

**IMPLEMENTASI PROGRAM MATLAB
UNTUK MENGHITUNG NILAI KONDUKTIVITAS TERMAL
BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN ASTM D 5334-00
UNTUK PENENTUAN JENIS KABEL PADA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN DI DAERAH TANAH LAUT,
KALIMANTAN SELATAN**

(Skripsi)

Oleh

UMMI HANIFAH



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TENIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF MATLAB PROGRAMS FOR CALCULATING VALUE OF SUB-SURFACE THERMAL CONDUCTIVITY BY ASTM D 5334-00 FOR DETERMINING THE TYPE OF CABLE IN WIND POWER PLANTS IN TANAH LAUT, SOUTH KALIMANTAN

By

UMMI HANIFAH

Calculation of thermal conductivity in this study using CT LAB software and program of MATLAB R2013a. The program was built based on the calculation of the ASTM D 5334-00 (American Society for Testing and Materials) standard by dividing three segments into one data curve, namely; Transient Portion, Steady State Portion, and Data Portion Dominated by Edge and End Effects. The measurement data used in this study is located in Bukit Sapu Angin, Pelaihari District, Tanah Laut Regency, South Kalimantan Province. Thermal conductivity (λ , [W / (mK)]) can be approved as the material's ability to transfer heat. Soil thermal conductivity is one of the important factors for installing underground cables. The lowest thermal conductivity of CT LAB is available on H-07A data, which is 0.593 W / mK and the highest value is found in the H-06B data, which is 3.239 W / mK. While the lowest thermal conductivity value of CT_Program is found in the H-12C data which is 0.552 W / mK and the highest value is found in the H-11B data which is 2.1795 W / mK. The type of cable for the power plant recommended for this study is the NA2XSY cable type (single core, XLPE insulated, copper and PVC sheath).

Keywords: Thermal Conductivity, ASTM D 5334-00, MATLAB, Insulation and Underground Cable Types.

ABSTRAK

IMPLEMENTASI PROGRAM MATLAB UNTUK MENGHITUNG NILAI KONDUKTIVITAS THERMAL BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN ASTM D 5334-00 UNTUK PENENTUAN JENIS KABEL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DI DAERAH TANAH LAUT, KALIMANTAN SELATAN

Oleh

UMMI HANIFAH

Perhitungan nilai konduktivitas pada penelitian ini menggunakan *software* CT LAB dan program pada MATLAB R2013a. Program dibangun berdasarkan perhitungan dari standar pengukuran ASTM D 5334-00 (*American Society for Testing and Materials*) dengan membagi tiga segmen dalam satu kurva data yaitu; *Transient Portion*, *Quasi Steady State Portion*, dan *Portion of Data Dominated by Edge and End Effects*. Data pengukuran yang digunakan pada penelitian ini terletak di Bukit Sapu Angin, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. Konduktivitas termal (λ , [W/(mK)]) dapat dikatakan sebagai kemampuan material untuk mentransfer panas. Konduktivitas termal tanah merupakan salah satu faktor penting untuk melakukan pemasangan kabel bawah tanah. Konduktivitas termal terendah CT LAB terdapat pada *line id* H-07A yaitu 0.593 W/mK dan nilai tertinggi terdapat pada *line id* H-06B yaitu 3.239 W/mK. Sedangkan nilai konduktivitas termal terendah CT_Program terdapat pada *line id* H-12C yaitu 0.552 W/mK dan nilai tertinggi terdapat pada *line id* H-11B yaitu 2.1795 W/mK. Tipe kabel untuk pembangkit listrik yang direkomendasikan dari penelitian ini adalah kabel jenis NA2XSY (berinti tunggal, berisolasi XLPE, tabir tembaga dan selubung PVC).

Kata kunci: Konduktivitas Termal, ASTM D 5334-00, MATLAB, Isolasi dan Jenis Kabel Bawah Tanah

**IMPLEMENTASI PROGRAM MATLAB
UNTUK MENGHITUNG NILAI KONDUKTIVITAS TERMAL BAWAH
PERMUKAAN BERDASARKAN ASTM D 5334-00 UNTUK PENENTUAN
JENIS KABEL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DI
DAERAH TANAH LAUT, KALIMANTAN SELATAN**

Oleh

Ummi Hanifah

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

**Judul Skripsi : IMPLEMENTASI PROGRAM MATLAB
UNTUK MENGHITUNG NILAI
KONDUKTIVITAS TERMAL BAWAH
PERMUKAAN BERDASARKAN ASTM D
5334-00 UNTUK PENENTUAN JENIS
KABEL PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA ANGIN DI DAERAH TANAH
LAUT, KALIMANTAN SELATAN**

Nama Mahasiswa : Ummi Hanifah

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415051071

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.

NIP 19730716 200012 1 002

Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.

NIP 19711210 199702 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.

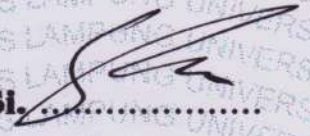
NIP 19750911 200012 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


Ketua

: Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.



Sekretaris

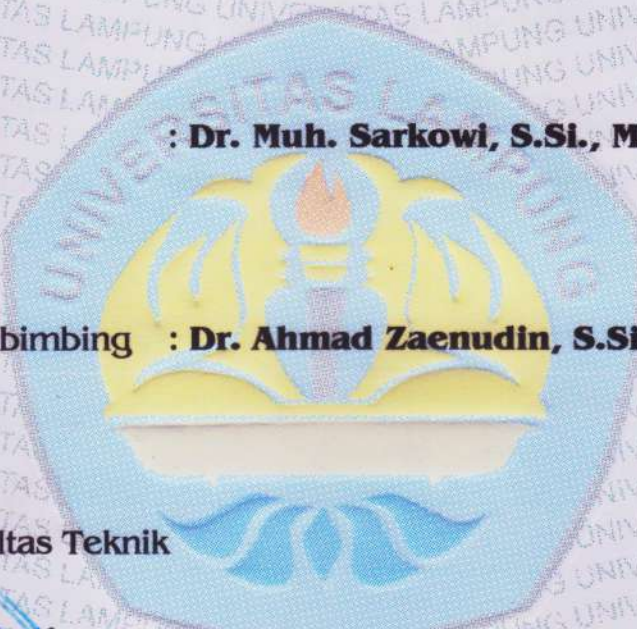
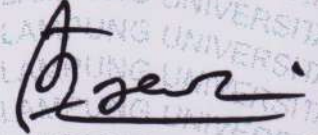
: Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, B.Sc., M.Sc., Ph.D., IPU.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Juli 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 31 Juli 2019



Ummi Hanifah

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kelurahan Pringsewu Barat, Kec. Pringsewu, Kab. Pringsewu, Lampung pada Tanggal 8 Oktober 1996, anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Suratmin dan Ibu Erni Widayati.

Penulis mengawali pendidikan di TK KH GHOLIB Pringsewu pada tahun 2001 dan melanjutkan ke SDN 1 Pringsewu Barat pada tahun 2002, kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah menengah pertama di MTs Ali Maksum Yogyakarta pada tahun 2008, dan kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah menengah atas di SMA N 2 Pringsewu pada tahun 2011.

Pada tahun 2014 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program S1 Reguler Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai organisasi, penulis terdaftar sebagai Eksekutif Muda dalam Dinas Sosial dan Politik di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) Universitas Lampung pada tahun 2014-2015. Anggota Biro Dana dan Usaha di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana” (HIMA TG BHUWANA) pada tahun 2015-2017. Penulis juga terdaftar sebagai anggota Biro Dana dan Usaha di Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia Regional 1 pada tahun 2015-2016.

Selain aktif dalam organisasi, selama masa kuliah penulis juga aktif dalam mengikuti kegiatan *volunteering*. Penulis menjadi *volunteer* dalam kegiatan *Earth Hour* Indonesia-Lampung pada tahun 2016. Kemudian penulis juga terdaftar sebagai salah satu *volunteer* dalam kegiatan internasional *18th Asian Games Jakarta-Palembang 2018* (Jakarta) dan *3th Indonesia Asian Para Games 2018* (Jakarta).

Pada Bulan Februari – Maret 2017 penulis melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”, Jakarta dengan tema : “***Routine Core Analysis untuk Pengukuran Saturasi Fluida pada Sidewall Core dengan Metode Retort***”. Pada Bulan Januari – Maret 2018 penulis melakukan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Tiyuh Balam Jaya, Kec. Way Kenanga, Kab. Tulang Bawang Barat. Pada Bulan Juni 2018 – Januari 2019 penulis melaksanakan Tugas Akhir di Laboratorium Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan tema: “***Implementasi Program MATLAB Untuk Menghitung Nilai Konduktivitas Termal Bawah Permukaan Berdasarkan ASTM D 5334-00 Untuk Penentuan Jenis Kabel Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Daerah Tanah Laut, Kalimantan Selatan***”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahilabbil'amin

*Karya ini kupersembahkan untuk kedua orangtuaku,
Bapak dan Ibukku yang sangat aku sayangi,
yang selalu mendukung apapun keputusanku dan tidak pernah
berhenti mendoakan agar aku berhasil di dunia dan akhirat.*

Juga untuk adikku satu-satunya, Sulthoni Yahya.

MOTTO

“Dalam segala hal, dahulukan Allah dan berlakulah jujur”
Ibu Erni Widayati

“Tuhan tahu, tapi menunggu”
Andrea Hirata, Edensor

“Everyone is working at their own pace. Do not mock or be jealous of others.
They are in their time and you are in yours”
@imrvnk on twitter

“Pada akhirnya, kamulah satu-satunya yang mengerti perihal hidupmu.
Nahkodanya, adalah kamu.
Kemana kapal menuju, bergantung pada apa yang kamu pilih dan kamu buat”
Ummi Hanifah

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanawata'ala berkat rahmat dan kuasa-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Implementasi Program MATLAB Untuk Menghitung Nilai Konduktivitas Termal Bawah Permukaan Berdasarkan ASTM D 5334-00 Untuk Penentuan Jenis Kabel Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Daerah Tanah Laut, Kalimantan Selatan”**. Skripsi ini merupakan bagian dari persyaratan untuk meraih gelar S-1 Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Penulis berharap dengan adanya penelitian ini semoga dapat menambah pengetahuan baru di dunia Geofisika khususnya di bidang pengembangan program aplikasi perhitungan, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Karenanya, kritik dan saran sangat dibutuhkan guna membangun agar kedepannya penulis dapat memberikan yang lebih baik lagi. Demikian kata pengantar ini, semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk masa kini dan mendatang.

Penulis

Ummi Hanifah

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas bantuan, rahmat, dan karunia-Nya skripsi ini dapat penulis selesaikan. Sholawat dan salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad Sallallahu'alaihi Wasallam.

Penulis tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah berkenan memberikan bantuan berupa ilmu, pengarahan dan semangat.

