



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**ANALISA PENGGANTIAN MATERIAL INSULASI PIPA PENYALUR UAP  
*GEOHERMAL* DAERAH KAMOJANG**

**TUGAS AKHIR**

**Yuda Andi Prayogo**

**1121600041**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA  
TANGERANG SELATAN**

**2021**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**ANALISA PENGGANTIAN MATERIAL INSULASI PIPA PENYALUR UAP  
GEOHERMAL DAERAH KAMOJANG**

**TUGAS AKHIR/SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana**

**Yuda Andi Prayogo**

**1121600041**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA  
TANGERANG SELATAN**

**2021**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

PROPOSAL Tugas Akhir/Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan merupakan hasil plagiat dari karya orang lain dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Yuda Andi Prayogo

NRP : 11216000041

Tanda Tangan : 

Tanggal : 17 September



## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir/Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yuda Andi Prayogo  
NPM : 1121600041  
Program Studi : Teknik Mesin – Institut Teknologi Indonesia  
Judul : Analisa Penggantian Material Insulasi Pipa Penyalur Uap  
*Geothermal* Daerah Kamojang

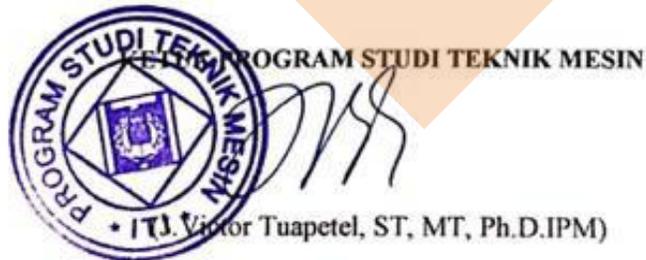
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Agus Rusyana Hoetman  
Penguji I : Ir. Maradu Sibarani, M.Si  
Penguji II : Dipl. Ing. M. Kurniadi Rasyid, MM  
Penguji III : J. Victor Tuapetel, ST, MT, Ph.D, IPM

Ditetapkan di : Serpong, Tangerang Selatan

Tanggal : 16 September 2021



## KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, Propoasal Tugas Akhir/Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan Proposal Tugas Akhir/Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia. Tugas Akhir/Skripsi ini dapat diselesaikan dengan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada:

1. Kedua Orang tua serta keluarga. Yang telah memberikan bantuan dan dukungan material dan moral.
2. Kepada Kepala Program Studi Teknik Mesin ITI – J. Victor Tuapetel ST. MT. Ph.D, serta seluruh staff Program Studi Teknik Mesin ITI yang telah membantu dari awalsampai akhirnya mencapai Tugas Akhir.
3. Dr.Agus Rusyana Hoetman selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan Tugas Akhir/Skripsi ini.
4. Pathya Rupajati ST, MT selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah membimbing dan mengarahkan di bidang akademik mulai dari awal perkuliahan sampai dengan tersusunnya Tugas Akhir/Skripsi ini.
5. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin, Mahasiswa Institut Teknologi Indonesia, yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir/Skripsi ini.

Tangerang Selatan, 14 September 2021

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademika Institut Teknologi Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yuda Andi Prayogo

NPM : 1121600041

Program Studi : Teknik Mesin

Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### **ANALISA PENGGANTIAN MATERIAL INSULASI PIPA PENYALUR UAP GEOTHERMAL DAERAH KAMOJANG**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Teknologi Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir/Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Tangerang Selatan

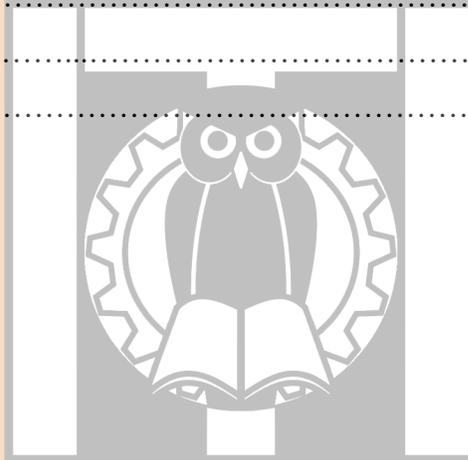
30 Juli 2021

  
(Yuda Andi Prayogo)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	4
1.3 Perumusan masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 <i>State Of The Art</i> .....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
2.1. Teori Energi Panas Bumi.....	8
2.2. <i>Heat Transfer</i> .....	11
2.3. Perpindahan Panas Pada Pipa Penyalur Uap Panas Bumi.....	12
2.4. Tujuan dan Manfaat Dari Pemakaian Isolasi.....	14
2.5. Kriteria Pemilihan Isolasi.....	15
2.6 Hal yang Harus Diperhatikan Dalam <i>Design</i> Isolasi.....	15
2.7 Material Isolasi Pipa.....	16
2.8 Kondisi Batas Konduksi.....	17
2.9 Nilai Ekonomis.....	21

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	31
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2. Data Masing-Masing Pipa Penyalur.....	32
3.3. Termal Konduktivitas Material Isolasi.....	33
3.4. Tahap Pengolahan Data.....	34
<b>BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA</b> .....	37
4.1. Perhitungan.....	31
4.2. Nilai Heatloss dari Pipa.....	33
4.3. Nilai Ekonomis Penggantian Insulasi Pipa.....	42
4.4. Perbandingan kerugian Bahan Insulasi.....	43
4.5 Harga Material Isolasi.....	45
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	46
5.1. Kesimpulan.....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	47



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Lapangan Panas Bumi Kamojang

Gambar 1. 2 Konseptual Model Sebuah Lapangan Panas Bumi

Gambar 1. 3 Pipa Penyalur Uap Power Plant Unit 4

Gambar 2.1 Proses Terbentuknya Uap Panas Bumi

Gambar 2. 2 Tahapan Pembentukan Uap Kukus

Gambar 2.3 Diagram Isolasi Pipa

Gambar 2. 4 Isolasi Pipa

Gambar 2. 5 Silinder Bahan Baja

Gambar 2. 6 Sistem Pipa

Gambar 2.7 Silinder Dinding Satu Lapis Dan Dinding Dua Lapis

Gambar 3.1 Diagram Alir

Gambar 3.2 Denah Pipa Penyalur

Gambar 4.1 Insulasi *Aluminium Clading*

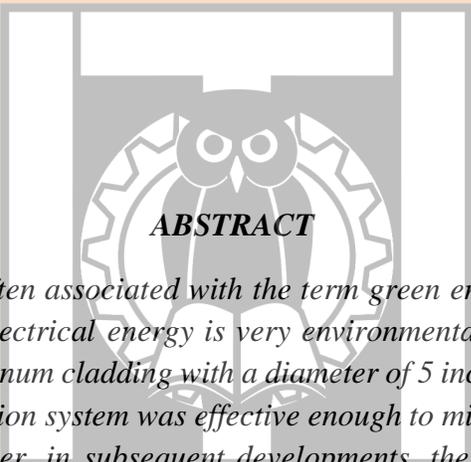
Gambar 4.2 Insulasi *Mineral Wool*



## ABSTRAK

Energi panas bumi sering di asosiasikan dengan istilah *green energy* karena seluruh proses pembangkitan energi listrik sangat ramah lingkungan. Pipa hanya di bungkus dengan *aluminium cladding* dengan diameter 5 inchi lebih besar dari ukuran pipa. Pada awalnya sistem isolasi ini cukup efektif untuk meminimalkan laju kondensasi sesuai yang direncanakan. Namun dalam perkembangan selanjutnya Performansi sistem isolasi *air jacket* tidak lagi sesuai yang dipertahankan. Agar terjadi efisiensi di dalam pemanfaatan energi diupayakan *heatloss* yang terjadi sekecil mungkin. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan mengganti material isolasi pipa dengan bahan *Mineral wool* yang dapat meminimalisir rugi-rugi panas sebesar 1.830.326 *Watt* serta kerugian pendapatan perusahaan untuk kurun waktu operasi selama 10 tahun.

Kata kunci : *geothermal energy, kehilangan panas, isolasi pipa*



### ABSTRACT

*Geothermal energy is often associated with the term green energy because the entire process of generating electrical energy is very environmentally friendly. The pipe is only wrapped with aluminum cladding with a diameter of 5 inches larger than the pipe size. Initially this insulation system was effective enough to minimize the condensation rate as planned. However, in subsequent developments, the performance of the air jacket insulation system is no longer as maintained. In order for efficiency to occur in energy utilization, the heat loss that occurs is as small as possible. One way to do this is to replace the pipe insulation material with Mineral wool, so it can minimize heat losses of 1.830.326 Watts and the company's revenue loss for an operating period of 10 years.*

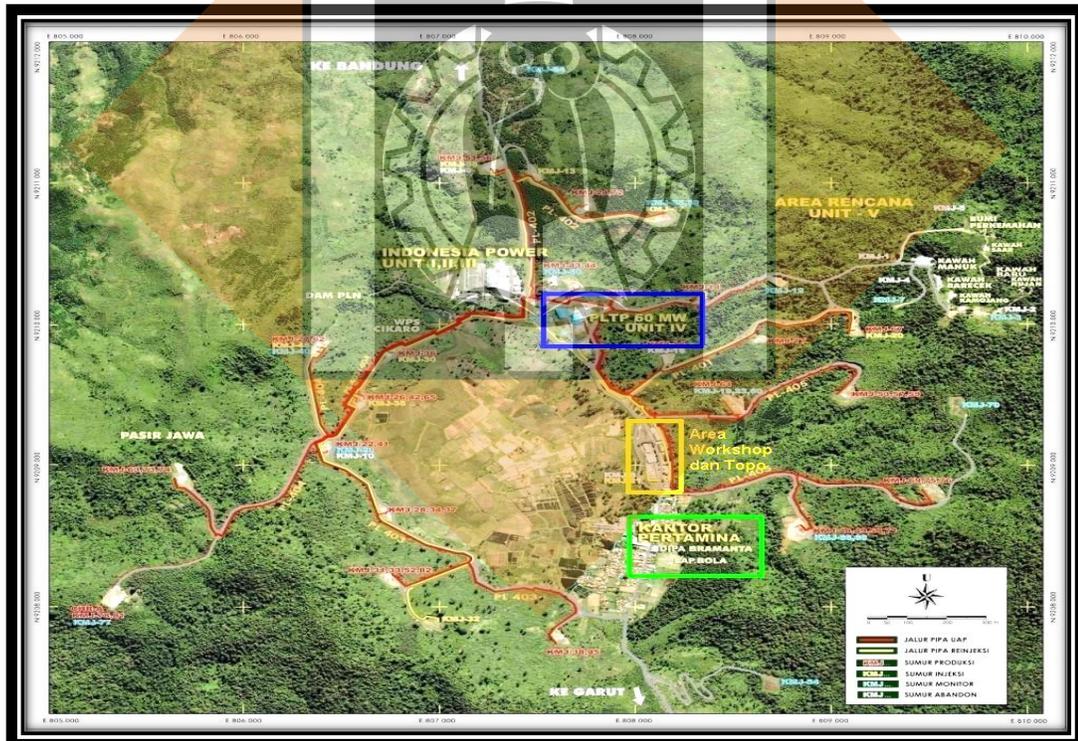
*Keyword : geothermal energy, heatloss, pipe insulation*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

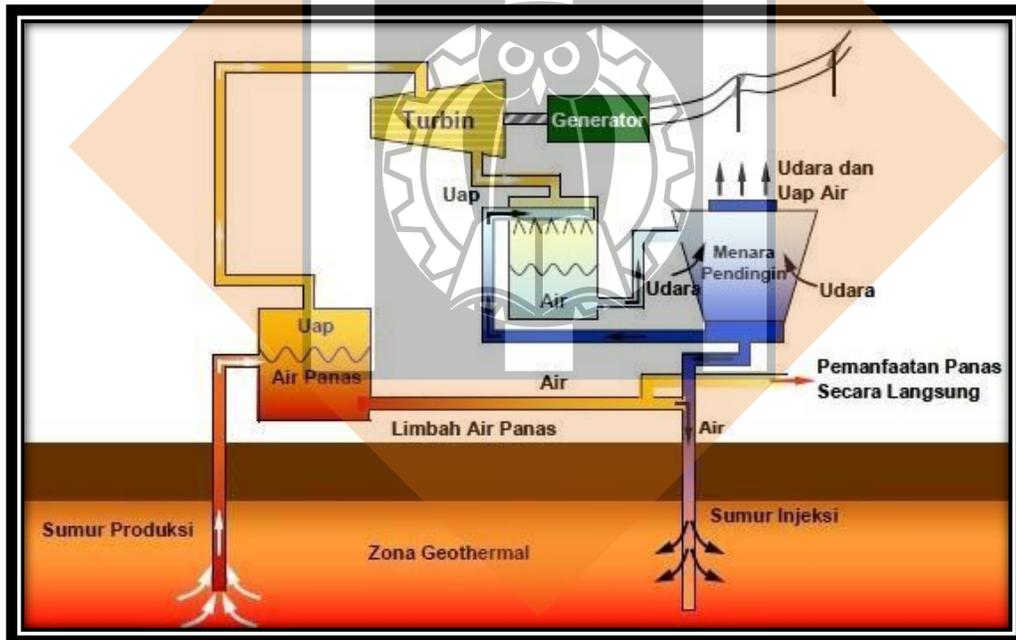
### 1.1. Latar Belakang

Pertamina Geothermal Energy (PGE) merupakan anak perusahaan PT. Pertamina (Persero), berdiri sejak tahun 2006. Lapangan pembangkit listrik tenaga panas bumi Kamojang terletak 42 km arah tenggara kota Bandung, Jawa Barat. Lapangan ini membentang pada deretan Gunung api Rakutak-Guntur dan terletak 1500 m di atas permukaan laut. Lapangan Kamojang memiliki *reservoir* dengan tipe sistem dominasi uap. Bentuk manifestasi panas bumi di permukaan yang ada di lapangan ini terdiri dari kolam air panas, kubangan lumpur panas, tanah beruap dan mata air panas yang tersebar di area Kamojang. Uap kering diproduksi dari *reservoir* sebesar 1100 ton/jam atau setara dengan 200 Mwe (Laporan Harian Fungsi Produksi PT.Pertamina Geothermal Energy (PGE) area Kamojang, 2013)



