tersebut di atas, kita dapat menggunakan ventilasi yang baik untuk menukar udara di dalam gedung dengan udara di luar gedung, kemudian yang dimana nantinya menggunakan alat penukar panas air tanah-udara yang berfungsi sebagai pengkondisian udara.

Penelitian ini bertujuan untuk rancang bangun dan melakukan uji efektivitas perpindahan kalor air tanah-udara sebagai pendingin pasif pada sistem ventilasi bangunan.

**B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas dapat disimpulkan indentifikasi masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Kenyamanan termal di dalam bangunan rendah dan perlu ditingkatkan.
2. Tingginya konsumsi energi bangunan untuk sistem pengkondisian udara yang mengakibatkan biaya yang tinggi.
3. Ventilasi bangunan yang buruk dapat mengakibatkan masalah bagi kesehatan penghuni.

**C. Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Sistem pendingin pasif di rancang untuk daerah tropis.
2. Perpindahan panas terjadi di dalam alat pemindah panas.
3. Udara lingkungan di alirkan kedalam selang spiral menggunakan *blower*.

**D. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana konsep pendinginan pasif air tanah-udara untuk mendinginkan udara dalam ventilasi.
2. Berapa penurunan temperatur yang diperoleh pada alat penukar kalor air tanah-udara.

## **E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian ini adalah untuk rancang bangun dan melakukan uji efektivitas sebuah alat penukar kalor air tanah-udara sebagai pendingin pasif pada sistem ventilasi bangunan.

## **F. Manfaat Penelitian**

### **1. Bagi Peneliti**

- a. Meningkatkan pengetahuan dan dapat dijadikan tambahan referensi landasan pada penelitian mengenai alat penukaran kalor-udara untuk pendinginan ruangan.
- b. Untuk mengetahui seberapa besar penurunan temperatur yang didapat dengan menggunakan sistem perpindahan panas pada lapisan tanah dan air.

### **2. Bagi Institusi**

Hasil penelitian ini diharapkan bisa menambah ilmu atau informasi kepada masyarakat mengenai alat penukaran kalor-udara untuk pendinginan ruangan.