



STUDI PENERAPAN *WASTE HEAT RECOVERY* PADA *THERMOELECTRIC GENERATOR* SEBAGAI SUMBER ENERGI *IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP)* BERBASIS CFD

WAHID FAJAR SIDIK  
NRP. 0421174000061

DOSEN PEMBIMBING:  
SUTOPO PURWONO FITRI, S.T., M.ENG., PH.D.  
DR. IR. AGOES SANTOSO, M.SC., M.PHIL.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2021





SIMULATION STUDY OF WASTE HEAT RECOVERY ON  
THERMOELECTRIC GENERATOR FOR IMPRESSED CURRENT  
CATHODIC PROTECTION (ICCP) ON SHIP


WAHID FAJAR SIDIK  
NRP. 0421174000061

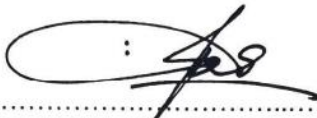
SUPERVISORS:  
SUTOPO PURWONO FITRI, S.T., M.ENG., PH.D.  
DR. IR. AGOES SANTOSO, M.SC., M.PHIL.

MARINE ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2021



“Dengan ini kami menyatakan bahwa kami telah membaca Tugas Akhir ini dan dalam penilaian kami Tugas Akhir ini cukup memadai dari segi ruang lingkup dan kualitas untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.”

Tanda Tangan :   
Pembimbing I : SUTOPO PURWONO FITRI, S.T., M.ENG., PH.D.  
NIP./NPP. : 197510062002121003  
Tanggal : AGUSTUS 2021

Tanda Tangan :   
Pembimbing II : DR. IR. AGOES SANTOSO, M.SC., M.PHIL.  
NIP./NPP. : 196809281991021001  
Tanggal : AGUSTUS 2021

Disahkan oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:

Tanda Tangan :   
Nama : BENY CAHYONO, S.T., M.T., PH. D.  
NIP./NPP : 197903192008011008  
Tanggal : AGUSTUS 2021



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**STUDI PENERAPAN *WASTE HEAT RECOVERY* PADA  
*THERMOELECTRIC GENERATOR* SEBAGAI SUMBER ENERGI  
*IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP)*  
BERBASIS CFD**

**WAHID FAJAR SIDIK**


Tugas Akhir diajukan untuk memenuhi  
salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik  
(Bidang Studi Mesin Fluida dan Sistem)

Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
AGUSTUS 2021

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



“Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir berjudul *Studi Penerapan Waste Heat Recovery pada Thermoelectric Generator sebagai Sumber Energi Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) Berbasis CFD* ini adalah hasil penelitian saya sendiri kecuali kutipan yang tercantum dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini belum diterima untuk gelar apapun dan tidak secara bersamaan diserahkan untuk pencalonan gelar lainnya.”

Tanda Tangan :  .....

Nama : WAHID FAJAR SIDIK

NRP. : 04211740000061

Tanggal : AGUSTUS 2021

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PENGHARGAAN

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan berkat- Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Studi Penerapan Waste Heat Recovery pada Thermoelectric Generator sebagai Sumber Energi Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) Berbasis CFD**”. Laporan Tugas Akhir ini sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses pengerjaan laporan Tugas Akhir dan telah mencapai titik akhir program studi sarjana, tentu tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, karena telah membantu penulis sepanjang proses studi, yaitu:

1. Keluarga besar penulis yang mendukung dan memberikan semangat kepada penulis setiap kegiatan dan aktivitas, serta selalu senantiasa memenuhi kebutuhan penulis selama masa perkuliahan.
2. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D. Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik sehingga kami dapat belajar banyak hal mengenai kedisiplinan.
3. Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T selaku dosen wali yang telah menjadikan kami sebagai mahasiswa wali merasa tenang dan diarahkan dalam menempuh perkuliahan.
4. Bapak Sutopo Purwono Fitri, S.T., M. Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian Tugas Akhir, memberikan motivasi, dan memberikan ilmu serta pesan moral selama proses pengerjaan, sehingga penulis tidak menyerah selama mengerjakan proposal Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil. dosen pembimbing kedua yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian Tugas Akhir, memberikan motivasi, dan memberikan ilmu serta pesan moral selama proses pengerjaan, sehingga penulis tidak menyerah selama mengerjakan laporan Tugas Akhir.
6. Seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
7. Seluruh teman-teman satu angkatan Badrikara'17 yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu, yang terus mendukung penulis agar terus

fokus dan dapat memecahkan semua masalah yang dihadapi selama pengerjaan laporan Tugas Akhir ini.

8. Teman satu bimbingan Tugas Akhir Bapak Sutopo yang selalu membantu, memberi semangat, dan keceriaan selama pengerjaan Tugas Akhir.
9. Seluruh kakak tingkat Voyage'16 dan Salvage'15 yang telah memberikan teladan dan bagian dari pengalaman penulis dalam belajar menjadi mahasiswa dan anggota yang baik di lingkungan HIMASISKAL FTK-ITS.
10. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatan. Penulis berharap bahwa laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRAK

Berbagai metode telah diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dalam pengoperasian suatu kapal. Penggunaan *Waste Heat Recovery* (WHR) merupakan salah satu cara dalam peningkatan nilai efisiensi operasi dari suatu mesin diesel. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah sistem pembangkit listrik berbasis *Thermoelectric Generator* (TEG). Pemanfaatan TEG pada kapal dapat digunakan untuk suplai listrik sistem proteksi katodik *Immersed Cathodic Corrosion Protection* (ICCP). Sistem ICCP menggunakan arus listrik kecil untuk menjaga pelat lambung kapal dari korosi air laut. Penelitian ini mengacu pada penggunaan TEG pada panas buang mesin kapal untuk mendapatkan kebutuhan arus untuk sistem ICCP lambung kapal *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS). Dalam mendukung penelitian digunakan pendekatan berbasis komputasional menggunakan analisis termal *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengetahui nilai panas buang yang akan dikonversi menjadi energi listrik menggunakan TEG. Kapal yang diteliti memiliki luasan lambung basah 1160.2 m<sup>2</sup> dengan kebutuhan arus proteksi katodik sebesar 17.1 A. Variasi model sistem dirancang dan disimulasikan untuk mendapatkan nilai sisi panas dan dingin TEG. Hasil penelitian mengusulkan sistem secara berseberangan dengan komposisi 4x4 TEG pada tiap sisi serta *heat sink* sebagai komponen pada sisi dingin tiap sisi. Sistem yang diusulkan mampu menghasilkan nilai arus untuk proteksi katodik sebesar 17.55 A. Penelitian menunjukkan penggunaan sistem pada *exhaust* generator kapal memiliki potensi pemanfaatan kembali yang dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas penggunaan bahan bakar dan efisiensi energi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRACT

Many methods have been used to improve the operational efficiency of a ship. The use of Waste Heat Recovery (WHR) is one way to increase the operating efficiency of a diesel engine. A thermoelectric generator (TEG) can be one solution to achieve more efficiency. The utilization of TEG on ships can be used to supply electricity to the Immersed Cathodic Corrosion Protection (ICCP) for hull protection. The ICCP system uses a small electric current to protect the hull from corrosion. This study refers to the use of TEG in the exhaust heat of the ship's engine to obtain the current requirement for the Anchor Handling Tug Supply (AHTS) hull ICCP system. To support the research, a computational-based approach using thermal analysis of Computational Fluid Dynamics (CFD) is used to determine the value of waste heat that will be converted into electrical energy using TEG. The vessel under study has a wet hull area of 1160.2 m<sup>2</sup> with a cathodic protection current requirement of 17.1 A. Variations of system models are designed and simulated to obtain the hot and cold side of TEG. The results of the study propose the use of a TEG design including a composition 4x4 TEG on two sides and heat sink as components on the cold side of each side. The proposed system is able to produce a current value for cathodic protection of 17.55 A. Research shows the use of the system on the ship's exhaust generator has the potential to increase the effectiveness of fuel use and energy efficiency.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

|  |       |
|--|-------|
| PENGHARGAAN.....   | v     |
| ABSTRAK .....  | viii  |
| ABSTRACT .....   | x     |
| DAFTAR ISI .....   | xii   |
| DAFTAR TABEL .....   | xv    |
| DAFTAR GAMBAR.....   | xviii |
| DAFTAR SINGKATAN.....  | xxi   |
| DAFTAR SIMBOL .....  | xxiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN.....   | 1     |
| 1.1 Latar Belakang Penelitian .....                              | 1     |
| 1.2 Pernyataan Masalah.....                                      | 2     |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                       | 3     |
| 1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....                               | 3     |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                                      | 3     |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....                                       | 5     |
| 2.1 Pendahuluan .....  | 5     |
| 2.2 Studi Terkait.....   | 5     |
| 2.3 Waste Heat Recovery (WHR) .....                              | 9     |
| 2.4 Termoelektrik Generator (TEG).....                           | 11    |
| 2.5 Efek Termoelektrik.....                                      | 13    |
| 2.6 Analisis Termodinamika Generator Termoelektrik.....          | 15    |
| 2.7 Korosi .....   | 17    |
| 2.8 Proteksi Korosi atau Proteksi Katodik .....                  | 18    |
| 2.8.1 <i>Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP)</i> .....  | 18    |
| 2.8.2 <i>Immersed Cathodic Corrosion Protection (ICCP)</i> ..... | 19    |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....                                | 22    |
| 3.1 Pendahuluan .....  | 22    |
| 3.2 Diagram Alir Penelitian.....                                 | 22    |
| 3.3 Pengkajian Masalah.....                                      | 23    |
| 3.4 Studi Literatur.....   | 23    |
| 3.5 Pengumpulan Data .....                                       | 24    |
| 3.6 Perhitungan Luasan Lambung Kapal Tercelup .....              | 24    |
| 3.7 Perhitungan Modul TEG dan Kebutuhan Listrik .....            | 24    |
| 3.8 Desain dan Pemodelan 3D Sistem.....                          | 24    |
| 3.9 Simulasi CFD Sistem .....                                    | 24    |
| 3.10 Analisis Sistem Secara Keseluruhan .....                    | 26    |
| 3.11 Kesimpulan, Rekomendasi dan Penyusunan Laporan Akhir.....   | 26    |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                 | 27    |
| 4.1 Pendahuluan .....  | 27    |
| 4.2 Data Utama Kapal Penelitian .....                            | 27    |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 4.2.1  | Ukuran utama kapal .....  | 27 |
| 4.2.2  | Data <i>main generator</i> kapal penelitian .....                                 | 28 |
| 4.3    | Perhitungan Kebutuhan Komponen Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) ..... | 29 |
| 4.3.1  | Perhitungan Luasan Lambung Basah .....  | 29 |
| 4.3.2  | Perhitungan Luasan Basah menggunakan Maxsurf .....                                | 30 |
| 4.3.3  | Penentuan nilai luasan basah akhir .....  | 32 |
| 4.3.4  | Perhitungan kebutuhan arus ICCP .....   | 33 |
| 4.4    | Perhitungan Anoda .....   | 37 |
| 4.4.1  | Pemilihan anoda .....   | 37 |
| 4.4.2  | Perhitungan luasan permukaan anoda .....  | 37 |
| 4.4.3  | Perhitungan jumlah kebutuhan anoda .....  | 37 |
| 4.4.4  | Perhitungan hambatan anoda .....  | 39 |
| 4.5    | Perhitungan kebutuhan rectifier dan kabel .....                                   | 39 |
| 4.5.1  | Perhitungan hambatan kabel .....  | 39 |
| 4.5.2  | Perhitungan hambatan total sistem .....   | 41 |
| 4.5.3  | Perhitungan voltase rectifier .....   | 41 |
| 4.6    | Perhitungan mass flowrate dan temperature main generator .....                    | 42 |
| 4.7    | Perhitungan modul termoelektrik generator .....                                   | 44 |
| 4.7.1  | Pemilihan modul termoelektrik generator .....                                     | 44 |
| 4.7.2  | Spesifikasi koefisien material TEG .....  | 45 |
| 4.7.3  | Penentuan temperatur perhitungan .....  | 45 |
| 4.7.4  | Perhitungan <i>figure of merit</i> .....  | 45 |
| 4.7.5  | Perhitungan hambatan modul TEG ( <i>R/L resistance</i> ) .....                    | 46 |
| 4.7.6  | Perhitungan <i>output</i> arus tiap modul .....                                   | 46 |
| 4.7.7  | Perhitungan <i>output</i> voltase tiap modul .....                                | 47 |
| 4.7.8  | Perhitungan <i>output</i> daya tiap modul .....                                   | 47 |
| 4.8    | Penentuan susunan modul termoelektrik generator .....                             | 48 |
| 4.9    | Desain <i>heat sink</i> .....   | 49 |
| 4.9.1  | Ukuran penampang modul .....  | 49 |
| 4.9.2  | Ukuran penampang <i>heat sink</i> .....   | 51 |
| 4.9.3  | Perhitungan komponen pada <i>heat sink</i> .....                                  | 52 |
| 4.9.4  | Perhitungan efisiensi <i>heat sink</i> .....                                      | 53 |
| 4.10   | Permodelan 3D tiap komponen .....   | 55 |
| 4.10.1 | Pipa <i>exhaust</i> .....   | 55 |
| 4.10.2 | <i>Thermal spreader</i> .....   | 56 |
| 4.10.3 | <i>Thermal spreader material (plate)</i> .....                                    | 57 |
| 4.10.4 | Susunan TEG .....   | 58 |
| 4.10.5 | <i>Heat sink</i> .....  | 59 |
| 4.10.6 | Pelat insulasi .....  | 59 |
| 4.10.7 | Penggabungan tiap komponen .....  | 59 |
| 4.11   | Simulasi termal .....   | 60 |
| 4.12   | Validasi hasil simulasi termal .....  | 64 |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.13 Uji variasi model dan simulasi .....                              | 65        |
| 4.13.1 1 Sisi sistem TEG 4x4 tanpa termal isolasi.....                 | 66        |
| 4.13.2 2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan tanpa termal isolasi.....   | 67        |
| 4.13.3 2 Sisi sistem TEG 3x3 berseberangan tanpa termal isolasi.....   | 68        |
| 4.13.4 2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan dengan termal isolasi ..... | 70        |
| 4.13.5 2 Sisi sistem TEG 3x3 berseberangan dengan termal isolasi ..... | 71        |
| 4.13.6 2 Sisi sistem TEG 3x3 bersebelahan .....                        | 72        |
| 4.13.7 2 Sisi sistem TEG 4x4 bersebelahan .....                        | 74        |
| 4.13.8 Perbandingan hasil simulasi tiap bentuk sistem .....            | 75        |
| 4.14 Analisis hasil simulasi tiap model .....                          | 77        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>  | <b>81</b> |
| 5.1 Gambaran umum penelitian .....                                     | 81        |
| 5.2 Kesimpulan.....  | 81        |
| 5.3 Saran.....   | 82        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>   | <b>84</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>  | <b>88</b> |
| <b>BIODATA PENULIS.....</b>  | <b>95</b> |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tabulasi studi terkait .....   | 5  |
| Tabel 2.2 Hasil eksperimen (Rahman, 2016) .....  | 5  |
| Tabel 2.3 Teknologi WHR pada mesin pembakaran dalam (Hannu and Majewski, 2017)<br>.....  | 10 |
| Tabel 4.1 Data utama kapal penelitian .....  | 27 |
| Tabel 4.2 Data utama <i>main generator</i> CAT C18 pada kapal penelitian .....   | 28 |
| Tabel 4.3 Perbandingan hasil perhitungan luasan basah tiap metode perhitungan .....  | 30 |
| Tabel 4.4 Data luasan basah kapal maxsurf .....  | 32 |
| Tabel 4.5 Rekapitulasi nilai luasan basah dari 2 metode.....   | 33 |
| Tabel 4.6 Data koefisien cat ( <i>Recommended Practice</i> Det Norske Veritas DNV-RP-<br>B401).....  | 34 |
| Tabel 4.7 Nilai awal, akhir dan rata-rata <i>current density</i> untuk berbagai kondisi iklim<br>dan kedalaman laut (berdasarkan kondisi iklim tahunan dan rata-rata suhu permukaan<br>air sepanjang tahun)..... | 35 |
| Tabel 4.8 <i>Current density</i> yang digunakan dalam pentlitian.....  | 35 |
| Tabel 4.9 Perbandingan nilai arus tiap kondisi .....   | 36 |
| Tabel 4.10 Material anoda ICCP .....   | 37 |
| Tabel 4.11 Resistivas lingkungan fluida .....  | 39 |
| Tabel 4.12 Resistivitas listrik, konduktivitas termal pada beberapa material untuk suhu<br>293 K.....  | 40 |
| Tabel 4.13 Rekapitulasi nilai panjang, luas dan resistivitas listrik kabel .....   | 40 |
| Tabel 4.14 Tabel kemampuan hantar arus.....  | 41 |
| Tabel 4.15 Rekapitulasi <i>flow rate</i> dan suhu gas buang .....  | 43 |
| Tabel 4.16 Model acuan TEG .....   | 44 |
| Tabel 4.17 Spesifikasi modul TEG .....   | 44 |
| Tabel 4.18 Koefisien dari material $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .....  | 45 |
| Tabel 4.19 Tabel suhu dingin dan panas untuk perhitungan .....   | 45 |
| Tabel 4.20 Hasil perhitungan tiap susunan TEG.....   | 49 |
| Tabel 4.21 Besaran komponen <i>heat sink</i> .....   | 51 |
| Tabel 4.22 Data pendukung <i>heat sink</i> .....   | 53 |
| Tabel 4.23 Ukuran pipa <i>exhaust</i> .....  | 56 |
| Tabel 4.24 Data selubung persegi <i>thermal spreader</i> .....   | 56 |
| Tabel 4.25 Hasil simulasi suhu TEG.....  | 64 |
| Tabel 4.26 Hasil simulasi suhu TEG 1 sisi TEG 4x4 tanpa termal isolasi.....  | 66 |
| Tabel 4.27 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 tanpa termal isolasi<br>.....  | 68 |
| Tabel 4.28 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi berseberangan TEG 3x3 tanpa termal isolasi<br>.....  | 69 |
| Tabel 4.29 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 dengan termal<br>isolasi.....  | 70 |

|  |    |
|--|----|
| Tabel 4.30 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi berseberangan TEG 3x3 dengan termal isolasi.....                               | 72 |
| Tabel 4.31 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi bersebelahan TEG 3x3 dengan termal isolasi .....                               | 73 |
| Tabel 4.32 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi bersebelahan TEG 4x4 .....   | 74 |
| Tabel 4.33 Rekapitulasi nilai hasil simulasi tiap rancangan dan susunan TEG .....  | 75 |
| Tabel 4.34 Rekapitulasi nilai hasil simulasi dibandingkan dengan kebutuhan nilai arus minimal untuk sistem proteksi..... | 76 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Sumber utama kehilangan panas pada <i>internal combustion engine</i> (Sharp, 2016).....  | 9  |
| Gambar 2.2 Variasi waste heat pada mesin diesel Mack MP8 505 HP @1800 rpm (Pradhan <i>et al.</i> , 2018) .....                            | 9  |
| Gambar 2.3 Proporsi kehilangan energi pada aliran panas buang berdasarkan Gambar 2.2 .....  | 10 |
| Gambar 2.4 Rangkaian modul TEG Karri (2011) .....   | 12 |
| Gambar 2.5 Rangkaian listrik efek Seebeck (Paul, 2014) .....  | 13 |
| Gambar 2.6 Rangkaian listrik efek Peltier (Paul, 2014) .....  | 14 |
| Gambar 2.7 Mekanisme konduksi (Paul, 2014) .....  | 15 |
| Gambar 2.8 Gambar korosi yang terjadi pada lambung kapal (B. Mainier, 2014) .....   | 17 |
| Gambar 2.9 Baja karbon dilindungi oleh katodik arus yang terkesan di air laut yang diangin-anginkan (B. Mainier, 2014) .....              | 18 |
| Gambar 2.10 Metode anoda tumbal (SACP) .....  | 19 |
| Gambar 2.11 Skema rangkaian aliran arus metode arus paksa (ICCP) pada lambung kapal (Rahman, 2016) .....                                  | 20 |
| Gambar 2.12 Komponen-komponen dari sistem ICCP secara umum .....  | 21 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....  | 23 |
| Gambar 3.2 Diagram alir simulasi CFD .....  | 25 |
| Gambar 4.1 Desain tampak samping kapal AHTS sebagai objek penelitian .....  | 28 |
| Gambar 4.2 <i>Main generator</i> CAT 18 .....   | 28 |
| Gambar 4.3 <i>Lines plan</i> kapal penelitian .....   | 31 |
| Gambar 4.4 Hasil <i>re-draw lines plan</i> pada <i>software</i> autoCAD .....   | 31 |
| Gambar 4.5 Model 3D <i>hull</i> kapal penelitian .....  | 31 |
| Gambar 4.6 Contoh pemasangan anoda ICCP dan <i>reference cell</i> oleh Cathwell untuk kapal jenis AHTS dan memiliki panjang < 140 m ..... | 38 |
| Gambar 4.7 Pemasangan lokasi anoda secara kasar .....   | 38 |
| Gambar 4.8 Gambar modul TEG acuan .....   | 44 |
| Gambar 4.9 Skema desain <i>heat sink</i> .....  | 51 |
| Gambar 4. 10 Dimensi pipa <i>exhaust</i> dari <i>maker</i> .....  | 55 |
| Gambar 4.11 Desain 3D pipa <i>exhaust</i> .....   | 56 |
| Gambar 4.12 Selubung persegi <i>thermal spreader</i> .....  | 57 |
| Gambar 4.13 <i>Thermal spreader material</i> selubung pipa .....  | 57 |
| Gambar 4.14 <i>Thermal spreader material</i> sistem TEG .....   | 58 |
| Gambar 4.15 Susunan TEG .....   | 58 |
| Gambar 4.16 Desain <i>heat sink</i> .....   | 59 |
| Gambar 4.17 Pelat insulasi .....  | 59 |
| Gambar 4.18 Hasil gabungan tiap komponen .....  | 60 |
| Gambar 4.19 Tampilan awal ANSYS <i>Workbench</i> untuk <i>thermal steady-state</i> .....  | 60 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.20 Tampilan data material yang telah dipilih .....  | 61 |
| Gambar 4. 21 Tampilan pemilihan model 3D yang akan disimulasikan.....  | 61 |
| Gambar 4.22 Hasil penyesuaian model 3D di ANSYS .....  | 62 |
| Gambar 4.23 Hasil <i>meshing</i> model 3D.....   | 62 |
| Gambar 4.24 Sumber panas dan proses konveksi pada sistem TEG.....  | 63 |
| Gambar 4.25 Hasil simulasi termal untuk tiap komponen pada sistem TEG.....   | 63 |
| Gambar 4.26 Hasil simulasi termal untuk komponen TEG.....  | 64 |
| Gambar 4.27 Susunan TEG seri-paralel (Ruzaimi et al., 2020) .....  | 64 |
| Gambar 4.28 (a) Model 3D sistem TEG 4x4 tanpa termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem TEG 4x4 tanpa termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas .....  | 66 |
| Gambar 4.29 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 tanpa termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 tanpa termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas..... | 67 |
| Gambar 4.30 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 3x3 tanpa termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi berseberangan TEG 3x3 tanpa termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas.....     | 69 |
| Gambar 4.31 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 dengan termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi berseberangan TEG 4x4 dengan termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas.....   | 70 |
| Gambar 4.32 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 3x3 dengan termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi berseberangan TEG 3x3 dengan termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas.....   | 71 |
| Gambar 4.33 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi bersebelahan TEG 3x3 tanpa termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi bersebelahan TEG 3x3 tanpa termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas.....       | 73 |
| Gambar 4.34 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi bersebelahan TEG 4x4 (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi bersebelahan TEG 4x4 (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas .....  | 74 |
| Gambar 4.35 Grafik perbandingan nilai suhu panas-dingin tiap model.....  | 77 |
| Gambar 4.36 Grafik perbandingan nilai arus yang dihasilkan pada tiap model.....  | 78 |
| Gambar 4.37 Grafik perbandingan nilai voltase yang dihasilkan pada tiap model .....  | 78 |
| Gambar 4.38 Grafik perbandingan nilai daya yang dihasilkan pada tiap model.....  | 79 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR SINGKATAN