Gambar 1.1 Lokasi Lapangan Panas Bumi Pertamina Geothermal Kamojang, Jawa Barat  
(sumber : PT.Pertamina Geothermal Energy)

*Geothermal Power Plant* ini dimulai dari scrubber hingga proses pembangkitan listrik. Uap yang sudah dipisahkan dari scrubber akan menghasilkan uap kering sehingga dapat memutar turbin dan mengubah energi panas menjadi energi gerak, sedangkan kondensat yang dihasilkan scrubber akan dialirkan ke sump pit. Putaran dari turbin tersebut akan menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik. Energi uap yang sudah tidak bisa digunakan untuk memutar turbin akan dialirkan ke kondensor dan akan disemprotkan dengan air kondensat sehingga uap tersebut berubah fasa menjadi cair. Kondensat tersebut akan diteruskan ke cooling tower oleh hot well pump untuk menurunkan temperatur dari kondensat. Uap yang tidak bisa dikondensasikan atau NCG (Non-Condensable Gas) akan dialirkan ke ejector untuk disemprotkan ke interkondensor untuk dikondensasikan kembali. Setelah dari interkondensor, NCG akan dialirkan ke cooling tower untuk dibuang. Kondensat yang sudah dingin akan diteruskan lagi ke kondensor untuk mengubah fasa uap, seperti terlihat pada Gambar 1.2 dibawah ini



**Gambar 1.2 Ilustrasi Sederhana Proses Panas Bumi Menjadi Listrik**  
(sumber: ilustrasi proses energy panas bumi)

Pipa yang digunakan untuk menyalurkan uap dari sumur menuju unit pembangkit listrik (*power plant*) diberi isolasi untuk meminimalisir kehilangan energi. Material

yang umumnya dipakai sebagai isolasi diantaranya *calcium silicate*, *rock wool*, *cellural glass*, *Perlite* dan lain-lain. Namun pipa penyalur uap di lapangan Kamojang dirancang menggunakan sistem isolasi pembungkus udara. Pipa hanya di bungkus dengan *aluminium clading* dengan diameter 5 inchi lebih besar dari ukuran pipa. Annulus diantara pipa dan alumunium clading dibiarkan kosong sehingga isolasi hanya mengandalkan udara yang terperangkap diantara pipa penyalur dan aluminium clading. Pada awalnya sistem isolasi ini cukup efektif untuk meminimalkan laju kondensasi sesuai yang direncanakan. Namun dalam perkembangan selanjutnya Performansi sistem isolasi *air jacket* tidak lagi sesuai yang dipertahankan.

Hal ini disebabkan laju kondensasi akibat kehilangan panas proses penyalur uap semakin lama akan meningkat. Pada awal laju kondensasi tercatat hanya sebesar 2 Kg/s namun setelah 10 tahun beroperasi meningkat menjadi 10 Kg/s. Pipa penyalur yang digunakan untuk mensuplai uap ke power plant unit IV menghasilkan listrik sebesar 55 Mwe. Dengan konversi energi uap ke energi listrik sebesar 1.82 Kg/s/Mwe berarti penurunan efektivitas sistem isolasi pipa penyalur telah menyebabkan kerugian sekitar 10 Mwe atau kurang lebih USD 2.7 juta dollar pertahun

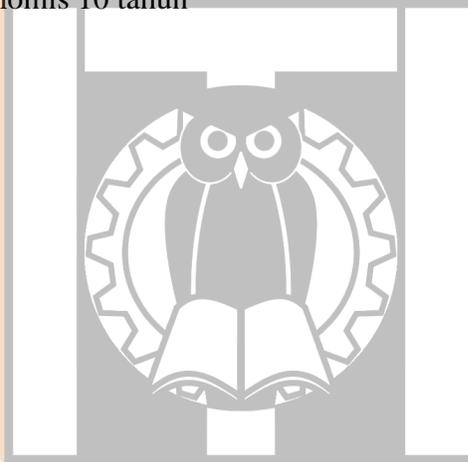
Mengetahui potensi kerugian sebesar itu, perusahaan bermaksud untuk menggantisistem isolasi yang terpasang saat ini yaitu *air jacket* dengan sistem isolasi lain untuk memaksimalkan pemakaian energi uap. Pada saat ini ada pemikiran bahwa kelayakan penggantian dengan sistem isolasi baru paling tidak, dapat:

1. Menurunkan jumlah kehilangan panas (*Heatloss*) sepanjang pipa penyalur uap.
2. Menurunkan temperature permukaan isolasi pipa berada pada kisaran yang aman bila tersentuh oleh manusia. Hal ini penting mengingat jumlah penduduk yang bermukim disekitar pipa semakin meningkat, maka temperatur permukaan clading harus diturunkan sampai kepada batas aman bila tersentuh oleh tangan terbuka (umumnya antara 30-60°C).

Salah satu cara yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan diatas adalah dengan meninjau kembali semua data operasi yang ada terutama data yang berhubungan dengan proses penyaluran uap. Lalu dilakukan Analisa teknis untuk mencari solusi yang paling baik.

## 1.2. Tujuan Penelitian

1. Menguji apakah dari penggantian isolasi layak dilakukan dan memberikan rekomendasi alternatif pengganti isolasi *air jacket* yang dengan material yang lebih baik dan ekonomis.
2. Menganalisa dan menghitung, menentukan jenis-jenis isolasi yang tepat untuk mengurangi *heatloss*.
3. Melakukan uji sensitivitas untuk melihat pengaruh beberapa variable yang tertentu terhadap pemilihan ketebalan isolasi. Variabel-variable yang akan diuji sensitivitasnya terhadap perhitungan penggantian isolasi antara lain
  - ❖ Thermal konduktivitas material isolasi antara 0.035 - 0.1 W/m K.
  - ❖ Konsumsi uap (*steam rate*) antara 1.60 - 1.80 kg/s/MW.
  - ❖ Usia ekonomis 10 tahun



### 1.3. Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan nilai *heatloss* dari sistem pipa penyalur uap bahan isolasi lama dengan bahan isolasi baru ?
2. Bagaimana optimasi pemilihan bahan insulasi dan ketebalan insulasi yang sesuai dengan nilai penurunan temperatur terkecil?
3. Melakukan kajian terhadap sistim pipa penyalur dengan tujuan untuk mengurangi jumlah uap yang terkondensasi dan untuk menjaga kesinambungan dan ketersediaan pasokan uap untuk jangka panjang.

### 1.4. Batasan Masalah

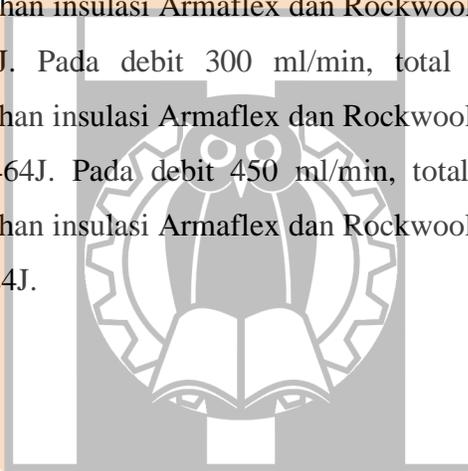
1. Perhitungan hanya mencakup sistem pipa penyalur dari Unit IV. Sedangkan Unit I-III tidak masuk dalam perhitungannya, karena pipa tersebut digunakan untuk menyalurkan uap ke power plan yang berbeda.
2. Hanya memasukan perhitungan pada pipa-pipa diatas 20 inchi.
3. Melakukan kajian dari sisi reservoir mengapa laju kondensasi terus meningkat sejalan dengan penambahan waktu.

### 1.5. State of the Art Penelitian

Dalam jurnal yang ditulis oleh Muntolib dan Rusdiyantoro (2014), Uap panas merupakan sumber utama dalam mengolah produksi, aliran pipa uap panas selalu dipengaruhi udara bebas, karena itu harus dilakukan pemilihan bahan isolasi jenis mineral wool, calcium silicate dan ceramic fiber blanket dengan membuat model simulasi untuk menentukan bahan yang paling tepat dalam mengurangi kehilangan panas. Analisa dilakukan dengan menghitung jumlah kehilangan panas tanpa menggunakan bahan isolasi dan menggunakan isolasi dengan ketebalan bervariasi. Proses analisa dilakukan pada suhu 150 °C dengan hasil isolasi mineral wool tebal 25 mm sebesar 5.714 watt, tebal 50 mm sebesar 3.489 watt dan tebal 75 mm sebesar 2.633 watt. Sedangkan hasil isolasi calcium silicate tebal 25 mm sebesar 7.774 watt, tebal 50 mm sebesar 4.913 watt dan tebal 75 mm sebesar 3.756 watt. Sedangkan hasil isolasi ceramic fiber blanket tebal 25 mm sebesar 6.756 watt, tebal 50 mm sebesar 4.197 watt dan tebal 75 mm sebesar 3.188 watt. Bahan isolasi mineral wool memiliki hasil terbaik dibandingkan calcium silicate dan ceramic fiber blanket. Kesimpulan pemilihan bahan isolasi dipengaruhi nilai termal konduktivitas dan tebal bahan. Dengan cara membuat simulasi dalam keadaan steady untuk menentukan bahan yang paling tepat dalam mengurangi *heatloss*.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nicko Matthew (2018) Kehilangan panas yang disebabkan karena perpindahan panas dari suhu tinggi ke suhu rendah merupakan salah satu masalah yang dijumpai dalam perencanaan pipa panas bumi. Insulasi menjadi solusi dalam menanggulangi permasalahan tersebut. Analisis ini dilakukan pada jalur pipa yang terisolasi di lapangan uap berukuran 18 inci, analisis tersebut dilakukan dengan 3 jenis insulasi yaitu kalsium silikat, rockwool, foam glass. Ketiga material tersebut memiliki nilai konduktivitas yang berbeda, sehingga kemampuan menahan panas pada setiap material insulasi juga berbeda. Analisis ini dilakukan untuk menentukan material terbaik untuk menanggulangi kehilangan panas yang terjadi. Rockwool menjadi material yang terbaik dibandingkan 2 material lainnya

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Adli (2016) suatu sistem pemanas air tenaga surya dimana tangki penyimpanan yang berada di sistem ini dibungkus dengan bahan insulasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan insulasi terhadap perpindahan kalor pada tangki penyimpanan untuk sistem pemanas air tenaga surya. Bahan insulasi yang digunakan pada pengujian ini antara lain Armaflex, Busa, Ceramic Fiber, Glasswool, Kapas, Kapuk, Plasticine, Polyfoam, Rockwool, dan Styrofoam. Fluida yang berada di sistem pemanas air tenaga surya ini dialirkan dengan bantuan pompa aquarium. Debit yang digunakan untuk mengalirkan fluida yaitu 150 ml/min, 300 ml/min, dan 450 ml/min. Dari hasil penelitian, tangki penyimpanan dengan bahan insulasi Armaflex dan Rockwool memiliki total heat loss paling sedikit daripada bahan insulasi yang lain. Pada debit 150 ml/min, total heat loss pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi Armaflex dan Rockwool masing-masing sebesar 807.429J dan 705.579J. Pada debit 300 ml/min, total heat loss pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi Armaflex dan Rockwool masing-masing sebesar 2.067.534J dan 2.032.464J. Pada debit 450 ml/min, total heat loss pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi Armaflex dan Rockwool masing-masing sebesar 2.942.121J dan 3.153.024J.



## **1.6. Sistematika Penulisan**

### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan tentang latar belakang masalah penulisan, batasan masalah penulisan, tujuan penulisan, metode penulisan, sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Membahas teori dasar yang menunjang dalam penulisan tugas akhir ini. Umumnya mengenai uap panas, termodinamika, teori perpindahan panas, gheothermal teknologi.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Berisikan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian data-data yang dikumpulkan dari lapangan untuk dan berbagai sumber literatur seperti database dan perpustakaan perusahaan.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Melakukan perhitungan dan analisa mengenai berbagai alternative pilihan material isolasi, perhitungan dan analisis pengaruh tegangan dari penambahan material insulasi.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Merupakan penutup dari penulisan tugas akhir ini yang berisi tentang kesimpulan dan saran-saran.

