

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Literatur

Pada tahun 1997 sebuah penelitian tentang penggunaan sumber elektrik sebagai pengontrol fluida menjadi *wax* [3]. Penelitian ini menggunakan studi kasus pada subsea atau instalasi bawah air dengan kedalaman 100-meter dengan rentang suhu antara $-1,5^{\circ}\text{C}$ sampai dengan 7°C . Penggunaan sumber energi listrik untuk mengontrol pembekuan atau perubahan fase fluida menjadi lilin pada kasus transfer minyak dari satu area ke area lainnya. Pada studi ini juga dilakukan perhitungan berapa besar energi listrik yang diperlukan untuk mengkompensasi *heat loss* pada pipa. Hasil dari penelitian ini mengungkapkan besaran energi listrik yang digunakan untuk memaintain suhu 50°C pada pipa diameter 14-inch dengan jarak 50 km sebesar 6,5 MW. Penelitian ini juga mengungkapkan jika secara fisik dan komersial penggunaan energi listrik bisa mengontrol perubahan fase fluida. Pada penelitian ini juga di hasilkan jika *electrical heat tracing* dapat memberikan panas pada beberapa pipa atau flow fluida dan menghasilkan tingkat keamanan yang diperlukan dalam tujuan pemanasan fluida [3].

Pada tahun 1997 penelitian tentang kabel yang terselubungin dengan *mineral insulated*. Pada penelitian ini dihasilkan jika kabel dengan *mineral insulated* merupakan jenis *heat tracing* yang mudah untuk di-*install* dan memiliki tingkat keamanan yang baik. Pada penelitian ini juga di temukan jika dengan *mineral insulated, steady state* dari konsumsi energi pada suhu 290°C memiliki 15% lebih baik [4]. Penelitian ini merupakan salah satu dari penelitian dasar beberapa jenis kabel yang beredar di dunia industri. Kabel *heat tracing* banyak menggunakan *mineral insulated* dalam komposisi kabelnya [4].

Pada tahun 2014 penelitian dari Choi Young, Dong-wook L dan Hyoung GC melakukan penelitian untuk perpindahan panas pada lokasi anti beku dengan proteksi kebakaran dan menggunakan *electrical heat tracing*. Penelitian ini menemukan perpindahan panas dengan berbagai macam instalasi kabel *heat tracing*

yang terpasang. Kesimpulannya pemasangan kable *heat tracing* yang baik adalah dengan instalasi pada bagian bawah pipa atau 180 derajat dari titik teratas pipa [5].

Pada tahun 2015 penelitian pada skripsi yang dilakukan Fajar Taufik Ismail tentang analisa perpindahan panas pada metoda *steam tracing*. Penelitian ini dilakukan pada proyeck PKT-5 yang memerlukan *heat transfer* untuk menjaga suhu fluida proses dengan dua jenis metoda *steam tracing* yaitu metoda *bare tracing* dan *conduction tracing*. Pada penelitian ini menghasilkan perhitungan *heat loss* akibat alur dari pipa dengan membandingkan dua tersebut. Dalam penelitian ini pipa dengan nomor 6-NHL-21020- N1J1 di proyek PKT-5 dilakukan sebagai saranan untuk menguji *heat loss* yang terjadi pada routing pipa tersebut dan juga *heat transfer* yang dikeluarkan untuk kompensasi *heat loss* tersebut [6].

Pada tahun 2016 Yang, Xiaochen; Li, Hongwei; Svendsen, Svend melakukan penelitian dengan judul “*Modelling and multi-scenario analysis for electric heat tracing system combined with low temperature district heating for domestic hot water supply*”. Pada penelitian ini pemasangan *electrical heat tracing* pada bangunan bertingkat dengan beberapa jenis pipa digunakan untuk mencapai studi yang komperhensif. Penelitian ini juga membangun sistem pemanas secara *real time* sehingga akan mengurangi dampak buruk kelingkunan. Dari penelitian ini didapatkan konsumsi energi yang lebih rendah pada implementasi sistem *real time* ini. Pada sistem ini didapatkan pasokan pada bangunan yang memerlukan pemanasan air dengan menggunakan sistem *electrical heat tracing*. Ini membuktikan jika sistem *electrical heat tracing* dapat juga digunakan untuk beberapa keperluan rumah tangga dan tidak selalu pada dunia industri [7].

Pada tahun 2018 penelitian dengan judul “*Optimal design and development of heat tracing systems for enhancement of energy saving*” yang dilakukan Kaleeswari M, Madheswaran M, Vijaykumar K. Penelitian ini menggunakan metoda dengan kabel *selfregulating*, *mineral insulated* serta lapisan insulasi panas. Pada penelitian ini dapat dihasilkan secara keseluruhan 50% energi hemat tetapi akan bergantung pada desain, suhu lingkungan, fluida dan parameter lainnya [8].

Pada tahun 2019, penelitian tentang *electrical heat* menggunakan metoda *skin effect* dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan dengan menguji pipa berdiameter 219 mm dengan tebal insulasi 20 mm dan Panjang pipa 1000 m. Hasil dari

penelitian menunjukkan jika pemasangan *electrical heat tracing* ini akan bergantung pada bagaimana energi listrik tersalurkan, suhu dari lingkungan, dan pada metoda *skin effect heat transfer* akan bergantung pada arus dan frekuensi aliran pada sistem yang digunakan [9].