|       |  |
|-------|--|
| IMO   | : <i>International Maritime Organization</i>     |
| EEOI  | : <i>Energy Efficiency Operational Indicator</i> |
| WHR   | : <i>Heat Waste Recovery</i>                     |
| TEG   | : <i>Thermoelectric Generator</i>                |
| HE    | : <i>Heatexchanger</i>                           |
| TEM   | : <i>Thermoelectric Module</i>                   |
| CP    | : <i>Cathodic Protection</i>                     |
| AC    | : <i>Alternating Current</i>                     |
| DC    | : <i>Direct Current</i>                          |
| CP    | : <i>Cathodic Protection</i>                     |
| ICCP  | : <i>Impressed Current Cathodic Protection</i>   |
| SACP  | : <i>Sacrificial Anode Cathodic Protection</i>   |
| EGR   | : <i>Exhaust Gas Recirculation</i>               |
| P.S.U | : <i>Power Supply Unit</i>                       |
| R.M.P | : <i>Remote Monitoring Panel</i>                 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR SIMBOL

|                  |                                 |             |                              |
|------------------|---------------------------------|-------------|------------------------------|
| $\Delta V$       | - Voltase seebeck               | $R_0$       | - Resistansi elektrik        |
| $T_h$            | - Tempeartur sumber             | $\rho_n$    | - Massa jenis sisi n         |
| $T_c$            | - Temperatur reservoir          | $L_n$       | - Panjang n                  |
| $\alpha$         | - Koesfisien seebeck            | $A_n$       | - Luasan n                   |
| $ZT$             | - <i>Figure of Merit</i>        | $\rho_p$    | - Massa jenis sisi p         |
| $\sigma$         | - Konduktivitas listrik         | $L_p$       | - Panjang p                  |
| $\lambda$        | - Konduktivitas termal          | $A_n$       | - Luasan n                   |
| $T$              | - Temperatur                    | $K$         | - Konduktansi panas internal |
| $\dot{Q}$        | - Laju Panas                    | $\lambda_n$ | - Konduktivitas termal n     |
| $\pi_p$          | - Peltier koefisien p           | $\lambda_p$ | - Konduktivitas termal p     |
| $\pi_n$          | - Peltier koefisien n           | $P_o$       | - Daya luaran                |
| $I$              | - Arus listrik                  | $\eta$      | - Efisiensi                  |
| $R$              | - Hambatan                      | $g$         | - Percepatan gravitasi       |
| $\tau'$          | - Tururan pertama<br>temperatur | $V_s$       | - Kecepatan kapal            |
| $\dot{Q}_{cond}$ | - Laju panas kondksi            | $\rho_{sw}$ | - Berat jenis air laut       |
| $k$              | - Koesifisien                   | $\eta_o$    | - Effisiensi open water      |
| $A$              | - Luasan area terkena panas     |             |                              |
| $L$              | - Panjang area panas            |             |                              |
| $Q_h$            | - Panas diserap                 |             |                              |
| $\alpha_n$       | - Koesfisien seebeck sisi n     |             |                              |
| $\alpha_p$       | - Koesfisien seebeck sisi p     |             |                              |
| $m$              | - Massa                         |             |                              |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Efektivitas penggunaan suatu mesin agar tercapai efisiensi energi yang tinggi sedang gencar dilakukan oleh berbagai industri (Mat Nawi *et al.*, 2019). Pada sektor maritim peningkatan nilai efisiensi mengacu pada peraturan *International Maritime Organization* (IMO) mengenai *Energy Efficiency Operational Indicator* (EEOI) (Blanco-davis and Zhou, 2016). Penggunaan *Heat Waste Recovery* (WHR) merupakan salah satu cara dalam peningkatan nilai efisiensi operasi dari suatu mesin diesel atau mesin yang menghasilkan panas buang dengan suhu tinggi (Xu *et al.*, 2019). Dalam pengoperasian mesin diesel pada kapal, kehilangan nilai energi tidak dapat dihindari terutama dalam proses pembakaran. Hal ini dikarenakan konversi energi bahan bakar berubah menjadi beberapa energi lain termasuk energi panas. Energi panas pada proses pembakaran dimanfaatkan menjadi daya dorong piston, namun setelah proses tersebut selesai energi panas ini akan dibuang bersamaan dengan gas buang. Nilai energi panas yang terbuang menurut Ouyang *et al* (2019) mencapai setengah dari nilai energi keseluruhan yang terkandung dalam bahan bakar. Oleh karena itu, berbagai teknologi baru yang memanfaatkan energi panas buang telah dikembangkan. Salah satu metode WHR yang telah diterapkan pada mesin diesel adalah *Thermoelectric Generator* (TEG) yang dikopel pada pipa gas buang (Venugopal, 2018).

TEG menghasilkan daya listrik dari energi panas akibat dari adanya *seebeck effect*, *peltier effect*, dan *thomson effect*. Efek tersebut kemudian didukung dengan faktor lain yaitu hukum konduksi panas *fourier* dan pemanasan *joule* (Jang, Tsai and Wu, 2013). TEG memiliki beberapa keunggulan dibanding metode WHR lain dimana sistem TEG tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga menurunkan biaya perawatan, TEG tidak menghasilkan emisi yang berbahaya bagi lingkungan, proses pengoperasian senyap sehingga tidak mengganggu pekerjaan disekitarnya serta TEG memiliki masa pakai yang relatif lama. Umumnya, sistem TEG terdiri dari tiga bagian utama: *Heatexchanger* (HE), modul termoelektrik (TEM) dimana setiap modul terdiri dari beberapa beberapa pasang termoelektrik yang dihubungkan secara seri dan/atau secara paralel serta terdapat *heat sink*. Dalam sistem TEG, HE menyerap panas buangan dan mentransfernya menuju TEM, TEM menghasilkan listrik ketika ada perbedaan suhu antara sisi yang berlawanan, dan *heat sink* membuang kelebihan panas dari TEM (Luo *et al.*, 2020). Namun dalam penerapan untuk mesin diesel sisi panas HE pada TEG akan digantikan dengan saluran gas buang mesin sedangkan sisi dingin dari HE akan berupa suhu ruangan dalam ruang mesin. Menurut penelitian dari Kristiansen *et al.*, (2012) efisiensi TEG paling efektif hanya berkisar 5% total energi panas buang dari mesin diesel. Oleh karena itu, energi

listrik yang dihasilkan TEG juga relatif kecil. Namun, hasil daya listrik yang kecil ini masih dapat digunakan sebagai sumber listrik untuk mencegah terjadinya korosi pada lambung kapal dengan metode *Cathodic Protection* (CP).

CP atau perlindungan logam dengan memanfaatkan logam lain terbagi menjadi 2 jenis yaitu *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) dan *Impressed Cathodic Corrosion Protection* (ICCP). Dibandingkan dengan SACP yang harus melakukan penggantian anode secara berkala, ICCP memiliki keuntungan berupa anode tidak harus diganti hal ini dikarenakan metode ICCP akan berdasar pada suplai listrik dari komponen lain (Ashworth, 2010). Sumber energi listrik untuk ICCP dapat berupa listrik AC yang disearahkan menjadi DC menggunakan *rectifier* ataupun sumber DC secara langsung seperti baterai ataupun aki. ICCP telah terbukti sebagai salah satu metode yang murah dan efektif dalam menjaga logam dari korosi (Christodoulou *et al.*, 2010).

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rahman (2016) mengenai uji eksperimental konsep termoelektrik untuk pencegahan korosi didapatkan bahwa sistem tersebut efektif untuk menghasilkan arus listrik dan menjaga lempengan besi eksperimen terhindar dari korosi dalam rentang waktu tertentu. Namun dalam perancangan dan uji eksperimen tersebut masih berbasis pendekatan skala lambung dengan representasi lempengan besi dan uji panas yang digunakan berasal dari *thermo gun*. Sedangkan penelitian berikutnya dilakukan oleh Handoko (2018) tentang panas gas buang bersirip dengan metode komputasional menunjukkan bahwa energi panas buang tak terpakai yang dihasilkan dapat mencapai 550°K dan tanpa sirip mencapai 461°K. Dua penelitian tersebut telah diuji coba dan menghasilkan data cukup valid sebagai acuan penelitian berikutnya.

Oleh karena itu, dari dua penelitian tersebut dapat menjadi dasar dikombinasikannya pemanfaatan kembali gas buang mesin diesel pada kapal dalam menghasilkan listrik untuk proteksi korosi pada lambung kapal. Potensi energi panas buang dari mesin kapal dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dengan TEG untuk sistem suplai ICCP sebagai upaya peningkatan efisiensi mesin serta untuk menjaga lambung kapal dari korosi. Penelitian ini berfokus pada analisis penggunaan TEG untuk ICCP pada kapal penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang menganalisis secara aktual kondisi panas buang mesin kapal penelitian dan validasi kesesuaian berdasarkan desain sistem dalam mencukupi kebutuhan arus untuk sistem proteksi katodik ICCP.

## 1.2 Pernyataan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dalam melaksanakan penelitian terdapat beberapa pernyataan masalah agar penelitian dapat dilakukan secara terarah yaitu:

1. Bagaimana mengetahui nilai arus listrik yang dibutuhkan agar mencukupi kebutuhan arus untuk metode proteksi lambung kapal dengan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP)?



2. Bagaimana konsep desain pemanfaatan kembali panas buang mesin kapal menggunakan termoelektrik generator untuk proteksi korosi *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* mencakup desain *arrangement* modul TEG dan *heat sink*?
3. Bagaimana mensimulasikan panas buang mesin kapal menggunakan termoelektrik generator untuk menghasilkan arus listrik yang dibutuhkan dengan metode CFD?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang didapat, tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai arus listrik yang dibutuhkan agar mencukupi kebutuhan arus untuk metode proteksi lambung kapal dengan *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*.
2. Merancang konsep desain pemanfaatan kembali panas buang mesin kapal menggunakan termoelektrik generator untuk proteksi korosi *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* mencakup desain *arrangement* modul TEG, dan *heat sink*.
3. Menganalisis hasil simulasi panas buang mesin kapal menggunakan termoelektrik generator untuk menghasilkan arus listrik yang dibutuhkan dengan metode CFD.

### 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar dapat dilakukan penelitian yang terarah, maka batasan masalah harus ditentukan diawal, diantaranya adalah:

1. Objek penelitian ini adalah kapal *Anchor Handling Tug Supply (AHTS)*.
2. Pengambilan nilai sisi suhu panas dan sisi suhu dingin didasarkan pada suhu gas buang generator kapal AHTS serta suhu udara kamar mesin secara berturut-turut.
3. Simulasi dilakukan dengan uji termal dengan kondisi udara tetap tanpa adanya penambahan atau kehilangan energi.
4. Nilai arus listrik yang didapat digunakan untuk bagian lambung kapal AHTS tercelup air dan hanya untuk bagian lambung basah diluar komponen bergerak (*bow thruster, propeller* (dan *earthing* sistem) serta *rudder*).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Pada Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak. Manfaat yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat memberikan pandangan lebih dalam mengenai penerapan teknologi pemanfaatan *heat waste* pada kapal menggunakan *thermoelectric generator* sebagai metode *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*.
2. Penelitian ini diharapkan menjadi referensi untuk pengembangan teknologi pada kapal sehingga dapat dijadikan acuan untuk penelitian lainnya di bidang perkapalan.

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

Pada bab ini disajikan rangkuman yang komprehensif mengenai materi terkait penelitian atau studi sebelumnya serta referensi spesifik pendukung penelitian. Materi yang disampaikan mengacu pada referensi terindeks baik jurnal ataupun buku pendukung. Uraian pada bab ini disajikan dalam bentuk deskriptif dengan memaparkan paragraf, gambar, tabel, dan persamaan yang digunakan dalam penelitian.

#### 2.2 Studi Terkait

Dalam penelitian ini referensi acuan berdasarkan penelitian sebelumnya dituliskan sebagai acuan validasi ataupun acuan studi pendukung. Berikut adalah rangkuman studi terkait penelitian yang dicanangkan:

Tabel 2.1 Tabulasi studi terkait

| <b>Analisa Penggunaan Thermoelectric Sebagai Sumber Arus Listrik pada <i>Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)</i> pada Pelat Lambung Kapal</b> |   |               |         |               |         |             |             |              |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |
|--|---|---------------|---------|---------------|---------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|---|-----|-----|----|----|----|------|------|--------|---|-----|-----|-----|----|----|------|------|--------|---|------|-----|----|----|----|------|------|--------|---|------|-----|-----|----|----|------|------|--------|
| Penulis  | Muhammad Fajrur Rahman, Sutopo Purwono F, Adi Kurniawan   |               |         |               |         |             |             |              |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |
| Institusi/Jurnal/<br>Penerbit  | Institut Teknologi Sepuluh Nopember/Jurnal Teknik ITS   |               |         |               |         |             |             |              |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |
| Tahun  | 2016  |               |         |               |         |             |             |              |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |
| 1.<br><br>Ulasan Singkat   | <p>Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengubah panas dari gas buang mesin induk menjadi energi listrik menggunakan generator termoelektrik. Energi listrik ini akan digunakan sebagai metode proteksi katodik arus paksa (<i>Impressed Current Cathodic Protection</i>). Penelitian ini menggunakan heat sink untuk memperbesar nilai perpindahan panas yang diperoleh dari gas buang ke generator termoelektrik. Hasil peredaran data dalam penelitian ditunjukkan pada tabel 2.2.</p> <p style="text-align: center;">Tabel 2. 2 Hasil eksperimen (Rahman, 2016)</p> <table border="1"><thead><tr><th>No</th><th>S (m)</th><th>Debit (l/min)</th><th>Hs (°C)</th><th>Cs (°C)</th><th>ΔT (°C)</th><th>Current (A)</th><th>Voltage (V)</th><th>Power (Watt)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0.2</td><td>240</td><td>72</td><td>30</td><td>42</td><td>0.13</td><td>1.36</td><td>0.1768</td></tr><tr><td>2</td><td>0.2</td><td>420</td><td>112</td><td>31</td><td>81</td><td>0.19</td><td>2.15</td><td>0.4085</td></tr><tr><td>3</td><td>0.15</td><td>240</td><td>98</td><td>31</td><td>67</td><td>0.18</td><td>1.74</td><td>0.3132</td></tr><tr><td>4</td><td>0.15</td><td>420</td><td>129</td><td>31</td><td>98</td><td>0.24</td><td>2.83</td><td>0.6792</td></tr></tbody></table> | No            | S (m)   | Debit (l/min) | Hs (°C) | Cs (°C)     | ΔT (°C)     | Current (A)  | Voltage (V) | Power (Watt) | 1 | 0.2 | 240 | 72 | 30 | 42 | 0.13 | 1.36 | 0.1768 | 2 | 0.2 | 420 | 112 | 31 | 81 | 0.19 | 2.15 | 0.4085 | 3 | 0.15 | 240 | 98 | 31 | 67 | 0.18 | 1.74 | 0.3132 | 4 | 0.15 | 420 | 129 | 31 | 98 | 0.24 | 2.83 | 0.6792 |
| No   | S (m)   | Debit (l/min) | Hs (°C) | Cs (°C)       | ΔT (°C) | Current (A) | Voltage (V) | Power (Watt) |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |
| 1  | 0.2   | 240           | 72      | 30            | 42      | 0.13        | 1.36        | 0.1768       |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |
| 2  | 0.2   | 420           | 112     | 31            | 81      | 0.19        | 2.15        | 0.4085       |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |
| 3  | 0.15  | 240           | 98      | 31            | 67      | 0.18        | 1.74        | 0.3132       |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |
| 4  | 0.15  | 420           | 129     | 31            | 98      | 0.24        | 2.83        | 0.6792       |             |              |   |     |     |    |    |    |      |      |        |   |     |     |     |    |    |      |      |        |   |      |     |    |    |    |      |      |        |   |      |     |     |    |    |      |      |        |

|    |   |  |      |     |     |    |     |      |      |        |
|----|---|--|------|-----|-----|----|-----|------|------|--------|
|    |   | 5  | 0.1  | 420 | 107 | 30 | 77  | 0.19 | 2.16 | 0.4104 |
|    |   | 6  | 0.1  | 456 | 156 | 32 | 124 | 0.3  | 3.72 | 1.116  |
|    |   | 7  | 0.05 | 492 | 132 | 32 | 100 | 0.23 | 2.67 | 0.6141 |
|    |   | 8  | 0.05 | 528 | 183 | 35 | 148 | 0.34 | 4.43 | 1.5062 |
|    |   | <p>Dalam penelitian ini, penulis memanfaatkan generator termoelektrik untuk pembangkit listrik dari energi panas buangan gas buang mesin. Penulis juga telah menggunakan <i>heat sink</i> untuk memaksimalkan proses perpindahan panas. Namun, <i>heat sink</i> hanya dipasang di sisi cool generator termoelektrik, sehingga dapat meningkatkan nilai laju pelepasan kalor pada sisi cool dari TEG. Jadi, sisi TEG masih belum mendapatkan panas maksimal dari pipa gas buang.</p>  |      |     |     |    |     |      |      |        |
| 2. | <b>Simulasi Komputasional Kinerja Termal Pipa Gas Buang Bersirip Pada Waste Heat Recovery System Main Engine</b>                    |  |      |     |     |    |     |      |      |        |
|    | Penulis   | Wasis Tri Handoko, Sutopo Purwono F.   |      |     |     |    |     |      |      |        |
|    | Institusi/Jurnal/Penerbit   | Institut Teknologi Sepuluh Nopember/Tugas Akhir  |      |     |     |    |     |      |      |        |
|    | Tahun   | 2017   |      |     |     |    |     |      |      |        |
|    | Ulasan Singkat  | <p>Penelitian ini menggunakan metode komputasi dengan menggunakan software Ansys Fluent untuk menganalisis kinerja termal pipa bersirip internal pada pipa gas buang suatu mesin. Salah satu pengaruh pemasangan sirip internal pada sistem knalpot mesin adalah tekanan balik yang dapat mempengaruhi kinerja mesin. Nilai tekanan balik yang melebihi batas dari pembuatan mesin akan menurunkan performa mesin dan menurunkan umur mesin itu sendiri. Penelitian ini menggunakan metode simulasi komputasi untuk menganalisis kinerja termal pemanfaatan fin pada pipa. Analisis ini menggunakan sirip profil persegi panjang memanjang. Simulasi ini membuktikan bahwa pemasangan internal fin mampu meningkatkan perpindahan panas antara gas buang dan pipa gas buang. Selain itu, penelitian ini juga telah membuktikan bahwa pemasangan fin memiliki pengaruh yang kecil dalam meningkatkan tekanan balik, yaitu kurang dari 1% dari batas penurunan tekanan maksimum mesin. Namun penelitian ini sepenuhnya menggunakan metode simulasi komputasi untuk panas buang dan data hasil luaran berupa data tekanan dan suhu tanpa adanya analisis pemanfaatan kembali data tersebut untuk dimanfaatkan oleh sistem lain.</p> |      |     |     |    |     |      |      |        |
| 3. | <b>Pemanfaatan Perbedaan Temperatur pada Main Engine Cooling System sebagai Energi Alternatif untuk Pembangkit Listrik di Kapal</b> |  |      |     |     |    |     |      |      |        |
|    | Penulis   | Teguh Julianto, Indra Ranu Kusuma, Juniarko Prananda   |      |     |     |    |     |      |      |        |
|    | Institusi/Jurnal/Penerbit   | Institut Teknologi Sepuluh Nopember/Tugas Akhir  |      |     |     |    |     |      |      |        |