## BAB 2

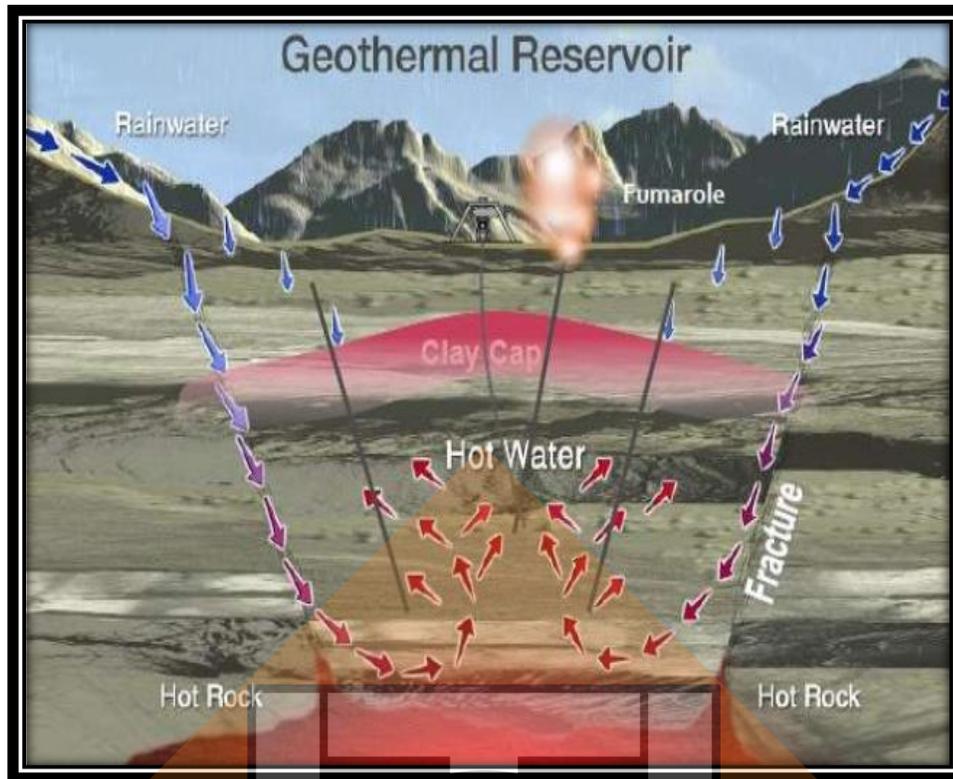
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Teori Energi Panas Bumi

Energi panas bumi juga dikenal dengan nama energi *geothermal* yang berasal dari bahasa Yunani. Dalam bahasa Yunani kata “*geo*” memiliki arti bumi dan kata “*thermal*” memiliki arti panas jadi ketika digabungkan kata *geothermal* memiliki arti panas bumi. Energi panas bumi sendiri dihasilkan dan disimpan di dalam inti bumi. Jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil, panas bumi merupakan sumber energi bersih dan hanya melepaskan sedikit gas rumah kaca.

(Menurut UU No. 27 Tahun 2003) Tentang Panas Bumi, sumber daya panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan tenaga listrik atau pemanfaatan langsung lainnya.

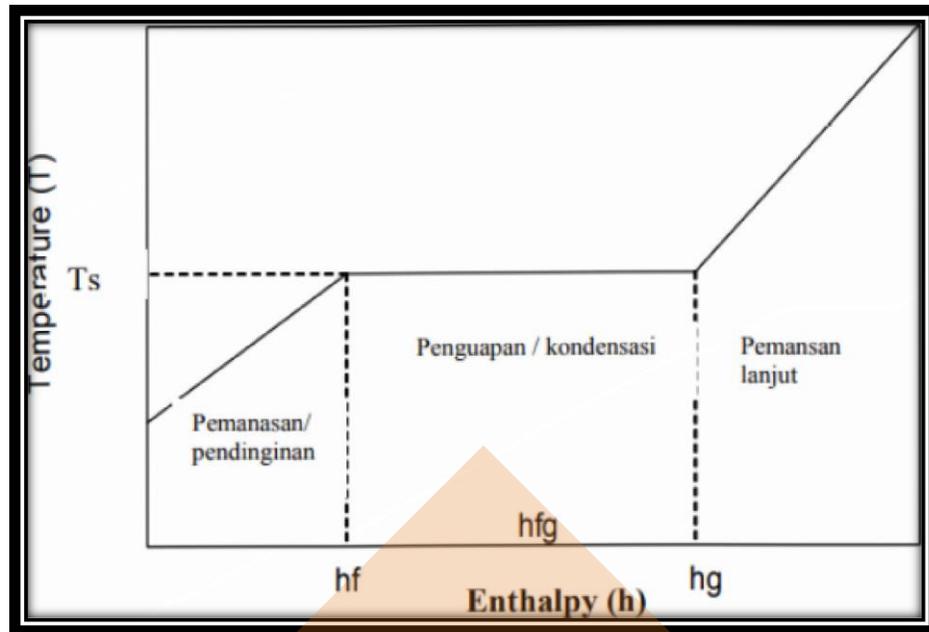
Salah satu pemanfaatan energi panas bumi adalah untuk menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan energi panas bumi untuk pembangkit listrik secara garis besar dilakukan dengan cara melihat *resource* dari panas bumi tersebut. Apabila suatu daerah memiliki panas bumi yang mengeluarkan uap air (*steam*), maka steam tersebut langsung dapat digunakan. Steam tersebut secara langsung diarahkan menuju turbin pembangkit listrik untuk menghasilkan energi listrik. Setelah selesai *steam* tersebut diarahkan menuju *condenser* sehingga *steam* tersebut terkondensasi menjadi air. Air ini selanjutnya di *recycle* untuk menjadi uap lagi secara alami. Namun, bila panas bumi itu penghasil air panas (*hot water*), maka air panas tersebut harus di ubah terlebih dahulu menjadi uap air (*steam*). Proses perubahan ini membutuhkan peralatan yang disebut dengan *heat exchanger*, dimana air panas ini dialirkan menuju *heat exchanger* sehingga terbentuk uap air. Seperti terlihat pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Terbentuknya Uap Panas Bumi

(Sumber: internet gheothermal education)

Proses pembentukan reservoir panas bumi tipikal dengan proses pembentukan uap di dalam ketel uap maka semua sifat sifat uap yang terbentuk sama dengan sifat sifat uap kukus. Sifat-sifat uap kukus dan tahapannya terlihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



**Gambar 2.2** Tahap Pembentukan Uap  
(sumber; introduction to heat transfer)

**Tahap ke-1:** adalah fase pemanasan didaerah ini apabila kalor diberikan secara terus menerus maka suhu air naik sampai pada kondisi dimana air mulai berubah ke phase uap. Suhu dimana perubahan ini mulai terjadi dinamakan temperatur saturasi. Energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu air sampai ke keadaan saturasi di sebut kalor sensibel (*liquid enthalpy*) disimbolkan dengan  $h_f$ . Kenaikan suhu ini juga akan menaikkan volume spesifik air ( $v_f$ ) berikut *properties* lainnya.

**Tahap ke-2:** proses ini terjadi pada temperature konstan, dalam phase ini air mulai berubah menjadi uap basah. Energi yang dibutuhkan untuk mengubah seluruh air menjadi seluruh uap basah di sebut dengan kalor penguapan (*enthalpy of evaporation*)  $h_{fg}$ .

**Tahap ke-3:** dimulai ketika seluruh *dry saturated steam* telah terbentuk. Penambahan energi lebih lanjut akan menyebabkan uap memasuki kondisi panas lanjut (*superheat*). Energi untuk mengubah *dry saturated steam* menjadi *superheated steam* di sebut superheat enthalpy  $h_g$ . *Properties* uap pada tiap titik mulai dari phase-ke 1 sampai phase ke 3 telah banyak disajikan didalam tabel uap.

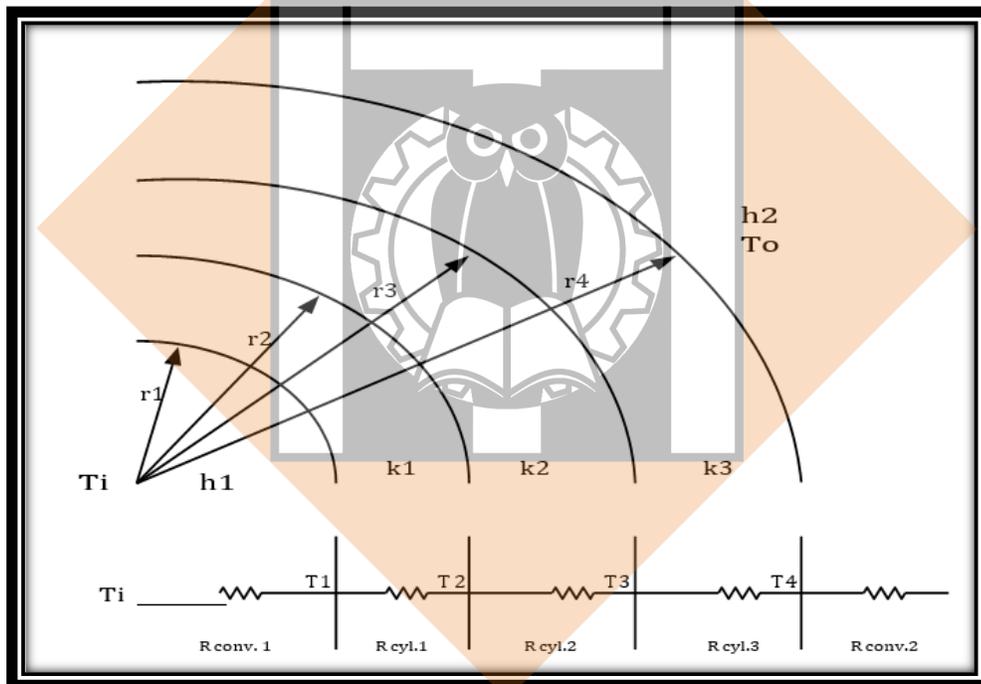
## 2.2. Heat Transfer

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses berpindahnya energi kalor atau panas karena adanya perbedaan temperatur. Dimana, energi kalor akan berpindah dari temperatur mediyang lebih tinggi ke temperatur mediyang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua mediaterebut. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

- ❖ **Konduksi** : Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada suatu media padat, atau pada media fluida yang diam. Konduksi terjadi akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut.
- ❖ **Konveksi** : Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak, begitu pula sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperature.
- ❖ **Radiasi** : Perpindahan panas radiasi dapat dikatakan sebagai proses perpindahan panas dari satu media ke media lain akibat perbedaan temperatur tanpa memerlukan media perantara. Peristiwa radiasi akan lebih efektif terjadi pada ruang hampa, berbeda dari perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mengharuskan adanya media perpindahan panas.

### 2.3. Perpindahan Panas Pada Pipa Penyalur Uap Panas Bumi

Proses perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara bagian dalam pipa dengan udara sekitar. Oleh karena itu kehilangan energi akan terus menerus terjadi melalui dinding pipa dan lapisan-lapisan isolasi. Secara intuitif kita merasa bahwa perpindahan panas terjadi satu arah yaitu dari dalam pipa menuju permukaan luar isolasi. Temperatur gradien pada arah radial relatif besar karena suhu udara diluar pipa konstan dan relatif jauh lebih rendah dari suhu fluida di dalam pipa. Pada kondisi demikian proses perpindahan panas hanya terjadi menuju ke satu arah. Dengan demikian maka metode analisa perpindahan panasyang sedang berlangsung dapat dilakukan dengan menggunakan *steady and one dimentional model*. Perpindahan panas fluida didalam pipa menuju udara luar seperti terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Diagram Isolasi Pipa

*Thermal resistance* atau analogi kelistrikan dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah perpindahan panas tunak dengan arah satu dimensi (*steady one*

*dimensional heat transfer'*). Gambar 2.3 memperlihatkan pipa uap dibungkus dengan tiga lapisan isolasi yang berbentuk komposit silinder memiliki panjang L. Perpindahan panas terjadi secara konveksian konduksi. Secara ekspresi matematis laju perpindahan panas Q (kW) yang terjadi telah diformulasikan sebagai berikut;

$$Q = (T_i - T_o) / R_{total} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$R_{total} = UA$$

dimana:

$$\begin{aligned} R_{total} &= R_{conv.1} + R_{cyl.1} + R_{cyl.2} + R_{cyl.3} + R_{conv.2} \\ &= 1/h_1 A_1 + \ln(r_2/r_1) / 2\pi L k_1 + \ln(r_3/r_2) / 2\pi L k_2 + \\ &\quad \ln(r_4/r_3) / 2\pi L k_3 + 1/h_2 A_2. \end{aligned}$$

$$A_1 = 2\pi r_1 L$$

$$A_4 = 2\pi r_4 L$$

Karena *thermal resistant* terpasang secara seri, maka total thermal resistans (R total) merupakan jumlah aritmatik dari seluruh tahanan tiap tiap lapisan. Dengan nilai Q diketahui dari persamaan diatas maka kita dapat menentukan interface temperature pada titik T1, T2, T3 dan T4 sebagai berikut;

$$Q_{total} = (T_i - T_1) / R_{conv.1} \quad (\text{untuk mencari } T_1)$$

$$Q_{total} = (T_i - T_2) / (R_{conv.1} + R_1) \quad (\text{untuk mencari } T_2)$$

$$Q_{total} = (T_1 - T_3) / (R_1 + R_2) \quad (\text{untuk mencari } T_3)$$

$$Q_{total} = (T_3 - T_4) / R_3 \quad (\text{untuk mencari } T_4)$$

$$Q_{total} = (T_3 - T_o) / (R_3 + R_{conv.2}) \quad (\text{untuk mencari } T_o)$$

#### 2.4. Tujuan dan Manfaat Dari Pemakaian Isolasi

Isolasi untuk pipa penyalur uap tentu saja ada tujuan dalam penggunaannya yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



**Gambar 2.5** Penggantian Isolator Pada Pipa Uap Panas  
(sumber; material piping insulation)

- ❖ Meningkatkan Efisiensi Proses, Isolasi menjaga agar terjadinya proses perpindahan panas pada pipa dan juga equipment ke lingkungan atau sebaliknya (pipa dingin) dapat dikurangi.
- ❖ Keselamatan, isolasi akan menghindarkan sentuhan langsung dengan pipa atau equipment panas oleh operator.
- ❖ Mencegah terjadinya kondensasi, yang jika terjadi kondensasi akan mengganggu atau merusakkan equipment dibawah pipa tersebut.
- ❖ Mencegah terjadinya pembekuan pada pipa.