Penulis juga mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. **Ibuk Erni Widayati dan Bapak Suratmin**, kedua orangtua yang telah memberikan banyak cinta dan kasih sayang, mengorbankan waktu dan tenaganya, mendoakan, mendukung dan mencukupi segala kebutuhan dari awal saya hadir di dunia hingga saat ini dan seterusnya. Terimakasih banyak ibuk bapak, semoga skripsi ini sedikit memberi kebahagiaan kepada kalian.
2. **Sulthoni Yahya**, adikku satu-satunya untuk waktu dan tenaga yang kamu luangkan saat bersama. Semoga kita berdua dapat membahagiakan ibuk bapak di dunia dan akhirat.
3. **Keluarga besar H. Panut Aswadi dan H. Kartomo**, atas segala dukungan dan doa yang kalian berikan baik secara langsung dan tidak. Doa kalian selama ini adalah salah satu penyebab keberhasilan dalam menyelesaikan kuliah dan skripsi ini.

4. **Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
5. **Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**, selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing penulis sebelum, selama, dan sesudah pelaksanaan Tugas Akhir. Terimakasih banyak bapak atas segala kesabaran, waktu, ilmu, motivasi, saran, dan banyak hal lainnya.
6. **Bapak Dr. Muhammad Sarkowi, S.Si., M.Si.** selaku dosen pembimbing II atas semua kesabaran, bimbingan, kritikan, saran dan kesedian untuk meluangkan waktu disela-sela kesibukannya.
7. **Bapak Dr. Ahmad Zaenudin S.Si., M.T.**, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan nasehat sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
8. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung; **Bapak Prof.Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.**, **Bapak Rustadi, S.Si., M.T.**, **Bapak Karyanto, S.Si., M.T.**, **Bapak Bagus Supto Mulyatno, S.Si., M.T.**, **Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**, **Bapak Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si.**, **Bapak Rahmad Catur Wibowo, S.T., M.Eng.**, **Bapak I Gede Boy, S.Si., M.Eng.** yang telah memberikan banyak pembelajaran dan bantuan selama menempuh studi di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
9. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Unila, **Pak Legino, Mas Pujono, Mbak Dhea, Pak Marsuno** dan **Mas Dayat** yang telah memberi banyak bantuan dalam proses administrasi.

10. **Fitria Purnamasari**, untuk semua waktu, sedih serta bahagia, saran serta kritik, dan doa. Sahabat terbaik yang tidak pernah meninggalkan saat susah dan senang. I owe you a lot, you mean so much for me. Thank you.
11. **Umi Imro'atun Nurdiana**, untuk semua waktu, sedih serta bahagia, saran serta kritik, dan doa. Sahabat terbaik yang juga banyak memberikan pelajaran hidup. Thank you for everything we've been through.
12. **Delvia Elesta**, untuk semua waktu, sedih serta bahagia, saran serta kritik, dan doa. Sahabat terbaik yang saya dapatkan saat pertama kali berada di GSG Unila. Thank you for always making jokes and share your feeling.
13. **Yulia Citra Permatasari, Yeni Apriyana dan Athiya Armelia**, untuk semua waktu kebersamaan, dukungan, kritikan, dan saran yang kalian berikan selama 4,5 tahun kita tinggal bersama. Terimakasih banyak, saranghae.
14. **Kak Widya Setyo Aji dan Kak Ryan Tanjung**, untuk segala hal yang kalian lakukan. Walaupun kalian senior cukup jauh diatas saya, tapi waktu, cerita dan saran yang kalian berikan berarti untuk saya.
15. **Gaffar Rifqi Pambudi**, untuk segala waktu, saran, kritik, cerita, candaan, bantuan, dan banyak hal selama ini. Semoga hitam hanya di kulit dan printermu.
16. **Rinaldi Okka Saputra Ahza**, untuk segala waktu, saran, candaan, dan cerita hidup yang dibagikan kepada saya. Terimakasih juga sudah mau mendengar beberapa kejadian di hidup saya.
17. **Rahmad Iqbal, Sofyan Frida Yendra, Ghiat Malano Surya, Alfa Ardes Ardana, Muhammad Faizal**, untuk segala waktu, bantuan, kebersamaan, candaan dan banyak hal. Terimakasih telah berteman baik selama ini.

18. **Aulia Huda Pinandita, Desta Amanda Nur'aini, Pratiwi Ayurizky Partika, Nur Indah Safitri**, untuk segala waktu, cerita, saran, candaan, kebersamaan, dan bantuan. Thank you guys really, you guys will never be forgotten.
19. **Rhaka Sanjaya, Deni Pranata Wiguna, Fajar Izdiharudin Prakasa, Morales Sibarani (Pembuat Peta), Filza Aupar, Nana Malana, Arief Irfan Hutomo, Muhamad Farizi**, untuk segala waktu, cerita, bantuan, dan candaan kalian. Terimakasih banyak teman.
20. **Keluarga besar Teknik Geofisika 2014**, yang telah bersama-sama dari awal kita menginjakkan kaki di TG Unila. Terimakasih atas waktu, cerita, kebersamaan, bantuan yang kalian bagikan kepada saya. You guys will never be forgotten, thank you so much TG'14.
21. **Kak Friencillia Dewinata**, atas segala saran, cerita, motivasi dan alarm tentang deadline skripsi ini. Hope you can meet Seokjin as soon as possible.
22. **Rindi Antika Sari**, atas segala waktu dan candaan selama proses bimbingan. Walaupun diakhir tingkat menyebalkannya banyak bertambah, tapi terimakasih sudah banyak membantu, gis.
23. **Keluarga besar Hima TG Unila**.
24. Semua pihak lain yang membantu berkontribusi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTACT	i
ABSTRAK.....	ii
SAMPUL DALAM.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Batasan Masalah	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Letak dan Lokasi Penelitian.....	4
B. Geologi Daerah Penelitian.....	5
C. Studi Kasus Klasifikasi Konduktivitas Termal Pada Penentuan Rute Kabel	7

III. TEORI DASAR

A. Perpindahan Panas	9
B. Konduktivitas Termal.....	12
C. Model Konduktivitas Panas	14
D. The American Society for Testing and Materials (ASTM D 5334-00) .	15
E. Mekanisme Transfer Panas di Tanah	18
F. Pengaruh Termal pada Kabel.....	19
G. Komponen dan Isolasi Kabel	21
H. Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah	27

IV. METODELOGI PENELITIAN

A. Lokasi, Waktu dan Tema Penelitian	29
B. Alat dan Bahan.....	29
C. Tahapan Penelitian	30
D. Diagram Alir	32
E. Algoritma Program.....	33
F. Jadwal Penelitian.....	34

V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Konduktivitas Termal Data Pengukuran	35
B. Pemrograman MATLAB Berdasarkan ASTM D 5334-00	36
C. Perbandingan Hasil CT LAB dan Program	40
D. Analisa Konduktivitas Termal dan Rekomendasi Tipe Kabel	79

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	91
B. Saran.....	92

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi penelitian	4
2. Peta geologi regional daerah penelitian	6
3. Peta tampilan rute kabel <i>South West Link</i>	7
4. Lokasi jalur sampel	8
5. Hasil pengukuran yang diplot pada grafik semilog	17
6. Mekanisme transfer panas di tanah.....	18
7. Bagian utama kabel berinti tunggal	21
8. Bagian-bagian kabel berinti tiga	21
9. Hasil pengukuran yang diplot pada grafik semilog	31
10. Diagram alir penelitian.....	32
11. Algoritma program untuk mendapatkan konduktivitas termal.....	33
12. Kurva pengolahan konduktivitas termal H-01A menggunakan CT LAB.....	36
13. Tampilan awal <i>script</i> program perhitungan	37
14. Tampilan <i>load</i> data menggunakan <i>uigetfile</i>	39
15. Tampilan fungsi <i>ginput</i> pada program.....	39
16. Tampilan pada <i>command window</i>	39
17. Kurva konduktivitas termal H-01A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	41
18. Kurva konduktivitas termal H-01B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	42
19. Kurva konduktivitas termal H-02A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	44
20. Kurva konduktivitas termal H-02B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	45

21. Kurva konduktivitas termal H-03A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	46
22. Kurva konduktivitas termal H-03B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	47
23. Kurva konduktivitas termal H-04A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	49
24. Kurva konduktivitas termal H-04B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	50
25. Kurva konduktivitas termal H-05A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	51
26. Kurva konduktivitas termal H-05B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	52
27. Kurva konduktivitas termal H-06A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	54
28. Kurva konduktivitas termal H-06B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	55
29. Kurva konduktivitas termal H-07A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	56
30. Kurva konduktivitas termal H-07B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	57
31. Kurva konduktivitas termal H-08A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	59
32. Kurva konduktivitas termal H-08B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	60
33. Kurva konduktivitas termal H-08C, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	61
34. Kurva konduktivitas termal H-09A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	62
35. Kurva konduktivitas termal H-09B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	64
36. Kurva konduktivitas termal H-09C, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	65

37. Kurva konduktivitas termal H-10A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	66
38. Kurva konduktivitas termal H-10B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	67
39. Kurva konduktivitas termal H-10C, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	69
40. Kurva konduktivitas termal H-11A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	70
41. Kurva konduktivitas termal H-11B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	71
42. Kurva konduktivitas termal H-11C, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	72
43. Kurva konduktivitas termal H-12A, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	74
44. Kurva konduktivitas termal H-12B, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	75
45. Kurva konduktivitas termal H-12C, (a) Kurva hasil CT LAB, (b) Kurva semilog(x) 3 segmen hasil CT_Program.....	76
46. Profil konduktivitas termal CT LAB dan CT_Program pada kedalaman 0.5 meter.....	80
47. Profil konduktivitas termal CT LAB dan CT_Program pada kedalaman 0.7 – 0.75 meter	81
48. Profil konduktivitas termal CT LAB dan CT_Program pada kedalaman 1.0 – 1.2 meter	83
49. Profil konduktivitas termal CT LAB dan CT_Program dari hasil perhitungan pembandingan pada H-06A	85
50. Kabel jenis N2XSY	89

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tabel konduktivitas dari beberapa material geologi	14
2. Resistivitas termal bahan.....	23
3. Jenis-jenis kabel SKTM	28
4. Jadwal penelitian.....	34
5. Konduktivitas termal dengan menggunakan <i>software</i> CT LAB	35
6. Konduktivitas pada kedalaman 0.5 meter	78
7. Konduktivitas pada kedalaman 0.7 – 0.75 meter.....	78
8. Konduktivitas pada kedalaman 1.0 – 1.2 meter.....	79
9. Konduktivitas termal dan jarak antar titik data pengukuran kedalaman 0.5 meter	80
10. Konduktivitas termal dan jarak antar titik data pengukuran kedalaman 0.7 – 0.75 meter	82
11. Konduktivitas termal dan jarak antar titik data pengukuran kedalaman 1.0 – 1.2 meter	83
12. Perhitungan pembandingan H-06A	84
13. Korelasi CT LAB dan CT_Program menggunakanvpolynomial pada kedalaman 0.5 meter	86
14. Korelasi CT LAB dan CT_Program menggunakanvpolynomial pada kedalaman 0.7 – 0.75 meter	86
15. Korelasi CT LAB dan CT_Program menggunakanvpolynomial pada kedalaman 1.0 – 1.2 meter	87
16. Karakteristik bahan isolasi	88
17. Harga kabel N2XSY XLPE 12/20kV	90

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengetahuan tentang sifat perpindahan panas atau transportasi termal batuan dan tanah sangat penting di berbagai bidang. Beberapa contoh adalah penentuan aliran panas geothermal dan penentuan perpindahan panas dari kabel dan saluran pipa yang terdapat di bawah permukaan (Sundberg, 1988).