Penelitian yang dilakukan Lalu Asgap Wahyu Pribadi, Nurchayati, Made Wijana dengan judul “Pengaruh Variasi Jenis Dan Tebal Isolasi Terhadap Kehilangan Energi Panas Pada Tungku Gasifikasi Sekam Padi Multi Burner”. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari insulasi pada *heat loss*. Penelitian ini memfokuskan perbandingan antara tungku dengan isolasi dari gypsum sebesar 4 mm, 6 mm, 8 mm dan tungku tanpa isolasi [10]. Hasil penelitian ini adalah konduktivitas thermal pada isolasi sangat mempengaruhi *heat loss* yang terjadi, pemilihan dengan bahan konduktivitas thermal yang rendah akan memiliki nilai *heat loss* yang rendah pula. Menurut penelitian isolasi dengan bahan karet lebih baik jika di bandingkan dengan bahan gypsum serta ketebalan dari isolasi sangat berpengaruh terhadap *heat loss*.

2.2 Pengertian Electrical Heat Tracing

Sistem *Heat Tracing* adalah sistem kelistrikan yang digunakan untuk mempertahankan atau menaikkan suhu pipa dan bejana. Pemanasan listrik dicapai dengan memanfaatkan elemen tahan yang dijalankan di sepanjang pipa atau bejana. *Heat tracing* sangat berguna dalam kasus perlindungan dari pembekuan, pencairan, menjaga suhu cairan pada titik yang diperlukan, pencegahan kondensasi gas dan pencegahan pemisahan komponen dalam cairan [8].

Kabel *Heat Tracing* harus berukuran tepat untuk setiap aplikasi. Kabel tersedia dalam berbagai *output watt*, voltase, dan bahan jaket. Kabel biasanya dirancang untuk berjalan di sepanjang pipa, 1 kaki kabel per 1 kaki pipa. Katup, flensa, dan komponen lain dengan massa yang lebih besar menjadi heat sink dan memerlukan kabel tambahan untuk memastikan kompensasi kehilangan panas tambahan. Faktor perhitungan kehilangan panas dalam ketebalan dan konduktivitas insulasi, perbedaan suhu sekitar dan pipa, dan luas permukaan keseluruhan menjadi faktor pemilihan kabel yang tepat. *Heat Tracing* dalam Perpipaan adalah istilah umum

untuk perpindahan panas radiasi ke dalam sistem Perpipaan. Baik dari tubing atau kawat listrik, panas dipindahkan dari sistem pelacakan panas ke sistem perpipaan proses utama untuk mempertahankan suhu cairan yang dibutuhkan dalam pipa [11].

Tujuan dari *heat tracing* adalah untuk melindungi integritas operasi proses secara keseluruhan melalui semua kemungkinan kondisi sekitar, perubahan kinerja sistem pelacakan panas dapat dan seringkali akan berdampak pada kinerja proses itu sendiri. *Electrical Heat tracing* adalah jenis *heat tracing* dalam perpipaan dimana elemen listrik digunakan untuk mentransfer panas dari *heat tracer* ke pipa proses utama. Di sini panas biasanya dihasilkan karena sifat resistif dari kabel pelacakan panas. Sistem pelacakan panas listrik lebih dari sekadar kabel pemanas biasa. Sebagian besar sistem pelacakan panas listrik komersial adalah tipe resistif. Dasar-dasar *Electrical Heat Tracing* didasarkan pada Hukum Ohm. Ketika arus listrik mengalir melalui elemen resistif dari pelacak panas listrik, panas dihasilkan. Sesuai Hukum Ohm pada persamaan (2.1):

$$V = I \times R \quad (2.1)$$

Dimana

I = Jumlah arus yang mengalir

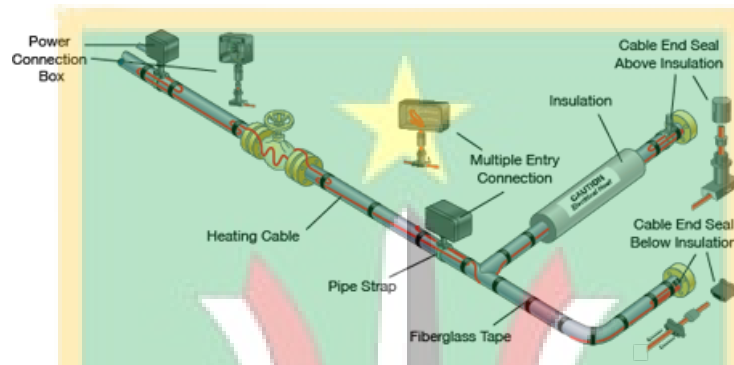
R = Resistansi yang dihasilkan

V = Tegangan yang diterapkan

Electrical Heat Tracing biasanya menggunakan satu atau lebih kabel sesuai kebutuhan untuk menyediakan aliran panas dari segala arah. Menggunakan lebih dari satu kabel adalah konfigurasi yang lebih andal karena pemanasan dapat dilanjutkan jika salah satu kabel rusak. Konfigurasi ini akan memberikan waktu untuk pemeliharaan untuk melakukan persiapan yang diperlukan. Dalam metoda *Electrical Heat Tracing*, perpindahan panas ke pipa proses dilakukan sesuai dengan metoda perpindahan panas radiasi, tetapi berbeda dengan *Electrical Heat Tracing* modern dengan kabel pemanas pengatur sering kali memiliki desain pengaturan sendiri, yang menyesuaikan keluaran panas sesuai kebutuhan. Elemen konduktif

tertanam dalam polimer yang mengembang dan berkontraksi sebagai respons terhadap suhu dan menyediakan pengaturan panas untuk memproses pipa.