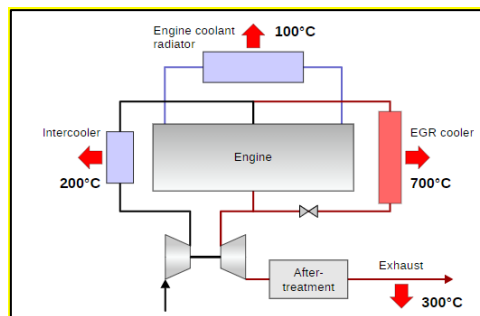
|   |   |  |
|---|---|--|
|   | Tahun   | 2016   |
|   | Ulasan Singkat  | <p>Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan kotak konversi yang memanfaatkan arah berlawanan dari air dengan temperatur tinggi dan temperatur lebih rendah yang melewati dua permukaan thermoelectric generator. Daya listrik yang dihasilkan dari 12 buah termoelektrik pada rangkaian hanya 40 watt dc, hal ini dikarenakan perpindahan panas tidak semuanya terserap termoelektrik karena terbatasnya spesifikasi, dan panas yang diserap oleh kotak konversi tidak diperhitungkan (Julianto, 2016). Dalam penelitian ini penulis telah memanfaatkan generator termoelektrik untuk pembangkit listrik dari energi hasil pembakaran pada salah satu sistem di kapal, namun penulis masih belum memanfaatkan <i>fin</i> untuk alat penukar kalor, baik pada sisi panas maupun sisi dingin generator termoelektrik, sehingga masih ada upaya untuk memperoleh panas yang lebih besar dari sumber panas untuk memperoleh daya listrik yang lebih besar.</p>  |
| 4 | <p><b>Prospects of waste-heat recovery from a real industry using thermoelectric generators: Economic and power output analysis</b></p> |  |
|   | Penulis   | Miguel Araiza, Álvaro Casia, Leyre Catalána, Álvaro Martíneza, David Astraina  |
|   | Institusi/Jurnal/Penerbit   | ELSEVIER/Energy Conversion and Management  |
|   | Tahun   | 2020   |
|   | Ulasan Singkat  | <p>Penelitian ini berfokus pada salah satu opsi untuk mengurangi biaya energi pada industri dan dampak lingkungan dengan memulihkan limbah-panas yang dihasilkan dalam beberapa proses. Penelitian ini menawarkan penggunaan generator termoelektrik di pabrik pembuatan wol batu untuk mengubah limbah panas dari aliran gas panas menjadi listrik. Penelitian berfokus pada analisis hasil energi listrik dan biaya operasional. Generator termoelektrik yang diusulkan mencakup pembuang sirip dan termosifon bifasik sebagai penukar panas sisi panas dan dingin masing-masing. Model tersebut memperhitungkan penurunan suhu di sepanjang saluran tempat gas mengalir, konsumsi listrik peralatan bantu, konfigurasi serta geometri <i>heat exchangers</i>. Hasil dengan metode simulasi didapatkan listrik 45.838 W dengan mempertimbangkan rasio hunian 0,40 dan jarak sirip 10 mm. Biaya pemasangan diminimalkan menjadi 10,6€/W dengan rasio hunian 0,24. Selain itu, <i>Levelised Cost of Electricity</i>, LCOE, diperkirakan untuk penggunaan termoelektrik generator. Perkiraan LCOE untuk desain yang</p> |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   |   | diusulkan adalah sekitar 15c€/kWh. Hasil penelitian juga menunjukkan kemampuan pemulihan limbah panas dari proses industri dengan harga yang wajar dengan generator termoelektrik dapat dilakukan. Pada penelitian ini menggunakan aplikasi pendukung uji termal dengan <i>ANSYS Fluent</i> sebagai data primer.  |
| 5 | <b>A Simple Superposition Formulation to Predict the Underwater Electric Potential Signature of Naval Vessels</b> |   |
|   | Penulis   | Christian Thiel, Claas Broecheler, Frank Ludwar, Andreas Rennings, Jens Doose, and Daniel Erni  |
|   | Institusi/Jurnal/Penerbit   | Journal of Marine Science and Engineering   |
|   | Tahun   | 2020  |
|   | Ulasan Singkat  | Penelitian ini berfokus pada pendekatan numerik untuk mengetahui nilai <i>underwater electric potential</i> (UEP) yang dikeluarkan oleh kapal melalui sistem ICCP. Kapal penelitian yang digunakan merupakan model kapal cepat dengan panjang 50 m. Sistem ICCP yang dirancang dalam penelitian merupakan ICCP dengan 4 zona (2 <i>bow</i> dan 2 <i>stern</i> ) dengan konfigurasi nilai arus output yang berbeda yaitu 9 A untuk <i>bow</i> dan 15 A untuk <i>stern</i> . Penelitian menggunakan 3 skenario untuk jenis pelat yang digunakan yaitu pelat baja tanpa <i>coating</i> , pelat dengan material HY-80 <i>steel hull</i> dan baja tanpa <i>coating</i> dengan propeller terlapisi. |
|   | <b>Cathodic Protection of a Container Ship Using a Detailed BEM Model</b>   |   |
|   | Penulis   | Dimitrios T. Kalovelonis, Dimitrios C. Rodopoulos, Theodoros V. Gortsas, Demosthenes Polyzos and Stephanos V. Tsinopoulos   |
|   | Institusi/Jurnal/Penerbit   | Journal of Marine Science and Engineering   |
|   | Tahun   | 2020  |
|   | Ulasan Singkat  | Penelitian befokus pada pendekatan menggunakan simulasi metode elemen batas untuk mengetahui zona proteksi katodik dari kapal container 399 meter. Simulasi model menggunakan 6 zona ICCP dengan rincian 10 anoda pada lambung dan 16 anoda pada semua <i>thruster</i> . Hasil penelitian menunjukkan simulasi dengan rancangan 26 anoda mampu melingkupi keseluruhan lambung kapal dengan catatan nilai arus yang dibutuhkan oleh lambung adalah 70.6%, bagian buritan 22.8% dan <i>thruster</i> 6.6%.   |

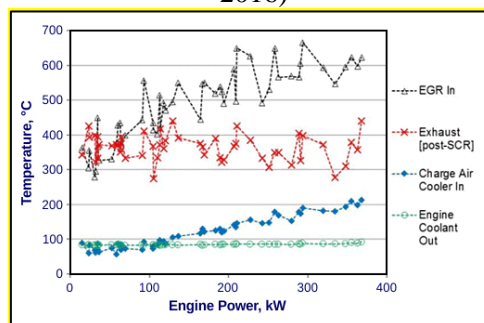
### 2.3 Waste Heat Recovery (WHR)

Pemanfaatan WHR atau pemanfaatan kembali limbah panas adalah suatu proses merubah energi panas buang dari mesin agar menjadi suatu energi untuk penggerak atau penghasil sistem tertentu. Secara umum fungsi dari WHR adalah mengurangi penggunaan bahan bakar tambahan untuk fungsi tertentu sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar. Sumber panas mesin diesel yang dapat digunakan sebagai WHR meliputi gas buang panas yang dikeluarkan dari knalpot, radiator pendingin engine, serta *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) (Hannu and Majewski, 2017).

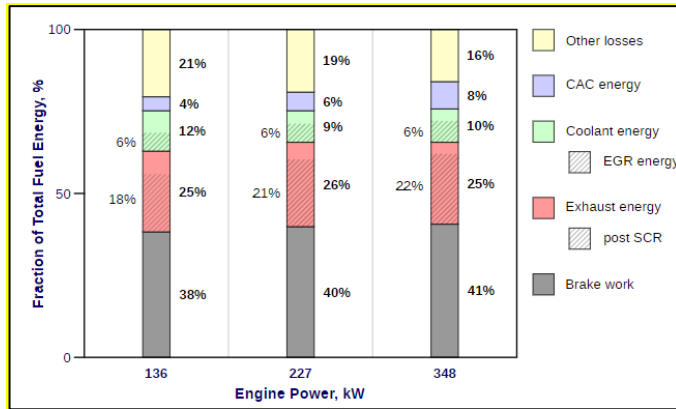
WHR pada umumnya memiliki tujuan untuk menghasilkan fungsi kerja tambahan. Suhu buang yang tinggi berbanding lurus dengan fungsi kerja yang dihasilkan dari pemanfaatan WHR. Dengan kata lain semakin tinggi suhu sumber panas maka semakin besar dan semakin efisien fungsi kerja yang akan dilakukan. Suhu panas buang dari setiap mesin akan berbeda bergantung pada jenis mesin dan bahan bakar yang digunakan. Hal tersebut juga berpengaruh pada potensi WHR yang akan dimanfaatkan. Dalam istilah termodinamika semakin tinggi suhu medium maka semakin tinggi entropi yang melaluinya. Hal ini memungkinkan seberapa besar panas yang dapat diubah menjadi fungsi kerja yang dapat digunakan, fenomena tersebut sesuai dengan pendekatan termodinamika yaitu semakin tinggi entropi maka semakin tinggi efisiensi atau semakin tinggi nilai ekserginya (Hannu and Majewski, 2017).



Gambar 2.1 Sumber utama kehilangan panas pada *internal combustion engine* (Sharp, 2016)



Gambar 2.2 Variasi waste heat pada mesin diesel Mack MP8 505 HP @1800 rpm (Pradhan *et al.*, 2018)



Gambar 2.3 Proporsi kehilangan energi pada aliran panas buang berdasarkan Gambar 2.2

Penggunaan WHR pada mesin diesel bergantung pada beberapa faktor diantaranya adalah suhu atau panas buang dari mesin; sumber panas buang atau komponen yang menghasilkan panas; serta kemungkinan jumlah panas yang dapat digunakan untuk WHR (Hannu and Majewski, 2017). Pradhan (2015) telah melakukan percobaan menggunakan mesin diesel truk dengan 53 variasi kecepatan dan kondisi beban mesin diesel sehingga menghasilkan grafik nilai suhu terbuang yang tidak digunakan dalam proses pembakaran. Hasil yang didapat menunjukkan nilai panas yang cukup tinggi untuk saluran *exhaust* berkisar 300-400 °C dan 400-650 °C pada EGR.

Tabel 2.3 Teknologi WHR pada mesin pembakaran dalam (Hannu and Majewski, 2017)

| Teknologi WHR               | Pinsip Operasi  | Status pengembangan  |
|-----------------------------|---|--|
| Heat exchangers             | Perpindahan panas langsung antara dua media.  | Komersial (misalnya, pemanas kabin menggunakan cairan pendingin engine dan panas gas buang).     |
| Turbo-compounding           | Konversi panas buangan menjadi energi mekanik atau listrik menggunakan turbin yang digerakkan oleh gas buang. | Turbocompounding mekanis adalah teknologi komersial.   |
| Thermoelectric generators   | Perangkat solid state yang mengubah panas langsung menjadi energi listrik melalui efek Seebeck.               | Aplikasi komersial untuk pemanas dan pendingin kursi mobil. Sedang dikembangkan untuk mesin WHR. |
| Thermochemical recuperation | Gunakan limbah panas untuk melakukan reformasi uap  | Dalam pengembangan   |



| Teknologi WHR             | Pinsip Operasi   | Status pengembangan   |
|---------------------------|--|---|
|                           | bahan bakar untuk meningkatkan LHV-nya.  |   |
| Thermoacoustic conversion | Teknologi turunan siklus pengadukan yang dioperasikan pada frekuensi tinggi untuk mengubah denyut tekanan dalam fluida kerja menjadi tenaga listrik.   | Dalam Pengembangan  |
| Bottoming cycle           | Siklus termodinamika, seperti siklus Rankine atau Brayton, yang melibatkan pemulihan dan penolakan panas melalui fluida kerja (udara, uap, atau fluida organik) untuk memulihkan panas buangan dan menggerakkan turbin untuk menghasilkan energi mekanik atau listrik. | Komersial untuk mesin stasioner dan kelautan besar. Prototipe Working Rankine dan Organic Rankine Cycle yang dikembangkan oleh beberapa produsen mesin untuk aplikasi tugas berat (misalnya, di bawah program US DOE SuperTruck). Sistem WHR siklus Brayton kurang berkembang dibandingkan yang didasarkan pada siklus Rankine. |

## 2.4 Termoelektrik Generator (TEG)

Termoelektrik generator adalah salah satu sistem pembangkit yang memanfaatkan efek *seebeck* dalam membangkitkan energi listrik dengan memanfaatkan energi panas (Zhang *et al.*, 2016). Efek Seebeck adalah fenomena ketika dua material logam dengan tipe-p dan tipe-n yang terbuat dari material berbeda dihubungkan dan memiliki perbedaan temperatur pada dua sisinya maka akan menimbulkan beda potensial listrik. Termoelektrik generator tersusun oleh pasangan pin termoelektrik tipe-p dan tipe-n. Pin tipe-p terbuat dari bahan semikonduktor yang biasanya memiliki muatan berupa hole sedangkan pin tipe-n muatan yang dibawa berupa elektron. Dengan adanya sumber panas maka fenomena pergerakan elektron dari pin tipe-n menuju sisi dingin, hal tersebut menciptakan arus listrik dengan nominal kecil pada generator termoelektrik. Sedangkan hole pada pin tipe-p akan mengalir sesuai dengan arah arus listrik yang terjadi akibat fenomena panas sebelumnya.

Untuk aplikasi generator termoelektrik maka pasangan pin termoelektrik dirangkai bersama pada suatu modul termoelektrik Parameter yang mempengaruhi daya keluaran generator termoelektrik adalah *figure of merit* (ZT), rasio temperatur pengoperasian dan beban eksternal (Ali dan Sami, 2016). *Figure of merit* merupakan bentuk penyederhanaan dari tiga parameter material penyusun generator termoelektrik yaitu koefisien *Seebeck* ( $\alpha$ ), konduktivitas listrik ( $\sigma$ ) dan konduktivitas termal ( $\lambda$ ). Penulisan persamaan dari

*figure of merit* ditunjukkan oleh Persamaan (2.1). Semakin tinggi nilai *figure of merit* maka performansi generator termoelektrik semakin baik (Angrist, 1976).

$$ZT = \frac{\alpha^2 \bar{T}}{\rho k} \quad (2.1)$$

Pada termoelektrik generator Pin tipe-p maupun tipe-n terhubung secara seri untuk nilai listrik dan terhubung secara paralel untuk nilai panas. Susunan modul generator termoelektrik pada umumnya ditunjukkan oleh Gambar 2.4. Sesuai dengan susunannya, generator termoelektrik terdiri dari komponen-komponen yang saling terhubung, yaitu:

**a. Lapisan Keramik**

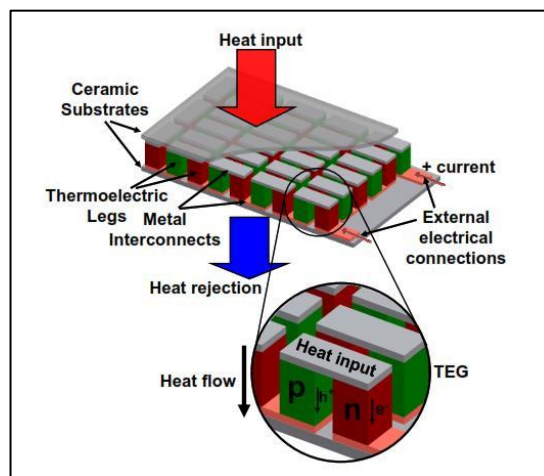
Lapisan keramik merupakan lapisan insulator pada generator termoelektrik. Material keramik yang digunakan biasanya memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah dan stabil sehingga tidak terjadi perpindahan panas yang berlebihan dan tetap pada nilai yang minimum. Penggunaan material keramik yang biasa digunakan adalah aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ).

**b. Lapisan Konduktor**

Lapisan konduktor merupakan lapisan penghantar listrik yang menghubungkan pin tipe-p dan tipe-n. Tembaga digunakan sebagai material konduktor pada generator termoelektrik karena memiliki nilai konduktivitas termal dan listrik yang tinggi (Erturun, Erermis and Mossi, 2014). Penggunaan tembaga juga berfungsi sebagai elemen untuk meminimalkan resistansi termal dan listrik antara pin termoelektrik dan sumber panas (Yamashita, Odahara and Tomiyoshi, 2004).

**c. Lapisan Solder**

Lapisan solder atau lapisan penghubung merupakan antara lapisan tembaga dan pin termoelektrik yang dihubungkan secara fisik.



Gambar 2.4 Rangkaian modul TEG Karri (2011)

#### d. Pin Termoelektrik

Pin termoelektrik adalah komponen pada modul termoelektrik yang terdiri dari tipe-p dan tipe-n yang berfungsi membawa muatan dari sisi panas ke sisi dingin sehingga menimbulkan beda potensial listrik akibat perbedaan suhu. Material penyusun termoelektrik yang baik adalah material dengan jenis semikonduktor dengan nilai koefisien Seebeck antara  $150 - 250 \mu\text{V/K}$  seperti *bismuth telluride*, *lead-telluride*, *antimony telluride* dan *silicongermanium* (Sharp, 2016). Semikonduktor digunakan sebagai material pin termoelektrik karena memiliki nilai *figure of merit* lebih tinggi jika dibandingkan dengan logam konduktor ataupun isolator (Angrist, 1976). Pemilihan material yang digunakan didasarkan pada suhu operasional dari generator termoelektrik.

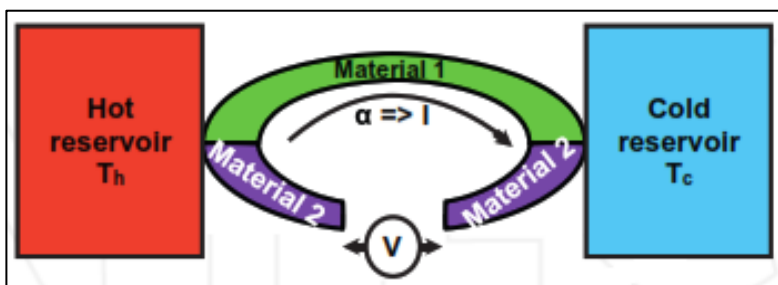
### 2.5 Efek Termoelektrik

Efek termoelektrik merupakan fenomena fisis dari suatu kondisi yang mengacu pada perbedaan suhu dan konsep termodinamika. Menurut Angrist (1976) efek-efek yang terjadi pada fenomena termoelektrik terbagi menjadi beberapa efek dengan tiap efek memiliki karakteristik tersendiri:

#### a. Efek Seebeck

Efek seebeck adalah efek yang terjadi ketika dua logam dengan material berbeda memiliki perbedaan temperatur dan dihubungkan dengan dua sisi yang berbeda maka akan menimbulkan adanya beda tegangan potensial. Rangkaian fenomena listrik untuk menggambarkan efek Seebeck ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Beda potensial atau tegangan Seebeck dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.2).

$$\Delta V = \int_{T_c}^{T_h} \alpha dT \quad (2.2)$$



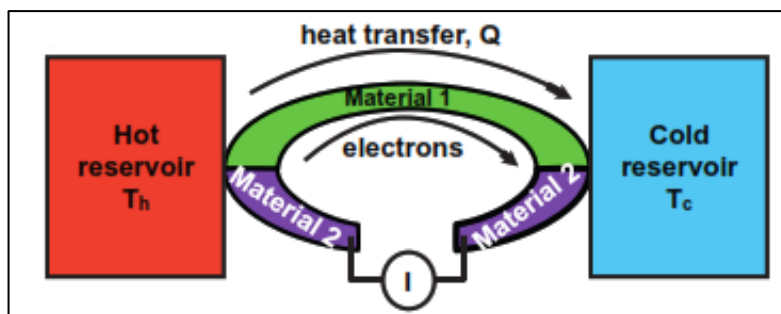
Gambar 2.5 Rangkaian listrik efek Seebeck (Paul, 2014)

#### b. Efek Peltier

Efek peltier adalah efek yang muncul akibat dua logam dengan suhu yang berbeda saling terhubung dan mengalirkan arus listrik maka panas akan diserap oleh sisi dingin seperti pada Gambar 2.6 (Soo, 1968). Penyerapan panas oleh sisi

dingin memiliki nilai yang sebanding dengan nilai arus yang mengalir. Nilai panas yang dipindahkan tiap satuan waktu ditunjukkan oleh Persamaan (2.3). Sedangkan untuk nilai Koefisien Peltier adalah koefisien energi panas yang pada tiap elektron per unit muatan dan waktu dari sisi panas ke sisi dingin.

$$\dot{Q} = (\pi_p - \pi_n)I \quad (2.3)$$



Gambar 2.6 Rangkaian listrik efek Peltier (Paul, 2014)

### c. Efek Thomson

Efek Thomson adalah efek yang disebabkan oleh arus listrik yang mengalir sepanjang logam homogen dimana terjadi perbedaan suhu di dalamnya sehingga terjadi efek pemanasan. Panas tersebut memiliki nilai lebih besar atau kurang dari nilai pemanasan Joule, hal tersebut bergantung pada seberapa besar serta arah arus listrik, temperatur dan material (Angrist, 1976). Perpindahan panas akibat efek Thomson dapat dicari menggunakan Persamaan (2.4).

$$\dot{Q} = I^2R - I\tau'\Delta \quad (2.4)$$

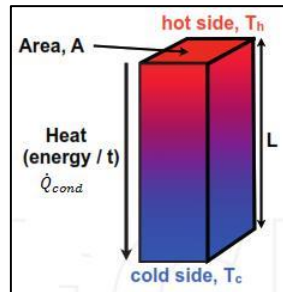
Dimana,

$$\tau' = -T \frac{d\alpha}{dT} \quad (2.5)$$

### d. Efek Fourier

Efek Fourier adalah fenomena perpindahan panas secara konduksi sepanjang elemen generator termoelektrik sesuai Hukum Fourier tentang perpindahan panas secara konduksi satu dimensi. Hukum Fourier dituliskan sesuai Persamaan (2.6).

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{kA \Delta T}{L} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.6)$$



Gambar 2.7 Mekanisme konduksi (Paul, 2014)

Konduksi adalah suatu keadaan perpindahan energi antar partikel pada suatu materi atau bahan akibat adanya interaksi. Sesuai dengan Persamaan (2.6), nilai panas konduksi sebanding dengan luas permukaan bahan, konduktivitas termal material dan gradien temperatur yaitu kemiringan kurva temperatur pada diagram T-x pada posisi x. Gradien temperatur akan bernilai (-) negatif ketika temperatur mengalami penurunan karena adanya penambahan panjang (Cengel YA, 2006). Mekanisme perpindahan panas secara konduksi ditunjukkan oleh Gambar 2.7.

#### e. Efek Joule

Efek joule adalah adaalah fenomena arus listrik yang mengalir pada beban akan menghasilkan panas (Paul, 2014). Panas yang dihasilkan tersebut terjadi karena adanya efek Joule sehingga disebut dengan panas Joule. Panas Joule dituliskan sesuai Persamaan (2.7).

$$\dot{Q}_J = I^2 R \quad (2.7)$$

## 2.6 Analisis Termodinamika Generator Termoelektrik

Analisis termodinamika dilakukan untuk mengetahui nilai distribusi temperatur dan perpindahan panas yang dihasilkan oleh generator termoelektrik, sehingga memungkinkan perhitungan daya keluaran dan efisiensi generator termoelektrik. Asumsi digunakan untuk menganalisis fenomena yang terjadi pada generator termoelektrik sebagai berikut (Angrist, 1976):

- Generator termoelektrik beroperasi antara dua suhu,  $T_H$  dan  $T_C$ . di mana  $T_H$  adalah suhu sumber panas dan  $T_C$  adalah suhu dingin.
- Resistansi listrik pada komponen diabaikan.
- Area lengan generator termoelektrik adalah konstan.
- Resistivitas, konduktivitas termal dan koefisien Seebeck material yang digunakan dipengaruhi oleh suhu.
- Jika material isolasi yang digunakan baik maka resistansi kontak termal antara pin termoelektrik dan sumber panas rendah.