Pemasangan kabel di bawah permukaan merupakan salah satu sistem transmisi yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Pada sistem saluran kabel bawah permukaan, tenaga listrik disalurkan melalui kabel-kabel dengan berbagai macam isolasi pelindung. Namun terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan untuk melakukan pemasangan kabel bawah permukaan. Menurut (Lilliestierna dan Utas, 2015) dalam penelitian yang pernah dilakukan, salah satu faktor yang mempengaruhi adalah konduktivitas termal tanah di sekitarnya. Dimana konduktivitas rendah dapat mengakibatkan efek pendinginan pada kabel. Kabel harus didinginkan secara alami di dalam tanah karena kabel yang terlalu panas akan kehilangan pengaruhnya dan dapat memperpendek umur kabel. Penting untuk memiliki tanah dengan konduktivitas termal yang tinggi. Besarnya arus listrik yang mengalir harus dibawah kemampuan daya hantar arus sehingga temperatur kabel tidak melebihi nilai batas maksimum isolasi kabel yang telah ditentukan.

Dalam proses pengukuran konduktivitas termal diperlukan suatu metode standar, salah satunya yaitu ASTM D 5344-00. Metode uji ini menyajikan prosedur untuk menentukan konduktivitas termal tanah dan batuan lunak menggunakan metode panas transien. Pengukuran, pemrosesan data dan analisis konduktivitas termal tanah dan batuan mengacu dari standar yang dikeluarkan di bawah penunjukan tetap D-5334.

Batuan yang ada di bawah permukaan mempunyai berbagai macam sifat fisika, salah satu yang utama yaitu sifat termal. Konduktivitas termal yaitu suatu besaran intensif pada benda atau material yang menunjukkan kemampuan untuk menghantarkan panas. Proses penghantaran panas terjadi melalui media material yang diukur konduktivitas termalnya. Penelitian ini menggunakan nilai konduktivitas termal di bawah permukaan sebagai acuan untuk pemasangan kabel di dalam tanah yang akan digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga angin.

Perhitungan konduktivitas termal berdasarkan kurva eksperimental yang ada dalam metode ASTM D 5334-00 dapat dilakukan menggunakan program yang dibuat dengan *software* MATLAB. Dimana berdasarkan fungsinya, MATLAB dapat membantu dalam perancangan desain suatu sistem dan analisis suatu algoritma. Grafik semi logaritma dapat digunakan dalam berbagai turunan disiplin ilmu matematika misalnya teknik, statistika maupun ekonomi untuk mempresentasikan data. Sama seperti yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan memanfaatkan grafik logaritma untuk mengetahui nilai konduktivitas termal bawah permukaan daerah pengukuran.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat *script* program MATLAB untuk menghitung nilai konduktivitas termal (λ) berdasarkan perhitungan *Standard Test Method ASTM Designation: D 5334-00*.
2. Menghitung dan menentukan nilai konduktivitas termal pada daerah pengukuran berdasarkan *Standard Test Method ASTM Designation: D 5334-00*.
3. Membandingkan hasil konduktivitas termal yang didapat dari *software CT LAB* dengan program perhitungan.
4. Merekomendasikan tipe kabel yang sesuai untuk dapat dipasang dibawah tanah untuk mengurangi efek konduktivitas termal yang berlebih pada kabel.

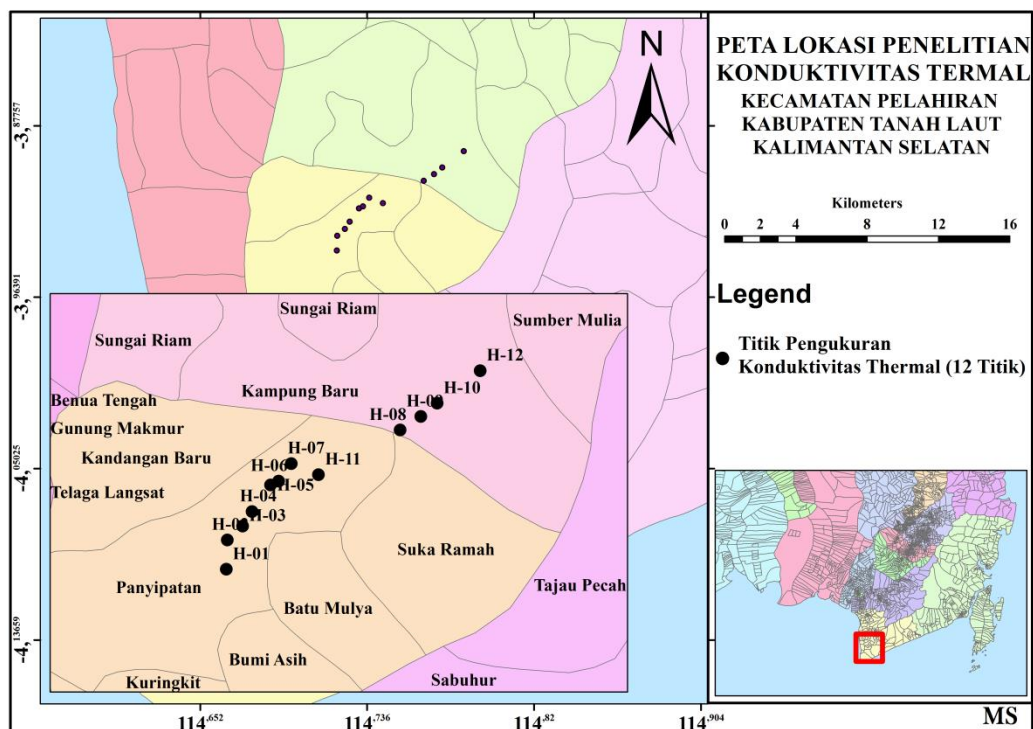
C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai konduktivitas termal bawah permukaan dengan perhitungan program berdasarkan standar tes dari ASTM D 5344-00 dan hanya merekomendasikan tipe bahan kabel yang dapat digunakan dibawah tanah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Letak dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Bukit Sapu Angin, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. Secara geografis, Kabupaten Tanah Laut terletak pada koordinat $114^{\circ}30'20$ BT – $115^{\circ}23'31$ BT dan $3^{\circ}30'33$ LS - $4^{\circ}11'38$ LS. Berikut akan ditunjukkan pada **Gambar 1** yang merupakan peta dari titik data pengukuran pada lokasi penelitian.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

B. Geologi Dearah Penelitian

1. Topografi

Topografi di wilayah pesisir Kabupaten Tanah Laut mulai dari Pelaihari hingga Satui terdiri atas morfologi perbukitan bergelombang dan pedataran. Morfologi perbukitan bergelombang terbentang di bagian utara jalan utama Pelaihari-Satui. Tinggi elevasi berkisar antara 20m – 250 m di atas muka air laut. Dimana Sungai-sungai yang mengalir ke arah pantai umumnya berpola hampir paralel dan bersifat aktif. Morfologi pedataran terbentang 5 – 10 km dari garis pantai ke arah daratan. Elevasi <20 m di atas muka air laut. Daerah- daerah kubangan (cekungan) sering dijumpai pada morfologi pedataran tersebut (Darlan dan Zuraida dkk, 1999).

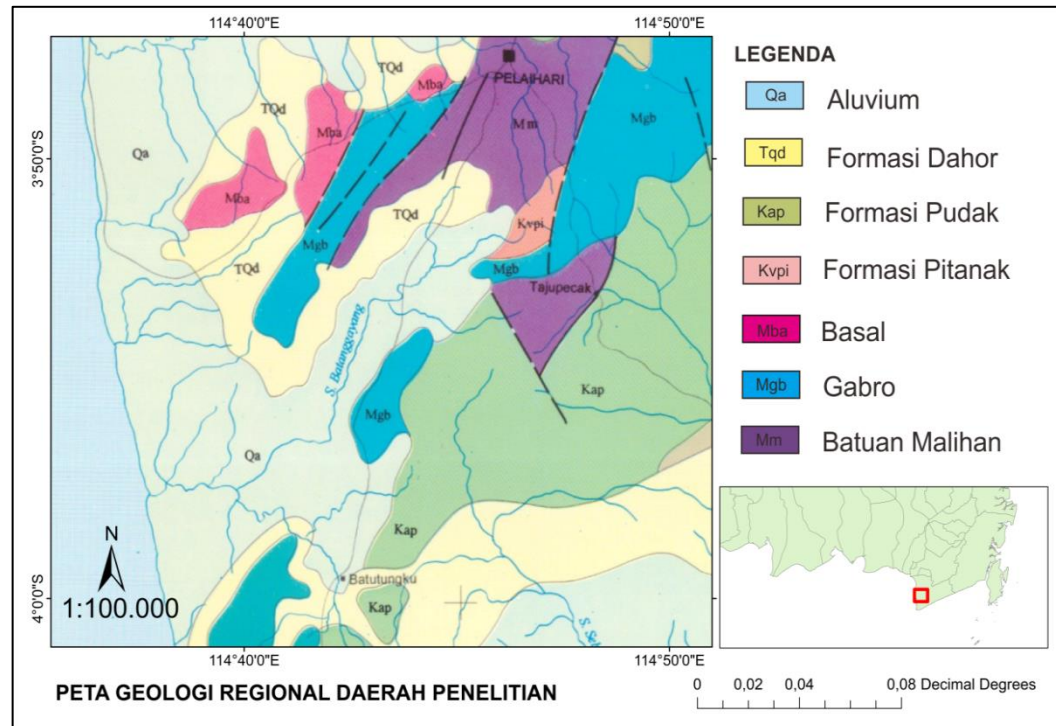
2. Morfologi

Morfologi dari Kabupaten Tanah Laut dapat di bagi atas 2 (dua) satuan utama, yaitu :

- a. Satuan dataran rendah landai hingga berombak umumnya tedapat di bagian selatan. Satuan ini membentang memanjang dari Timur ke Barat dan melebar di bagian barat yang terdiri dari rawa-rawa dan daerah aliran sungai yang bermuara di Laut Jawa.
- b. Satuan bukit bergelombang dan pegunungan terdapat di bagian utara sampai ke perbatasan dengan Kabupaten Banjar, dengan puncak gunungnya .

3. Geologi Regional

Secara umum daerah penelitian yang terletak di Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan berada pada geologi regional Banjarmasin. Berikut ini akan ditunjukkan pada **Gambar 2** yang merupakan peta geologi regional daerah penelitian.