## 2.5. Kriteria Pemilihan Isolasi Pipa

Penggunaan kelas isolasi dapat ditulis dalam gambar perpipaan maupun ditulis dalam spesifikasi desain diantaranya:

➤ Kelas Isolasi A,B,C,D,E

Kelas Isolasi A,B,C,D,E dipakai dengan maksud utama adalah untuk melindungi orang dari proses panas. Berikut dibawah ini adalah kelas isolasi dan temperature penggunaannya:

- ❖ Kelas A untuk temperatur kurang dari 300°F
- ❖ Kelas B temperatur 300°F sampai dengan temperatur 399°F
- ❖ Kelas C temperatur 400°F sampai dengan temperatur 599°F
- ❖ Kelas D temperatur 500°F sampai dengan temperatur 799°F
- ❖ Kelas E temperatur lebih besar dari 800°F

Ketebalan dari tiap kelas pipa berdasarkan pertimbangan ekonom, temperature permukaan dan kelonggaran atau ruang yang tersedia.

➤ Kelas G

Isolasi pipa kelas G diperuntukkan untuk menjaga atau mencegah terjadinya kondensasi pada pipa pipa dingin.

➤ Kelas H

Isolasi pipa kelas H diperuntukkan untuk menjaga agar tidak terjadi pembekuan pada pipa (dapat juga digunakan dengan isolasi kelas A,B,C,D,E untuk proteksi terhadap pembekuan).

➤ Kelas F

Isolasi kelas F dikhususkan untuk proteksi terhadap kebisingan.

## 2.6. Hal yang Harus Diperhatikan Dalam *Design* Isolasi

Isolasi panas yang diperuntukkan pada pengurangan kerugian panas dirancang agar perpindahan panas tidak melebihi 65 BTU/hr.ft<sup>2</sup> pada temperatur 120°F jika diberlakukan dalam ruangan. Jika sistem diluar ruangan kerugian panas adalah 85

BTU/hr.ft<sup>2</sup> pada temperatur 80°F. Penerapan yang dimaksudkan untuk proteksi personel yaitu pada daerah akses operator Temperatur tidak boleh melebihi 140°F pada Temperatur udara 80°F maka pipa harus di isolasi, untuk daerah yang tidak ada akses pipa tidak perlu di isolasi. Dalam pemilihan isolasi harus diperhatikan umur *service* yang dapat diberikan isolasi itu. Isolasi yang harus dilakukan pada semua komponen pipa yang harus diisolasi, misalnya *fitting, valve, support*, dan komponen yang lain. Ukuran harus mengikuti standar yang ada jika memungkinkan. Isolasi panas harus di desain secara fleksibel sehingga dapat mengikuti ekspansi maupun kontraksi yang terjadi pada pipa akibat termal.

## 2.7. Material Isolasi Pipa

Pemilihan material harus memperhatikan karakteristik material, density, ketebalan yang diperlukan sesuai spesifikasi design, rating. Pada umumnya material yang dimaksudkan terdiri dari:

- ❖ Bahan isolasi *calcium silikat*
- ❖ Bahan isolasi *fiberglass*
- ❖ Bahtin isolasi *cellular glass*
- ❖ Bahan isolasi *mineral wool*

Pemakaian material isolasi berdasarkan pengkelasan isolasi adalah sebagai berikut:

- ❖ Material kelas A,B,C,D,E dibuat dari bahan kalsium silikat yang telah ditentukan menurut standar ASTM C533. Untuk kelas G harus dibuat dari bahan mempunyai density yang tinggi, sesuai standar ASTM C547 atau mineral wool atau bahan yang equivalen. Faktor lain yang harus diperhatikan adalah isolasi harus dapat menjadi penghalang uap.
- ❖ Pemakaian material isolasi kelas H adalah sama dengan ketentuan yang berlaku pada isolasi kelas G, kecuali tentang kemampuan menjadi penghalang uap. Untuk pipa yang berukuran lebih kecil dari 1 inchi, maka ketebalan isolasi harus 3/4 inchi amstrong armaflex insulation. Sedangkan isolasi yang dimaksudkan sebagai proteksi personel harus memenuhi ketentuan yang berlaku pada isolasi kelas A,B,C,D,E.

## 2.8. Kondisi Batas Konveksi

Hukum Newton tentang pendinginan, dapat kita tuliskan dalam bentuk:

$$q = hA \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

$h$  = koefisien perpindahan kalor konveksi, Btu/hr-ft<sup>2</sup> atau W/m<sup>2</sup>K

$A$  = luas tegak lurus pada arah fluks kalor, ft<sup>2</sup>, atau m<sup>2</sup>

$\Delta T$  = beda suhu antara permukaan benda padat dan fluida, F atau K

### 2.8.1 Sistem Radial

Perhatikan system silinder yang terdiri dari satu bahan saja, dimana pada dinding luar mengalir fluida konveksi seperti pada Gambar 2.6 Silinder dari bahan baja. Jika suhu rd ialah  $T_2$  dan seterusnya maka memberikan:

$$q = \frac{(\Delta T)_{\text{menyeluruh}}}{\Sigma R_{th}} = \frac{T_i - T_o}{\Sigma R_{th}} \quad (2.3)$$

Dimana tahanan termal ialah sebaaaai berikut:

$$R_i = R_{th} \text{ Konvensi bagian dalam} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_i} \quad (2.4)$$

$$R_a = R_{th} \text{ konduksi karena bahan a} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k a L} \quad (2.5)$$

$$R_o = R_{th} \text{ konveksi bagian luar} = \frac{1}{2\pi r_2 L h_o} \quad (2.6)$$

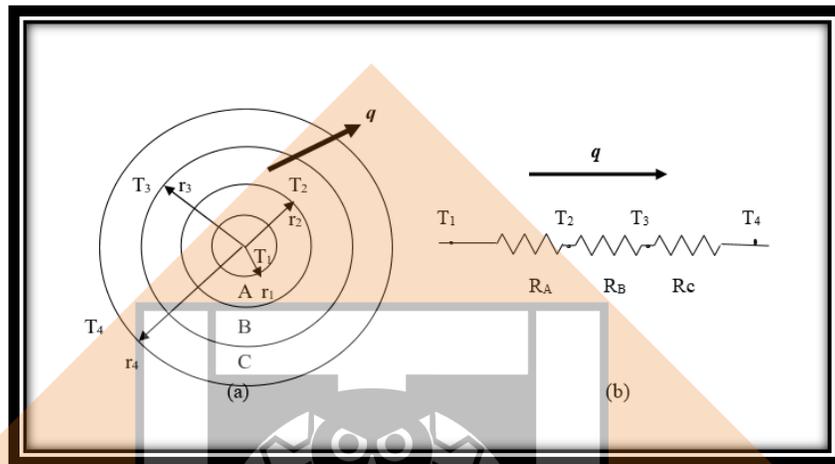
Dalam persamaan-persamaan diatas  $L$  ialah system panjang system itu. Tahanan-tahanan termal itu dijumlahkan menjadi :

$$\Sigma R_{th} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k a} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_o} \quad (2.7)$$

Sekarang definisi  $U = 1/(A \sum R_{th})$  dimana sebagai  $A$  diambil luas permukaan luar, yaitu  $A_o = 2\pi r_o L$  sehingga:

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_2}{r_1 h_i} + \frac{r_2 \ln(r_2/r_1)}{ka} + \frac{1}{h_o}} \quad (2.8)$$

Dimana subskrip o menunjukkan bahwa  $U_o$  didasarkan atas permukaan luar silinder itu. Untuk sistem silinder berlapis banyak terdiri dari  $n-1$  lapisan bahan



Gambar 2.6 Silinder Baja

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_n T_2}{r_1 h_i} + \frac{r_n \ln(r_2/r_1)}{k_{1,2}} + \dots + \frac{r_n \ln(r_n/r_{n-1})}{k_{n,1,n}} + \frac{1}{h_o}} \quad (2.9)$$

Dimana subskrip-subskripnya pada  $k$  menunjukkan jari-jari pembatas lapisan (umpamanya, untuk sistem dua lapis dengan lapisan luar dari bahan b,  $k_b - k_{2,3}$ ).

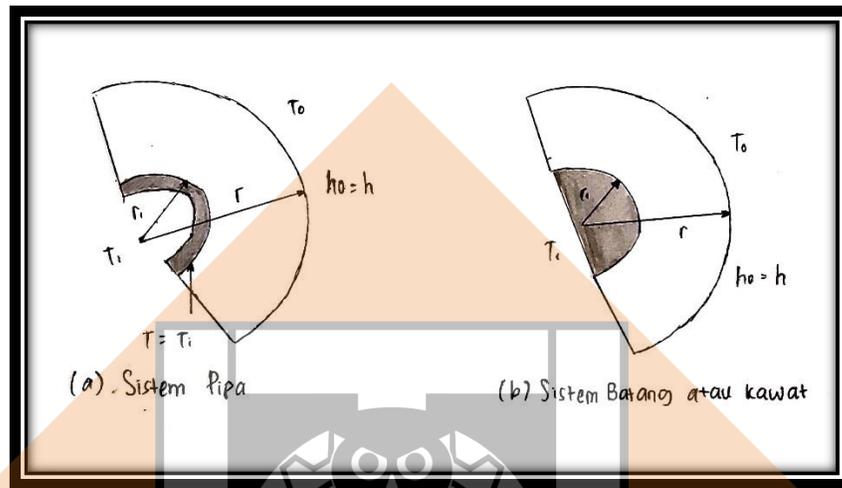
### 2.8.2 Tebal Kritis Isolasi yang Berbentuk Silinder

Dalam banyak hal, tahanan termal yang diberikan oleh pipa atau lubang logam sangat kecil dan dapat diabaikan dengan tahanan lapisan isolasi. Demikian pula suhu dinding pipa biasanya dapat dikatakan sama dengan suhu fluida yang mengalir didalam pipa. Untuk isolasi yang terdiri

dari satu lapis bahan, laju perpindahan kalor persatuan Panjang diberikan oleh:

$$\frac{q}{L} = UO = \frac{A \Delta T}{L} = \frac{2\pi(T_i - T_o)}{L} \frac{\ln(r/r_1)}{k} + \frac{1}{hr} \quad (2.10)$$

Dimana nomenklaturanya ialah yang seperti pada Gambar 2.7 Sistem Pipa



Gambar 2.7 Potongan Sistem Pipa

Sebagai suatu fungsi  $r$ ,  $q/L$  mencapai maksimum pada :

$$r = r_{krit} = \frac{k}{h} \quad (2.11)$$

Jadi , jika  $r_i < r$  kritikal laju rugi kalor bertambah bila isolasi bertambah tebal hingga  $r = r$  kritikal dan sesudah itu berkurang bila isolasi ditambah lagi sebaiknya jika  $r_i > r$  kritikal laju rugi kalor berkurang dengan setiap penambahan tebal isolasi.