Panas yang diserap generator termoelektrik ( $Q_h$ ) dapat ditulis dengan Persamaan (2.8).

$$Q_h = \alpha T_h I - \frac{1}{2} I^2 R + K \Delta T \quad (2.8)$$

dimana koefisien Seebeck dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2.9).

$$\alpha = |\alpha_n| + |\alpha_p| \quad (2.9)$$

Hambatan dalam (resistansi) generator termoelektrik ( $R$ ) dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2.10).

$$R_0 = \rho_n \left( \frac{L_n}{A_n} \right) + \rho_p \left( \frac{L_p}{A_n} \right) \quad (2.10)$$

Konduktivitas termal pada generator termoelektrik dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2.11).

$$K = \lambda_n \left( \frac{L_n}{A_n} \right) + \lambda_p \left( \frac{L_p}{A_n} \right) \quad (2.11)$$

Nilai perbedaan atau selisih suhu pada generator termoelektrik ditunjukkan oleh Persamaan (2.12).

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (2.12)$$

Hasil tegangan Seebeck generator termoelektrik dapat dihitung menggunakan persamaan (2.13).

$$\Delta V = \int_{T_c}^{T_h} \alpha \, dT \quad (2.13)$$

Arus listrik yang mengalir dapat dihitung sesuai persamaan (2.14).

$$I = \frac{\Delta V}{(R + R_0)} \quad (2.14)$$

Daya keluaran generator termoelektrik dapat dihitung menggunakan persamaan (2.15).

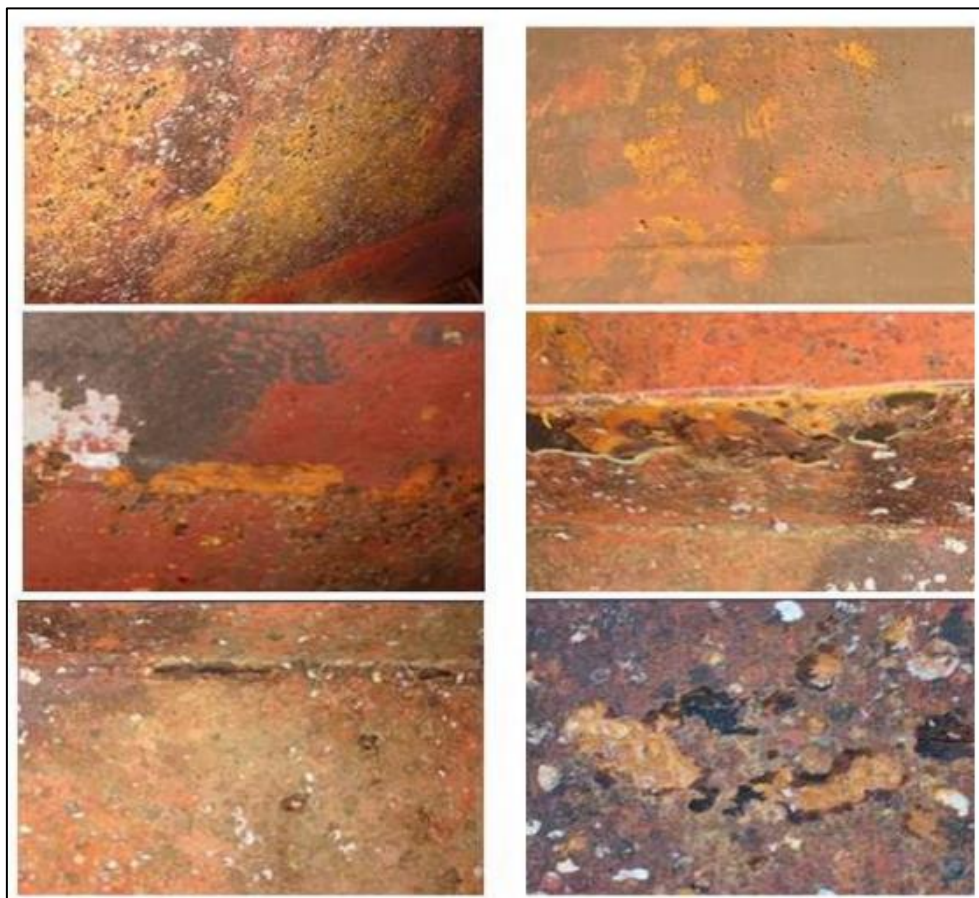
$$P_o = I \cdot \Delta V \quad (2.15)$$

Sehingga, efisiensi dari sebuah generator termoelektrik dapat dituliskan sesuai dengan Persamaan (2.16).

$$\eta = \frac{P_o}{Q_h} \quad (2.16)$$

## 2.7 Korosi

Korosi merupakan fenomena alami yang terjadi pada sebagian besar material logam, korosi adalah suatu proses kerusakan material karena reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya sehingga menimbulkan bercak dan mengurangi ketahanan logam. Lingkungan yang dapat menyebabkan korosi berupa udara, embun, area asam, air tawar, air danau, air laut, air sungai dan air tanah. Air laut, yang korosif sesuai dengan kandungannya yaitu ion klorida, konduktivitas, oksigen, laju aliran, suhu, kotoran, tegangan, polusi, lanau, pasir tersuspensi dan endapan, meningkatkan kerusakan pada pelat lambung (G. F. Mars, 1980). Biaya korosi dan pencegahan korosi kira-kira 5,0% dari produk nasional bruto suatu negara, oleh karena itu biaya pencegahan korosi merupakan salah satu biaya ekonomi yang sangat besar bagi masyarakat (Balan. 2018). Terdapat jenis korosi yang terjadi pada bahan bermaterial logam berupa *uniform corrosion* atau korosi seragam, *pitting corrosion* atau korosi lubang dan *crevice corrosion* atau korosi celah.



Gambar 2.8 Gambar korosi yang terjadi pada lambung kapal (B. Mainier, 2014)

Trethewey dan Chamberlain (1991) menyatakan bahwa terdapat empat faktor yang berpengaruh dalam reaksi elektrokimia dalam laju korosi:

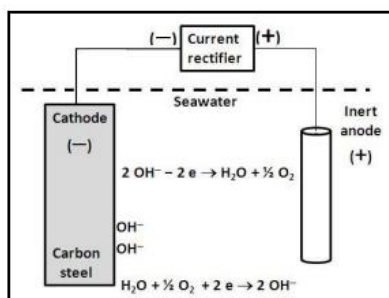
- Anoda, merupakan bagian yang terkikis dan akan melepaskan elektron dari atom logam netral membentuk ionnya.
- Katoda, yang biasanya tidak terkikis namun tetap rentan terhadap korosi pada keadaan tertentu.
- Larutan elektrolit, adalah zat cair yang memiliki nilai konduktivitas dan dapat menghantarkan listrik.
- Sambungan listrik, merupakan hubungan elektrik antara katoda dan anoda agar arus mengalir melalui sel yang terkorosi.

## 2.8 Proteksi Korosi atau Proteksi Katodik

Proteksi katodik (*Cathodic Protection*) atau CP merupakan merupakan suatu metode dalam pencegahan korosi pada suatu metrial logam, baik permukaan logam yang sudah diberi pelapisan (*coating*) ataupun tidak diberi pelapisan (*bare* atau *uncoated*). Proteksi katodik berfungsi menghalangi terjadinya reaksi korosi atau pengikisan yang yang muncul pada logam dengan cara menghalangi proses perpindahan elektron. Proteksi karodik dibedakan menjadi dua jenis metode, yaitu metode tumbal (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) atau SACP dan metode arus paksa (*Impressed Current Cathodic Protection*) atau ICCP.

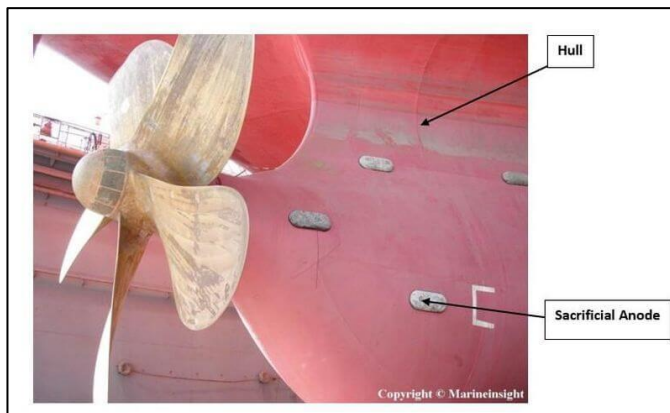
### 2.8.1 Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP)

*Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) atau metode anoda tumbal merupakan metode perlindungan logam dengan memasang logam lain yang lebih anodik. Logam yang lebih anodik tersebut akan lebih dulu terkikis dibandingkan logam yang diproteksi. Material anoda umumnya adalah logam Zinc, Alumunium dan Magnesium dimana material tersebut memiliki nilai lebih negatif dibandingkan logam pada umumnya yang akan dilindungi dari air laut.



Gambar 2.9 Baja karbon dilindungi oleh katodik arus yang terkesan di air laut yang diangin-anginkan (B. Mainier, 2014)





Gambar 2.10 Metode anoda tumbal (SACP)

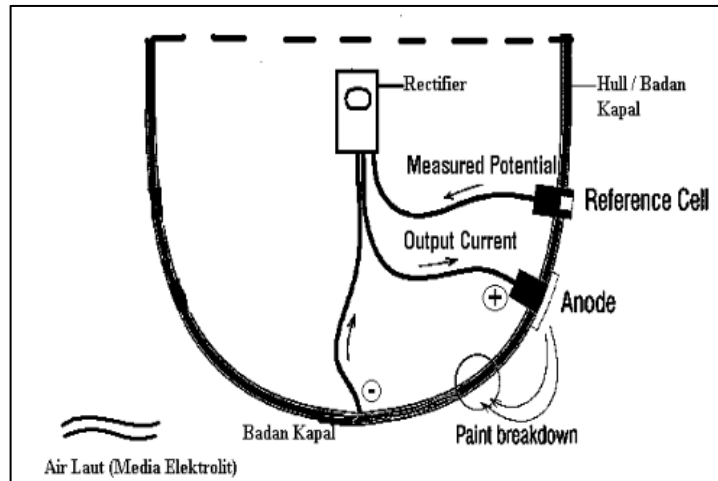
### 2.8.2 Immersed Cathodic Corrosion Protection (ICCP)

*Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* atau metode arus paksa merupakan metode pencegahan korosi dengan cara dialiri arus listrik searah (Arus DC) pada anoda (+) dan pada pelat kapal (-). Anoda yang digunakan pada ICCP terbuat dari material non aktif seperti *High Silicon Cast Iron*, Grafit, Platinum, Aluminium dan Titanium yang berfungsi sebagai sumber elektron dan tidak perlu dikorbankan. Anoda yang digunakan pada ICCP harus memiliki nilai potensial elektroda yang tinggi agar dapat melindungi cakupan area yang luas dengan luasan anoda yang kecil. Berikut merupakan tabel jenis-jenis anoda yang umumnya dipakai untuk penggunaan ICCP berdasarkan laju korosi.

Tabel 2.4 Laju pengausan anoda ICCP (Soepomo, 1995)

| Material Anoda   | Lingkungan            | Typical Loss (Lb/A.Y) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Scrap Steel      | Tanah, Air tawar/laut | 20                    |
| Aluminium        | Tanah, Air tawar/laut | 10 – 12               |
| Hig Silicon Iron | Tanah, Air tawar/laut | 0,25 – 0,50           |
| Grafit           | Tanah, Air tawar/laut | 0,25 – 0,50           |
| Timah            | Tanah, Air tawar      | 0,10 – 0,25           |
| Platinum         | Air laut              | -                     |
| Titanium         | Air laut              | -                     |

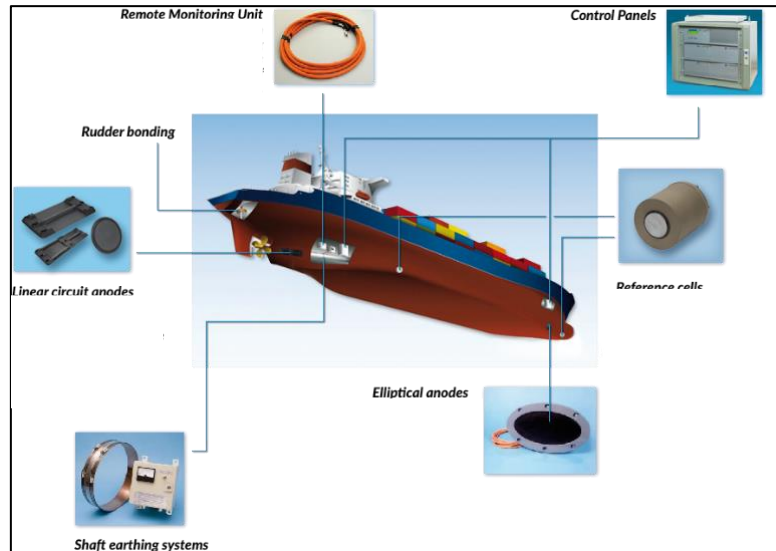
Skema aliran arus yang terjadi pada sistem ICCP diberikan dalam Gambar 2.11 (Wiludin, 2013). Berdasarkan Gambar 2.11, aliran arus berawal dari Power Supply Unit (*Rectifier*) yang dialirkan ke anode kemudian melalui elektrolit air laut, arus akan mengalir menuju struktur lambung kapal dan melalui kabel *Grounding (Reference Cell)* kembali ke Rectifier. *Reference Cell* berfungsi untuk membaca potensial arus yang keluar dari anoda.



Gambar 2.11 Skema rangkaian aliran arus metode arus paksa (ICCP) pada lambung kapal (Rahman, 2016)

ICCP memiliki beberapa komponen pendukung dalam sistemnya, hal ini berbeda dengan SACP yang hanya memiliki satu komponen utama yaitu anoda sebagai bagian yang terkikis atau anoda tumbal. Berikut merupakan komponen-komponen dari ICCP:

- a. *Anode*  
Anoda berfungsi sebagai bagian yang dialiri arus (+) dari *Power Supply Unit (Rectifier)*.
- b. *Reference Cell*  
*Reference Cell* adalah komponen yang berfungsi untuk mengetahui beda potensial arus yang keluar dari anoda.
- c. *Power Supply Unit (PSU)*  
*Power Supply Unit/Rectifier* adalah sumber arus listrik DC yang digunakan untuk mengalirkan listrik menuju anoda.
- d. *Remote Monitoring Panel (RMP)*  
*Remote Monitoring Panel* merupakan panel yang digunakan sebagai pengontrol dalam mengatur arus yang dikeluarkan dari *PSU*.
- e. *Rudder Stock Bonding*  
*Rudder stock bonding* adalah anoda yang melindungi korosi pada *rudder shaft*. Komponen ini memiliki pengendalian tersendiri tidak mengikuti dari *remote monitoring panel*.
- f. *Shaft earthing system*  
*Shaft earthing system* adalah komponen yang menjadikan *shaft* tetap netral walaupun terjadi beda potensial pada *shaft bearing*.



Gambar 2.12 Komponen-komponen dari sistem ICCP secara umum

Perhitungan kebutuhan sistem Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) berdasarkan peraturan “*DET NORSKE VERITAS RECOMMENDED PRACTICE (DNV-RP-B401) CATHODIC PROTECTION DESIGN OCTOBER 2010*” adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan luas permukaan yang akan diproteksi.
- b. Menentukan faktor breakdown coating.
- c. Menentukan kebutuhan arus proteksi.
- d. Menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan.
- e. Menentukan besar tahanan anoda.
- f. Menentukan peletakan anoda.

## BAB 3

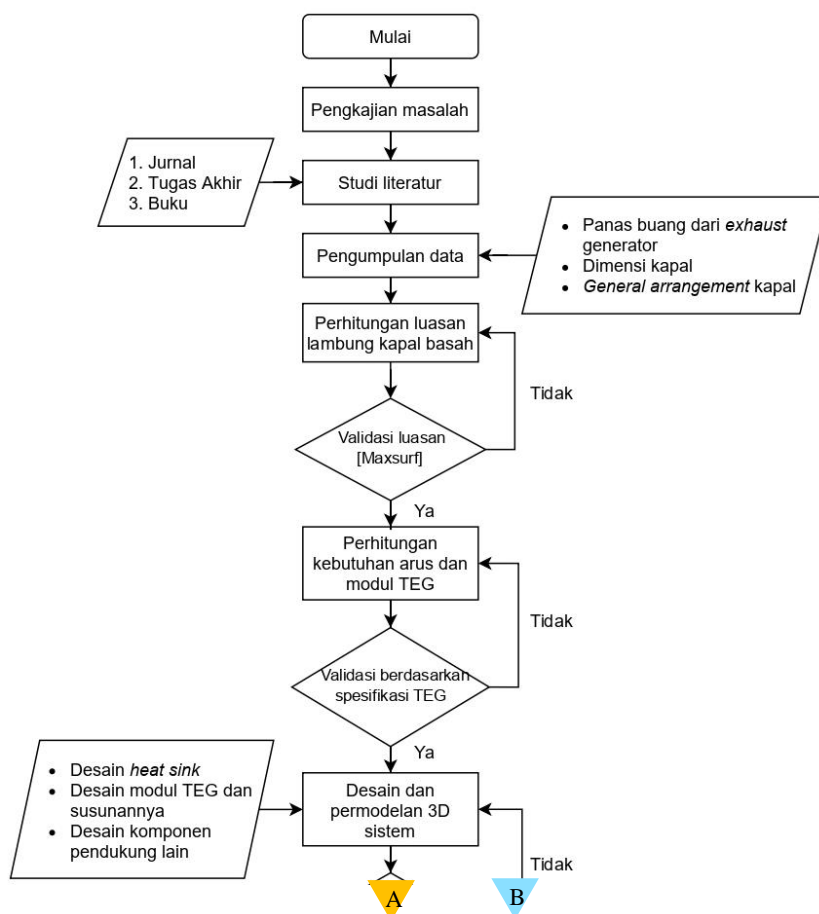
### METODOLOGI PENELITIAN

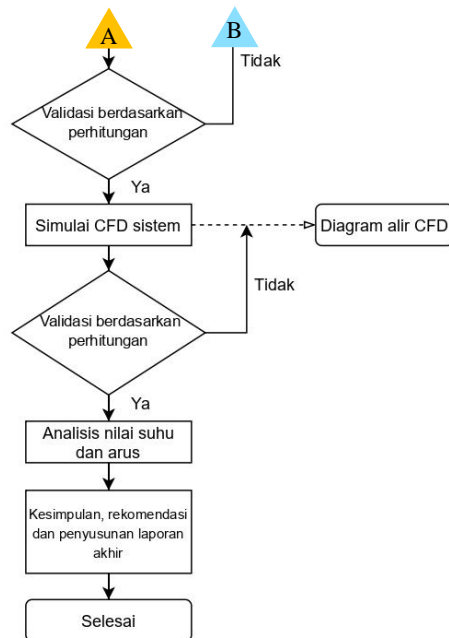
#### 3.1 Pendahuluan

Bagian ini menguraikan rencana penelitian melingkupi desain, metode serta pendekatan yang digunakan dalam menjawab permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian. Uraian yang dijelaskan melingkupi identifikasi masalah, studi literatur, pengambilan data, perancangan desain, simulasi aplikasi, dan simulasi.

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan penelitian agar sesuai dengan tujuan maka dirancang tahapan atau langkah pengerjaan yang didasarkan pada diagram alir berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.3 Pengkajian Masalah

Tahapan awal dalam melakukan penelitian adalah mengkaji permasalahan terkini mengenai pemanfaatan kembali panas buang mesin kapal. Permasalahan yang dikaji disesuaikan dengan kondisi saat ini dalam pemanfaatan panas buang yang telah dan sedang dikembangkan. Hasil kajian dibenturkan dengan sistem proteksi korosi yang dapat digabungkan dan dimanfaatkan untuk kapal. Hasil dari pengkajian masalah ini berupa permasalahan-permasalahan mengenai pemanfaatan gas buang dan sistem proteksi korosi serta jalan menuju solusi dari permasalahan tersebut. Solusi ini menjadi acuan tujuan penelitian.

### 3.4 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian berbagai sumber literatur mengenai permasalahan penelitian. Studi literatur difokuskan pada sumber-sumber terpercaya dan telah dipublikasi. Pencarian sumber informasi disesuaikan dengan topik penelitian dimulai dari *waste heat recovery* (WHR), generator termoelektrik berbasis perbedaan suhu serta sistem proteksi korosi *immersed cathodic corrosion protection* (ICCP). Studi literatur diarahkan dan dibatasi dalam ruang lingkup sesuai dengan alur topik penelitian yaitu pemanfaatan kembali gas buang mesin kapal dengan menggunakan termoelektrik generator sebagai sumber arus ICCP.

### 3.5 Pengumpulan Data

Pada tahapan ini berfokus pada pengumpulan data pendukung baik primer (sesuai data kapal yang diteliti) dan sekunder (berdasarkan hasil penelitian sebelumnya). Data yang diperlukan dari kapal yang diteliti berupa data *general arrangement* (GA), spesifikasi *auxiliary engines* untuk menegatui suhu pada *exhaust system* serta layout kamar mesin secara detail.

### 3.6 Perhitungan Luasan Lambung Kapal Tercelup

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan manual untuk mengetahui luasan lambung kapal yang tercelup air pada kapal yang diteliti. Perhitungan didasarkan pada rumus *waterline area* sehingga didapat luasan yang digunakan untuk analisis proteksi korosi. Langkah berikutnya adalah validasi nilai luasan dari perhitungan manual dengan cara dibandingkan dengan hasil dari *maxsurf modeller*. Nilai tertinggi dijadikan acuan dalam penelitian ini.

### 3.7 Perhitungan Modul TEG dan Kebutuhan Listrik

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan kebutuhan modul TEG dan kebutuhan listrik berdasarkan rumus dan metode penelitian sebelumnya. Perhitungan dilakukan secara bertahap sesuai dengan kebutuhan dan teori yang mendukung. Untuk perhitungan kebutuhan listrik disesuaikan dengan kebutuhan proteksi korosi sistem ICCP untuk bagian lambung kapal tercelup. Hasil perhitungan divalidasi menggunakan spesifikasi modul TEG dan bentuk kapal.