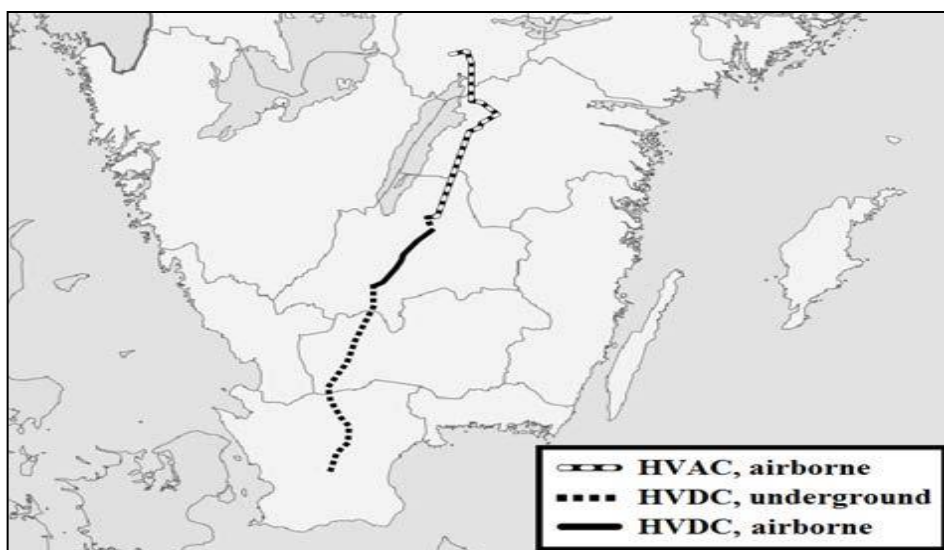
Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (modifikasi dari Sikumbang dan Heryanto, 1994)

Pada peta geologi regional daerah penelitian, terdapat litologi berupa alluvium (Qa) yang terdiri atas batuan jenis kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur. Pada Formasi Dahor (Tqd) terdiri dari batuan jenis batupasir kuarsa kurang padu, konglomerat dan batu lempung lunak, dengan sisipan lignit (5-10 cm), kaolin (30-100 cm), dan limonit dimana formasi ini terendapkan dalam lingkungan paralas dengan tebal formasi diperkirakan 250 m yang berumur Plio-Plistosen. Formasi Pudak (Kap) terdiri dari lava dengan perselingan konglomerat atau breksi vulkaniklastik (hialoklastik) dan batupasir kotor dengan olistolit batugamping, basal porfir, ignimbrite, batuan malihan dan ultramafik. Formasi Pitanak (Kvpi) terdiri dari lava andesit berwarna kelabu, coklat bila lapuk, porfirik dengan fenokris plagioklas, umumnya berlongsong yang terisi mineral zeolit dan seladonit, setempat berstruktur bantal. Pada utara daerah penelitian terdapat batuan jenis basal (Mba) berwarna kelabu-hitam, berhablur penuh hipidiomorf,

berbulir tak seragam, porfiritik dengan fenokris plagioklas (labradorit), massadar mikrolit plagioklas dan piroksen yang memperlihatkan tekstur antar butir, dimana batuan ini terdapat bersama batuan ultramafik dan gabro. Terdapat pula sisipan litogi dengan batuan jenis gabro (Mgb) berwarna kelabu kehijauan, berhablur penuh, hipidiomorf, berbutir seragam, besar butir antara 1-4,5 mm, tersusun oleh mineral plagioklas (labradorit) dan piroksen (adgit) dengan mineral ikutan horeblenda dan bijih. Juga terdapat batuan malihan (Mm) pada peta yang terdiri dari sekis horeblenda, sekis muskovit, filit, sekis klorit dan kuarsit muskovit dan hubungan dengan batuan sekitarnya adalah sentuhan tektonik.

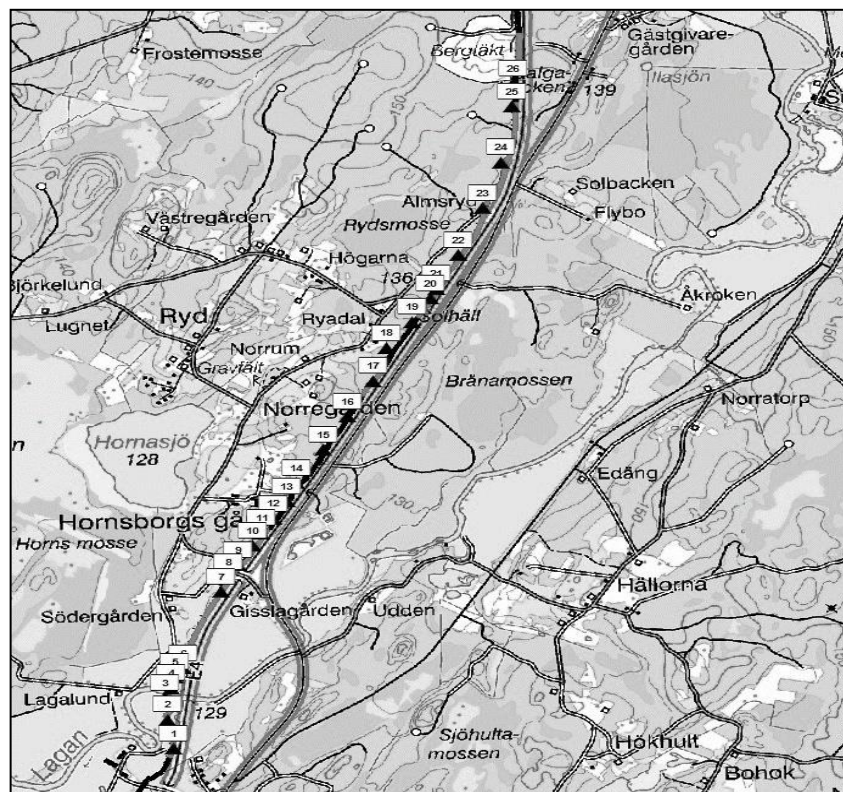
C. Studi Kasus Klasifikasi Konduktivitas Termal Pada Penentuan Rute Kabel

Liliestierna dan Utas (2015) dalam thesis yang dikerjakan melakukan perhitungan klasifikasi termal pada rute kabel dari proyek *South West Link* yang diselidiki untuk menemukan daerah potensial dimana resistivitas termal tanah (kebalikan dari konduktivitas termal) yang tinggi karena suhu kabel yang sangat kritis.



Gambar 3. Peta yang menampilkan rute kabel *South West Link*

Daerah yang potensial merupakan tempat tipe kabel yang lebih tipis dimana terletak di tanah kering yang diklasifikasikan sebagai tanah termal kelas B dalam penelitian ini. Hasil ini menunjukkan bahwa tanah berbutir kasar dengan kadar air rendah memiliki konduktivitas termal yang rendah. Sampel tanah yang digolongkan kasar dan kering memiliki konduktivitas termal rata-rata 40% lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata semua sampel. Pengukuran lapangan konduktivitas termal menghasilkan rata-rata 1,21 W/(m.K) di mana persentase kelima adalah 0,66 W/(m.K) dan persentase pertama adalah 0,43 W/(m.K).



Gambar 4. Lokasi jalur sampel

III. TEORI DASAR

A. Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat di definisikan sebagai berpindahnya energi dari satu tempat ke tempat lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara tempat-tempat tersebut dari temperature fluida yang lebih tinggi ke fluida lain yang memiliki temperatur lebih rendah. Perpindahan panas pada umumnya dibedakan menjadi tiga cara yaitu konduksi (*conduction* atau hantaran), radiasi (*radiation* atau pancaran), dan konveksi (*convection* atau aliran) (Yunus, 2009).

1. Konduksi

Konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari tempat yang memiliki suhu tinggi ke tempat yang memiliki suhu relatif lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang memiliki kontak secara langsung (Ambarita, 2012 dalam Supu, I., Usman, B., dkk, 2016). Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan dari molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Proses konduksi merupakan satu-satunya mekanisme perpindahan panas dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Persamaan dasar untuk konduksi satu dimensi dalam keadaan studi dapat ditulis:

$$q_k = -kA \frac{\Delta T}{x} \quad (1)$$

Keterangan:

q_k = Laju perpindahan dengan cara konduksi (Watt)

A = luas perpindahan panas (m^2)

ΔT = gradient suhu pada penampang (K)

x = jarak dalam aliran panas (m)

k = konduktivitas termal bahan (W/m.K) (Incropera, 2007).

2. Radiasi

Radiasi adalah proses dengan mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah walaupun benda-benda tersebut tidak saling berhubungan atau terpisah, radiasi bahkan dapat terjadi apabila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Semua benda memancarkan panas radiasi secara terus-menerus dimana intensitas pancaran radiasi tergantung pada suhu dan sifat permukaan. Menurut teori elektromagnetik, radiasi cahaya dan radiasi termal hanya berbeda dalam panjang gelombangnya masing-masing. Untuk menghitung besarnya panas yang dipancarkan dari proses radiasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$q_r = eA\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (2)$$

Keterangan:

q_r = laju perpindahan panas dengan cara radiasi (Watt)

e = emitansi permukaan kelabu

A = luas permukaan (m^2)

σ = konstanta dimensional ($0,174 \cdot 10^{-8}$ BTU/h ft^2 $^{\circ}C$)

T_1 = Temperatur Benda kelabu (K)

T_2 = Temperatur Benda hitam yang mengelilinginya (K) (Incropera, 2007).

Persamaan yang digunakan khusus untuk menghitung radiasi pada benda hitam sempurna menurut Hukum Teven Bolzman adalah dengan persamaan seperti berikut:

$$q = AT^4\sigma \quad (3)$$

(Incropera, 2007).

3. Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan energi atau panas dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan dan gerakan mencampur. Konveksi merupakan proses yang sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Tahap pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang saling berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara tersebut akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida yang saling bersentuhan. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu rendah didalam fluida di mana mereka akan bercampur dengan, dan memindahkan sebagian energinya pada partikel-partikel fluida lainnya (Ambarita, 2011 dalam Supu, I., Usman, B., dkk, 2016).

Perpindahan panas secara konveksi antara batas benda padat dan fluida terjadi dengan adanya suatu gabungan dari konduksi dan perpindahan (*transport*) massa. Jika batas tersebut bertemperatur lebih tinggi dari fluida, maka panas terlebih dahulu mengalir secara konduksi dari benda padat ke partikel-partikel fluida di dekat batas. Dari proses tersebut, energi yang di pindahkan secara

konduksi akan meningkatkan energi di dalam fluida dan terangkut oleh gerakan fluida. Bila partikel-partikel fluida yang terpanaskan mencapai daerah dengan temperatur yang lebih rendah, maka panas berpindah lagi secara konduksi dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin (Buchori, 2011).

Laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan:

$$q = hA(T_w - T_f) \quad (4)$$

Keterangan:

q = laju perpindahan panas dengan cara konveksi (Watt)

A = luas penampang (m^2)

T_w = temperatur dinding (K)

T_f = temperatur fluida (K)

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.K$) (Incropera, 2007)

B. Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah sifat termal suatu benda untuk merambatkan panas dalam satuan unit waktu melalui luas penampang tertentu yang diakibatkan oleh adanya perbedaan suhu antara kedua benda (Jangam, Law dan Mujumdar, 2010). Aliran panas di dalam tanah umumnya dianggap sebagai proses yang mirip dan sebanding dengan gradien suhu; konstanta proporsionalitas untuk material yang diberikan disebut konduktivitas termal (K) (Gembarovic dan Loffler, 2003).