### 2.8.3 Sistem Radial Suhu Permukaan Tetap

Gambar 2.7 menunjukkan silinder dinding satu lapis dan dinding dua lapis, berbentuk silinder, terbuat dari bahan homogen dengan konduktifitas termal tetap, dan suhu permukaan dalam dan suhu permukaan luar seragam. Pada

jari-jari tertentu, luas yang tegak lurus dengan aliran kalor konduksi radial ialah  $2\pi rL$ , dimana  $L$  ialah Panjang silinder. Dengan menyulihkan nilai ini ke dalam dan mengintegrasikan dengan  $q$  konstan, kita dapat:

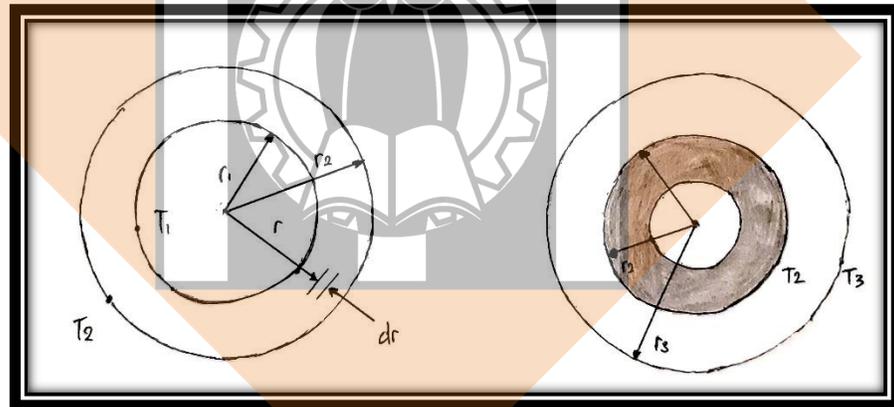
$$q = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)} \quad (2.12)$$

Dari tahan termal satu lapis berbentuk silinder ialah  $[\ln(r_2/r_1)]/2\pi kL$  untuk silinder 2 lapis, laju perpindahan kalor ialah:

$$q = \frac{2\pi L(T_1 - T_3)}{\ln(r_2/r_1)/k_a + \ln(r_3/r_2)/k_b} \quad (2.13)$$

Untuk silinder 3 lapis, laju perpindahan kalor ialah:

$$q = \frac{2\pi L(T_1 - T_4)}{\ln(r_2/r_1)/k_a + \ln(r_3/r_2)/k_b + \ln(r_4/r_3)/k_c} \quad (2.14)$$



**Gambar 2.8** Silinder dinding 1 lapis dan Silinder dinding 2 lapis

Untuk perpindahan kalor konduksi pada dinding bola, luas untuk satu jari-jari tertentu ialah  $4\pi r^2$ . Di substitusikan kedalam hukum Fourier, dan diintegrasikan untuk  $q$  tetap, kita dapat:

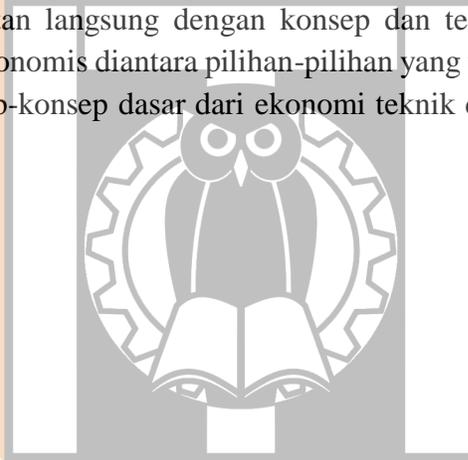
$$q = \frac{4\pi k(T_2 - T_1)}{(1/r_1) - (1/r_2)} \quad (2.15)$$

Dari persamaan ini, tahanan termal yang diberikan oleh satu lapisan dinding bola ialah  $(1/r_1) - (1/r_2) / 4\pi k$ . Dalam soal-soal dinding berlapis banyak, tahanan masing-masing lapisan dapat dijumlahkan secara linier.

## 2.9. Dasar Tekno Ekonomi

Studi tentang ekonomi teknik di definisikan sebagai sebuah perbandingan diantara alternatif yang tersedia, dimana alternatif tersebut di ekspresikan dalam istilah-istilah finansial. Apabila di dalam proses pemilihan alternatif tersebut memasukkan pertimbangan teknis maka cara seperti itu disebut dengan istilah studi ekonomi teknik (*Engineering Economy Study*).

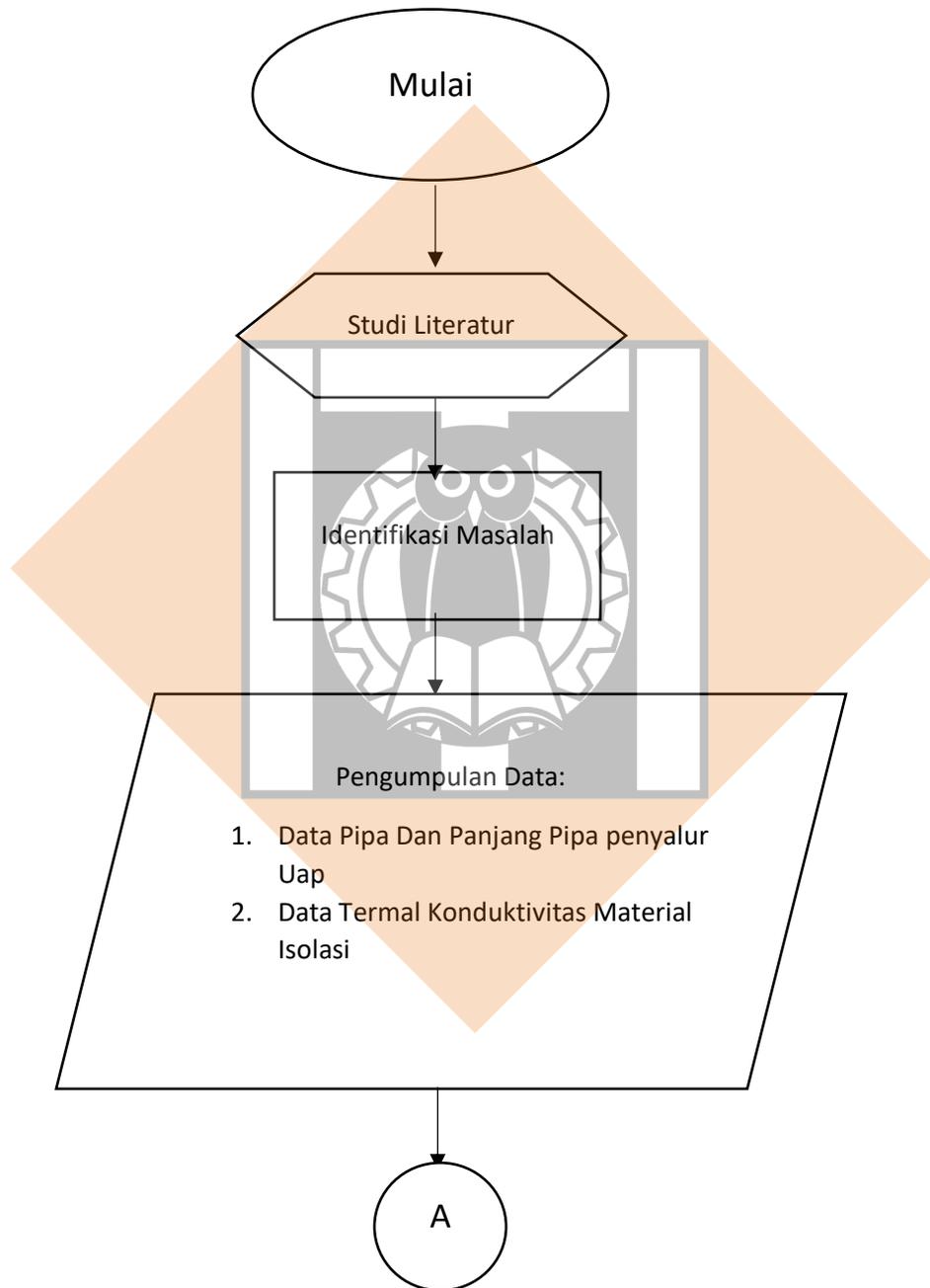
Ekonomi teknik berkaitan langsung dengan konsep dan teknik untuk menganalisa alternatif yang paling ekonomis diantara pilihan-pilihan yang tersedia. Tulisan ini akan memperkenalkan konsep-konsep dasar dari ekonomi teknik disertai dengan beberapa contoh aplikasinya.

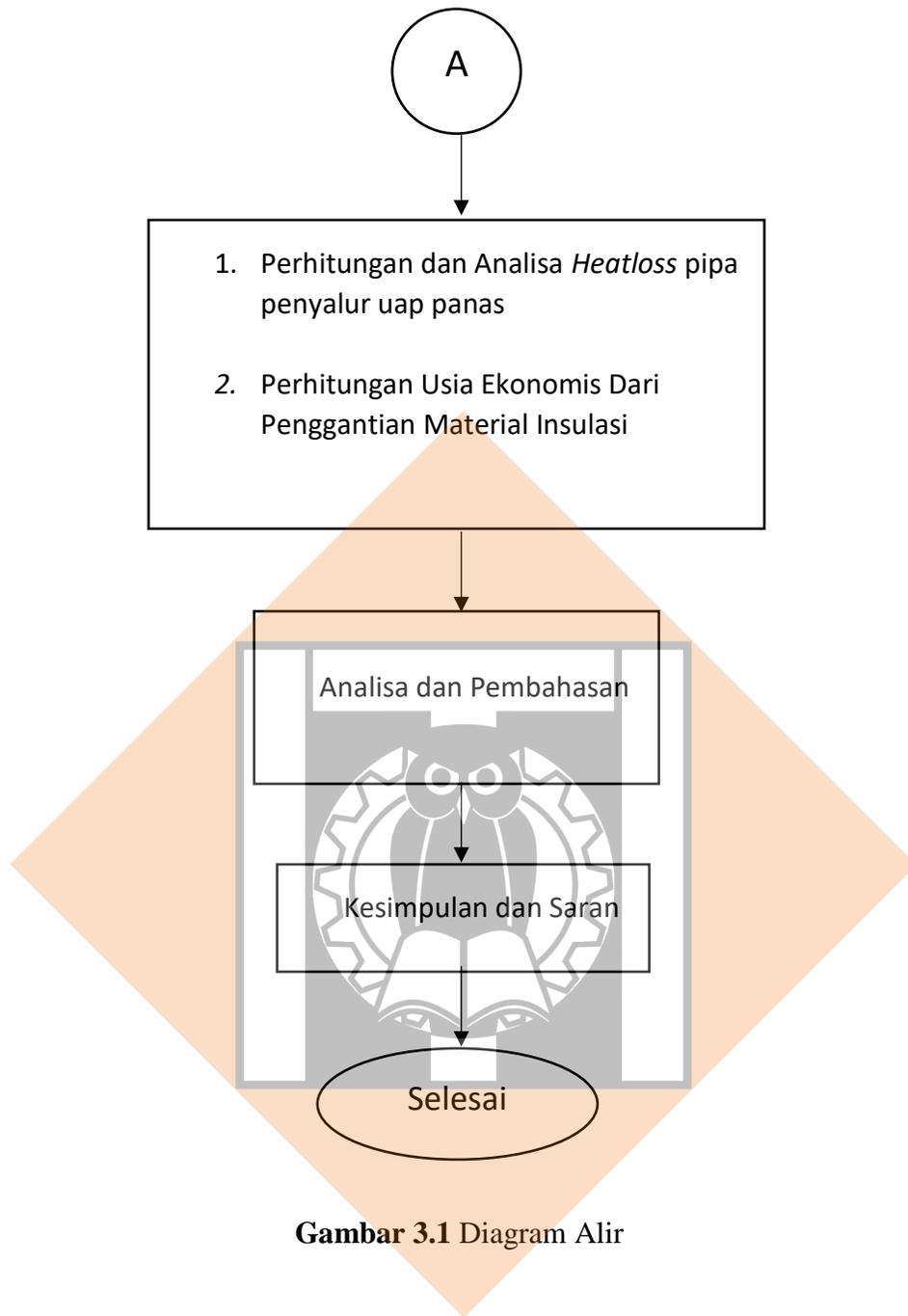


# BAB III METODE PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir metodologi penelitian yang ditunjukkan Gambar 3.1 Diagram alir





**Gambar 3.1** Diagram Alir

### 3.2 Data Masing-Masing Pipa Penyalur

From	To	Pipe Dia (in)	Pipe Sch.	Elev. Change
PIPE 1	Pad F junction	20"	XS	1.661
PIPE 2	Pad "F-	20"	xs	117.423
PIPE 3	-	28"	Sch 30	0
PIPE 4	-	24"	XS	0
PIPE 5	-	24"	XS	-0.913
PIPE 6	North Control Station	28"	Sch 30	48.493
PIPE 7	PLN Interface	36"	XS	-5.617
PIPE 8	South Control Station	36'	XS	38.8
PIPE 9	PadC Junction	28"	Sch 30	61.389
PIPE 10	-	28"	sen 3U	10.611
PIPE 11	-	20"	XS	0
PIPE 12	Wellpad C Junction	36"	Sch 30	26.659

Sumber: *pertamina/geothermalenergi/laporankerjapraktek*

#### CATATAN :

Pipa 20 inci dengan total panjang 1442 m

Pipa 24 inci dengan total panjang 1273 m

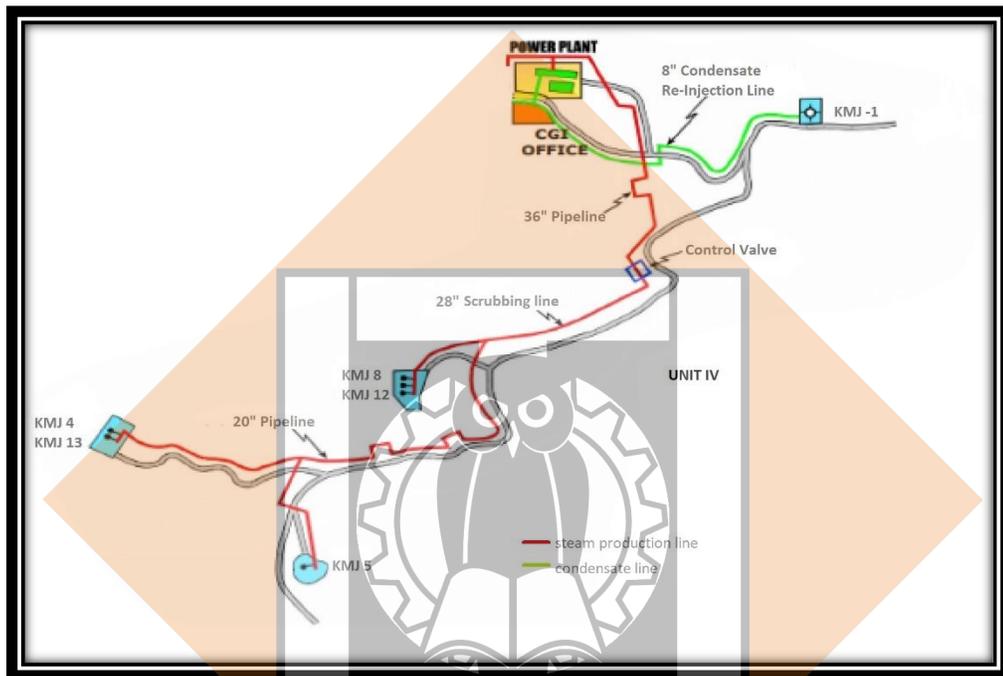
Pipa 28 inci dengan total panjang 1357 m

Pipa 36 inci dengan total panjang 1411 m

Perlu di perhatikan bahwa hanya pipa yang berdiamter 20 inch keatas panjang total 5483 meter yang akan di hitung. Sedangkan pipa yang lebih kecil tidak dihitung karena jumlah pemakaian relatif sedikit.