Ketika suhu turun dan polimer berkontraksi, jalur yang lebih konduktif terbentuk dan resistansi berkurang. Arus melalui kabel pelacak panas meningkat dan lebih banyak panas dilepaskan. Dalam proses yang berlawanan, Ketika suhu meningkat poli mengembang, dan elemen konduktif terpisah, dan akibatnya resistansi meningkat. Ini mengurangi aliran arus di pelacak dan sebagai hasilnya lebih sedikit panas yang dihasilkan [11].



Gambar 2. 1 *Electrical Heat Tracing* [12]

2.3 Pemanfaatan *Electrical Heat Tracing*

Dalam dunia industri terlebih dengan sistem kerja proses yang kompleks, *Heat Tracing* adalah pilihan utama untuk menjaga kestabilan proses tersebut. Seperti halnya dengan *steam tracing*, *heat tracing* dapat digunakan ketika pada suatu sistem perpipaan dalam suatu plant terjadi perubahan suhu akibat pengaruh dari lingkungan yang dapat mengakibatkan terjadinya pembekuan, kondensasi, kristalisasi, pemisahan fluida atau perubahan nilai viskositas fluida yang dapat berakibat terganggunya sistem proses pada plant tersebut [6].

Heat tracing sangat berguna dalam kasus perlindungan dari pembekuan, pencairan, menjaga suhu cairan pada titik yang diperlukan, pencegahan kondensasi gas dan pencegahan pemisahan komponen dalam cairan [13]. Pemanfaatan dalam bidang industri minyak dan gas adalah untuk mencegah minyak mentah dari pemadatan dan *waxing* di pipa bawah laut, pemanasan aktif pipa bawah laut, mengurangi kehilangan panas pipa dan mengurangi penurunan suhu di sepanjang

jalan telah menjadi kunci transportasi pipa minyak mentah lepas pantai yang efisien dan aman. Listrik teknologi pelacakan panas telah dianggap sebagai salah satu metoda pemanasan aktif untuk perairan dalam pipa bawah laut dengan efisiensi pemanasan tertinggi [9].

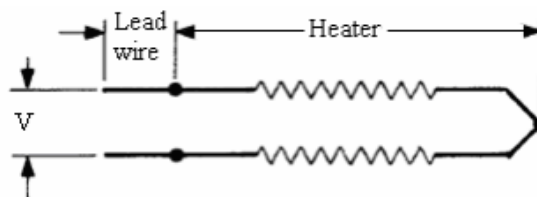
2.4 Jenis Kabel *Electrical Heat Tracing*

Dalam mendesain *Electrical Heat Tracing* kita perlu mengetahui jenis kabel dari *Electrical Heat Tracing*. Dengan mengetahui jenis kabel kita dapat mendesain *heat tracing* berdasarkan kelebihan dan kekurangannya. Faktor routing dari pipa dan faktor lingkungan juga merupakan beberapa faktor yang perlu diperhitungkan dalam mendesain *Electrical Heat Tracing*, sehingga kita dapat memenuhi kebutuhan proses dari sebuah plant. Berikut ini adalah beberapa jenis kabel dari *Electrical Heat Tracing*:

2.4.1 *Series Circuit Mineral Insulated Cables*

Kabel pemanas tipe resistansi seri menggunakan konduktor resistif tunggal atau ganda untuk membuat sirkuit pemanas. Output daya dari kabel-kabel ini relatif konstan dan karena tegangan adalah diterapkan, output daya ditentukan oleh kombinasi panjang kabel dan hambatan keseluruhan konduktor. Kekurangannya adalah karena output dayanya adalah tergantung pada panjang kabel, kabel ini selalu dipasok sesuai dengan ketentuan dari pabrik. Jika kabel dipotong terlalu pendek atau terlalu panjang, resistansi keseluruhan akan berubah, menghasilkan kabel yang menghasilkan keluaran panas yang terlalu sedikit atau terlalu banyak.

Kabel pada dasarnya terdiri dari satu atau dua konduktor tembaga atau paduan yang tertanam di insulasi magnesium oksida dielektrik dan dikelilingi oleh selubung Incoloy 825 [1].



Gambar 2. 2 Diagram kabel *mineral insulated* [1]

Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari kabel tipe ini:

1. Kelebihan

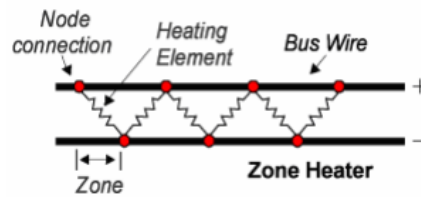
- a. Panjang sirkuit yang sangat panjang dimungkinkan;
- b. Dapat memiliki output watt yang sangat tinggi yang dapat digunakan dalam beberapa proses pemanasan aplikasi (setinggi 815 ° C);
- c. Biaya yang relatif rendah per kaki panjang

2. Kekurangan

- a. Tersedia dalam panjang standar; penyesuaian lapangan sulit dan mahal;
- b. Satu putusnya kabel menyebabkan seluruh sistem gagal;
- c. Tidak dapat digunakan pada pipa plastik;
- d. Tidak dapat ditumpuk – akan terbakar karena panas yang berlebihan;
- e. Relatif tidak fleksibel – sulit dipasang;
- f. Perhatian harus dilakukan untuk memasang kabel ini di area berbahaya, karena kabel ini tidak mengatur sendiri dan mungkin memiliki selubung yang sangat tinggi suhu selama operasi.