Konduktivitas termal adalah kebalikan dari resistivitas termal (Lilliestierna dan Utas, 2015). Hubungan antara konduktivitas termal, kapasitas panas dan difusi termal dapat dilihat dalam Persamaan (5). Konduktivitas termal (λ ,

$[W/(m \cdot K)]$) dapat dikatakan sebagai kemampuan material untuk mentransfer panas dan kapasitas panas (C , $[J/m \cdot K]$) yang mana bergantung pada kemampuan dari suatu materi untuk menyimpan energi. Panas diffusivity adalah kemampuan untuk menyamakan perbedaan suhu yang terjadi dalam material.

$$\lambda = K \cdot C \quad (5)$$

Konduktivitas termal atau koefisien konduktivitas termal suatu material menentukan kemampuan suatu material untuk dapat mentransfer panas. Dalam pengukuran jumlah panas per unit area dinding per satuan waktu, jumlah panas yang terukur akan sama dengan koefisien konduktivitas termal (K) dari bahan yang diberikan. Dimana dimensi kuantitas ini dalam SI adalah $J \, m^{-1} \, s^{-1} \, K^{-1}$ atau $W \, m^{-1} \, K^{-1}$. Secara eksperimental, ditemukan bahwa jumlah panas yang ditransfer melalui dinding (q_A) sebanding dengan luas (A) dan rasio perbedaan suhu (ΔT) terhadap tebal dinding (Δx). Pernyataan ini dikenal sebagai hukum atau persamaan Fourier dari difusi termal. Dalam bentuk diferensial, hukum Fourier untuk unit area dapat dinyatakan dengan rumus,

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (6)$$

dimana q adalah laju aliran panas ke arah x , dan tanda negative adalah karena sesuai dengan fakta bahwa panas akan mengalir ke arah suhu yang lebih rendah (Eppelbaum, Kutasov dan Pilchin, 2014)

Tabel 1. Tabel konduktifitas dari beberapa material geologi

Material	$W m^{-1}K^{-1}$
Earth's crust	2.0 - 2.5
Rocks	1.2 - 5.9
Sandstone	2.5
Shale	1.1 - 2.1
Limestone	2.5 - 3
Water	0.6 at 20 °C
Oil	0.15 at 20 °C
Ice	2.1
Air	0.025
Methane	0.033

Konduktivitas termal (K) dari sebagian besar batuan menurun dengan peningkatan suhu T, sekitar -30 persen dari 0° hingga 100° untuk batuan kaya kuarsa, kalsit, dan olivine. Basal, kaca batu, dan beberapa batu pasir berpori konduktivitas meningkat dengan suhu yang relatif sedikit (Robertson, 1988).

Nilai konduktivitas termal tidak sama untuk setiap batuan. Selain jenis batuan atau mineral-mineral penyusun batuan, struktur kristal yang membentuk batuan menjadi salah satu penentu nilai konduktivitas termal. Hal ini mungkin menjadi salah satu yang menyebabkan harga konduktivitas berlainan ke semua arah dan menyebabkan panas merambat dengan laju yang berbeda ke arah yang berlainan.

C. Model Konduktivitas Panas

(Carslaw, & Jaeger, 1959) memodelkan suhu yang mengelilingi sumber panas pada grafik yang tak terbatas, dengan panas konstan dan massa nol dalam medium tak terbatas. Jika panas pada laju yang konstan, jumlah panas ($Q [J m^{-1}]$)

diterapkan pada sumber "grafik" yang sangat panjang dan tidak terbatas, respon suhu dari waktu ke waktu pada jarak (r [m]) dapat dijelaskan oleh persamaan:

$$\Delta T = \frac{q}{4\pi kt} Ei\left(\frac{-r^2}{4Dt}\right) \quad (7)$$

dimana k adalah konduktivitas termal ($\text{W m}^{-1}\text{C}^{-1}$), D adalah difusi termal (m^2s^{-1}) dan t adalah waktu (s). Dimana q adalah laju disipasi panas (W/m), dan Ei adalah integral eksponensial. Ei didefinisikan dalam persamaan berikut:

$$-Ei(-a) = \int_a^\infty \left(\frac{1}{u}\right) \exp(-u) du \quad (8)$$

$$= -\gamma - \ln a + \frac{a^2}{4} + \dots \quad (9)$$

dimana $\gamma = 0.5772\dots$ adalah konstanta Euler dan $a = r^2/4Dt$. Istilah di luar $\ln a$ dalam ekspansi seri Ei menjadi sangat kecil untuk waktu yang lama ketika r kecil dan D besar, sehingga Persamaan 8 dapat diperkirakan sebagai:

$$\Delta T = \frac{q}{4\pi k} \ln t + C \quad (10)$$

di mana C adalah konstanta. Jadi, jika waktu awal diabaikan, grafik ΔT vs $\ln t$ menjadi garis lurus dengan kemiringan sama dengan $q/4\pi k$. Karena dua titik mendefinisikan garis lurus, k dapat dihitung dari persamaan:

$$k = \frac{q(\ln t_2 - \ln t_1)}{4\pi(\Delta T_2 - \Delta T_1)} \quad (11)$$

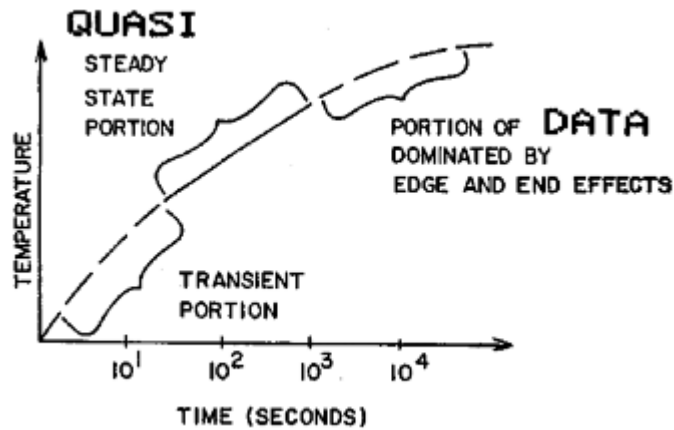
D. The American Society for Testing and Materials (ASTM D 5334-00)

Pengukuran, pemrosesan data dan analisis konduktivitas termal tanah dan batuan mengacu dari standar yang dikeluarkan di bawah penunjukan tetap D 5334. Metode pengujian ini berada di bawah yurisdiksi ASTM *Committee* D18 pada tanah dan batuan dan merupakan tanggung jawab langsung dari Subkomite

D18.12 pada mekanika batuan. Metode pengujian ini menyajikan prosedur untuk menentukan konduktivitas termal tanah dan batuan lunak menggunakan transien metode panas. Metode pengujian ini berlaku untuk keduanya yang tidak mengganggu dan spesimen tanah yang dibuat ulang serta in situ dan spesimen batuan lunak laboratorium. Metode pengujian ini cocok hanya untuk bahan isotropik. Selain itu, metode pengujian ini berlaku untuk bahan kering di atas kisaran suhu dari 20 hingga 100°C.

Konduktivitas termal ditentukan oleh variasi metode pengujian sumber garis menggunakan probe jarum yang memiliki rasio panjang hingga diameter yang besar untuk menstimulasi kondisi untuk spesimen yang sangat panjang. Probe terdiri dari elemen pemanas dan elemen pengukur suhu dan dimasukkan ke dalam spesimen. Arus dan tegangan yang dikenal diterapkan pada probe dan kenaikan temperatur dengan waktu yang dicatat selama periode waktu tertentu. Konduktivitas termal diperoleh dari analisis sekitar bagian linier dari respon suhu-waktu quasi-steady-state.

Perhitungan konduktivitas termal (λ) spesimen dari bagian linear dari kurva eksperimental ditunjukkan pada **Gambar 3** menggunakan hubungan berikut (Carslaw dan Jaeger, 1946; Van Rooyen dan Winterkorn, 1957; Von Herzen dan Maxwell, 1959; Winterkorn, 1970 dalam Rasimeng, 2017).



Gambar 5. Hasil pengukuran yang diplot pada grafik semilog

$$\lambda = \frac{2.30Q}{4\pi(T_2 - T_1)} \log_{10}\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{Q}{4\pi(T_2 - T_1)} \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (12)$$

dimana,

$$Q = \frac{I^2 R}{L} = \frac{EI}{L} \quad (13)$$

Symbol:

E : tegangan terukur (V).

I : arus yang mengalir melalui kawat pemanas (A).

L : panjang kawat pemanas (m).

λ : konduktivitas termal (W/(m°C))

Q : konsumsi daya kawat pemanas dalam watt per satuan panjang yang diasumsikan setara dengan output panas per satuan panjang kawat.

R : resistansi total kawat pemanas (V).

$T1$: suhu awal (k).

$t1$: waktu awal (s).

$T2$: suhu akhir (k).

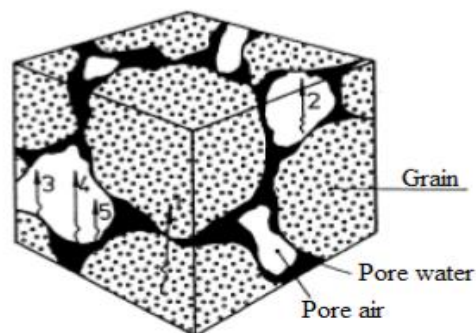
$t2$: waktu akhir (s).

ρ_d : Densitas kering (kg/m³).

E. Mekanisme Transfer Panas di Tanah

Ada variasi signifikan dalam konduktivitas panas dari berbagai jenis tanah yang terutama tergantung pada porositas, distribusi ukuran butir dan kandungan air. Tanah dengan porositas tinggi memiliki konduktivitas panas yang rendah karena konduktivitas termal udara yang rendah. Itu dampak kandungan air dalam tanah adalah penting karena menggantikan udara ini dan karenanya meningkatkan konduktivitas termal di dalam tanah. Ini terutama berlaku untuk permukaan kontak antar butiran di mana air bertindak sebagai jembatan untuk transportasi panas. Porositas bergantung pada ukuran butir dan kemampuan pemadatan yang membuat tanah kasar lebih sedikit panas konduktif.

Distribusi ukuran butir yang besar menyebabkan konduktivitas termal yang tinggi karena dapat meningkatkan kemampuan pemadatan yang merupakan kasus untuk dikerjakan. Sampai bisa termasuk distribusi ukuran butir dari tanah liat ke batu besar. Transportasi panas di dalam tanah tergantung pada mekanisme yang divisualisasikan pada **Gambar 3**.



- 1: Conductivity in particles
- 2: Conductivity in air
- 3: Heat radiation
- 4: Vapour diffusion
- 5: Thermal convection

Gambar 6. Mekanisme transfer panas di tanah (Sunberg, 2012 dalam Lilliestierna dan Utas, 2015).