### 3.3 Denah Pipa Penyalur Uap

Dibawah ini adalah skema lapangan panas bumi Kamojang, memperlihatkan jalur pipa utama yang mengalirkan uap dari sumur produksi ke power plant unit 4. Analisa kelayakan pergantian isolasi akan dilakukan pada pipa dengan diameter 20 inch keatas dengan panjang total 5483 meter. Sedangkan pada pipa yang lebih kecil tidak dilakukan analisa karena penggunaannya relatif lebih sedikit.



### 3.4 Termal Konduktivitas Material Isolasi

Physical Properties	Mineral WOOL	CALCIUM SILICATE	PERLITE
Standard specification	ASTM C 547-00	ASTM C 533	ASTM C 610-99
Max Service Temperature (C)	45 - 600	45 - 720	260 - 720
Thermal Konduktivty (W/m C)	100 0.0257 300 0.0350 400 0.0428 500 0.0525 600 0.0637	200 0.045 300 0.050 400 0.055 500 0.06 600 0.066	200 0.055 300 0.06 400 0.066 500 0.074 600 0.08

### 3.5 Metode Penelitian

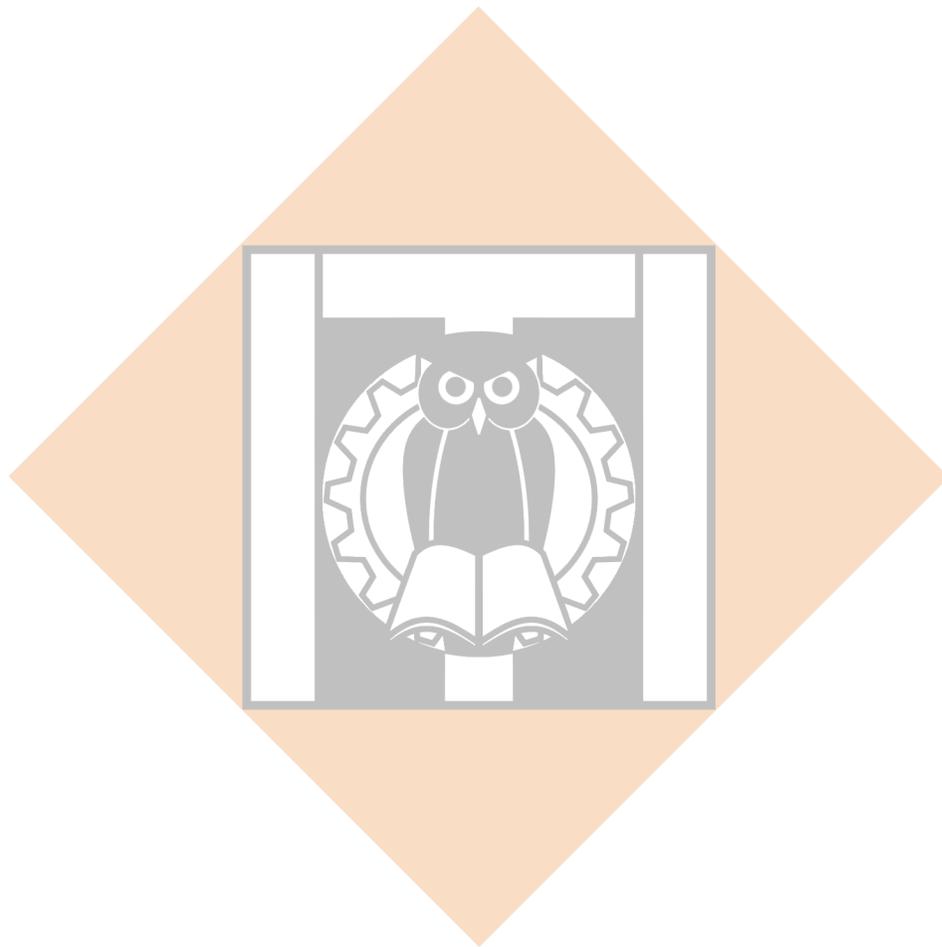
Penelitian tugas akhir/skripsi ini menggunakan 4 metode, yaitu metode studi kasus, observasi, studi literatur, perhitungan dan analisa. Metode studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari referensi dari buku literatur, jurnal, skripsi, laporan kerja praktek dan website di internet yang terkait dan diperlukan dalam perencanaan tugas akhir ini. Kemudian adalah metode perhitungan dan analisa yang diterapkan dengan menggunakan rumus-rumus serta standar yang telah ada dan berlaku dari referensi yang didapat dan dipelajari sebelumnya.

### 3.6 Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data merupakan tindak lanjut dari pengumpulan data yang telah dilakukan, hal-hal tersebut antara lain:

1. Temperatur lingkungan sekitar tidak mengalami perubahan sekitar 19°C
2. Konduktivitas termal material isolasi antara 0.35-0.8 W/mk
3. Pemilihan bahan insulasi dan ketebalan sesuai dengan penurunan suhu terkecil dari suhu desain

4. Menganalisa dan membandingkan material insulasi terpilih dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Dari karakteristik material insulasi hingga pertimbangan kemudahan instalasi material.
5. Usia Kelayakan ekonomis  $\pm$  10 tahun

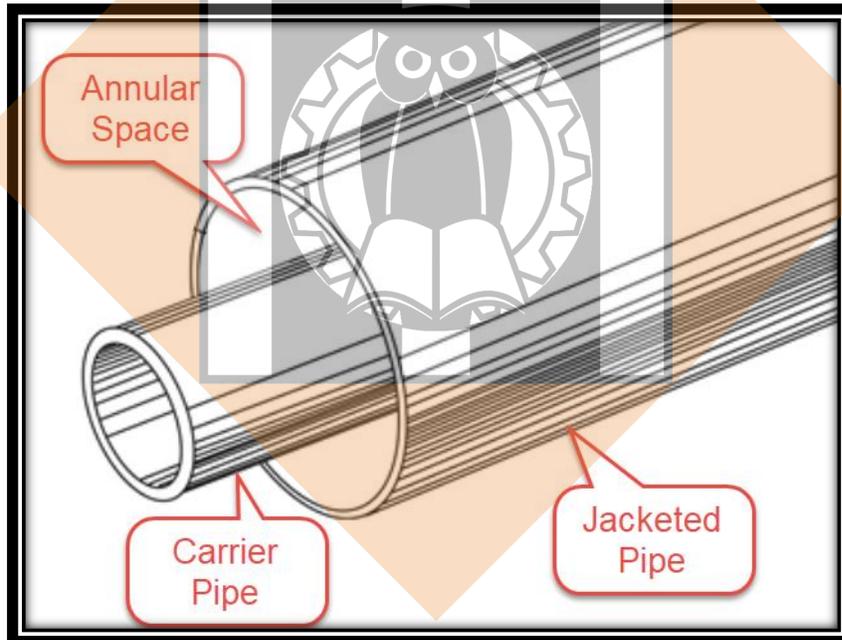


## BAB IV

### PERHITUNGAN DAN ANALISA

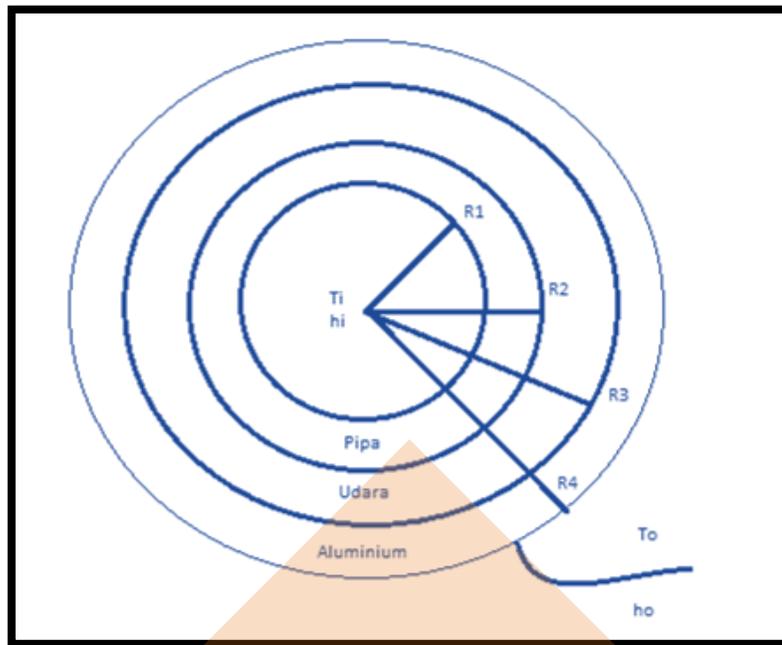
#### 4.1 Perhitungan Dan Analisa

Perhitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui dan membandingkan bagaimana bahan isolasi pipa seperti pada Gambar 4.1 Isolasi Pipa yang akan diganti dengan bahan baru yaitu *Mineral Wool*, dikarenakan penulis ingin meminimalisir kehilangan panas yang terjadi pada pipa penyalur uap di PLTP Pertamina Gheothermal energy Kamojang. Pipa yang dihitung memiliki diameter dan panjang yang berbeda-beda yaitu pipa dengan diameter 0.508m dengan panjang 1442m, diameter 0.609 m dengan panjang 1273m, diameter 0.711 m dengan panjang 1357m, dan diameter 0.914m dengan panjang 1411m.

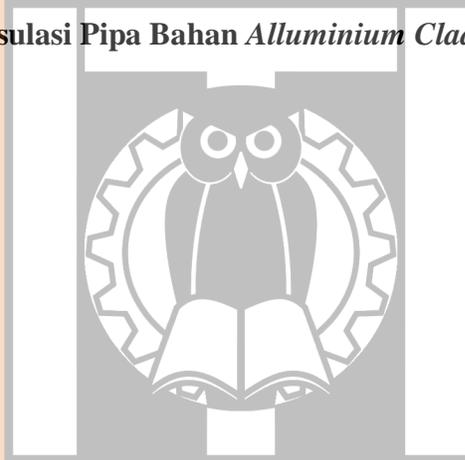


**Gambar 4.1 Insulasi Pipa Bahan *Alluminium Cladding***

Pipa hanya di bungkus dengan *aluminium cladding* dengan diameter 5 inchi lebih besar dari ukuran pipa. Annulus diantara pipa dan aluminium cladding dibiarkan kosong sehingga isolasi hanya mengandalkan udara yang terperangkap diantara pipa penyalur dan aluminium cladding.