2.4.2 Parallel Circuit Heating Cables (Constant Watt Output)

Merupakan kabel dengan rangkaian paralel dan pengaturan watt konstan yang dirancang untuk mengeluarkan jumlah linear watt per feet kabel. Ini umumnya dibangun dari dua kabel bus paralel berinsulasi polimer #12AWG dengan kawat elemen pemanas paduan nikel dibungkus alternatif sepanjang kabel bus terisolasi. Koneksi ini dibuat di titik 'NODE' di mana elemen pemanas paduan nikel dilas atau dihubungkan oleh paku keling. Seluruh rakitan elemen kemudian diisolasi secara dielektrik dengan tambahan jaket polimer.



Gambar 2. 3 Diagram kabel paralel *circuit heating cables* [1]

Keluaran dari kabel ini bergantung pada resistansi kawat paduan nikel dan jumlah yang digunakan antara koneksi node. Akibatnya, produsen menstandarisasi watt output ke nilai yang ditentukan. Kabel ini dapat dipotong sesuai panjang yang diinginkan medan dalam batas yang ditentukan oleh panjang sirkuit pemanas maksimum (biasanya 49 m hingga 98 m) kabel yang tidak dipanaskan untuk menembus insulasi, masuk ke kotak persimpangan dan buat koneksi daya. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan dari kabel *pararel circuit heating cable*;

1. Kelebihan

- a. Output watt konstan membuat pemeliharaan lebih tinggi dan lebih akurat suhu proses lebih mudah.
- b. Beroperasi pada tegangan standar dan mudah dikontrol;
- c. Sistem terus beroperasi bahkan jika ada elemen yang gagal;
- d. Tersedia dalam berbagai output watt dan suhu desain hingga 260 °C;
- e. Sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kerapatan watt tertentu kali seperti perlindungan pembekuan dan banyak kontrol proses suhu rendah lainnya aplikasi.

2. Kekurangan

- a. Keluaran panas yang berlebihan dapat membuat isi pipa menjadi terlalu panas;
- b. Jika tidak dikendalikan, ini adalah rentan terhadap kelelahan;
- c. Tidak dapat digunakan pada pipa plastik;
- d. Batas suhu lebih rendah dari kabel lainnya;

- e. Pemanas zona menggunakan kabel resistif yang lebih tipis daripada pemanas seri dan lebih banyak lagi rentan terhadap kerusakan akibat benturan;
- f. Penggulungan kabel di sekitar pekerjaan pipa harus dihindari untuk meminimalkan kemungkinan arus induksi dalam pekerjaan pipa.

2.4.3 Self-Regulating Heating Cable

Sistem Self-Regulating adalah pilihan yang lebih disukai untuk pelacakan pipa yang paling kompleks. Ini karena konstruksinya paralelnya, yang memungkinkannya dipotong menjadi panjang dan disambung di lapangan, dan output pengaturannya sendiri, yang memberikan lebih banyak panas di tempat yang dibutuhkan [14].



Gambar 2. 4 *Self-Regulating Heating Cable* [14]

Gambar 2. 5 *Self-Regulating Heating Cable with Polymeric fiber* [14]

1. Kelebihan

- a. Output variabel, lebih sedikit kemungkinan overheating;
- b. Mempertahankan profil suhu yang seragam di seluruh jalur pipa yang menghasilkan ekonomi energi yang lebih besar;
- c. Secara intrinsik aman dan dapat digunakan di area berbahaya. Bahkan, itu telah diberikan T-Rating*(“Klasifikasi Area”);

- d. Kabel dapat dipotong dan diatur di lapangan, instalasi mudah;
- e. Setelah pemasangan, umumnya tidak memerlukan penggantian apa pun untuk keseluruhan pemasangan. Pelacak tipe yang mengatur sendiri biasanya dijamin lebih banyak dari 40 tahun kehidupan kerja;
- f. Fleksibel dan dapat tumpang tindih;
- g. Bekerja dengan baik untuk perlindungan beku dan aplikasi suhu rendah yang tidak membutuhkan kontrol yang sangat ketat;
- h. Kabel suhu rendah dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk aplikasi yang melibatkan perpipaan dan peralatan nonlogam.