F. Pengaruh Termal Pada Kabel

Suatu faktor yang mempengaruhi suhu kabel adalah jarak antar kabel di dalam tanah. Dengan peningkatan jarak dapat menguntungkan dalam hal menjaga kabel di bawah tanah dengan suhu terbatas, tetapi hal tersebut membutuhkan area penggalian yang lebih luas dan lahan pemakaaian yang diperluas. Juga jumlah kabel, area kabel dan kedalaman kabel di dalam tanah akan memiliki dampak pada suhu kabel. Untuk konstruksi biaya alasan kabel dipasang sedingin mungkin dengan tetap mempertahankan minimal kedalaman kabel yang sering diatur menjadi 1,2 m. Namun hal ini diputuskan dengan mempertimbangkan medan dan alasan praktis lainnya (Lilliestierna dan Utas, 2015).

Selain sifat melindungi pasir disekitar kabel, sifat termalnya juga penting karena merupakan lapisan material yang paling dekat dengan kabel. Pasir disekitar kabel dengan konduktivitas termal tinggi dianjurkan dan bisa sampai batas tertentu mengimbangi konduktivitas termal yang rendah di dalam tanah. Efek termal dari pasir disekitar kabel tergantung pada kualitas, massa, jenis mineral dan geometri.

Penting bagi pasir disekitar kabel supaya memiliki kemampuan yang baik untuk menyimpan kandungan air yang cukup selama periode tanah kering untuk mencegahnya dari kekeringan. Jika pasir mengalami kekeringan maka akan kehilangan kapasitas konveksi panas. Selama kondisi tidak jenuh dan peningkatan suhu panas dari kabel dapat menghasilkan difusi uap dan selama itu diimbangi oleh gaya kapiler yang bekerja dalam arah yang berlawanan, kekeringan dapat dihindari (Sundberg, 1985 dalam Lilliestierna dan Utas, 2015).

Faktor-faktor yang mempengaruhi konduktivitas termal dari pasir disekitar kabel hampir sama dengan tanah. Ini termasuk kepadatan butir, distribusi ukuran

butir dan kemampuan pemadatan. Juga kapasitas air dan konduktivitas termal pada kandungan air yang berbeda adalah sifat yang vital. Suhu alami yang tidak terganggu dan variasi temperatur di tanah berdampak pada suhu kabel. Efek listrik dalam kabel dan durasi efek signifikan ketika merancang kabel untuk suhu maksimum yang diterima.

Untuk merancang rute kabel untuk suhu maksimum yang dapat diterima, itu bukan suhu rata-rata sepanjang peregangan yang digunakan. Kabel harus memenuhi persyaratan suhu untuk setiap bagian dari rute ke skala 1-5 m. Oleh karena itu kabel perlu dirancang untuk bagian dengan panas tertinggi daya konduksi. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi suhu kabel adalah sebagai berikut:

- a. Area cross-sectional dari konduktor
- b. Pemisahan kabel
- c. Kedalaman kabel
- d. Konduktivitas termal tanah
- e. Efek listrik dari kabel
- f. Suhu tanah

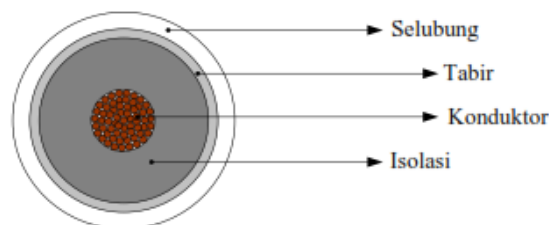
Faktor-faktor utama yang mempengaruhi konduktivitas termal dari tanah adalah sebagai berikut:

- a. Kandungan air
- b. Massa jenis
- c. Jenis mineral
- d. Konten organik (Lilliestierna dan Utas, 2015).

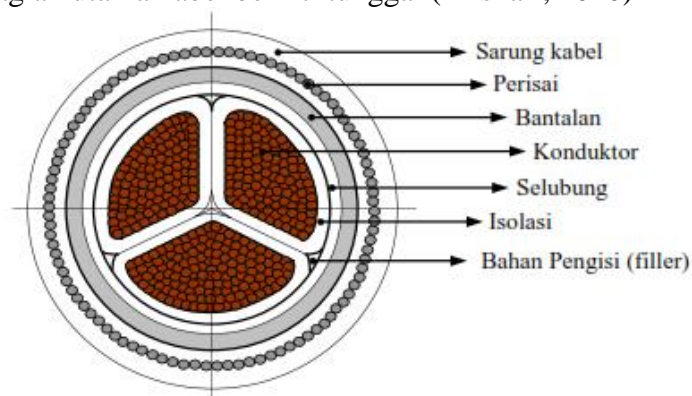
G. Komponen dan Isolasi Kabel

Umumnya kabel tegangan menengah memiliki konstruksi yang sama dengan kabel tegangan tinggi. Dalam penggunaannya kabel dirancang dengan konstruksi yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhannya. Sebagai konduktor berisolasi, konstruksi kabel dibagi menjadi bagian utama dan bagian pelengkap. Bagian utama kabel adalah bagian yang harus dimiliki oleh kabel tenaga, yaitu konduktor (*conductor*), isolasi (*insulation*), tabir (*screen*) dan selubung (*sheath*). Sedangkan bagian pelengkap kabel adalah bagian yang hanya melengkapi kabel digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat kabel atau untuk melindungi kabel, bagian-bagian tersebut adalah bantalan (*bedding*), perisai (*armor*), bahan pengisi (*filler*) dan sarung kabel (*serving*) (Anshari, 2010).

Gambar 6 dan **7** menunjukkan bagian utama kabel berinti tunggal dan bagian-bagian kabel berinti tiga.



Gambar 7. Bagian utama kabel berinti tunggal (Anshari, 2010)



Gambar 8. Bagian-bagian kabel berinti tiga (Anshari, 2010)

1. Konduktor

Kabel tegangan menengah umumnya dibedakan menjadi kabel berinti tunggal, berinti dua, dan berinti tiga. Setiap inti kabel merupakan konduktor dan bentuknya dapat dirancang sesuai dengan kebutuhan. Bahan konduktor yang banyak dipakai untuk kabel tenaga listrik adalah pilinan serat tembaga atau aluminium. Adapun bentuk penampang konduktor yang digunakan dalam kabel tenaga terdiri dari beberapa bentuk yaitu bulat tanpa rongga, sektoral dan bulat berongga.

2. Isolasi

Isolasi merupakan faktor penting pada sistem tenaga listrik dan salah satu gangguan penyaluran tenaga listrik dengan menggunakan kabel adalah kerusakan pada isolasinya. Dengan demikian rancangan kabel harus disesuaikan dengan penggunaannya, sehingga bahan isolasi sesuai dengan kemampuan kabel tersebut. Isolasi kabel tanah tegangan tinggi tidak saja berfungsi sebagai penyekat (*isolator*) atau pengaman, tetapi juga berfungsi sebagai pelengkap atau pendukung kerja transmisi tenaga listrik pada saluran kabel tanah itu sendiri. Isolasi kabel tanah umumnya terdiri dari jenis isolasi kertas, karena meresap minyak dan campuran biasanya digunakan pada kabel minyak isolasi sintesis dan isolasi mineral.

Pada isolasi terdapat pengaruh resistansi termal, resistansi termal bahan yang digunakan sebagai isolasi terdapat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Resistivitas termal bahan (Luthfi, 2018)

Bahan	Resistivitas Termal (K.m/W)
Bahan isolasi:	
Isolasi kertas dalam kabel tipe padat	6,0
Isolasi kertas dalam kabel berisi minyak	5,0
Isolasi kertas dalam kabel bertekanan gas luar	5,5
Isolasi kertas dalam kabel bertekanan gas dalam:	
a. Pre-impregnated	6,5
b. Mass-impregnated	6,0
<i>Polyethylene</i> (PE)	3,5
XLPE	3,5
<i>Polyvinyl chloride</i> (PVC):	
hingga tegangan 3 kV	5,0
lebih dari tegangan 3 Kv	6,0
EPR:	
hingga tegangan 3 kV	3,5
lebih dari tegangan 3 Kv	5,0
Karet butyl	5,0
Karet	5,0
Lapisan pelindung:	
Campuran jute dan bahan fiber	6,0
Pelindung berlapis karet	6,0
Polychoprene	5,0
PVC:	
hingga tegangan 3 kV	5,0
lebih dari tegangan 3 Kv	6,0
PVC/bitumen pada selubung alumunium	6,0
PE	3,5

a. Isolasi termoplastik

Termasuk dalam jenis ini adalah *Polyethylene* (PE) dan *Polyvinyl Chloride* (PVC) yang mudah dan murah dalam pembuatannya, sehingga banyak digunakan dalam industri listrik. *Polyvinyl Chloride* banyak digunakan sebagai bahan isolasi kabel, terutama untuk tegangan rendah. Bahan ini relatif murah dan mudah dalam teknik penyambungannya, relatif tahan terhadap api serta tidak rusak pada

temperatur yang sangat rendah. Kelemahan bahan ini adalah kecenderungannya untuk terpecah-pecah pada tekanan mekanis yang terus-menerus, serta daya serap terhadap air yang cukup tinggi.

b. Isolasi termoset

Isolasi termoset jauh lebih baik kualitasnya dibandingkan jenis isolasi termoplastik, terutama untuk temperatur kerja yang tinggi. Bahan ini tidak peka terhadap perubahan temperatur yang terjadi dan memberikan stabilitas panas yang lebih baik pada saat terjadi hubung singkat. Isolasi termoset merupakan polimer hubung silang belerang (sulfur). Isolasi yang termasuk jenis ini adalah *ethylene Propylene Rubber* (EPR) dan *Cross-Linked Polyethylene* (XLPE).

c. Isolasi PVC

Polyvinylkorida atau PVC adalah hasil polimerisasi dari vinilklorida $HC = CHCl$. Pada proses polimerisasi, ikatan ganda yang terdapat pada molekul vinilklorida diubah menjadi ikatan tunggal. Ikatan yang menjadi bebas kemudian mengikat molekul-molekul vinilklorida lain, sehingga timbul molekul-molekul makro panjang PVC. Salah satu kelemahan komponen PVC, sebagai akibat harus digunakannya bahan pelunak, ialah ketahanannya terhadap tekanan. Kalau ditekan cukup kuat dan cukup lama, komponen PVC tidak dapat pulih. Makin tinggi suhunya, makin kurang ketahanannya terhadap tekanan itu. Umumnya komponen PVC hanya dapat digunakan pada temperatur sampai setinggi-tingginya $70^{\circ}C$ terus menerus. Dengan bahan pelunak khusus dapat dibuat komponen PVC untuk suhu yang lebih tinggi sampai $105^{\circ}C$ (Bandri, 2014).

3. Tabir

Untuk tegangan kerja yang tinggi setiap inti kabel dilengkapi dengan suatu lapisan yang disebut tabir (*screen*). Lapisan tabir dipasang diantara selubung (*sheath*) dan isolasi, tapi untuk kabel sintetis dipasang juga antara isolasi dan konduktor. Tabir ini berfungsi untuk:

- a. Untuk meratakan distribusi tegangan, sehingga tabir harus dibuat dari bahan semikonduktor, misalnya kertas berlapis logam dan karbon grafit.
- b. Untuk mendapatkan distribusi medan listrik yang radial dan seragam sehingga tidak terjadi penumpukan tegangan.
- c. Untuk melindungi dan mengamankan manusia terhadap bahaya listrik.
- d. Mencegah interferensi gelombang elektromagnetik dengan kabel telekomunikasi yang berada di dekatnya.