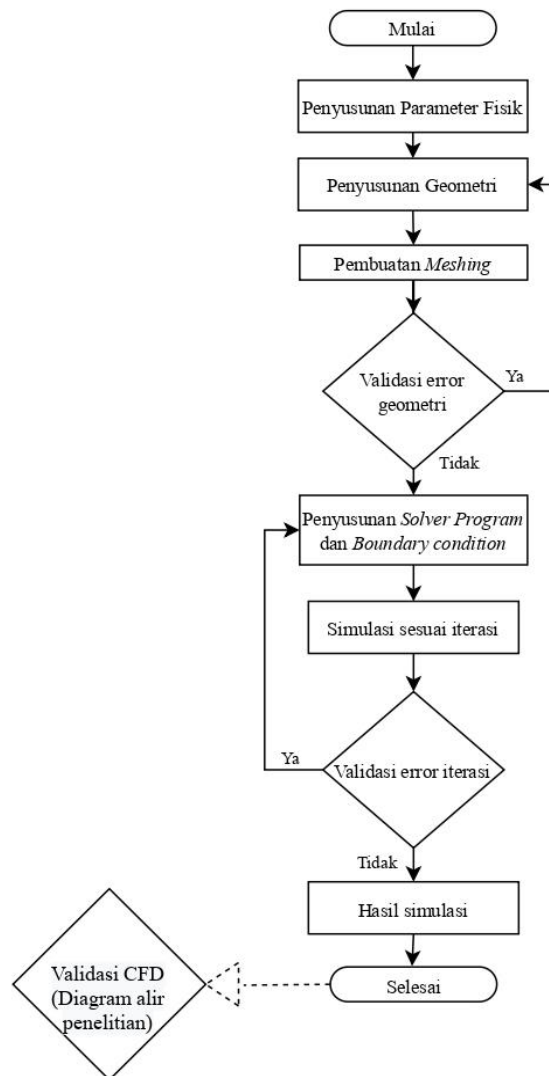
### 3.8 Desain dan Pemodelan 3D Sistem

Tahapan berikutnya adalah melakukan perancangan desain dan 3D pada bagian yang akan diteliti untuk pemanfaatan panas dari mesin diesel berupa *heat exchangers*, *thermoelectric generator* dan *heat sink*. Dalam tahap ini juga dilakukan perencanaan susunan modul TEG serta perencanaan bagian terkena panas dan dingin. Dalam penelitian ini juga dilakukan perencanaan untuk bagian *exhaust*. Permodelan dilakukan dengan menggunakan aplikasi *solid work* sehingga bentuk dari sistem yang disimulasikan disesuaikan dengan spesifikasi dan *layout* kamar mesin. Apabila hasil perancangan tidak sesuai dengan validasi pada perhitungan sebelumnya, maka dilakukan desain kembali dengan tetap melakukan validasi.

### 3.9 Simulasi CFD Sistem

Pada tahapan ini dilakukan simulasi berdasarkan desain 3D pada tahapan sebelumnya. Simulasi dilakukan dengan bantuan aplikasi *computational fluid dynamics* (CFD) berupa *ANSYS Fluent* untuk mendapatkan suhu buang dan suhu yang diserap oleh TEG. Simulasi didasarkan pada kondisi termodinamika ideal yaitu sirkulasi fluida dalam

keadaan tunak atau *steady state* dan dianggap dalam keadaan ideal, dan tidak ada kebocoran atau kehilangan energi; Kehilangan energi panas dan penurunan tekanan pada pipa tiap sisi termoelektrik diabaikan; Energi kinetik dan energi potensial fluida diabaikan; Proses kerja dianggap isentropik, dan tidak ada kerugian yang permanen. Hasil akhir dari simulasi divalidasi menggunakan data sekunder dari penelitian sebelumnya.



Gambar 3.2 Diagram alir simulasi CFD

### **3.10 Analisis Sistem Secara Keseluruhan**

Pada tahapan ini hasil luaran dari tahap sebelumnya dianalisis. Analisis berupa nilai arus yang diproduksi dengan TEG berdasar panas buang kemudian dihitung jumlah anoda yang dibutuhkan untuk melindungi kapal secara keseluruhan. Analisis perhitungan arus disesuaikan dan dibandingkan dengan luasan kapal tercelup apakah mampu melindungi kapal atau tidak. Hasil analisis berupa perhitungan pada tiap komponen perhitungan arus berdasar pada efek seabeck serta komparasi kebutuhan kapal dengan hasil kebutuhan proteksi korosi dari sistem ICCP.

### **3.11 Kesimpulan, Rekomendasi dan Penyusunan Laporan Akhir**

Tahap terakhir dari penelitian berupa penarikan kesimpulan berdasarkan pada rumusan dan tujuan yang telah dituliskan. Rekomendasi penelitian didasarkan pada hasil dan kemungkinan penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan kembali panas buang untuk sistem ICCP menggunakan termoelektrik generator. Untuk menyempurnakan penelitian, semua hasil dari tahap pertama hingga tahap terakhir dituliskan dalam laporan akhir sehingga dapat dibaca dan dimanfaatkan untuk penelitian lain.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pendahuluan

Hasil dan pembahasan penelitian mengenai pemanfaatan panas buang menggunakan TEG untuk sistem proteksi dijelaskan pada bab ini. Uraian hasil sesuai dengan hasil pada tiap tahapan pada bagian sebelumnya. Hasil akhir melingkupi nilai numerik dan analisis hasil simulasi berdasarkan data dan grafik.

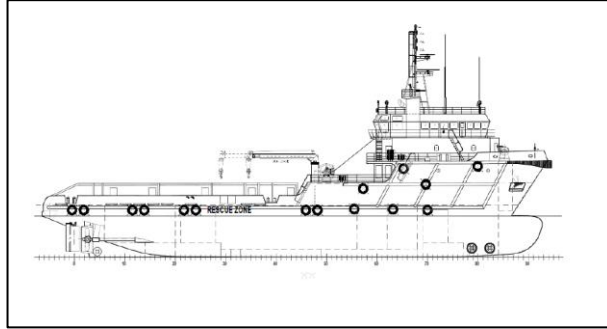
#### 4.2 Data Utama Kapal Penelitian

##### 4.2.1 Ukuran utama kapal

Dalam melakukan penelitian, objek yang diteliti adalah kapal *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS) yang dianalisis dan dilakukan perhitungan mengenai penerapan sistem TEG berbasis panas buang dari generator utama kapal untuk perlindungan korosi lambung kapal.

Tabel 4.1 Data utama kapal penelitian

|                                     |   |        |                                  |
|-------------------------------------|---|--------|----------------------------------|
| LOA ( <i>Length over all</i> )      | : | 65     | m                                |
| LWL ( <i>Length of waterline</i> )  | : | 60,32  | m                                |
| B ( <i>Breadth</i> )                | : | 15,14  | m                                |
| H ( <i>Height</i> )                 | : | 6,58   | m                                |
| T ( <i>Draught</i> )                | : | 5,21   | m                                |
| Vs ( <i>Speed</i> )                 | : | 14     | knots                            |
| Route                               | : | 4000   | Nautical Miles                   |
|                                     |   |        | Brazilian Sea - Mexican Gulf Sea |
| Cb ( <i>Coeficient block</i> )      | : | 0,736  |                                  |
| Cm ( <i>Coeficient midship</i> )    | : | 0,9885 |                                  |
| Cp ( <i>Coeficient prismatic</i> )  | : | 0,74   |                                  |
| Cwl ( <i>Coeficient waterline</i> ) | : | 0,77   |                                  |
| Tfh                                 | : | 25     | (Asumsi)                         |



Gambar 4.1 Desain tampak samping kapal AHTS sebagai objek penelitian

#### 4.2.2 Data *main generator* kapal penelitian

Pada kapal penelitian panas buang yang digunakan berasal dari *main generator* kapal AHTS sebagai sumber panas yang dimanfaatkan kembali. *Main generator* menghasilkan nilai panas dalam rentang nilai yang stabil dikarenakan fungsinya yang bekerja secara terus menerus. Pada kapal AHTS yang diteliti digunakan *main generator* fabrikasi CATERPILLAR tipe C18.



Gambar 4.2 *Main generator* CAT 18

Tabel 4.2 Data utama *main generator* CAT C18 pada kapal penelitian

|                  |       |      |
|------------------|-------|------|
| Power rating     | 565   | kW   |
| RPM              | 1800  |      |
| Frequency        | 60    | Hz   |
| SFOC (100% load) | 152,8 | l/hr |
| Number of Cyc.   | 12    |      |
| Bore             | 145   | mm   |
| Stroke           | 183   | mm   |

### 4.3 Perhitungan Kebutuhan Komponen Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)

#### 4.3.1 Perhitungan Luasan Lambung Basah

Sistem yang dirancang merupakan sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP) untuk bagian yang tercelup air laut. Pada kapal AHTS yang merupakan salah satu tipe kapal dengan waktu operasi cukup lama diperairan laut dalam terutama disekitar kilang minyak lepas pantai membutuhkan proteksi dari korosi untuk lambung kapal secara terus menerus. Perhitungan awal luasan lambung basah menggunakan berbandingan 4 metode yang berbeda.

##### a. Metode Holtrop-Mennen (1982) [*Waterline Coefficient*]

$$WSA = L \cdot (B + 2 \cdot T) \cdot \sqrt{c_m} \cdot (0,453 + 0,4425 \cdot C_B - 0,2862 \cdot c_m - 0,003457 \cdot \frac{B}{T} + 0,3696 \cdot c_w) \quad (4.1)$$

Dimana:

WSA : Luasan lambung basah

L : Panjang keseluruhan (LOA)

B : Lebar kapal

T : Draft kapal

$C_m$  : Koefisien *midship*

$C_B$  : Koefisien blok

$C_w$  : Koefisien *waterline*

$$\begin{aligned} WSA &= 65 \cdot (15,14 + 2 \cdot (5,21)) \cdot \sqrt{0,9885} \cdot (0,453 + 0,4425(0,736) - 0,2862(0,9885) - \\ &\quad 0,003457 \cdot \frac{15,14}{5,21} + 0,3696(0,77)) \\ WSA &= 632,52 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

##### b. Metode Holtrop

$$WSA = L \cdot (B + 2 \cdot T) \cdot \sqrt{c_m} \cdot (0,53 + 0,632 \cdot C_B - 0,360(C_m - 0,5) - 0,00135 \cdot \frac{L}{T}) \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} WSA &= 65 (15,14 + 2 (5,21)) \sqrt{0,9885} (0,53 + 0,632(0,746) - 0,360(0,9885 - 0,5 \\ &\quad - 0,00135 \cdot \frac{65}{5,21}) \\ WSA &= 1333,19 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

**c. Metode Harvald**

$$S = 1,025 L (Cb.B + 1,7 T) \quad (4.3)$$

$$S = 1,025 (65) (0,746(15,14) + 1,7 (5,21))$$

$$S = \mathbf{993,58 \text{ m}^2}$$

**d. Metode dari *paint maker* (Seajet)**

$$\text{Underwater area} = Lwl (B + D) 0,75 \quad (4.4)$$

Dimana:

D : Tinggi kapal (*Height*)

$$\text{Underwater area} = 60,32 (15,14 + 6,58) 0,75$$

$$\text{Underwater area} = \mathbf{982,613 \text{ m}^2}$$

Tabel 4.3 Perbandingan hasil perhitungan luasan basah tiap metode perhitungan

| Metode                      | Hasil luasan                 |
|-----------------------------|------------------------------|
| Holtrop-Mennen              | 632,52 m <sup>2</sup>        |
| <b>Holtrop</b>              | <b>1333,19 m<sup>2</sup></b> |
| Harvald                     | 993,58 m <sup>2</sup>        |
| <i>Paint maker</i> (Seajet) | 982,613 m <sup>2</sup>       |

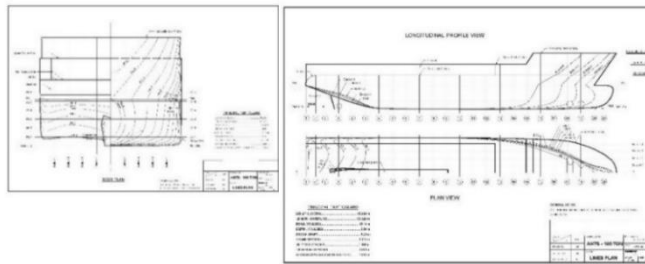
Dari hasil perhitungan luasan basah menggunakan 4 metode berbeda diambil nilai tertinggi dari hasil yang telah didapatkan. Hal ini dilakukan agar kebutuhan proteksi ICCP dapat mencakup semua luasan basah memiliki toleransi sehingga perlindungan lambung dapat maksimal. Hasil yang digunakan sebagai acuan awal adalah perhitungan menggunakan metode **Holtrop** dengan hasil **1333.19 m<sup>2</sup>**.

**4.3.2 Perhitungan Luasan Basah menggunakan Maxsurf**

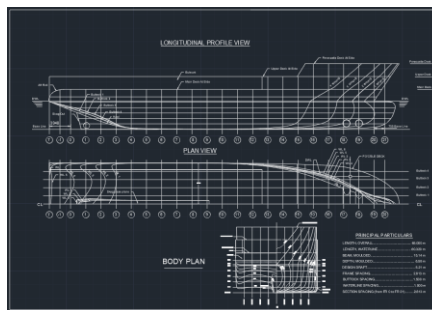
Tahap validasi nilai luasan basah dilakukan dengan melakukan pemodelan kapal AHTS menggunakan *software maxsurf*. Langkah validasi ini dilakukan sesuai prosedur dalam melakukan desain 3D kapal sehingga didapatkan nilai luasan basah atau bagian lambung tercelup.

## 1. Re-draw desain lines plan kapal

Permodelan awal dimulai dengan meninjau ulang desain *lines plan* yang telah ada kemudian dilakukan *re-draw* menggunakan *software autoCAD*. Tahap permodelan ini disesuaikan dengan dimensi nyata dari kapal penelitian yang digunakan.



Gambar 4.3 *Lines plan* kapal penelitian

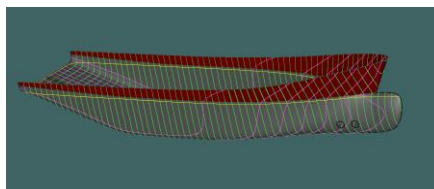


Gambar 4.4 Hasil *re-draw lines plan* pada *software autoCAD*

Dari gambar *lines plan* yang telah ada kemudian dilakukan pencatatan data tabel *offset* yang dilakukan sesuai dengan sisi tiap kapal. Hasil dari tabel dimasukkan sebagai inputan dalam penggambaran 3D pada tahap selanjutnya.

## 2. Permodelan 3D kapal

Dari gambar *lines plan* yang telah ada kemudian dilakukan pencatatan data tabel *offset* yang dilakukan sesuai dengan sisi tiap kapal. Hasil dari tabel tersebut dimasukkan sebagai inputan dalam penggambaran 3D pada tahap selanjutnya.



Gambar 4.5 Model 3D *hull* kapal penelitian

### 3. Hasil luasan basah maxsurf

Setelah 3D desain dari lambung kapal terbentuk, selanjutnya adalah pendefinisian luasan basah dibawah garis air atau dibawah sarat air. Hasil dari luasan basah kapal ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data luasan basah kapal maxsurf

| <b>Surface</b>                              | <b>Below DWL 3D true surface area m<sup>2</sup></b> |
|---|---|
| Topsides                                    | 0   |
| Bottom                                      | 903,873   |
| Topsides Bowcone                            | 0   |
| Aft Roll                                    | 0   |
| Maindeck                                    | 0   |
| LowerAccomSides                             | 0   |
| LowerAccomRoof                              | 0   |
| UpperAccomSides                             | 0   |
| UpperAccomRoof                              | 0   |
| Bulbous bow                                 | 29,254  |
| LowerStepup                                 | 0   |
| 1st Deck                                    | 0   |
| 01 Acc Deck                                 | 0   |
| InnerBulwarks                               | 0   |
| Transom                                     | 0   |
| AftRollCut                                  | 0   |
| UpperStepup                                 | 0   |
| Chine                                       | 0   |
| ChineBowcone                                | 0   |
| Skeg sides                                  | 46,357  |
| Skeg bottom                                 | 17,995  |
| Skeg end                                    | 3,723   |
| MiddleAccomSides                            | 0   |
| MiddleAccomRoof                             | 0   |
| SuperAft                                    | 0   |
| <b>Total Below DWL 3D true surface area</b> | <b>1001,202</b>                                     |

#### 4.3.3 Penentuan nilai luasan basah akhir

Perhitungan luasan basah menggunakan 2 metode yang berbeda yaitu kalkulasi berdasarkan rumus dan hasil dari permodelan 3D menunjukkan nilai yang

cukup jauh. Oleh karena itu penentuan nilai luasan basah menggunakan nilai titik tengah dari 2 data acuan yang telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 4.5 Rekapitulasi nilai luasan basah dari 2 metode

| Metode                          | Hasil luasan                 |
|---------------------------------|------------------------------|
| Holtrop                         | 1333,19 m <sup>2</sup>       |
| Maxsurf                         | 1001,202 m <sup>2</sup>      |
| <b>Luasan basah tervalidasi</b> | <b>1160,20 m<sup>2</sup></b> |

Dari hasil penentuan nilai titik tengah atau rata-rata nilai luasan basah dari 2 metode didapatkan besarnya luasan basah kapal adalah **1160,20 m<sup>2</sup>**. Nilai ini menjadi acuan pada perhitungan kebutuhan sistem proteksi katodik pada tahap berikutnya.

#### 4.3.4 Perhitungan kebutuhan arus ICCP

Sistem proteksi ICCP menggunakan nilai arus secara kontinyu untuk melindungi bagian lambung kapal. Kebutuhan arus disesuaikan dengan nilai luasan yang dilindungi, dalam penelitian ini luasan yang dijadikan acuan dalam perhitungan kebutuhan arus adalah luasan lambung basah yang telah dihitung pada tahap sebelumnya.

##### 1. Perhitungan *breakdown coating factor*

*Breakdown coating factor* merupakan faktor kerusakan pelapis atau pelindung cat. Faktor ini disesuaikan dengan regulasi dan peraturan yang berlaku, dalam penelitian ini perhitungan *breakdown coating factor* mengacu pada *Recommended Practice* Det Norske Veritas DNV-RP-B401.

$$f_{cm} = k_1 + k_2 \frac{t_f}{2} \quad (4.5)$$

$$f_{cf} = k_1 + k_2 t_f \quad (4.6)$$

Persamaan lanjutan apabila nilai  $f_{cm}$  dan  $f_{cf} > 1$ :

$$f_{cm} = 1 - \frac{(1-k_1)^2}{2 b t_f} \quad (4.7)$$

Dimana:

$f_{cm}$  : Mean breakdown factor

$f_{cf}$  : Final breakdown factor

$k_1$  : Koefisien 1

$k_2$  : Koefisien 2

$t_f$  : Design time

Tabel 4.6 Data koefisien cat (*Recommended Practice* Det Norske Veritas DNV-RP-B401)

| Category | Description  | k <sub>1</sub> | k <sub>2</sub><br>0-30m | k <sub>2</sub><br>>30m |
|----------|--|----------------|-------------------------|------------------------|
| I        | One layer of primer coat, about 50 µm nominal DFT.   | 0.10           | 0.10                    | 0.05                   |
| II       | One layer of primer coat, plus minimum one layer of intermediate top coat, 150 - 250 µm nominal DFT. | 0.05           | 0.03                    | 0.02                   |
| III      | One layer of primer coat, plus minimum two layers of intermediate/top coats, 300 µm nominal DFT.     | 0.02           | 0.015                   | 0.012                  |
| IV       | One layer of primer coat, plus minimum three layers of intermediate/top coats, 450 µm nominal DFT.   | 0.02           | 0.012                   | 0.012                  |

Dengan acuan kapal AHTS merupakan kapal yang beroperasi pada laut dalam dengan jangka waktu yang lama ketika beroperasi, kapal AHTS masuk dalam kategori IV untuk pelapisan yaitu memiliki pelapisan dengan 1 layer utama dan minimal 3 layer pelapis lanjutan dengan nominal 450 µm DFT. Kapal AHTS yang diteliti memiliki waktu rencana operasi adalah 25 tahun sehingga nilai dari *design time* mengacu pada nilai tersebut. Nilai koefisien dan nilai *design time* kemudian dimasukkan dalam persamaan 4.5 dan 4.6 sehingga hasilnya adalah sebagai berikut.

$$f_{cm} = k_1 + k_2 \frac{t_f}{2}$$

$$f_{cm} = 0,02 + 0,012 \frac{25}{2}$$

$$f_{cm} = \mathbf{0.17}$$

$$f_{cf} = k_1 + k_2 t_f$$

$$f_{cf} = 0,02 + 0,012 (25)$$

$$f_{cf} = \mathbf{0.32}$$

Hasil perhitungan *breakdown factor* < 1, yang artinya tidak diperlukan perhitungan lanjutan sehingga nilai yang didapat dijadikan nilai acuan dalam perhitungan kebutuhan arus selanjutnya.