**Gambar 4.2 Insulasi Pipa Bahan *Alluminium Cladding* skala 1:50**



#### 4.1.1 Perhitungan Pipa Dengan Bahan *Alluminium Cladding*

##### Pipa Diameter 20 inch Dengan Panjang 1442 m

Diketahui:	D1	= 20 inch	= 0.508m	Ti = 513K
	r1	= 10 inch	= 0.254m	hi = 35 W/mK
	D2	= 22 inch	= 0.558m	To = 291K
	r2	= 11 inch	= 0.279m	ho = 9.5 W/mK
	D3	= 25 inch	= 0.635m	k.pipa = 43 W/mK
	r3	= 12.5inch	= 0.317m	K.al = 0.05 W/mK
	D4	= 26 inch	= 0.660m	h.udara = 5.67 W/m <sup>2</sup> .K
	r4	= 13 inch	= 0.330m	

Perhitungan:

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_4}{r_1 h_i} + \frac{r_4 \ln(r_3/r_2)}{K_{pipa}} + \frac{1}{h_u} + \frac{r_4 \ln(r_4/r_3)}{K_{al}} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0.330}{0.254 \times 35} + \frac{0.330 \ln(0.317/0.279)}{43} + \frac{1}{5.67} + \frac{0.330 \ln(0.330/0.317)}{0.05} + \frac{1}{9.5}}$$

$$= \frac{1}{0.037 + 0.0009 + 0.176 + 0.265 + 0.105} = 1.712 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{A} = U_o(T_i - T_o)$$

$$= 1.712 (513 - 291)$$

$$= 1.712 \times 222$$

$$= 380.064 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{L} = 2\pi r_2(T_i - T_o)U_o$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.279 \times (513 - 291) \times 1.712$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.279 \times 222 \times 1.712$$

$$= 665.917 \text{ W/m}$$

$$q = 665.917 \text{ W/m} \times 1442 \text{ m}$$

$$= 960252.314 \text{ Watt}$$

### Pipa Diameter 24 inch Dengan Panjang 1273 m

Diketahui:	D1	= 24 inch	= 0.609m	Ti = 513K
	r1	= 12 inch	= 0.304m	hi = 35 W/mK
	D2	= 26 inch	= 0.660m	To = 291K
	r2	= 13 inch	= 0.330m	ho = 9.5 W/mK
	D3	= 29 inch	= 0.736m	kpipa = 43 W/mK
	r3	= 14.5inch	=0.368m	Kal = 0.05 W/mK
	D4	= 30 inch	= 0.762m	h.udara= 5.67 W/m <sup>2</sup> K
	r4	= 15 inch	= 0.381m	

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 U_o &= \frac{1}{\frac{r_4}{r_i h_i} + \frac{r_4 \ln(r_3/r_2)}{k_{pipa}} + \frac{1}{h_u} + \frac{r_4 \ln(r_4/r_3)}{K_{al}} + \frac{1}{h_o}} \\
 &= \frac{1}{\frac{0.381}{0.304 \times 35} + \frac{0.381 \ln(0.368/0.330)}{43} + \frac{1}{5.67} + \frac{0.381 \ln(0.381/0.368)}{0.05} + \frac{1}{9.5}} \\
 &= \frac{1}{0.035 + 0.0009 + 0.176 + 0.264 + 0.105} = 1.721 \text{ W/mK} \\
 \frac{q}{A} &= U_o(T_i - T_o) \\
 &= 1.721 (513 - 291) \\
 &= 1.721 \times 222 \\
 &= 382.062 \text{ W/mK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{q}{L} &= 2\pi r_2(T_i - T_o)U_o \\
 &= 2 \times 3.14 \times 0.330 \times (513 - 291) \times 1.721 \\
 &= 2 \times 3.14 \times 0.330 \times 222 \times 1.721 \\
 &= 791.785 \text{ W/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q &= 791.785 \text{ W/m} \times 1273 \text{ m} \\
 &= 1007942.305 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

### Pipa Diameter 28 inch Dengan Panjang 1357 m

Diketahui:	D1	= 28 inch	= 0.711m	Ti = 513K
	r1	= 14 inch	= 0.355m	hi = 35 W/mK
	D2	= 30 inch	= 0.762m	To = 291K
	r2	= 15 inch	= 0.381m	ho = 9.5 W/mK
	D3	= 33 inch	= 0.838m	Kpipa = 43 W/mK
	r3	= 16.5inch	= 0.419m	Kal = 0.05 W/mK
	D4	= 34 inch	= 0.863m	h.udara= 5.67 W/m <sup>2</sup> K
	r4	= 17 inch	= 0.431m	

Perhitungan:

$$\begin{aligned}U_o &= \frac{1}{\frac{r_4}{r_1 h_i} + \frac{r_4 \ln(r_3/r_2)}{K_{pipa}} + \frac{1}{h_u} + \frac{r_4 \ln(r_4/r_3)}{K_{al}} + \frac{1}{h_o}} \\&= \frac{1}{\frac{0.431}{0.355 \times 35} + \frac{0.431 \ln(0.419/0.381)}{43} + \frac{1}{5.67} + \frac{0.431 \ln(0.431/0.419)}{0.05} + \frac{1}{9.5}} \\&= \frac{1}{0.034 + 0.0009 + 0.176 + 0.243 + 0.105} = 1.789 \text{ W/mK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{q}{A} &= U_o(T_i - T_o) \\&= 1.789 (513 - 291) \\&= 1.789 \times 222 \\&= 397.158 \text{ W/mK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{q}{L} &= 2\pi r_2(T_i - T_o)U_o \\&= 2 \times 3.14 \times 0.381 \times (513 - 291) \times 1.789 \\&= 2 \times 3.14 \times 0.381 \times 222 \times 1.789 \\&= 950.272 \text{ W/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q &= 950.272 \text{ W/m} \times 1357 \text{ m} \\&= 339619.104 \text{ Watt}\end{aligned}$$

### Pipa Diameter 36 inch Dengan Panjang 1411 m

Diketahui:	D1	= 36 inch	= 0.914m	Ti = 513K
	r1	= 18 inch	= 0.457m	hi = 35 W/mK
	D2	= 38 inch	= 0.965m	To = 291K
	r2	= 19 inch	= 0.482m	ho = 9.5 W/mK
	D3	= 41 inch	= 1.041m	kpipa = 43 W/mK
	r3	= 20.5inch	= 0.520m	Kal = 0.05 W/mK
	D4	= 42 inch	= 1.066 m	h.udara= 5.67 W/m <sup>2</sup> K
	r4	= 21 inch	= 0.533m	

Perhitungan:

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_4}{r_i h_i} + \frac{r_4 \ln(r_3/r_2)}{k_{pipa}} + \frac{1}{h_u} + \frac{r_4 \ln(r_4/r_3)}{K_{al}} + \frac{1}{h_o}}$$
$$= \frac{1}{\frac{0.533}{0.457 \times 35} + \frac{0.533 \ln(0.520/0.482)}{43} + \frac{1}{5.67} + \frac{0.533 \ln(0.533/0.520)}{0.05} + \frac{1}{9.5}}$$
$$= \frac{1}{0.062 + 0.0009 + 0.176 + 0.263 + 0.105} = 1.647 \text{ W/mK}$$

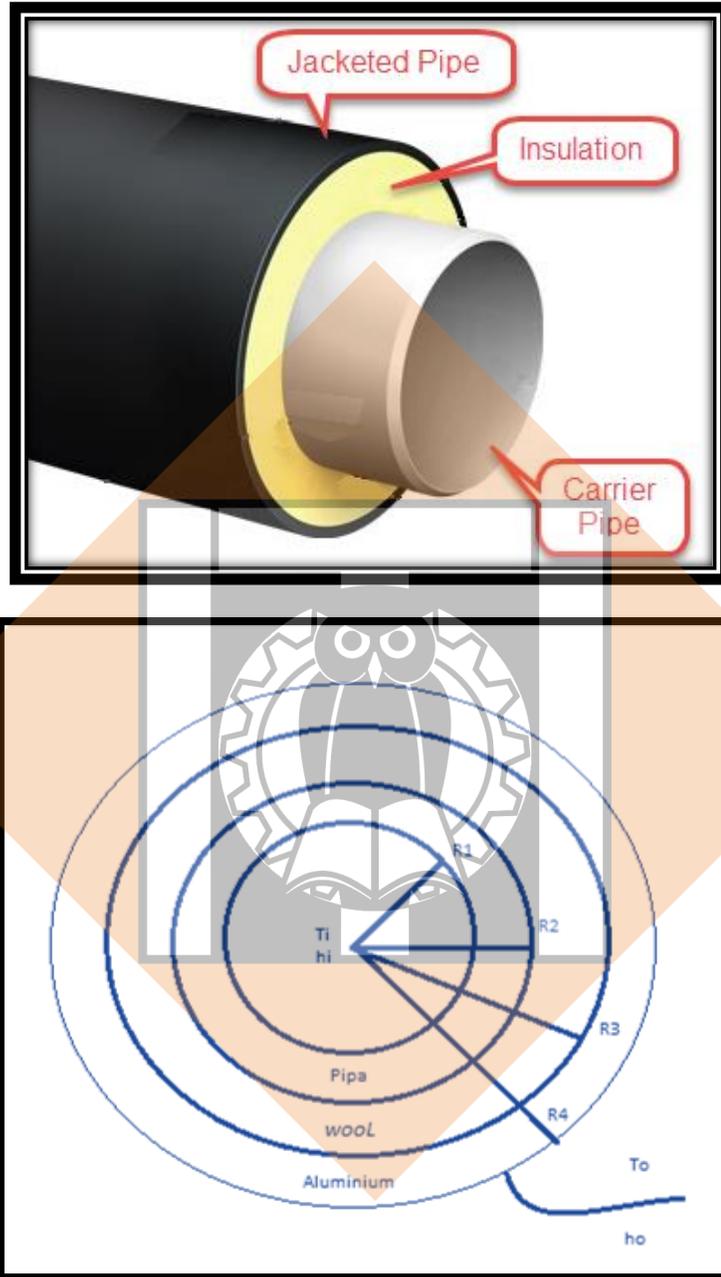
$$\frac{q}{A} = U_o(T_i - T_o)$$
$$= 1.647 (513 - 291)$$
$$= 1.647 \times 222$$
$$= 365.634 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{L} = 2\pi r_2(T_i - T_o)U_o$$
$$= 2 \times 3.14 \times 0.482 \times (513 - 291) \times 1.647$$
$$= 2 \times 3.14 \times 0.482 \times 222 \times 1.647$$
$$= 1106.759 \text{ W/m}$$

$$q = 1106.759 \text{ W/m} \times 1411 \text{ m}$$
$$= 1561636.949 \text{ Watt}$$

#### 4.1.2 Perhitungan Pipa Dengan Bahan *Mineral Wool*

Berikut ini adalah perhitungan isolasi dengan bahan baru yaitu *Mineral Wool* seperti pada Gambar 4.1.2 Isolasi Pipa *Mineral Wool* :



Gambar 4.1.2 Insulasi Pipa Bahan *Mineral Wool* skala 1:50

### Pipa Diameter 20 inch Dengan Panjang 1442 m

Diketahui:	D1	= 20 inch	= 0.508m	Ti = 513K
	r1	= 10 inch	= 0.254m	hi = 35 W/mK
	D2	= 22 inch	= 0.558m	To = 291K
	r2	= 11 inch	= 0.279m	ho = 9.5 W/mK
	D3	= 25 inch	= 0.635m	k <sub>pipa</sub> = 43 W/mK
	r3	= 12.5 inch	= 0.317m	K.wool = 0.035 W/mK
	D4	= 26 inch	= 0.660m	K.al = 0.05 W/mK
	r4	= 13 inch	= 0.330m	

Perhitungan:

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_4}{r_1 h_i} + \frac{r_4 \ln(r_3/r_2)}{K_{pipa}} + \frac{r_3 \ln(r_3/r_2)}{K_{wool}} + \frac{r_4 \ln(r_4/r_3)}{K_{al}} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0.330}{0.254 \times 35} + \frac{0.330 \ln(0.317/0.279)}{43} + \frac{0.317 \ln(0.317/0.279)}{0.035} + \frac{0.330 \ln(0.330/0.317)}{0.05} + \frac{1}{9.5}}$$

$$= \frac{1}{0.037 + 0.0009 + 1.156 + 0.265 + 0.105} = 0.639 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{A} = U_o(T_i - T_o)$$

$$= 0.639(513 - 291)$$

$$= 0.639 \times 222$$

$$= 141.858 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{L} = 2\pi r_2(T_i - T_o)U_o$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.279 \times (513 - 291) \times 0.639$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.279 \times 222 \times 0.639$$

$$= 248.552 \text{ W/mK}$$

$$q = 248.552 \text{ W/mK} \times 1442 \text{ m}$$

$$= 358411.948 \text{ Watt}$$

### Pipa Diameter 24 inch Dengan Panjang 1273 m

Diketahui:	D1	= 24 inch	= 0.609m	Ti = 513K
	r1	= 12 inch	= 0.304m	hi = 35 W/mK
	D2	= 26 inch	= 0.660m	To = 291K
	r2	= 13 inch	= 0.330m	ho = 9.5 W/mK
	D3	= 29 inch	= 0.736m	kpipa = 43 W/mK
	r3	= 14.5 inch	= 0.368m	K.wool = 0.035 W/mK
	D4	= 30 inch	= 0.762m	K.al = 0.05 W/mK
	r4	= 15 inch	= 0.381m	

Perhitungan:

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_4}{r_1 h_i} + \frac{r_4 \ln(r_3/r_2)}{K.pipa} + \frac{r_3 \ln(r_3/r_2)}{K.wool} + \frac{r_4 \ln(r_4/r_3)}{K.al} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0.381}{0.304 \times 35} + \frac{0.381 \ln(0.368/0.330)}{43} + \frac{0.368 \ln(0.368/0.330)}{0.035} + \frac{0.381 \ln(0.381/0.368)}{0.05} + \frac{1}{9.5}}$$

$$= \frac{1}{0.035 + 0.0009 + 1.145 + 0.264 + 0.105} = 0.641 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{A} = U_o(T_i - T_o)$$

$$= 0.641(513 - 291)$$

$$= 0.641 \times 222$$

$$= 142.302 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{L} = 2\pi r_2(T_i - T_o)U_o$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.330 \times (513 - 291) \times 0.641$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.330 \times 222 \times 0.641$$

$$= 294.906 \text{ W/m}$$

$$q = 294.906 \text{ W/m} \times 1273 \text{ m}$$

$$= 375415.338 \text{ Watt}$$

### Pipa Diameter 28 inch Dengan Panjang 1357 m

Diketahui:	D1	= 28 inch	= 0.711m	Ti = 513K
	r1	= 14 inch	= 0.355m	hi = 35 W/mK
	D2	= 30 inch	= 0.762m	To = 291K
	r2	= 15 inch	= 0.381m	ho = 9.5 W/mK
	D3	= 33 inch	= 0.838m	kpipa = 43 W/mK
	r3	= 16.5 inch	= 0.419m	K.wool = 0.035 W/mK
	D4	= 34 inch	= 0.863m	K.al = 0.05 W/mK
	r4	= 17 inch	= 0.431m	