2. Kekurangan

- a. Memiliki panjang sirkuit yang lebih pendek daripada kabel dengan watt konstan;
- b. Sebagian besar kabel yang dapat diatur sendiri dirancang untuk memberikan nilai watt pada 10°C. Itu output watt akan melebihi watt terukur saat suhu kabel di bawah 10 °C dan semakin rendah suhu kabel, semakin besar watt ini yaitu. ampere adalah "inrush" (hasilnya adalah arus start up yang tinggi). Pemutus sirkuit dari kapasitas yang cukup untuk memungkinkan arus masuk awal start-up harus dipasang untuk perlindungan terhadap arus berlebih;
- c. Kontrol suhu presisi yang ketat juga lebih sulit dengan kabel yang dapat diatur sendiri, karena output watt selalu berubah mencari 10 °C pada kabel tidak pipa atau fluida di dalam pipa. Karena tidak ada umpan balik langsung untuk pipa suhu, kabel ini tidak cocok untuk kontrol proses;
- d. Tidak dapat digunakan pada 480V;
- e. Suhu desain rendah [1].

3. Jenis kabel Self-regulating berdasarkan Heat output

- 1. 3MSB2-CT dengan kapasitas Heat Output sebesar 10 W/m²
- 2. 5MSB2-CT dengan kapasitas Heat Output sebesar 15 W/m²

3. 10MSB2-CT dengan kapasitas Heat Output sebesar 30 W/m²
4. 15MSB2-CT dengan kapasitas Heat Output sebesar 45 W/m²
5. 20MSB2-CT dengan kapasitas Heat Output sebesar 60 W/m²

[15]

2.5 Kode ASME B31.3 dan sistem perpipaan

Dalam proyek ini desain temperature diatur dalam kode para. 301.2 yang berarti setiap komponen perpipaan seperti tekanan, temperature, ketebalan dan rating tertinggi akan mengacu pada kode ASME.

Penentuan desain harus mengacu pada temperature fluida yang mengalir, radiasi matahari, temperature lingkungan dengan ketentuan pada paragraph 301.3.2, 301.3.3, dan 301.3.4 pada panduan ASME b31.3 para 301.3. Setiap desain temperature akan ditentukan juga bahan material yang digunakan.

Proyek ini menggunakan pengkodean pipa yang mengacu pada standar ASME dimana kode yang digunakan memiliki arti tersendiri, berikut adalah kode pipa yang digunakan pada proyek GLC:

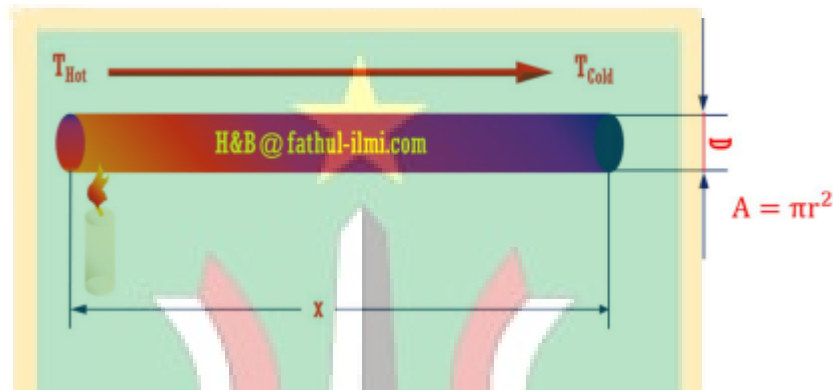
23-2-PG-BS20M-1669-HT

23	= Kode area dalam proyek
2	= Kode ukuran pipa
PG	= Line servis (Proses Gas)
BS20M	= Kode material pipa
1669	= Kode nomor pipa
HT	= Kode insulasi pipa

2.6 Perpindahan panas konduksi

Konduksi adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium - medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar [16]. Contohnya ketika kita memanaskan sebatang besi maka pada bagian ujung yang tidak dipanaskan dalam jarak (x) tertentu dari sumber panas (THot), seiring waktu (s) area yang bertemperatur lebih rendah (TCold) akan menjadi lebih panas, hal ini menggambarkan bahwa panas yang berasal dari perapian dengan temperatur lebih

panas (T_{Hot}) berpindah (q) dari ujung 15 besi yang dipanaskan ke ujung lain yang tidak dipanaskan (T_{Cold}). Itulah contoh sederhana proses berlangsungnya perpindahan panas [6]. Laju perpindahan panas atau biasa kita kenal sebagai nilai perpindahan panas di rumuskan sebagai panas yang mengalir persatuan waktu. Sehingga laju perpindahan panas konduksi dapat dirumuskan melalui perkalian antara konduktivitas panas atau *Thermal Conductivity* (k) dengan luas penampang (A) dan selisih dari suhu kedua titik ($T_{hot} - T_{cold}$) kemudian dibagi dengan jarak kedua titik (x).



Gambar 2. 6 Perpindahan panas konduksi pada pipa [6]

Konduksi adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium - medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar menurut teori kinetic [16]. Sedangkan pengertian lain dari Konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum [17]. Persamaan Dasar Konduksi:

$$q_k = kA \frac{dt}{dx} \quad (2.2)$$

$$\text{Besaran Panas Konduski} = \alpha \frac{(\text{Luas}) * (\text{Perbedaan } T)}{dx} \quad (2.3)$$