## 2. Perhitungan kebutuhan arus

Perhitungan arus untuk memenuhi kebutuhan ICCP didasarkan pada luasan yang akan dilindungi, kondisi lingkungan dalam hal ini adalah karakteristik air laut dan *breakdown coating factor*. Selain itu toleransi nilai perhitungan diaplikasikan dalam rentang 15% untuk menjaga nilai perhitungan sehingga tetap dapat menyuplai kebutuhan arus.

$$I_p = WSA \times \text{Current Density} \times f_{cm} \times (1 + 0,15) \quad (4.8)$$

Dimana:

$I_p$  : Nilai arus untuk proteksi katodik

WSA : *Mean breakdown factor*

*Current density* : *Final breakdown factor*

$f_{cm}$  : *Mean breakdown factor*

Tabel 4.7 Nilai awal, akhir dan rata-rata *current density* untuk berbagai kondisi iklim dan kedalaman laut (berdasarkan kondisi iklim tahunan dan rata-rata suhu permukaan air sepanjang tahun)

| Design Current Densities (A/m <sup>2</sup> ) |                |       |         |                       |       |         |                   |       |         |             |       |         |
|--|----------------|-------|---------|-----------------------|-------|---------|-------------------|-------|---------|-------------|-------|---------|
|  | Tropical >20°C |       |         | Sub-Tropical 12°-20°C |       |         | Temperate 7°-12°C |       |         | Arctic <7°C |       |         |
| Depth (m)                                    | Initial        | Final | Average | Initial               | Final | Average | Initial           | Final | Average | Initial     | Final | Average |
| 0 - 30                                       | 0.150          | 0.090 | 0.070   | 0.170                 | 0.110 | 0.080   | 0.200             | 0.130 | 0.100   | 0.250       | 0.170 | 0.120   |
| >30  | 0.130          | 0.080 | 0.060   | 0.150                 | 0.090 | 0.070   | 0.180             | 0.110 | 0.080   | 0.220       | 0.130 | 0.100   |

Rute perairan pelayaran kapal penelitian adalah *Brazilian Sea - Mexican Gulf Sea* yang termasuk dalam perairan tropis. Sehingga nilai *current density* yang digunakan sesuai dengan tabel 4.7 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8 *Current density* yang digunakan dalam penelitian

| Depth (m) | Initial | Final | Average |
|-----------|---------|-------|---------|
| >30       | 0,13    | 0,09  | 0,06    |

Dengan data-data pada perhitungan sebelumnya kemudian dimasukkan dalam persamaan 4.8. Maka hasil yang diperoleh adalah

**Initial**

$$I_p = WSA \times \text{Current Density} \times f_{cm} \times (1 + 0,15)$$

$$I_p = 1160,2 \times 0,13 \times 0,17 \times (1 + 0,15)$$

$$I_p = \mathbf{33,883}$$

**Final**

$$I_p = WSA \times \text{Current Density} \times f_{cm} \times (1 + 0,15)$$

$$I_p = 1160,2 \times 0,08 \times 0,17 \times (1 + 0,15)$$

$$I_p = \mathbf{23,46}$$

**Average**

$$I_p = WSA \times \text{Current Density} \times f_{cm} \times (1 + 0,15)$$

$$I_p = 1160,2 \times 0,06 \times 0,17 \times (1 + 0,15)$$

$$I_p = \mathbf{13,69}$$

Tabel 4.9 Perbandingan nilai arus tiap kondisi

| Initial (A) | Final (A) | Average (A)  |
|-------------|-----------|--------------|
| 33,88       | 23,46     | <b>13,69</b> |

Nilai yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya adalah nilai rata-rata kebutuhan arus. Hal ini disesuaikan dengan kondisi perairan yang tidak hanya satu titik melainkan jalur yang Panjang dengan bentang perairan yang luas. Nilai arus rata-rata menjadi acuan bahwa perairan tersebut dalam kurun waktu satu tahun mengalami nilai yang sama sepanjang wilayah iklim sesuai tabel 4.7. Sehingga nilai arus yang digunakan sebagai acuan adalah **13.69 Ampere**.

Mengacu pada *ABS rules 'Cathodic Protection of Ships 2017'* untuk pertimbangan nilai arus proteksi ICCP harus ditambahkan dengan dengan margin 25% untuk memastikan nilai arus yang mengalir dapat mengikuti keadaan laju korosi laut jalur pelayaran.

Oleh karena itu nilai kebutuhan arus berubah menjadi,

$$I_p = I_{p_{avg}} + 25\% I_{p_{avg}} \quad (4.9)$$

$$I_p = 13,69 + 3,4225$$

$$I_p = 17,1 \text{ A}$$

Sehingga nilai arus yang digunakan sebagai acuan akhir adalah **17.1 Ampere**.

#### 4.4 Perhitungan Anoda

##### 4.4.1 Pemilihan anoda

Pemilihan anoda didasarkan pada ketersediaan anoda ICCP yang ada di pasar. Dipilih anoda fabrikasi dari Cathwell dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.10 Material anoda ICCP

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Model                         | Cathwell ICCP disc anode Ø370<br>MMO/Ti w/cofferdam, ADS-2 |
| Diameter                      | 370 mm   |
| Ketebalan                     | 16 mm  |
| Berat                         | 43 kg  |
| Material layer                | Mixed Metal Oxide (MMO)                                    |
| Material base                 | Titanium   |
| <i>Design current density</i> | 100 A/m <sup>2</sup>                                       |

##### 4.4.2 Perhitungan luasan permukaan anoda

Perhitungan luasan permukaan anoda didasarkan pada jenis anoda yang digunakan. Kemudian nilai atau besarnya anoda direncanakan dengan bentuk lingkaran. Dengan menggunakan persamaan umum bangun datar, maka luasan dari tiap anoda adalah sebagai berikut

$$A = \pi r^2 \quad (4.10)$$

$$A = \pi(185^2)$$

$$A = 107564 \text{ mm}^2$$

$$A = 0,10756 \text{ m}^2$$

##### 4.4.3 Perhitungan jumlah kebutuhan anoda

Dalam perancangan sistem ICCP secara keseluruhan jumlah anoda yang dipasang ditentukan berdasarkan nilai kebutuhan arus dan luasan anoda yang digunakan.

$$N = \frac{I_p}{\text{Anode density} \times \text{Anode surface area}} \quad (4.11)$$

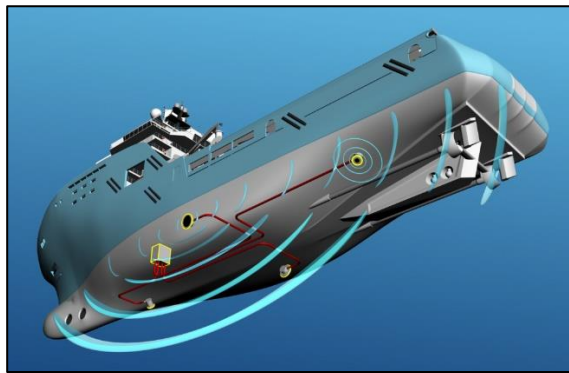
Dengan data yang didapatkan sebelumnya kemudian dimasukkan dalam persamaan 4.11. Nilai *anode density* disesuaikan dengan jenis material yang digunakan sesuai tabel 4.10. Nilai yang diambil dalam perhitungan menggunakan nilai minimum dari *anode density* yaitu sebesar **100 A/m<sup>2</sup>**.

$$N = \frac{I_p}{\text{Anode density} \times \text{Anode surface area}}$$

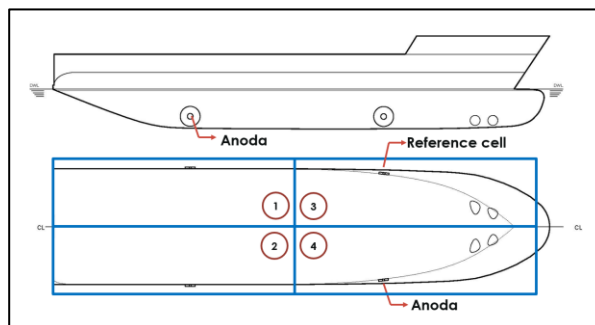
$$N = \frac{17,1 \text{ A}}{100 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \times 0,10756 \text{ m}^2}$$

$$N = 1,6 \approx 2 \text{ (Dibulatkan ke atas)}$$

Mengacu pada *guide* dari Cathwell mengenai jumlah anoda yang digunakan pada kapal jenis AHTS sesuai Gambar 4.5 yaitu memiliki anoda ICCP dan *reference cell* berjumlah masing-masing 2. Anoda yang digunakan dapat dialiri input berapapun dengan nilai proteksi sesuai dengan nilai input. Pemasangan anoda ICCP secara kasar untuk penelitian ini ditunjukkan oleh gambar



Gambar 4.6 Contoh pemasangan anoda ICCP dan *reference cell* oleh Cathwell untuk kapal jenis AHTS dan memiliki panjang < 140 m



Gambar 4.7 Pemasangan lokasi anoda secara kasar

#### 4.4.4 Perhitungan hambatan anoda

Hambatan anoda merupakan nilai hambatan dari anoda yang terkena zat penyalur electron, dalam hal ini adalah air laut. Nilai hambatan lingkungan air laut didasarkan pada tabel 4.11. Nilai hambatan lingkungan dari air laut sesuai tabel 4.11 adalah 0.2.

Tabel 4.11 Resistivas lingkungan fluida

| Type of water   | Resistivity ( $\Omega\text{m}$ ) |
|---|----------------------------------|
| Precipitation   | 30 - 1000                        |
| Surface water, in areas of igneous rock                           | 30 - 500                         |
| Surface water, in areas of sedimentary rock                       | 10 - 100                         |
| Groundwater , in areas of igneous rock                            | 30 - 150                         |
| Groundwater , in areas of sedimentary rock                        | > 1                              |
| Sea water   | $\approx 0.2$                    |
| Drinking water (max. salt content 0.25%)                          | > 1.8                            |
| Water for irrigation and stock watering (max. salt content 0.25%) | > 0.65                           |

$$R_a = \frac{0,315 \rho}{\sqrt{A}} \quad (4.12)$$

Dengan data yang didapatkan sebelumnya kemudian dimasukan dalam persamaan 4.12.

$$R_a = \frac{0,315 \rho}{\sqrt{A}}$$

$$R_a = \frac{0,315 (0,2)}{\sqrt{0,10756}}$$

$$R_a = 1,18 \Omega$$

#### 4.5 Perhitungan kebutuhan rectifier dan kabel

##### 4.5.1 Perhitungan hambatan kabel

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (4.13)$$

Dimana:

R : Hambatan kabel

$\rho$  : Resistivitas listrik

A : Luas penampang kabel

Untuk menentukan nilai hambatan kabel dibutuhkan data acuan sebagai input data pada rumus. Data yang digunakan sesuai pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Resistivitas listrik, konduktivitas termal pada beberapa material untuk suhu 293 K

|             | Electrical Resistivity         | Thermal Conductivity          | Relative Electrical Conductivity | Relative Thermal Conductivity |
|-------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| (Metal 100) | at 293 K, $\mu\Omega\text{cm}$ | $\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$ | (Copper = 100)                   | (Copper = 100)                |
| Silver      | 1.63                           | 419                           | 104                              | 106                           |
| Copper      | 1.694                          | 397                           | 100                              | 100                           |
| Gold        | 2.2                            | 316                           | 77                               | 80                            |
| Aluminum    | 2.67                           | 238                           | 63                               | 60                            |
| Beryllium   | 3.3                            | 194                           | 51                               | 49                            |
| Magnesium   | 4.2                            | 155                           | 40                               | 39                            |
| Tungsten    | 5.4                            | 174                           | 31                               | 44                            |
| Zinc        | 5.96                           | 120                           | 28                               | 30                            |
| Nickel      | 6.9                            | 89                            | 24                               | 22                            |
| Iron        | 10.1                           | 78                            | 17                               | 20                            |
| Platinum    | 10.58                          | 73                            | 16                               | 18                            |
| Tin         | 12.6                           | 73                            | 13                               | 18                            |
| Lead        | 20.6                           | 35                            | 8.2                              | 8.8                           |
| Titanium    | 54                             | 22                            | 3.1                              | 5.5                           |
| Bismuth     | 117                            | 9                             | 1.4                              | 2.2                           |

Adapted from Brandes, E. A., Ed., *Smithells Metals Reference Book*, Sixth Edition, Butterworth, Inc. 1983. (Used by permission.)

Material digunakan untuk kabel adalah tembaga yang memiliki nilai resistivitas listrik sebesar  $1.694 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$ . Sedangkan untuk luas penampang disesuaikan dengan ketersediaan jenis kabel dipasaran sesuai tabel 4.14.

Dari ketersediaan kabel yang ada dipilih nilai dengan kemampuan hantar arus mencapai  $18\text{A}$  dengan luas penampang  $1.5 \text{ mm}^2$ . Hal ini dilakukan sebagai langkah preventif ketika terjadi lonjakan arus. Penentuan nilai panjang kabel adalah asumsi sesuai dengan setengah panjang kapal. Oleh karena itu, panjang kabel diestimasikan adalah 120 meter.

Tabel 4.13 Rekapitulasi nilai panjang, luas dan resistivitas listrik kabel

| Luas ( $\text{mm}^2$ ) | Panjang (m) | Resistivitas listrik ( $\Omega\text{m}$ ) |
|------------------------|-------------|---|
| 1,5                    | 120         | $1,694 \times 10^{-8}$                    |

Tabel 4.14 Tabel kemampuan hantar arus

| No  | Penampang Kabel<br>( mm <sup>2</sup> ) | Kemampuan membawa Arus<br>( Ampere ) |
|-----|--|--------------------------------------|
| 1.  | 0,75                                   | 12                                   |
| 2.  | 1                                      | 15                                   |
| 3.  | 1,5                                    | 18                                   |
| 4.  | 2,5                                    | 26                                   |
| 5.  | 4                                      | 34                                   |
| 6.  | 6                                      | 44                                   |
| 7.  | 10                                     | 61                                   |
| 8.  | 16                                     | 82                                   |
| 9.  | 25                                     | 108                                  |
| 10. | 35                                     | 135                                  |
| 11. | 50                                     | 168                                  |
| 12. | 70                                     | 207                                  |
| 13. | 95                                     | 250                                  |
| 14. | 120                                    | 292                                  |

Data yang telah didapat kemudian dimasukkan dalam persamaan 4.13.

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

$$R = \frac{1,694 \times 10^{-8}(120)}{1,5 \times 10^{-6}}$$

$$R = 1,35 \Omega$$

#### 4.5.2 Perhitungan hambatan total sistem

Nilai hambatan total sistem adalah jumlah nilai hambatan untuk kabel dan anoda. Nilai ini menjadi acuan penentuan voltase rectifier.

$$R_T = R_a + R \quad (4.14)$$

$$R_T = 1.18 + 1.35$$

$$R_T = 2,53 \Omega$$

#### 4.5.3 Perhitungan voltase rectifier

Dari data kebutuhan arus dan hambatan total sistem dapat dicari nilai voltase dari *rectifier* yang digunakan. Namun untuk mengatasi adanya tegangan jatuh, sistem yang dirancang harus menambahkan toleransi sebesar 20% dan tambahan 2 Volt DC. Perhitungan kebutuhan voltase *rectifier* ditunjukkan pada persamaan 4.15.

$$Vr = (I_p \times R_t) \times (1 + 0,2) + 2 \quad (4.15)$$

$$Vr = (17,1 \times 1,518) \times (1 + 0,2) + 2$$

$$Vr = 54,02 \approx \mathbf{54 V}$$

#### 4.6 Perhitungan mass flowrate dan temperature main generator

Sebagai acuan dalam melakukan pendesainan sistem ICCP menggunakan TEG pada *heat waste exhaust* diperlukan nilai *mass flowrate* dan temperatur yang dihasilkan oleh *main generator*. Perhitungan didasarkan pada load 100% dan akan dirinci pada tiap beban kerja.

$$\dot{m}_E = \dot{m}_f + \dot{m}_a \quad (4.16)$$

Dimana:

$\dot{m}_E$  : *Exhaust Gas Mass Flow Rate*

$\dot{m}_f$  : *Fuel Mass Flow Rate*

$\dot{m}_a$  : *Air Mass Flow Rate*

- ***Fuel mass flow rate***

Nilai *mass flow rate* atau laju aliran masa bahan bakar pada *load* 100% telah disajikan oleh pihak fabrikasi sesuai dengan data pada tabel 4.2.

$$\dot{m}_f : 152,8 \text{ l/hr} \approx 152,8 \text{ kg/hr}$$

- ***Air mass flow rate***

Laju aliran masa udara pada *exhaust main generator* mengacu pada karakteristik udara luaran *exhaust* dan jenis *main generator*. Perhitungan laju masa udara didapatkan melalui persamaan 4.17.

$$\dot{m}_a = \eta_v \times \rho_a \times n \times V_s \quad (4.17)$$

Dimana:

$\eta_v$  : Volumetric efficiency (0.8-0.9)



$$\begin{aligned}
 & : \mathbf{0.85 \text{ (Asumsi)}} \\
 \rho_a & : \text{Air Fuel Density (kg/m}^3\text{)} \\
 & : \mathbf{1.167 \text{ kg/m}^3} \\
 n & : \text{speed (RPM)} \\
 & : \mathbf{1800} \\
 V_s & : \text{Volume of Combustion Chamber (m}^3\text{)} \\
 & : \pi \times \text{bore}^2 \times \text{stroke} \times \text{number of cylinder} / 4 \\
 & : (\pi (145 \times 10^{-3})^2 (183 \times 10^{-3} (12))) / 4 \\
 & : \mathbf{0.03527 \text{ m}^3}
 \end{aligned} \tag{4.18}$$

$$\dot{m}_a = \eta_v \times \rho_a \times n \times V_s$$

$$\dot{m}_a = 0,85 \times 1,167 \times 1800 \times 0,03627$$

$$\dot{m}_a = 64,77 \text{ kg/min}$$

$$\dot{m}_a = \mathbf{3886,4 \text{ kg/hr}}$$

- *Mass flowrate total*

$$\dot{m}_E = \dot{m}_f + \dot{m}_a$$

$$\dot{m}_E = 152,8 + 3886,4 = \mathbf{4039.2 \text{ kg/hr}}$$

Tabel 4.15 Rekapitulasi *flow rate* dan suhu gas buang

| %Load | Exh. Temp (°C) | Exh. Press (kpa) | Exh. Recovery | Exh. Temp (Final) °C | $\dot{m}_E$ (kg/hr) |
|-------|----------------|------------------|---------------|----------------------|---------------------|
| 110   | 668,8          | 262,1            | 279           | 389,8                | 4054,471            |
| 100   | 635,1          | 239,9            | 244           | 391,1                | 4039,191            |
| 90    | 601,9          | 210,5            | 209           | 392,9                | 4054,471            |
| 80    | 573,0          | 182,9            | 181           | 392,0                | 4039,191            |
| 75    | 562,8          | 172,1            | 171           | 391,8                | 3635,272            |
| 70    | 553,5          | 161,3            | 161           | 392,5                | 3231,353            |
| 60    | 535,9          | 139,5            | 144           | 391,9                | 3029,393            |
| 50    | 514,8          | 116,7            | 124           | 390,8                | 2827,434            |
| 40    | 486,6          | 93,5             | 101           | 385,6                | 2423,515            |
| 30    | 451,6          | 71,5             | 78,0          | 373,6                | 2019,596            |
| 25    | 425,9          | 61,4             | 64,8          | 361,1                | 1615,677            |

Dengan menggunakan perhitungan yang sama dilakukan perhitungan untuk tiap kondisi beban. Hasil perhitungan tiap beban ditunjukkan oleh tabel 4.15 yang telah meliputi nilai temperature tiap beban sesuai *datasheet* dari maker.

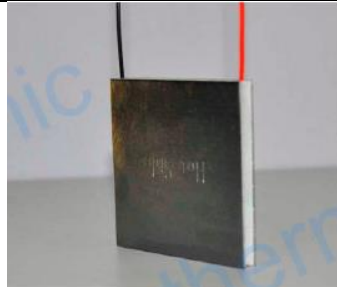
#### 4.7 Perhitungan modul termoelektrik generator

##### 4.7.1 Pemilihan modul termoelektrik generator

Pengambilan referensi modul didasarkan pada jenis material dan kemampuan menghasilkan listrik dari perbedaan suhu yang tinggi. Pemilihan TEG juga disesuaikan dengan ketersediaan modul di pasaran.

Tabel 4.16 Model acuan TEG

|             |   |
|-------------|---|
| Model       | TEHP1-12656-0.55                                    |
| Fabrication | Thermonamic Electronics<br>(Jiangxi) Corp., Ltd.,   |
| Material    | Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> [Bismuth Telluride] |



Gambar 4.8 Gambar modul TEG acuan

Tabel 4.17 Spesifikasi modul TEG

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Hot side temperature / Th</i>                           | 300       |
| <i>Cold Side Temperature / Tc</i>                          | 30        |
| <i>Open Circuit Voltage</i>                                | 8,6       |
| <i>Matched Load Resistance (ohm)</i>                       | 1,12      |
| <i>Matched load output voltage (V)</i>                     | 4,3       |
| <i>Matched load output current (A)</i>                     | 3,84      |
| <i>Matched load output power (W)</i>                       | 16,5      |
| <i>Heat flow across the module (W)</i>                     | 246       |
| <i>Heat flow density (W cm<sup>-2</sup>)</i>               | 7,8       |
| <i>AC tesistance (ohms) measured under 27 C at 1000 Hz</i> | 0,45-0,65 |
| <i>Area of thermocouple (mm<sup>2</sup>)</i>               | 10        |
| <i>Length (mm)</i>   | 4,6       |
| <i>n [Jumlah legs thermocouple]</i>                        | 50        |

#### 4.7.2 Spesifikasi koefisien material TEG

Untuk menghitung *output* nilai arus, voltase, dan daya dari TEG dibutuhkan nilai koefisien sesuai dengan material TEG. Koefisien ini dinyatakan dalam bentuk satuan sesuai dengan kemampuan material.

Tabel 4.18 Koefisien dari material Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>

|  |                      |          |
|--|----------------------|----------|
| <i>Seebeck Coeficient</i> ( $\mu V/K$ )            | -170                 | $\alpha$ |
| <i>Thermal Conductivity</i><br>( $W/(m \cdot K)$ ) | 1,5                  | $k$      |
| <i>Electrical Resistivity</i> ( $\Omega m$ )       | $1,3 \times 10^{-5}$ | $\rho$   |

#### 4.7.3 Penentuan temperatur perhitungan

Suhu panas dan dingin untuk melakukan perhitungan akan didasarkan pada kondisi suhu udara kamar mesin dan suhu panas maksimal yang dapat diterima oleh TEG sesuai tabel 4.17. Suhu kamar mesin mengacu pada peraturan *class* DNV-GL yaitu rentang suhu kamar mesin berkisar antara 0-45 °C.