4. Selubung

Selubung berfungsi untuk melindungi inti kabel dari pengaruh luar yaitu sebagai pelindung terhadap korosi, penahan gaya mekanis, dan pelindung terhadap gaya listrik. Di samping itu selubung juga mencegah keluarnya minyak pada kabel kertas yang diresapi minyak (*impregnated paper*) dan mencegah masuknya uap air ke dalam kabel. Bahan selubung dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu :

- a. Selubung logam, misalnya tembaga, timbal dan aluminium.
- b. Selubung karet sintetis, misalnya karet silikon (*silicone rubber*) dan polychloroprene.
- c. Selubung plastik, misalnya PVC.

5. Bantalan

Bantalan adalah lapisan yang terbuat dari serat-serat baik yang diresapi minyak ataupun tidak, dipasang bersama-sama kompon kedap air dan ditempatkan di bawah perisai. Fungsi bantalan adalah sebagai tempat kedudukan perisai dan mencegah proses elektrolisa sehingga tidak merusak bagian dalamnya. Beberapa bahan dari bantalan diantaranya pita kapas (*cotton tape*), pita kertas (*paper tape*) dan jute. Sebelum dipasang bantalan harus dikeringkan dan direndam dalam minyak atau kompon kedap air. Bantalan dipasang lapisan demi lapisan sehingga lapisan atas akan menutupi lapisan yang berada di bawahnya.

6. Perisai

Bahan isolasi mempunyai sifat mekanis yang kurang sempurna, sehingga diperlukan suatu lapisan yang berfungsi melindungi bahan isolasi dari kerusakan mekanis, lapisan ini dinamakan perisai. Secara umum perisai dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu perisai pita baja (*steel tape armor*) dan perisai kawat baja (*steel wire armor*).

7. Bahan Pengisi

Untuk konstruksi kabel berinti tiga, bila setelah pemasangan ketiga intinya maka masih ada ruang (celah) yang tertinggal, maka diperlukan suatu bahan yang dapat mengisi ruangan tersebut agar didapat bentuk kabel yang bulat. Bahan yang mengisi celah ini dinamakan bahan pengisi. Bahan pengisi yang banyak digunakan pada bahan isolasi kertas adalah jute, sedangkan kabel isolasi sintetis selain jute digunakan juga karet butyl.

8. Sarung kabel

Sarung kabel adalah suatu lapisan bahan serat yang diresapi dengan kompon kedap air. Pemasangan sarung kabel biasanya dipasang di atas perisai. Fungsi sarung kabel adalah selain bantalan bagi perisai, juga sebagai komponen yang berhubungan langsung dengan tanah, sehingga sarung kabel merupakan bagian yang pertama sekali terkena pengaruh luar. Bahan sarung kabel yang banyak digunakan untuk kabel tegangan menengah adalah polyethylene dan polyvinyl chloride (PVC).

H. Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama. Penggunaan Saluran Kabel bawah tanah Tegangan Menengah (SKTM) sebagai jaringan utama pendistribusian tenaga listrik adalah sebagai upaya utama peningkatan kualitas pendistribusian.

Konstruksi kabel SKTM harus memenuhi SPLN dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3. Jenis-jenis kabel SKTM (PLN, 2010)

No.	Jenis Kabel SKTM
1.	SPLN 43-5-1:1995 - Kabel Pilin bawah tanah dengan isolasi XLPE dan selubung PE/ PVC, 12/20 (24) kV
2.	SPLN 43-5-2:1995 - Kabel Pilin Udara dengan isolasi XLPE dan selubung PVC, penggantung Penghantar Baja, 12/20 (24) kV
3.	SPLN 43-5-3:1995 – Kabel berinti tunggal bawah tanah Berisolasi XLPE dan selubung PE/PVC, tidak atau menggunakan Perisai, memiliki 3,6/6 (7,2) kV - 12/20 (24) kV
4.	SPLN 43-5-4:1995 - Kabel Inti Tiga bawah tanah dengan isolasi XLPE dan selubung PE/PVC, tidak atau menggunakan Perisai, 3;6/6 (7,2) kV - 12/20 (24) kV
5.	SPLN 43-5-5:1995 - Kabel Inti Tunggal bawah tanah dengan isolasi XLPE dan selubung PE/PVC, penghantar tembaga, tidak atau menggunakan Perisai,3,6/6 (7,2) kV - 12/20
6.	SPLN 43-5-6:1995 - Kabel Inti Tiga bawah tanah isolasi XLPE dan selubung PE/PVC penghantar tembaga, tidak atau menggunakan Perisai,3,6/6 (7,2) kV - 12/20

IV. METODELOGI PENELITIAN

A. Lokasi, Waktu dan Tema Penelitian

Penelitian dilakukan di:

Tempat : Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung

Tanggal : Juni 2018 – Januari 2019

Tema : Implementasi Program MATLAB Untuk Menghitung Nilai Konduktivitas Termal Bawah Permukaan Berdasarkan ASTM D 5334-00 Untuk Penentuan Jenis Kabel Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Daerah Tanah Laut, Kalimantan Selatan

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Software MATLAB R2013A*
2. *Software CT LAB Ver. 1.0.2*
3. *Software ArcGis V 10.1*
4. Data pengukuran lapangan konduktivitas termal
5. Peta geologi regional

C. Tahapan Penelitian

1. Mengolah Data Konduktivitas Termal

Pengolahan data konduktivitas termal dilakukan dengan meng-*input* data pengukuran konduktivitas termal di lapangan menggunakan *software CT LAB*. Dalam pengolahan ini akan menghasilkan kurva data pengukuran, ΔT (perubahan suhu dalam $^{\circ}\text{C}$), t (waktu dalam detik), konduktivitas termal (λ , nilai dalam W/mK). Dimana data Δt akan digunakan sebagai *input* dalam proses selanjutnya.

2. Membuat Program Perhitungan Data Konduktivitas Termal

Pembuatan program perhitungan data konduktivitas termal ini dilakukan berdasarkan standar perhitungan ASTM D 5334-00 dengan persamaan yang ditulis yaitu:

$$\lambda = \frac{Q}{4\pi(T_2 - T_1)} \ln(t_2/t_1) \quad (14)$$

Dimana:

λ = konduktivitas termal ($\text{W}/(\text{mK})$)

Q = *power / heater consumption*

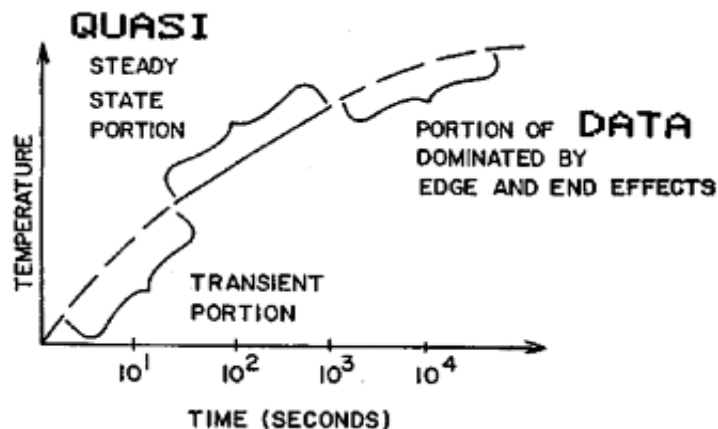
T_2 = temperatur akhir (K)

T_1 = temperatur awal (K)

t_2 = waktu akhir (s)

t_1 = waktu awal (s)

Pembuatan program dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konduktivitas termal menggunakan perhitungan dari ASTM D 5334-00 dengan membagi satu kurva data kedalam tiga segmen. Kurva dalam program menggunakan kurva semilog(x).



Gambar 9. Hasil pengukuran yang diplot pada grafik semilog

3. Membandingkan Data Hasil *CT LAB* dan *MATLAB*

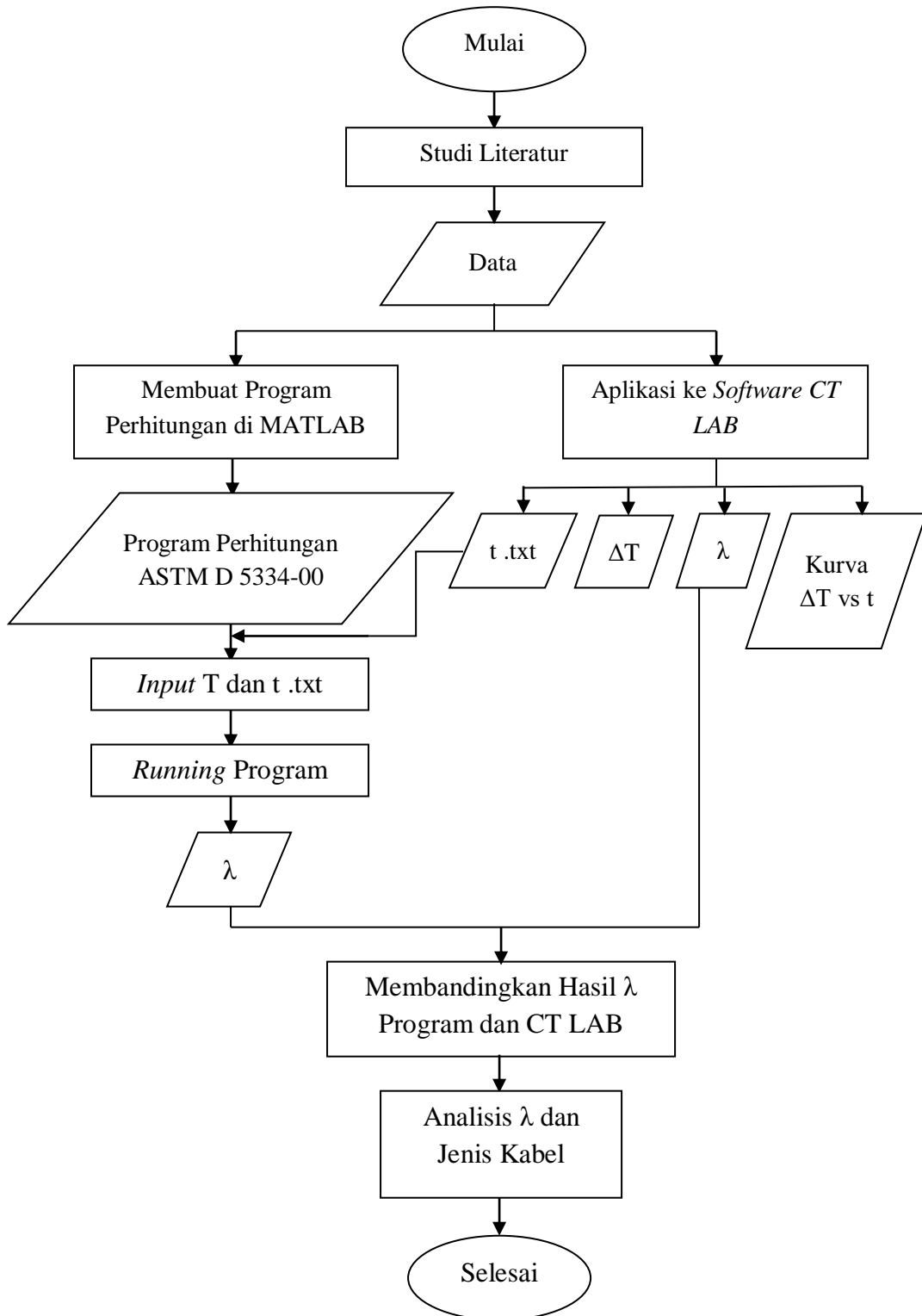
Proses ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai konduktivitas termal yang didapatkan dari perhitungan *software CT LAB* dan perhitungan dari program yang dibuat sebelumnya. Nilai perbedaan yang didapatkan digunakan sebagai tolak ukur untuk memvalidasi program perhitungan sehingga dapat dilakukan proses selanjutnya.