Perhitungan:

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_4}{r_1 h_i} + \frac{r_4 \ln(r_3/r_2)}{K_{\text{pipa}}} + \frac{r_3 \ln(r_3/r_2)}{K_{\text{wool}}} + \frac{r_4 \ln(r_4/r_3)}{K_{\text{al}}} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0.431}{0.355 \times 35} + \frac{0.431 \ln(0.419/0.381)}{43} + \frac{0.419 \ln(0.419/0.381)}{0.035} + \frac{0.431 \ln(0.431/0.419)}{0.05} + \frac{1}{9.5}}$$

$$= \frac{1}{0.034 + 0.0009 + 1.138 + 0.243 + 0.105} = 0.657 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{A} = U_o(T_i - T_o)$$

$$= 0.657(513 - 291)$$

$$= 0.657 \times 222$$

$$= 145.862 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{L} = 2\pi r_2(T_i - T_o)U_o$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.381 \times (513 - 291) \times 0.657$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.381 \times 222 \times 0.657$$

$$= 348.981 \text{ W/m}$$

$$q = 348.981 \text{ W/m} \times 1357 \text{ m}$$

$$= 473567.217 \text{ Watt}$$

### Pipa Diameter 36 inch Dengan Panjang 1411 m

Diketahui:	D1	= 36 inch	= 0.914m	Ti = 513K
	r1	= 18 inch	= 0.457m	hi = 35 W/mK
	D2	= 38 inch	= 0.965m	To = 291K
	r2	= 19 inch	= 0.482m	ho = 9.5 W/mK
	D3	= 41 inch	= 1.041m	K.pipa = 43 W/mK
	r3	= 20.5 inch	= 0.520m	K.wool = 0.035 W/mK
	D4	= 42 inch	= 1.066m	K.al = 0.05 W/mK
	r4	= 21 inch	= 0.533m	

Perhitungan:

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_4}{r_1 h_i} + \frac{r_4 \ln(r_3/r_2)}{K.pipa} + \frac{r_3 \ln(r_3/r_2)}{K.wool} + \frac{r_4 \ln(r_4/r_3)}{K.al} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0.533}{0.457 \times 35} + \frac{0.533 \ln(0.520/0.482)}{43} + \frac{0.520 \ln(0.520/0.482)}{0.035} + \frac{0.533 \ln(0.533/0.520)}{0.05} + \frac{1}{9.5}}$$

$$= \frac{1}{0.033 + 0.0009 + 1.12 + 0.263 + 0.105} = 0.657 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{A} = U_o(T_i - T_o)$$

$$= 0.657 (513 - 291)$$

$$= 0.657 \times 222$$

$$= 145.854 \text{ W/mK}$$

$$\frac{q}{L} = 2\pi r_2(T_i - T_o)U_o$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.482 \times (513 - 291) \times 0.657$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.482 \times 222 \times 0.657$$

$$= 441.484 \text{ W/m}$$

$$q = 441.484 \text{ W/m} \times 1411 \text{ m}$$

$$= 622933.904 \text{ Watt}$$

#### 4.2 Total Heatloss Dari Kedua Bahan Insulasi Pipa

Setelah menghitung semua panas yang hilang dari beberapa macam diameter pipa yang di isolasi dengan bahan *aluminium cladding* bisa kita mendapatkan  $Q_{total}$  dari perhitungan dengan cara:

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\ &= 960252 \text{ watt} + 1007942 \text{ watt} + 339619 \text{ watt} + 1561636 \text{ watt} \\ &= 3869449 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Keseluruhan panas yang hilang dari pipa dengan memakai bahan isolasi *aluminium cladding* yaitu 3.869.449 Watt. Setelah mengetahui keseluruhan panas yang hilang dari isolasi pipa *aluminium cladding*, penulis memilih bahan *Mineral Wool* untuk bahan pengganti isolasi pipa, alasan penulis memilih bahan *Mineral Wool* karena memiliki  $K = 0.035 \text{ W/mK}$ . Walaupun bahan isolasi pipa diganti penulis menyadari bahwa masih ada kehilangan panas, tetapi disini penulis ingin bisa meminimalisir kehilangan panas tersebut. Setelah menghitung dengan berbagai ukuran diameter pipa dan panjang yang berbeda-beda dengan mengganti bahan isolasi baru yaitu *Mineral Wool* maka  $Q_{total}$  dapat dihitung dengan cara:

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\ &= 358411 \text{ watt} + 375415 \text{ watt} + 473567 \text{ watt} + 622933 \text{ watt} \\ &= 1830326 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa  $Q_{total}$  dengan bahan isolasi *Mineral Wool* yaitu dengan nilai 1.830.326 Watt, kehilangan panas dapat diminimalisir dalam kurun waktu operasi 10 tahun.

### 4.3 Nilai Ekonomis Penggantian Insulasi Pipa

Diawal BAB sudah diketahui kenaikan laju kondensasi uap dari 2 kg/s menjadi 10 kg/s. Sedangkan data parameter operasi pada periode ini seperti turbine inlet, tekanan dan temperatur pada pipa penyalur ataupun faktor faktor eksternal lain tidak berubah. Kecuali tekanan reservoir yang secara natural memang telah di prediksi akan mengalami penurunan sebesar 1.5 bar pertahun. Apabila laju kondensasi ini di perhitungkan dengan harga jual listrik yang berkisar US \$ 0.06/ kWh bahwa kerugian pendapatan  $\pm$  2.7 Juta USD jika dalam setahun beroperasi. Maka dari itu disini penulis ingin mencari tahu berapa total kerugian PLTP Kamojang jika dalam X tahun beroperasi dengan bahan isolasi lama yaitu *alluminium cladding* dan bahan isolasi baru yaitu *Mineral Wool*.

#### 4.3.1 Bahan Lama *Alluminium Cladding*

Untuk mengetahui kerugian pendapatan dari bahan isolasi lama yaitu *Alluminium Cladding* dengan cara:

- Kerugian per meter

$$\begin{aligned} \$ &= \frac{960252 + 1007942 + 339619 + 1561636(\text{watt})}{2700000 \text{ USD/tahun}} \\ &= 1.433 \text{ watt/tahun} \end{aligned}$$

- Total Kerugian

$$\begin{aligned} \$\text{total} &= 1.433 \times 27.000.000 \text{ (selama 10 tahun)} \\ &= 38691000 \text{ USD} \end{aligned}$$

Jadi total kerugian pendapatan dengan memakai bahan isolasi *alluminium cladding* adalah 38.691.000 USD atau jika dirupiahkan adalah sekitar 502 miliar rupiah dalam kurun waktu 10 tahun beroperasi.

#### 4.3.2 Bahan Baru *Mineral Wool*

Untuk mengetahui kerugian pendapatan dari bahan isolasi baru yaitu *Mineral Wool* dengan cara:

➤ Kerugian per meter

$$\text{\$} = \frac{358411 + 375415 + 473567 + 622933(\text{watt})}{2700000 \text{ USD/tahun}}$$

$$= 0,677 \text{ watt/tahun}$$

➤ Total Kerugian

$$\text{\$total} = 0,677 \times 27.000.000 \text{ (selama 10 tahun)}$$

$$= 18279000 \text{ USD}$$

Jadi total kerugian pendapatan dengan memakai bahan isolasi *Mineral Wool* adalah 18.279.000 USD atau jika dirupiahkan adalah sekitar 230 miliar rupiah dalam kurun waktu 10 tahun beroperasi.

#### 4.3.3 Perbandingan Kerugian Total Bahan Insulasi Pipa

Setelah kita mengetahui kerugian pendapatan dari kedua bahan isolasi bisa didapatkan perbandingan antara kerugian bahan isolasi lama yaitu *Alluminium cladding* dan bahan isolasi baru *Mineral Wool* dengan cara:

$$\text{Total Kerugian} = 38.691.000 \text{ USD} - 18.279.000 \text{ USD}$$

$$= 20.412.000 \text{ USD}$$

Disimpulkan perbandingan kerugiannya adalah 20.412.000 USD dengan memakai rate konversi dollar ke rupiah \$1 = Rp.13.000 sekitar 265 miliar rupiah. Jadi PLTP Kamojang dapat mengurangi kerugian pendapatan sekitar 20 juta dollar dalam kurun waktu 10 tahun beroperasi.

#### 4.4 Perhitungan Ekonomis Dari Pergantian Material Insulasi

**Tabel 4.4** Harga Material Isolasi

Insulation Material	Code	Thickness (mm)	Material Unit Price (S/m)	INSTALLATIO N& ACCESSORIES COST (USD/m)	Total cost USD/m <sup>3</sup>
Mineral wool	RW40	40	9.05	12.64	369.63
Mineral wool	RW50	50	11.48	14.55	352.98
Mineral wool	RW65	65	15.23	17.43	337.88
Mineral wool	RW70	70	16.56	203	353.27
Cale. Sil.	CS40	40	19.44	12.64	546.69
Cale. Sil.	CS50	50	24.67	14.55	531.85
Cale. Sil.	CS65	65	32.8	17.43	519.65
Cale. Sil.	CS70	70	35.58	20.3	535.56
Perlite	P40	40	21.27	12.64	577.88
Perlite	P50	50	27	14.55	563.44
Perlite	P65	65	35.89	17.43	551.61
Perlite	P70	70	38.94	203	567.76
<b>Average</b>					<b>USD 48S/m<sup>3</sup></b>

Harga diatas masih merupakan harga yang diberikan salah satu supplier untuk tujuan *initial budgetary purpose*. Biasanya tingkat akurasi harga yang ditawarkan masih berada plus dan minus 50%.

$$\begin{aligned}
 \$total &= 1442m + 1273m + 1357m + 1411m \times 369.63 \text{ USD} \\
 &= 5483 \text{ m} \times 369.63 \text{ USD} \\
 &= 2.026.681 \text{ USD}
 \end{aligned}$$

Jadi total dari pergantian material isolasi pipa perusahaan mengeluarkan dana sebesar 2 juta USD atau sekitar 26 miliar rupiah.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

- Jumlah kehilangan panas pada dalam kurun waktu 10 tahun dengan memakai bahan isolasi lama yaitu *Alluminium Cladding* dengan  $K= 0.05$  W/mK adalah 3.869.449 Watt.
- Untuk meminimalisir kehilangan panas yang terjadi maka bahan isolasi diganti dengan bahan isolasi baru yaitu *Mineral Wool* dengan  $K= 0.035$  W/mK, jumlah kehilangan panasnya adalah 1.830.326 Watt.
- Kerugian total pendapatan jika menggunakan bahan isolasi lama *Alluminium cladding* yaitu 38.691.000 USD atau jika dirupiahkan sekitar 502 miliar rupiah dalam kurun waktu 10 tahun beroperasi
- Kerugian total pendapatan jika menggunakan bahan isolasi baru *Mineral Wool* yaitu 18.279.000 USD atau jika dirupiahkan sekitar 230 miliar rupiah dalam kurun waktu 10 tahun beroperasi.
- Jika pipa diganti dengan bahan isolasi baru maka dapat mengurangi total kerugian pendapatan yaitu sebesar 20.412.000 USD atau jika dirupiahkan sekitar 260 miliar rupiah.
- Perusahaan Mengeluarkan dana sebesar 2 juta USD dari penggantian material insulasi baru

## DAFTAR PUSTAKA

- Armstead, H.C.H (1978). *Geothermal Energy*- E& F.N Spon Ltd, London
- Adli (2016) “Pengaruh Bahan Insulasi Terhadap Perpindahan Kalor Pada Tangki Penyimpanan” universitas Telkom
- Hariyana. (1997). *Isolasi Sistem Perpipaan*. BPPT, Bogor
- Holman, J. (2010). *Heat Transfer 10th Edition*. *Mc Grawhill Companies Inc.*, 1221 Avenue of the Americas, New York
- Incropera, F. P. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer 7<sup>th</sup> Edition*. U.S.A
- Muntolib dan Rusdiyantoro (2014) “Analisa Bahan Isolasi Pipa Saluran Uap Panas Pada Boiler Untuk Meminimalisasi *Heatloss*” universitas Brawijaya
- Nayyar, M. (2000). *Piping Handbook*. U.S.A; Mc Grawhill Inc. Avenue of the Americas, New York
- Nicko Matthew (2018) “Pemilihan Jenis Material Insulasi Terhadap Efek Kehilangan Panas Pada Jalur Pipa Panas Bumi”, universitas Trisakti
- Yunus A Cengel. (1997). *introduction to Thermodynamics and Heat Transfer* - McGraw-Hill companies, Inc USA.