Tabel 4.19 Tabel suhu dingin dan panas untuk perhitungan

|  |          |          |
|--|----------|----------|
| <i>Hot side temperature / Th</i>       | 330 (°C) | 603 (°K) |
| <i>Cold Side Temperature / Tc (°K)</i> | 40 (°C)  | 313 (°K) |

#### 4.7.4 Perhitungan *figure of merit*

*Figure of merit* dapat diartikan sebagai nilai atau besaran yang menunjukkan kemampuan termoelektrik, semakin besar nilainya maka semakin efektif termoelektrik dalam menghasilkan listrik yang dilambangkan dengan ZT.

$$ZT = \frac{\alpha^2 \bar{T}}{\rho k} \quad (4.19)$$

Dimana:

ZT : *Figure of merit*

$\alpha$  : *Seebeck Coeficient*

$\rho$  : *Thermal Conductivity*

k : *Electrical Resistivity*

$\bar{T}$  : *Mean temperature*

Dengan data pada tabel 4.18 kemudian dimasukan pada persamaan 4.19, maka diperoleh nilai ZT

$$ZT = \frac{\alpha^2 \bar{T}}{\rho k}$$

$$ZT = \frac{(-170 * 10^{-8} \text{ V/K})^2 (\frac{603 - 313}{2} \text{ K})}{1.5 \text{ W/(mK)} (0.00013 \text{ } \Omega\text{m})}$$

$$ZT = \mathbf{0,68}$$

Nilai *figure of merit* menunjukkan  $ZT > 0$  dimana hal ini berarti termoelektrik dapat digunakan walau menghasilkan listrik dalam jumlah kecil.

#### 4.7.5 Perhitungan hambatan modul TEG (R/L resistance)

Hambatan TEG tiap modul dapat dihitung menggunakan persamaan 4.13. Dengan menggunakan data *electrical resistivity* pada tabel 4.18 dan data spesifikasi modul pada table 4.17 maka diperoleh nilai hambatan modul TEG dengan asumsi nilai  $RL/R = 1$ .

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

$$R = \frac{2(13 * 10^{-7}) (4,6 * 10^{-3})}{10 * 10^{-6}}$$

$$R = \mathbf{0,01196 \Omega}$$

#### 4.7.6 Perhitungan output arus tiap modul

Perhitungan *output* arus tiap modul menggunakan data-data yang telah didapat sebelumnya yaitu data *seebeck coefficient* pada tabel 4.18, data suhu panas dan dingin pada tabel 4.19 dan data hambatan modul pada perhitungan sebelumnya.

$$I = \frac{\alpha (T_h - T_c)}{R_L + R} \quad (4.20)$$

Dimana:

$T_h$  : Temperatur panas

$T_c$  : Temperatur dingin

Dengan memasukan nilai data pada persamaan 4.20. Maka,

$$I = \frac{\alpha (T_h - T_c)}{R_L + R}$$

$$I = \frac{(-1 * 2 * (-170 * 10^{-6}) (603 - 313))}{0,01196 + 0,01196}$$

$$I = 4,12 A$$

#### 4.7.7 Perhitungan *output* voltase tiap modul

Perhitungan *output* voltase tiap modul menggunakan data-data yang telah didapat sebelumnya yaitu data *seebeck coefficient* pada tabel 4.18, data suhu panas dingin dan jumlah *thermocouple* pada tabel 4.17 dan data hambatan modul pada perhitungan sebelumnya.

$$V_n = \frac{n\alpha (T_h - T_c)}{\frac{R_L}{R} + 1} \left(\frac{R_L}{R}\right) \quad (4.21)$$

Dimana:

$V_n$  : Voltase modul

$n$  : Jumlah *thermocouple*

$$V_n = \frac{50(603 - 313)}{\frac{0,01196}{0,01196} + 1} \left(\frac{0,01196}{0,01196}\right)$$

$$V_n = \frac{50(603 - 313)}{\frac{0,01196}{0,01196} + 1} \left(\frac{0,01196}{0,01196}\right)$$

$$V_n = 4,9 V$$

#### 4.7.8 Perhitungan *output* daya tiap modul

Perhitungan *output* daya tiap modul menggunakan data-data yang telah didapat sebelumnya yaitu data *seebeck coefficient* pada tabel 4.18, data suhu panas dingin dan jumlah *thermocouple* pada tabel 4.17 dan data hambatan modul pada perhitungan sebelumnya.

$$W_n = \frac{n\alpha^2 (T_h - T_c)^2}{R} \frac{\frac{R_L}{R}}{\left(1 + \frac{R_L}{R}\right)^2} \quad (4.22)$$

Dimana:

$W_n$  : Daya modul

$$W_n = \frac{50((-1 * 2 * (-170 * 10^{-6}))^2(603 - 313)^2 \frac{0,01196}{0,01196}}{0,01196} \frac{0,01196}{(1 + \frac{0,01196}{0,01196})^2}$$

$$W_n = 10,2 \text{ W}$$

#### 4.8 Penentuan susunan modul termoelektrik generator

Susunan TEG diperlukan agar hasil *output* arus dapat maksimal dan mencukupi kebutuhan arus untuk sistem ICCP.

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L} \quad (4.23)$$

Dimana:

$I_f$  : Arus *output* sesuai rangkaian

$N_s$  : Jumlah susunan seri

$N_p$  : Jumlah susunan paralel

Perhitungan diasumsikan jumlah susunan seri dan paralel berjumlah 1.

$$I_f = \frac{1 (170 * 10^{-6} (603 - 313))}{\frac{1(170 * 10^{-6})}{1} + 0,01196}$$

$$I_f = 4,063 \text{ A}$$

Secara general dengan melakukan perhitungan yang sama dengan variasi nilai susunan TEG yang berbeda didapatkan nilai pada tabel 4.20.

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.20 maka susunan seri dan paralel disesuaikan dengan uji coba pada simulasi dan hasilnya ditentukan berdasarkan nilai terdekat dengan nilai  $I_p$ .

Tabel 4.20 Hasil perhitungan tiap susunan TEG

| <b>Ns</b> | <b>Np</b> | <b>Arus</b> |
|-----------|-----------|-------------|
| 1         | 1         | 4,064303    |
| 2         | 2         | 8,128607    |
| 3         | 3         | 12,19291    |
| 4         | 4         | 16,25721    |
| 5         | 5         | 20,32152    |
| 6         | 6         | 24,38582    |
| 7         | 7         | 28,45012    |
| 8         | 8         | 32,51443    |
| 9         | 9         | 36,57873    |
| 10        | 10        | 40,64303    |
| 11        | 11        | 44,70734    |
| 12        | 12        | 48,77164    |
| 13        | 13        | 52,83594    |
| 14        | 14        | 56,90025    |
| 15        | 15        | 60,96455    |
| 16        | 16        | 65,02885    |
| 17        | 17        | 69,09316    |
| 18        | 18        | 73,15746    |
| 19        | 19        | 77,22176    |
| 20        | 20        | 81,28607    |
| 21        | 21        | 85,35037    |
| 22        | 22        | 89,41467    |

## 4.9 Desain *heat sink*

### 4.9.1 Ukuran penampang modul

Penampang modul disesuaikan dengan ukuran TEG serta susunanya. Perhitungan penampang sesuai persamaan 4.24 dan 4.25

$$L_{mod,zone} = L_{mod} \times N_{mod,ser} \quad (4.24)$$

$$W_{mod,zone} = W_{mod} \times N_{mod,par} \quad (4.25)$$

Dimana:

$L_{mod,zone}$  : Panjang zona modul

$W_{mod,zone}$  : Lebar zona modul

- $L_{mod}$  : Panjang modul TEG  
 $W_{mod}$  : Lebar modul TEG  
 $N_{mod,ser}$  : Jumlah modul TEG seri  
 $N_{mod,par}$  : Jumlah modul TEG paralel

Perhitungan panjang dan lebar zona modul diberikan tambahan sisi jarak dengan nilai 5 mm, sehingga persamaan berubah menjadi

$$L_{mod,zone} = L_{mod} \times N_{mod,ser} + (5 \times N_{mod,ser}) \quad (4.26)$$

$$W_{mod,zone} = W_{mod} \times N_{mod,par} + (5 \times N_{mod,par}) \quad (4.27)$$

Dengan memasukkan nilai pada tabel 4.16 dan tabel 4.19 diperoleh

$$L_{mod,zone} = 56 \times 4 + (5 \times 4)$$

$$L_{mod,zone} = \mathbf{244 \text{ mm}}$$

$$W_{mod,zone} = 56 \times 4 + (5 \times 4)$$

$$W_{mod,zone} = \mathbf{244 \text{ mm}}$$

Luasan modul dihitung berdasarkan nilai sisi panjang dan lebar zona modul ditambah dengan 10% dari luasan awal.

$$A_{zone} = 1,1 \times A_{mod,zone} \quad (4.28)$$

Dimana:

$A_{mod,zone}$  : Luasan modul TEG

$A_{zone}$  : Luasan zona TEG keseluruhan

$$A_{zone} = 1,1 \times 244 \times 244$$

$$A_{zone} = \mathbf{65489.6 \text{ mm}^2}$$



#### 4.9.2 Ukuran penampang *heat sink*

Luasan *heat sink* mengacu pada nilai luasan zona TEG keseluruhan dengan mempertimbangkan rasio luas. Dalam pendesainan *heat sink* rasio digunakan adalah 1.

$$L_z = \sqrt{\beta \times A_{zone}} \quad (4.29)$$

$$W_z = \sqrt{\frac{1}{\beta} \times A_{zone}} \quad (4.30)$$

Dimana:

$L_z$  : Panjang penampang *heat sink*

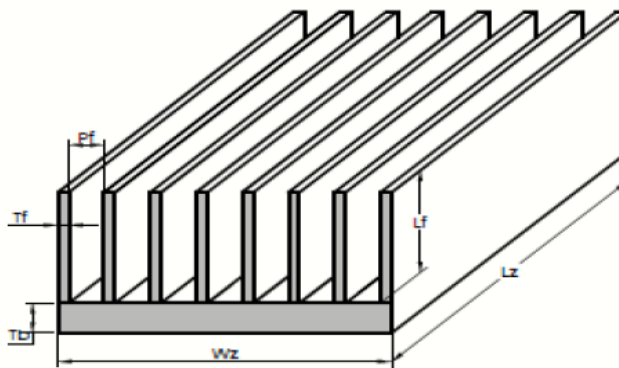
$W_z$  : Lebar penampang *heat sink*

$\beta$  : Rasio luasan

$$L_z = W_z$$

$$L_z = \sqrt{1 \times 65489.6}$$

$$L_z = 255,91 \text{ mm} \approx \mathbf{256 \text{ mm}}$$



Gambar 4.9 Skema desain *heat sink*

Tabel 4.21 Besaran komponen *heat sink*

|  |    |    |
|--|----|----|
| <i>Number of fins</i> ( $N_f$ )  | 34 |    |
| <i>Number of fins</i> ( $N_{ch}$ )                                       | 33 |    |
| <i>Thickness of an individual fin</i> ( $T_{fi}$ )                       | 4  | mm |
| <i>The length of an individual fin protrudes from its base</i> ( $L_f$ ) | 26 | mm |
| <i>Thickness of the base</i> ( $T_b$ )                                   | 7  | mm |

Data pada tabel 4.21 mengacu pada beberapa sumber rujukan yang telah melakukan desain *heat sink* pada penelitian sebelumnya.

#### 4.9.3 Perhitungan komponen pada *heat sink*

- *Pitch of fin* ( $P_f$ )

$$P_f = \frac{W_z - T_f}{N_{ch}} \quad (4.31)$$

$$P_f = \frac{256 - 4}{33}$$

$$P_f = \mathbf{7,6 \text{ mm}}$$

- *Space between fins* ( $S_f$ )

$$S_f = P_f - T_f \quad (4.32)$$

$$S_f = 7,6 - 4$$

$$S_f = \mathbf{3,6 \text{ mm}}$$

- *Characteristic length of the fin* ( $L_{f,char}$ )

$$L_{f,char} = L_f + \frac{T_f}{2} \quad (4.33)$$

$$L_{f,char} = 26 + \frac{4}{2}$$

$$L_{f,char} = \mathbf{28 \text{ mm}}$$

- *Total surface area of all the fins*, ( $A_{f,surf}$ )

$$A_{f,surf} = 2 \times N_{ch} \times L_{f,char} \times L_z \quad (4.34)$$

$$A_{f,surf} = 2 \times 33 \times 28 \times 256$$

$$A_{f,surf} = \mathbf{474999,5 \text{ mm}^2}$$

- *Cross sectional area of the fin*, ( $A_c$ )

$$A_c = T_f \times L_z \quad (4.35)$$

$$A_c = 4 \times 256$$

$$A_c = \mathbf{1024 \text{ mm}^2}$$

- *Total area of the base*, ( $A_{b,surf}$ )

$$A_{b,surf} = A_{zone} - (A_c \times N_f) \quad (4.36)$$

$$A_{b,surf} = 65489,6 - (1024 \times 34)$$

$$A_{b,surf} = \mathbf{30537,07 \text{ mm}^2}$$

- Luasan total

$$A_t = A_{f,surf} + A_{b,surf} \quad (4.37)$$

$$A_t = 474999,5 + 30537,07$$

$$A_t = \mathbf{505536,5 \text{ mm}^2}$$

#### 4.9.4 Perhitungan efisiensi *heat sink*

$$\eta = \frac{Q}{A_{total}h\Delta T} \quad (4.38)$$

Dimana:

Q : Laju aliran panas (W)

$\eta$  : Efisiensi *heat sink*

$$Q = K.A_c.n.\Delta T \frac{x_1}{x_2} \quad (4.39)$$

Untuk menghitung efisiensi dibutuhkan nilai laju aliran panas yang terjadi pada *heat sink*. Material yang digunakan untuk *heat sink* adalah aluminium. Adapun data yang dibutuhkan dalam perhitungan laju aliran panas ditunjukkan pada tabel 4.22.

Tabel 4.22 Data pendukung *heat sink*

| Indikator                                      | Simbol | Nilai | Satuan               |
|--|--------|-------|----------------------|
| Suhu pada sisi dasar <i>heat sink</i> (Asumsi) | $T_1$  | 433   | K                    |
| Suhu lingkungan (udara)                        | $T_2$  | 40    | K                    |
| Lebar <i>fin</i>                               | $W_z$  | 256   | mm                   |
| Ketebalan <i>fin</i>                           | $T_f$  | 4     | mm                   |
| <i>Thermal conductivity</i>                    | k      | 155   | W/(mK)               |
| <i>Heat transfer coefficient</i>               | h      | 12.4  | W/(m <sup>2</sup> K) |
| Panjang <i>fin</i>                             | $l_f$  | 26    | mm                   |
| Luasan dasar <i>heat sink</i>                  | $A_c$  | 1024  | mm <sup>2</sup>      |
| Jumlah <i>fin</i>                              | N      | 34    |                      |

- Perhitungan nilai 'n' untuk *fin* tipis

$$n = \sqrt{\frac{2h}{KT_f}} \quad (4.40)$$

$$n = \sqrt{\frac{2(12.4)}{155(0.004)}}$$

$$n = 6,3242$$

- **Perhitungan nilai n sepanjang  $L_f$**

$$n.l_f = 6,3242 * 0,0260$$

$$n.l_f = \mathbf{0,1644}$$

- **Perhitungan nilai  $\frac{h}{n.K}$**

$$\frac{h}{n.K} = \frac{12,4}{6,3242 * 155}$$

$$\frac{h}{n.K} = \mathbf{0,0126}$$

- **Perhitungan nilai  $\sinh(n.L_f)$**

$$\sinh(n.L_f) = \mathbf{0,1652}$$

- **Perhitungan nilai  $\cosh(n.L_f)$**

$$\cosh(n.L_f) = \mathbf{1,0135}$$

- **Perhitungan nilai  $X_1$**

$$x_1 = ((\sinh(n.L_f) + \frac{h}{n.K} \cosh(n.L_f))) \quad (4.41)$$

$$x_1 = ((0,1652 + (0,0126)(1,0135))$$

$$x_1 = 0,17799$$

- **Perhitungan nilai  $X_2$**

$$x_2 = ((\cosh(n.L_f) + \frac{h}{n.K} \sinh(n.L_f))) \quad (4.42)$$

$$x_2 = ((1,0135 + (0,0126)(0,1652))$$

$$x_2 = 1,0156$$

- **Perhitungan laju aliran panas**

$$Q = K \cdot A_c \cdot n \cdot \Delta T \frac{X_1}{X_2} \quad (4.43)$$

$$Q = (150)(1024 \cdot 10^{-6})(6.3242)(160 - 40) \frac{0,17799}{1,0156}$$

$$Q = 719.89 \text{ W}$$

- **Perhitungan efisiensi**

$$\eta = \frac{Q}{A_{total} h \Delta T} \quad (4.44)$$

$$\eta = \frac{719.89}{505536,5 \cdot 10^{-6} (12,4) (433 - 40)}$$

$$\eta = 0,3$$

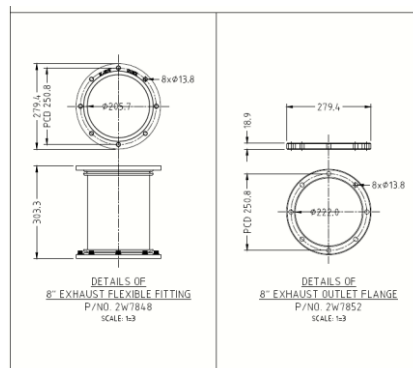
Nilai efisiensi menunjukkan nilai yang kecil namun masih dapat dijadikan acuan sebagai kemampuan *heat sink* dalam menyalurkan temperature pada sistem.

#### 4.10 Permodelan 3D tiap komponen

Permodelan 3D komponen dilakukan sesuai dengan data tiap komponen pada perhitungan sebelumnya. Permodelan 3D komponen menggunakan *software* SOLIDWORK 3D.

##### 4.10.1 Pipa *exhaust*

Dalam melakukan permodelan 3D ukuran pipa *exhaust* mengacu pada gambar yang telah diberikan *maker*. Gambar pipa *exhaust* ditunjukkan oleh gambar 4.10. Material yang digunakan adalah *carbon steel*.



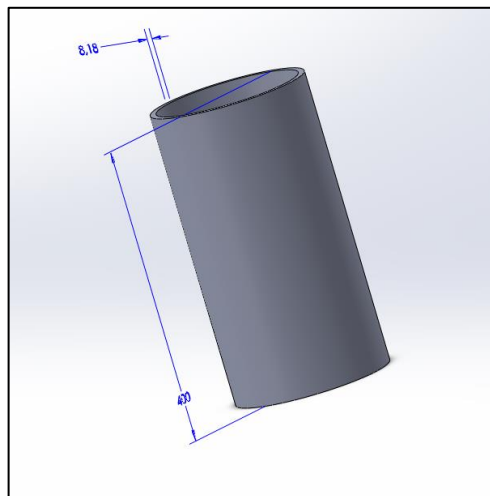
Gambar 4. 10 Dimensi pipa *exhaust* dari *maker*

Dengan mengasumsikan panjang pipa yang akan disimulasikan maka data kebutuhan pipa ditunjukkan pada tabel 4.23.

Tabel 4.23 Ukuran pipa *exhaust*

|               |              |    |
|---------------|--------------|----|
| Panjang       | <b>400</b>   | mm |
| Diamter dalam | <b>203,2</b> | mm |
| Thickness     | <b>8,18</b>  | mm |

Dari data tersebut kemudian dilakukan permodelan sehingga menghasilkan bentuk sesuai gambar 4.11.



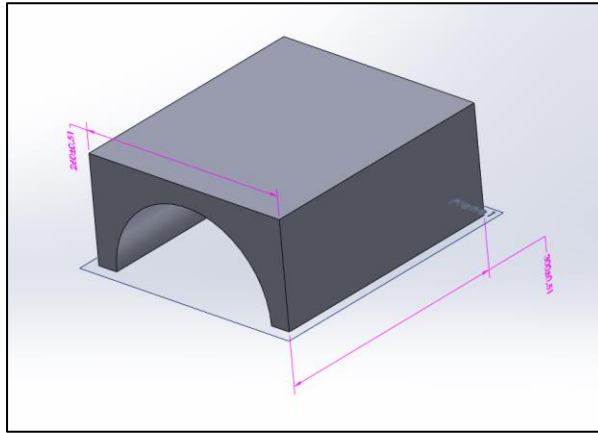
Gambar 4.11 Desain 3D pipa *exhaust*

#### 4.10.2 *Thermal spreader*

Sistem yang terdiri dari pipa *exhaust* yang akan dimanfaatkan energi panas buangnya agar maksimal dibutuhkan modifikasi pipa dengan penambahan adanya *thermal spreader* bentuk selubung setengah persegi dengan bahan alumunium sebagai material konduktor. Hal ini dilakukan gar panas yang dihasilkan oleh *main generator* dapat terdistribusi merata pada modul TEG.

Tabel 4.24 Data selubung persegi *thermal spreader*

|                |               |    |
|----------------|---------------|----|
| Panjang        | <b>300</b>    | mm |
| Lebar          | <b>260</b>    | mm |
| Diamater dalam | <b>211,48</b> | mm |



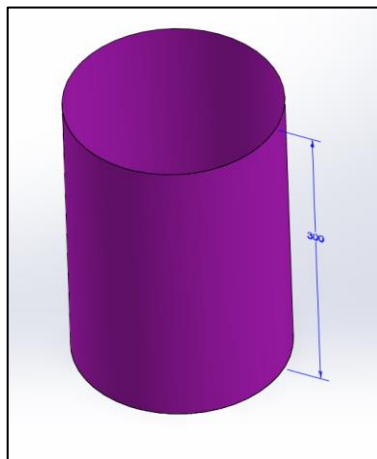
Gambar 4.12 Selubung persegi *thermal spreader*

#### 4.10.3 *Thermal spreader material (plate)*

Sistem yang memiliki kontak antar komponen membutuhkan material tambahan sebagai *thermal spreader material* yang berfungsi sebagai pasta dengan material *silver*. Penambahan *thermal spreader material* meningkatkan nilai *thermal contact* sehingga suhu hasil kontak dari beberapa komponen tetap stabil.

- ***Thermal spreader material selubung pipa***

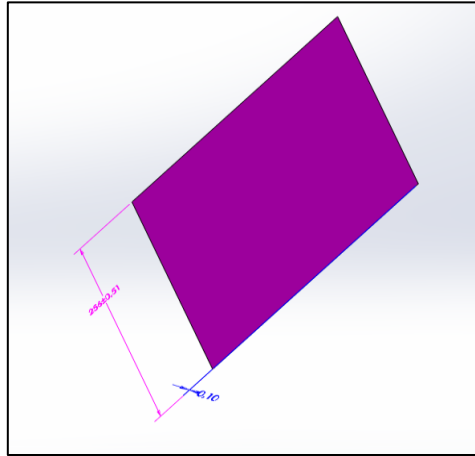
*Thermal spreader* pada bagian selubung pipa memiliki panjang dan diameter sama seperti selubung persegi pada tabel 4.23 dengan ketebalan 0.1 mm. Komponen ini akan disatukan pada bagian pipa sebagai konektor kontak termal dengan selubung persegi pipa.