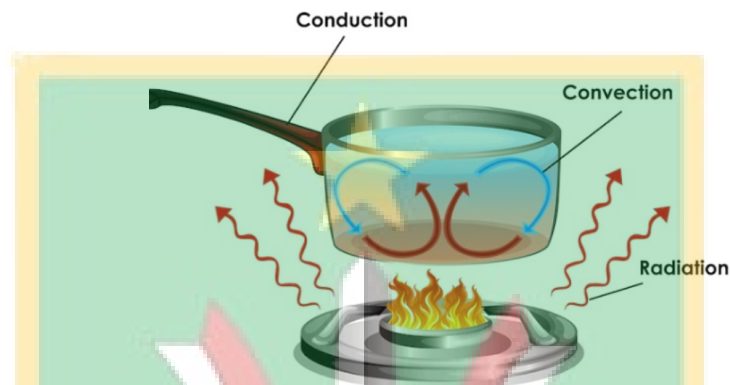
Dimana:

Q	= laju perpindahan kalor W
K	= konduktivitas termal (J/m.s.°C) atau (W/m°C)
A	= luas penampang (m ²)
T _{Hot}	= Temperatur ter-tinggi (°C)
T _{Cold}	= Temperatur ter-rendah (°C)
q	= Heat Flux (W/m ²)
x	= Jarak antara temperatur panas dan temperatur rendah (m)

2.7 Perpindahan panas konveksi

Perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas) [2]. Dengan kata lain, jika pada suatu benda terdapat gradient temperatur atau perbedaan temperatur maka pada benda tersebut akan berlaku perpindahan energi dari temperature tinggi ke temperature rendah. Perpindahan fluks kalor akan berbanding lurus dengan gradient pada benda tersebut. Perbedaan massa jenis zat juga dapat menyebabkan perpindahan panas secara konveksi ini. Energi ini kemudian diangkut atau dikonveksikan (*convected*), ke hilir oleh fluida, dan difusikan melalui fluida oleh hantaran di dalam fluida tersebut. Jenis proses perpindahan energi ini dinamakan perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer*) [18].

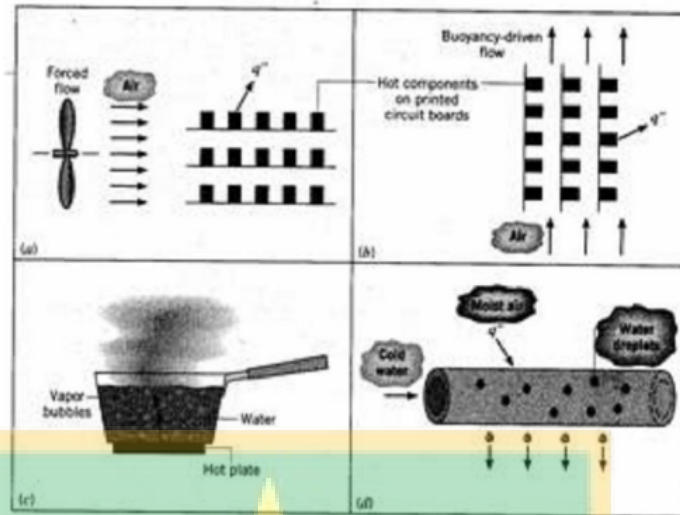
Hukum Newton dapat menjelaskan tentang pendinginan atau pemanasan konveksi dibanyak kasus yaitu: “Kecepatan hilangnya panas pada benda sebanding dengan perbedaan antara benda tersebut dengan lingkungannya.” Dengan demikian hukum Newton tentang pendinginan membutuhkan kecepatan panas hilang yang akan membentuk garis linear atau dengan fungsi grafik yang sebanding. Kenyataanya secara umum konveksi tidaklah pernah membentuk garis lurus, maka hukum Newton tidak berlaku.



Gambar 2. 7 Perpindahan panas konveksi [19]

Perpindahan konveksi dapat dibagi menjadi 2 kategori jika kita melihat dari keadaan aliran perpindahan panasnya, yaitu:

1. Konveksi bebas dimana aliran fluida disebabkan adanya perbedaan variasi massa jenis yang akan diikuti oleh perbedaan temperature dalam fluida tersebut.
2. Konveksi paksa dimana alirannya disebabkan beberapa faktor dari luar. Contohnya dari pompa, tiupan angin dan fan. Jadi pengertian dari konveksi paksa adalah perpindahan panas yang alirannya tersebut berasal dari sumber luar, seperti blower, pompa atau karan. Pada konveksi paksa didalam pipa merupakan jenis dari aliran dalam atau internal flow dan di batasi oleh suatu permukaan dan tidak dapat berkembang secara bebas.



Gambar 2. 8 Perpindahan panas konveksi. (a) konveksi paksa, (b) konveksi alamiah, (c) pendidihan, (d) kondensasi

$$Q_{convection} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (2.4)$$

h = Convection heat transfer ($W/m^2 \cdot C$)

A_s = luas permukaan perpindahan panas karena konveksi

T_s = temperature permukaan

T_{∞} = temperature fluida jauh dari permukaan

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang sangat bergantung pada properti dari fluida. Properti fluida yang dimaksud adalah:

1. Viskositas Dinamik atau *Dynamic Viscosity* (μ)
2. Massa Jenis atau *Density* (ρ)
3. Konduktivitas Thermal atau *Thermal Conductivity* (k)
4. Kecepatan Fluida atau *fluid Velocity* (v), dan
5. Panas Spesifik atau *Specific Heat* (C_p)

Konveksi panas juga akan tergantung pada faktor geometri atau bentuknya dan faktor kekerasan atau roughness dari permukaan benda padat tersebut. Ada pula faktor lainnya seperti tipe aliran fluida apa itu laminar atau turbulen.