4. Menganalisa Konduktivitas Termal dan Referensi Jenis Kabel

Proses ini bertujuan untuk menganalisa nilai konduktivitas termal sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan jenis kabel yang tahan dikondisi tertentu untuk dapat dipasang dengan tepat di daerah pengukuran.

D. Diagram Alir

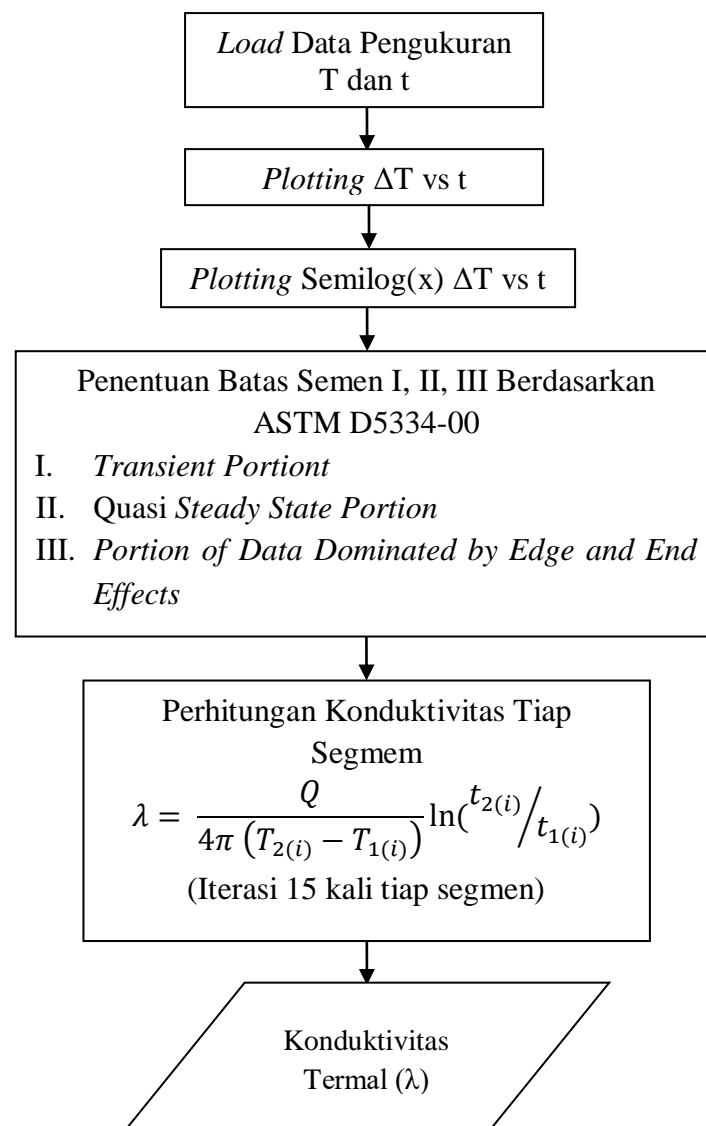
Adapun diagram alir yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Diagram alir penelitian

E. Algoritma Program

Algoritma program dalam penelitian ini dibuat untuk mendapatkan nilai konduktivitas termal dengan dasar dari ASTM D 5334-00 menggunakan *software* MATLAB R2013a.



Gambar 11. Algoritma program untuk mendapatkan konduktivitas termal

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Script* program dibuat berdasarkan perhitungan *Standard Test Method ASTM Designation: D 5334-00* dengan cara membagi tiga segmen dalam satu data yaitu *Transient Portion*, *QuasiSteady State Portion*, dan *Portion of Data Dominated by Edge and End Effects*. *Script* program berhasil dibuat dengan menghasilkan *output* berupa kurva data pengukuran dan nilai konduktivitas termal.
2. Nilai konduktivitas termal terendah yang didapatkan dari CT_Program terdapat pada *line id* H-12C sebesar 0.552 W/mK dan nilai tertinggi terdapat pada *line id* H-11B sebesar 2.1795 W/mK. Penelitian ini juga menggunakan *software* CT LAB untuk mengetahui nilai konduktivitas termal sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan perhitungan dan penentuan nilai konduktivitas termal.
3. Perbedaan nilai yang cukup tinggi antara CT LAB dan CT_Program pada beberapa *line id* dapat terjadi karena segmentasi pada program tidak sesuai dengan pembagian pola segmen dari kurva data, banyaknya iterasi perhitungan konduktivitas termal dalam satu segmen juga mempengaruhi

nilai konduktivitas termal. Dimana dalam CT LAB tidak diketahui seberapa banyak proporsi iterasi perhitungan dalam satu segmen maupun pembagian segmen itu sendiri.

4. Tipe kabel untuk pembangkit listrik yang direkomendasikan dari penelitian ini adalah kabel jenis NA2XSY 12/20kV (berinti tunggal, berisolasi XLPE, tabir tembaga dan selubung PVC).

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk memperbaiki penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran di lapangan sebaiknya dilakukan sampai kurva *steady state* sehingga sesuai dengan kurva yang ada di dalam standar ASTM D 5334-00.
2. *Script* yang dibuat dalam penelitian ini masih memiliki kekurangan pada pembagian segmen secara otomatis karena keterbatasan pengetahuan penulis. Penelitian selanjutnya disarankan untuk membagi segmen secara otomatis sesuai pola.
3. Pada penentuan tipe dan isolasi kabel, dibutuhkan parameter-parameter lain yang lebih spesifik untuk mendapatkan kabel jenis yang tepat seperti kuat hantar arus (KHA) dsb. Sehingga disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut.
4. Untuk keamanan pemasangan kabel bawah tanah, sebaiknya dilakukan pada kedalaman lebih dari 2.5 meter mengingat bahaya yang dapat ditimbulkan dari listrik bertegangan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshari, R. 2010. *Analisis Termal Kabel Tanah Tegangan Menengah Menggunakan Metode Numerik*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- ASTM (The American Society for Testing and Materials). 2000. Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure. United States.
- Bandri, S. 2014. Analisis Kegagalan Isolasi Akibat Partial Discharge Pada Kabel NA2XSEBY 20 KV Berisolasi XLPE Dan PVC. *Jurnal Momentum*. Vol. 16 No. 2, p. 56-64.
- Buchori, L. 2011. *Perpindahan Panas*. UNDIP. Semarang.
- Budiwati, dkk. 2010. Analisis Korelasi Pearson Untuk Unsur-Unsur Kimia Air Hujan Di Bandung. *Jurnal Sains Dirgantara Vol.7 No. 2 Juni 2010* :100-112.
- Carslaw, H. S., dan Jaeger, J. C. 1959. *Conduction of Heat in Solids, Second Edition*. Oxford University Press. London.
- Darlan, Y., Zuraida, R., dkk. 1999. *Studi Regional Cekungan Batubara Wilayah Pesisir Tanah Laut – Kotabaru Kalimantan Selatan*. Pusat Pengembangan Geologi Kelautan (PPGL). Kalsel.
- Eppelbaum, L., Kutasov, I., dan Pilchin, A. 2014. *Applied Geothermics, Chapter 2: Thermal Properties of Rocks and Density of Fluids*. Verlag Berlin Heidelberg. Springer.
- Gembarovic, J. Jr., dan Loffler, Martin. 2003. Simple Algorithm for Temperature Distribution Calculation. *Elsevier, Applied Mathematical Modelling 28 (2004)*, p. 173-182.

- Incroperara, F. P., Dewitt, D. P., dkk. 2007. *Fundamental of Heat and Mass Transfer, Sixth Edition*. John Wiley & Sons. Singapore.
- Jangam, S.V., Law, C. L., dan Mujumdar, A.S., 2010. *Basic Concepts and Definitions. Drying of Foods, Vegetables, and Fruits, Vol. 1*. Singapore.
- Karahan, M., dan Kalenderli, O. 2011. *Coupled Electrical and Thermal Analysis of Power Cables Using Finite Element Method, Heat Transfer - Engineering Applications*. InTech. Rijeka, Croatia.
- Lilliestierna, A. dan Utas, J. 2015. Thermal Classification of Cable Route. Thesis in the Master's Programme Infrastructure and Environmental Engineering. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Gothenburg, Sweden
- Luthfi, A. M. 2018. Perhitungan Termis dan Kemampuan Hantar Arus Kabel Bawah Tanah 20 KV Pada PT. PLN (PERSERO) Area Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro, Vol. 1 No. 1, p. 1-8*.
- PLN. 2010. *Buku 5 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. PT PLN (Persero). Jakarta.
- PT. Voksel Electric Tbk. 2011. Katalog Medium Voltage Cable. PT Voksel Electric Tbk. Jakarta.
- Rasimeng, S. 2017. Final Report Tanah Laut Wind Project. Universitas Lampung. Lampung.
- Robertson, E. C. 1988. *Thermal Properties of Rocks*. United States Department of the Interior Geological Survey. Reston, Virginia.
- Sales. Harga Kabel N2XSY XLPE 12/20kV. Jual Kabel.net. 15 Februari 2019. <https://jualkabel.net/harga-kabel-n2xsy-xlpe-12-20kv.html>. Diakses pada tanggal 4 Maret 2019.
- Sikumbang, N., dan Heryanto, R., 1994. *Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Kalimantan Selatan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Sundberg, J. 1988. *Thermal Properties of Soils and Rocks*. Chalmers. University of Technology and University of Göteborg. Göteborg.

Supu, I., Usman, B., dkk. 2016. Pengaruh Suhu Terhadap Perpindahan Panas Pada Material Yang Berbeda. *Jurnal Dinamika*, Vol. 07. No. 1, ISSN 2087 – 7889, p. 62-73.

Suswanto, D. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik – Untuk Mahasiswa Teknik Elektro*. Universitas Negeri Padang. Padang, Sumatera Barat.

Yunus, A D. 2009. *Perpindahan Panas dan Massa*. Universitas Darma Persada. Jakarta.