2.8 Tahanan Thermal

Aliran perpindahan panas persatuan luas tergantung dari beda temperature dan media yang ada dan dilalui. Oleh karena itu, hal ini bisa dianalogikan dengan arus listrik (aliran muatan listrik persatuan luas penghantar dna bahan hantaran) tergantung pada beda potensial antara ujung penghantar dan bahan hantaran.

$$q_{\text{kond}} = Q_{\text{kond}}/A = k. (T_{s1}-T_{s2})/t \quad (2. 5)$$

$$q_{\text{konv}} = Q_{\text{konv}}/A = h. (T_s-T_{\infty}) \quad (2. 6)$$

$$i=q/A= \Delta V/R \quad (2. 7)$$

Selanjutnya data diatas kita dapat menurunkan persamaan tahanan thermal suatu bahan yaitu $R_{\text{kond}} = t/k$ dan $R_{\text{konv}} = 1/h$. jika kita mengambil contoh suatu pipa dengan konfigurasi ketebalan pipa dan lapisan cat artinya $R_1 = t_1 / k_1$ dimana t_1 adalah tebal plat dari pipa, dan k_1 adalah konduktivitas thermalnya. Lapisan selanjutnya adalah lapisan cat dimana $R_2 = t_2 / k_2$ dimana t_2 adalah tebal dari lapisan cat dan k_2 adalah konduktivitas thermalnya. Jadi total tahanannya adalah

$$R_t = R_1 + R_2 = \frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} \quad (2. 8)$$

Dari rumus diatas dapat digunakan untuk menghitung jumlah kalor yang mengalir persatuan luas dinding jika kita dapat mengetahui suhu didalam pipa dan suhu yang ada diluar pipa atau suhu lingkungan.

$$q = \frac{(T_f - T_u)}{Rt} \quad (2. 9)$$

Dimana T_f adalah temperature fluida dan T_u adalah temperature lingkungan atau udara sekitar.

Jika rumus diatas kita kembalikan pada rumus dasar $q = h(T_2-T_1)$ maka kita dapat menghitung koefisien perpindahan menyeluruh (baik konveksi maupun konduksinya) sehingga didapatkan $U = 1/Rt$

$$U = \frac{1}{\frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2}} \quad (2. 10)$$

$$Q = U. A (T_f - T_u) \quad (2. 11)$$

Selanjutnya nilai dari U sangatlah penting dalam menentukan jumlah panas dari luar ke dalam pipa.

2.9 Konduksi pada silinder berlapis

Berkaitan dengan teori diatas panas konduksi dan tahanan thermal. Pada sub bab ini kita akan membahas dan menjelaskan bagaimana aplikasi dua teori diatas dapat diaplikasikan pada pipa berlapis.



Gambar 2. 9 Aliran panas satu dimensi melalui silinder berongga dan analogi listriknya [10]

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (2.12)$$

$$R_{total} = R_{Conv1} + R_{Cyl1} + R_{Cyl2} + R_{Cyl3} + R_{conv2}$$

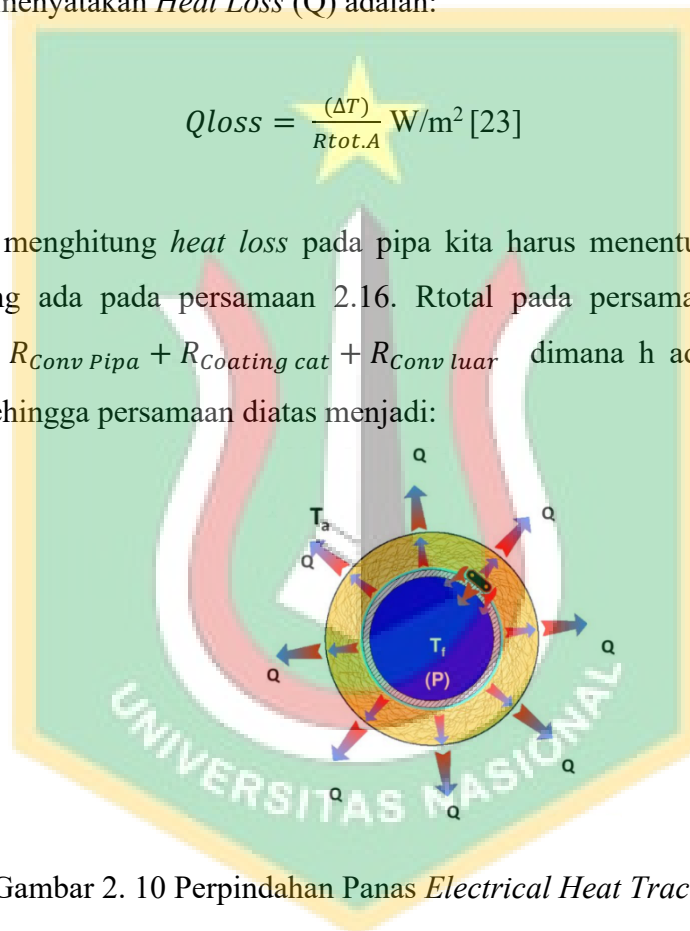
$$R_{total} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L k_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L k_2} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2 A_4} \quad (2.13)$$

2.10 *Electrical Heat Tracing* calculation

Perhitungan perpindahan panas pada *electrical heat tracing* akan diperlukan pada penelitian ini guna mengganti panas yang keluar dari pipa untuk itu kita perlu mengerti perpindahan panas yang terjadi. Dengan memberikan Q yang sama dengan perhitungan *heat loss* pada pipa kita dapat mengetahui kebutuhan kalor yang digunakan untuk menggantinya. Secara teori pada kasus ini Konduktansi adalah kebalikan dari resistansi dari R dan dapat dinyatakan $U=1/R$ atau $U=k/L$. oleh sebab itu, untuk menyatakan *Heat Loss* (Q) adalah:

$$Q_{loss} = \frac{(\Delta T)}{R_{tot.A}} \text{ W/m}^2 \text{ [23]} \quad (2.14)$$

Untuk menghitung *heat loss* pada pipa kita harus menentukan besaran dari R_{total} yang ada pada persamaan 2.16. R_{total} pada persamaan diatas adalah $R_{total}A = R_{Conv \text{ Pipa}} + R_{Coating \text{ cat}} + R_{Conv \text{ luar}}$ dimana h adalah koduktifitas thermal, sehingga persamaan diatas menjadi:



Gambar 2. 10 Perpindahan Panas *Electrical Heat Tracing* [24]

Setelah kita mengetahui besaran *heat loss* pada pipa kita akan menghitung *heat output* yang akan diberikan oleh *electrical heat tracing* untuk menggantikan *heat loss* yang keluar agar fluida yang berada dalam pipa tetap sesuai dengan desain awalnya. Berikut adalah persamaan untuk *heat flux* pada *electrical heat tracing* yang didapatkan pada spesifikasi project GLC.

$$\text{Heat flux Proyek} = 110\% \cdot Q_{loss} \text{ [25]} \quad (2.15)$$

Dimana

Q_{loss} = Heat loss

110% = Margin heat output pada proyek

2.11 *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

Computational fluid dynamic merupakan sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait seperti reaksi kimia dengan menggunakan perhitungan computer berbasis simulasi [26]. CFD sendiri memiliki tujuan untuk memprediksi tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia kompleks secara akurat. Keuntungan dari CFD berdasarkan pendekatan eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Meminimumkan biaya dan waktu dalam mendesain suatu produk, jika proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
2. Mempunyai kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Mempunyai kemampuan untuk sistem studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
4. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain [26].

Pada dasarnya CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinu (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga) [27]. Sementara dari jurnal lainnya CFD merupakan metoda perhitungan menggunakan control dimensi, luas dan volume memanfaatkan computer [28].

2.12 *Ansys for Student R.22*

ANSYS *Fluent* merupakan program computer untuk permodelan aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia pada suatu geometri kompleks. Program yang menyediakan fleksibilitas mesh, termasuk kemampuan untuk menyelesaikan masalah aliran dibuat dari Bahasa pemrograman C. ANSYS *Fluent* dalam mode solution memiliki kapabilitas untuk melakukan simulasi diantaranya sebagai

berikut [27]. *Software* ini menyediakan kapabilitas pada pemodelan yang luas, komprehensif dan lingkup yang luas untuk permasalahan fluida. Ansys dapat juga menganalisa dan meprediksi aliran, laminar, turbulen, perpindahan panas dan sebagainya. *Computational Fluid Dynamic* (CFD) sangat cocok digunakan untuk melakukan analisa terhadap sebuah sistem yang rumit dan sulit dipecahkan dengan perhitungan manual. Dengan kelebihanannya tersebut CFD sering digunakan untuk melakukan Analisa terhadap suatu pola sebuah system [29].

2.13 Metoda Pengambilan Data Temperature

Pengambilan data temperature yang dilakukan pada proyek ini menggunakan alat ukur infrastruktur bangunan yaitu FLUKE 971 Temperature Humidity Meter. Alat ini memiliki fitur seperti Layar ganda berlampu latar menyajikan kelembapan dan suhu, Mengukur suhu titik embun dan tabung basah, 99 kapasitas penyimpanan data, Desain ergonomis dengan klip sabuk dan sarung pelindung, Sensor kapasitansi tanggap cepat, Mudah dibawa dan ringan (188 g/6.6 oz), Suhu di rentang antara -20 °C sampai 60 °C (-4°F sampai 140 °F), Kelembapan relatif dari 5 % sampai 95 %, Min/Maks/Rta. Data tersimpan dan memiliki Indikator baterai.

Penggunaan termometer inframerah dalam aplikasi ini sebagai indikator umum saja. Banyak faktor yang ikut berperan saat melakukan pengukuran IR, seperti emisivitas dan rasio titik-ke-jarak [30].



Gambar 2. 11 Fluke 971[30]

Cara menggunakan Fluke 971 adalah sebagai berikut:

1. Buka pelindung sensor yang berada diatas

2. Tekan O untuk memulai
3. Dekatkan sensor pada sesuatu yang akan diukur temperature dan kelembapannya
4. Suhu dapat dipilih menjadi Celcius atau Farenheit
5. Suhu akan terlihat pada layer
6. Catat suhu yang didapatkan pada kertas laporan