Gambar 4.13 *Thermal spreader material selubung pipa*

- **Thermal spreader material sistem TEG**

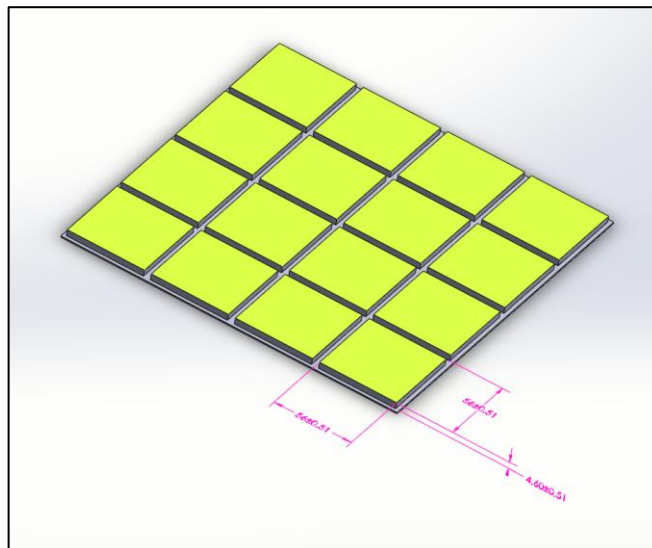
Sama seperti *thermal spreader material* selubung pipa, *thermal spreader* pada bagian TEG memiliki ketebalan 0.1 mm dan ukuran sesuai  $L_z$  dan  $W_z$  yaitu 256x256 mm. Penempatan komponen ini ada pada setiap komponen yang melakukan kontak fisik.



Gambar 4.14 *Thermal spreader material* sistem TEG

#### 4.10.4 Susunan TEG

Perancangan awal susunan TEG adalah susunan seri 4 dan parallel 4 dengan jarak antar TEG adalah 1 mm.

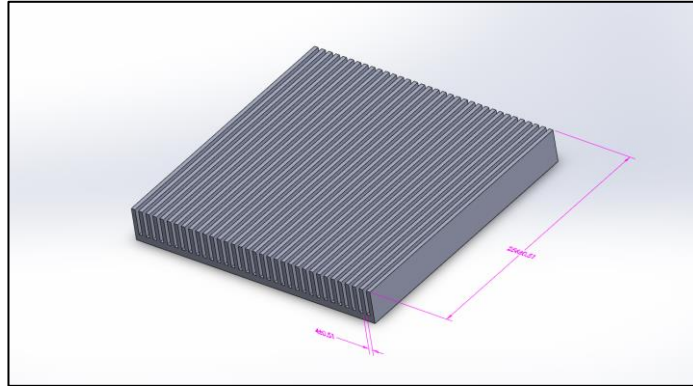


Gambar 4.15 Susunan TEG



#### 4.10.5 Heat sink

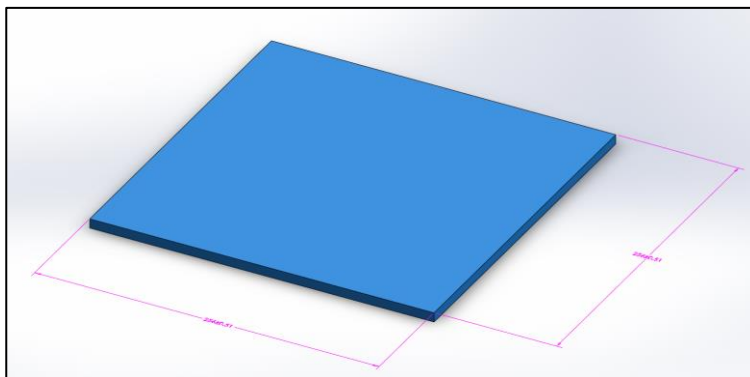
Dengan mengacu pada tabel 4.20 desain *heat sink* disesuaikan dengan data yang telah ada dan telah dihitung sebelumnya.



Gambar 4.16 Desain *heat sink*

#### 4.10.6 Pelat insulasi

Agar suhu akibat kontak fisik pada bagian TEG tidak secara langsung mengenai bagian TEG untuk menghindari kerusakan modul didesain 2 buah pelat insulasi dengan material aluminium. Pelat ini berada di sisi dingin dan panas TEG dan ditambah dengan *thermal spreader material* pelat apad tiap sisi kontak. Ukuran dari pelat ini disesuaikan dengan  $L_z$  dan  $W_z$  yaitu 256x256 mm dengan ketebalan 7 mm.

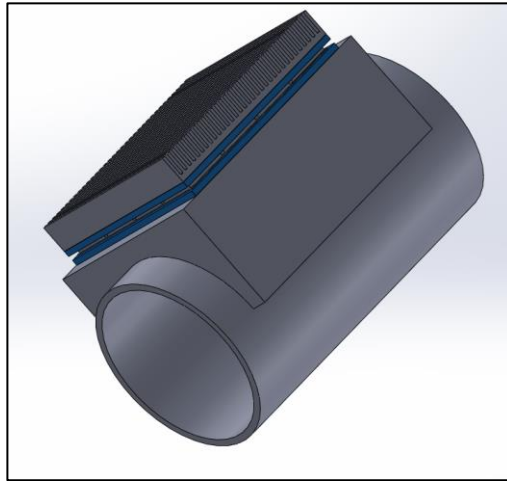


Gambar 4.17 Pelat insulasi

#### 4.10.7 Penggabungan tiap komponen

Dari hasil permodelan 3D tiap komponen selanjutnya adalah penggabungan sistem secara keseluruhan. Penggabungan ini harus melingkupi keseluruhan komponen.

Sistem yang dirancang memiliki 1 sisi utama yang menjadi sisi TEG untuk menghasilkan energi listrik.



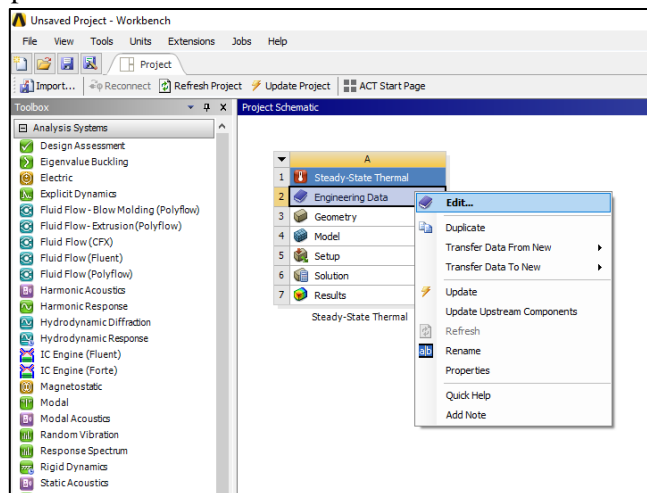
Gambar 4.18 Hasil gabungan tiap komponen

#### 4.11 Simulasi termal

Simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan menggunakan ANSYS *Steady-state thermal* dimana simulasi berfokus pada suhu kontak fisik tiap komponen.

- **Penyesuaian *engineering data***

Langkah pertama dalam melakukan simulasi adalah penyesuaian *engineering data* dimana dalam hal ini adalah material yang akan digunakan pada tiap komponen sistem.



Gambar 4.19 Tampilan awal ANSYS *Workbench* untuk *thermal steady-state*

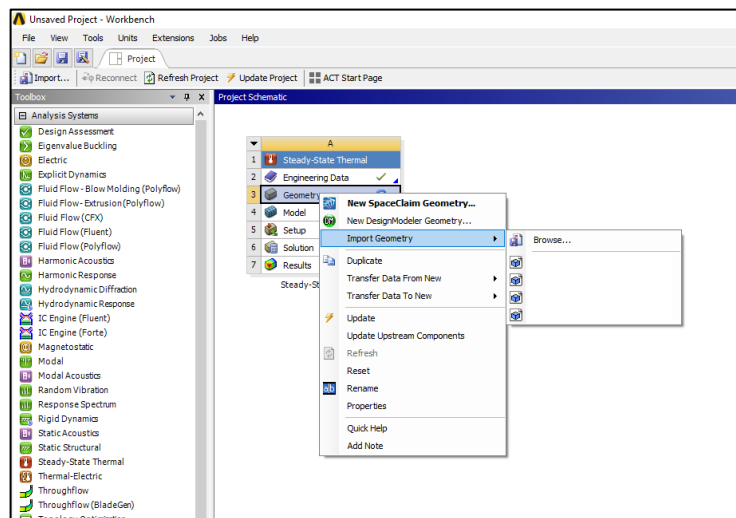
Kemudian penentuan *engineering data* adalah berdasarkan material yang akan disimulasikan.

| Outline of Schematic A2: Engineering Data |                                  |   |   |        |   |
|---|----------------------------------|---|---|--------|---|
|   | A                                | B | C | D      | E   |
| 1   | Contents of Engineering Data     |   |   | Source | Description   |
| 2   | Material                         |   |   |        |   |
| 3   | Aluminum                         |   |   |        | T   |
| 4   | Silver                           |   |   |        | T   |
| 5   | Structural Steel                 |   |   |        | G<br>Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1 |
| *   | Click here to add a new material |   |   |        |   |

Gambar 4.20 Tampilan data material yang telah dipilih

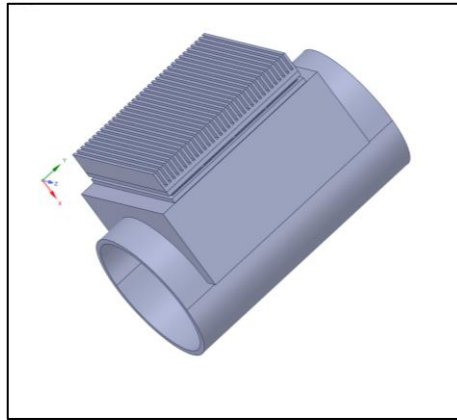
- **Penyesuaian model 3D**

Langkah kedua dalam melakukan simulasi adalah penyesuaian model 3D yang sebelumnya telah dibuat. Penyesuaian ini difungsikan agar model 3D dapat dibaca sepenuhnya oleh ANSYS.



Gambar 4.21 Tampilan pemilihan model 3D yang akan disimulasikan

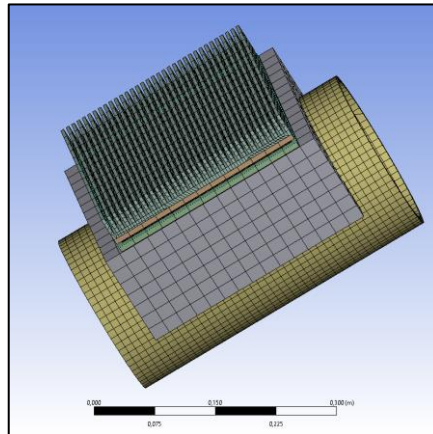
Langkah kedua dalam melakukan simulasi adalah penyesuaian model 3D yang sebelumnya telah dibuat. Penyesuaian ini difungsikan agar model 3D dapat dibaca sepenuhnya oleh ANSYS.



Gambar 4.22 Hasil penyesuaian model 3D di ANSYS

- **Pembuatan *meshing***

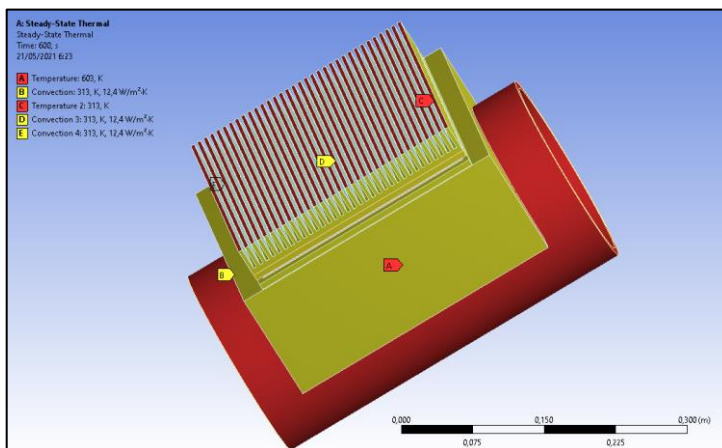
Langkah selanjutnya adalah pembuatan *meshing* untuk memastikan tiap bagian komponen terdefinisi dalam simulasi.



Gambar 4.23 Hasil *meshing* model 3D

- **Pendefinisian suhu sumber dan proses konveksi**

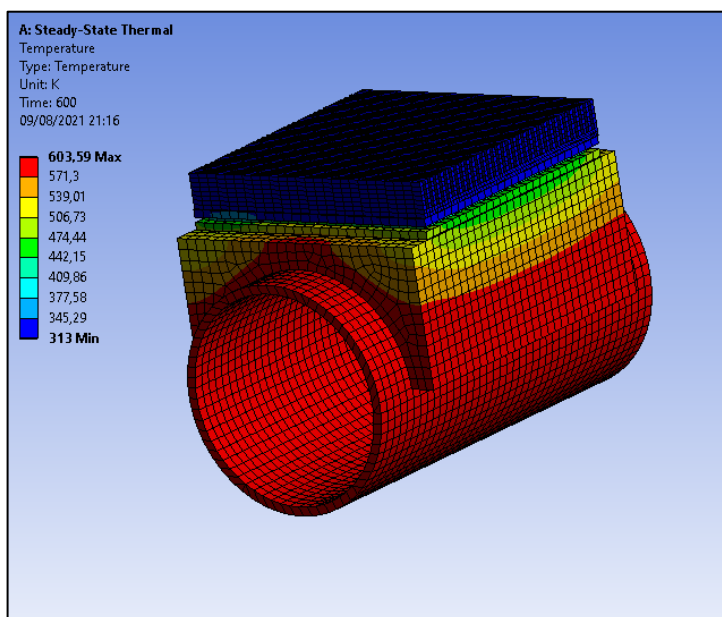
Langkah berikutnya adalah pendefinisian sumber panas yang akan disimulasikan beserta proses konveksi yang terjadi. Dimana pada proses ini sumber panas adalah bagian pipa dengan suhu  $603\text{ }^{\circ}\text{K}$  dan suhu dingin adalah permukaan terluar *heatsink* dengan suhu  $313\text{ }^{\circ}\text{K}$ . Proses konduksi terjadi sesuai dengan kontak fisik komponen sedangkan konveksi terjadi akibat suhu lingkungan yaitu  $313\text{ }^{\circ}\text{K}$ .



Gambar 4.24 Sumber panas dan proses konveksi pada sistem TEG

- **Proses dan hasil simulasi**

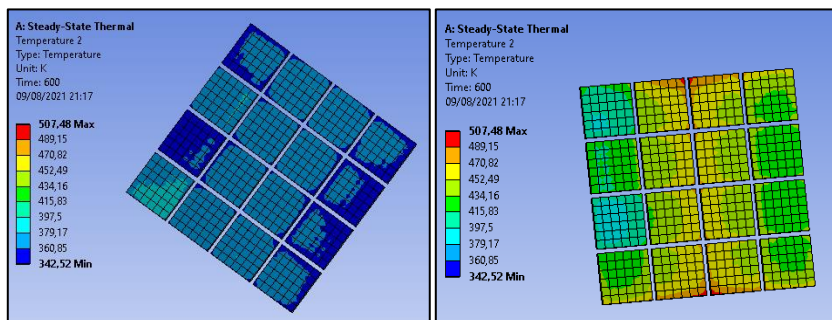
Langkah terakhir dalam melakukan simulasi adalah menjalankan iterasi hingga menghasilkan nilai thermal untuk tiap komponen yang disimulasikan.



Gambar 4.25 Hasil simulasi termal untuk tiap komponen pada sistem TEG

Nilai termal yang digunakan dalam validasi kebutuhan nilai arus adalah nilai termal pada bagian TEG. Dari hasil simulasi didapatkan nilai tertinggi

dan terendah dari masing-masing sisi TEG. Nilai acuan dalam validasi untuk tahapan berikutnya adalah nilai tertinggi dan terendah yang telah didapatkan.



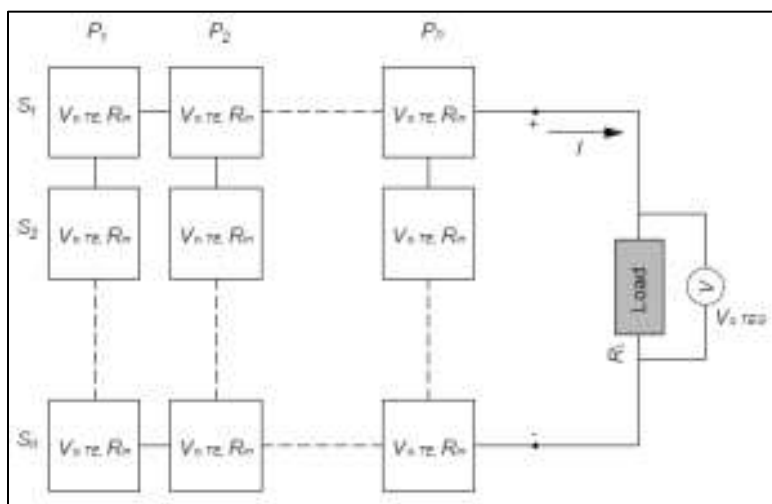
Gambar 4.26 Hasil simulasi termal untuk komponen TEG

Tabel 4.25 Hasil simulasi suhu TEG

|                                    |             |             |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Hot side temperature / $T_h$       | 234.48 (°C) | 507.48 (°K) |
| Cold Side Temperature / $T_c$ (°K) | 69,52 (°C)  | 342.52 (°K) |

#### 4.12 Validasi hasil simulasi termal

Dengan hasil yang didapatkan pada tabel 4.24 untuk model uji awal, selanjutnya melakukan perhitungan sebagai validasi nilai dari suhu panas dan dingin telah memenuhi kebutuhan arus untuk sistem ICCP. Persamaan yang digunakan mengacu pada salah satu penelitian sebelumnya untuk susunan seri-paralel sesuai Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Susunan TEG seri-paralel (Ruzaimi et al., 2020)

Data pada tabel 4.24 dimasukkan dalam persamaan 4.45 maka dihasilkan nilai arus sebesar

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L} \quad (4.45)$$

$$I_f = \frac{4 (170 * 10^{-6} (507,48 - 342,52))}{\frac{4(170 * 10^{-6})}{4} + 0,01196}$$

$$I_f = 9,24 A$$

Dari hasil perhitungan dengan hasil dari simulasi sistem diketahui nilai arus yang dihasilkan belum memenuhi kebutuhan minimal sistem ICCP.

$$I_f = 9,24 A < I_p = 17,1 A$$

Adapun nilai voltase dan daya yang dihasilkan adalah sebaagi berikut.

$$V = \alpha \Delta T N_s \quad (4.46)$$

$$V = 2 * 170 * (507,48 - 342,52) * 4$$

$$V = 0,224 Volt$$

$$P = V * I \quad (4.47)$$

$$P = 0,224 * 9,24$$

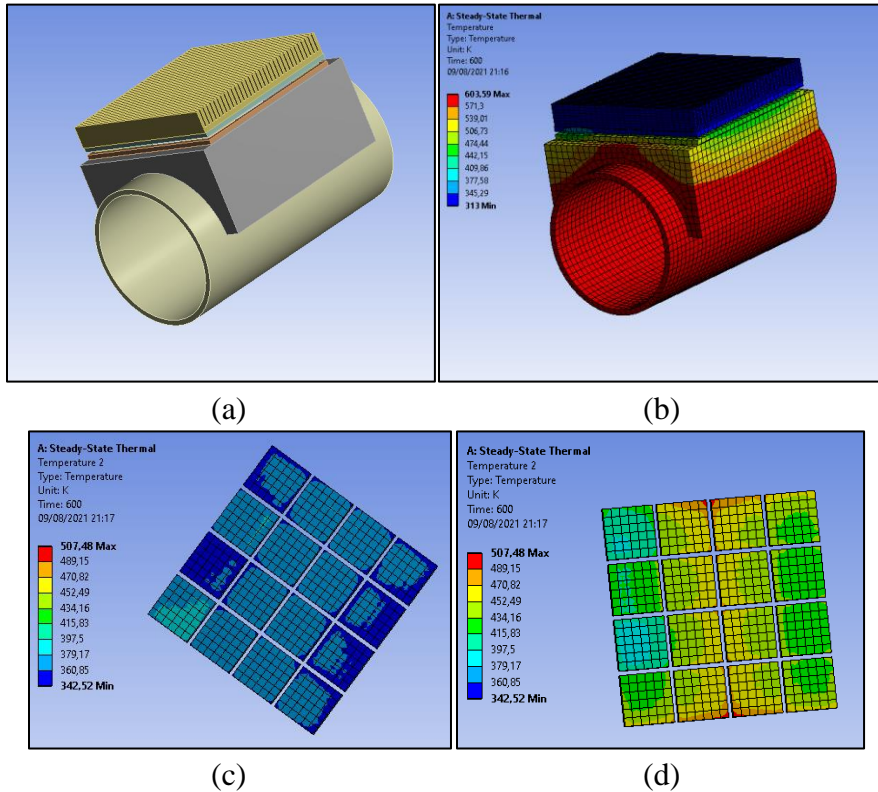
$$P = 2 Watt$$

Nilai arus yang dihasilkan belum memenuhi kebutuhan minimal, oleh karena itu dibutuhkan pendesainan ulang sistem agar memenuhi kebutuhan minimal arus untuk ICCP. Selain itu, nilai hasil untuk voltase dan daya cenderung rendah sehingga perlu dilakukan analisis lanjutan.

#### 4.13 Uji variasi model dan simulasi

Untuk menentukan jenis model dan susunan TEG yang sesuai maka dilakukan permodelan dengan membandingkan penggunaan tiap sisi pada model yang dirancang dan jumlah susunan yang digunakan. Penambahan material insulasi dengan *glasswool* ditambahkan untuk model dengan sisi berseberangan.

### 4.13.1 1 Sisi sistem TEG 4x4 tanpa termal isolasi



Gambar 4.28 (a) Model 3D sistem TEG 4x4 tanpa termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem TEG 4x4 tanpa termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas

Tabel 4.26 Hasil simulasi suhu TEG 1 sisi TEG 4x4 tanpa termal isolasi

|                                 |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Hot side temperature / Th       | 234.48 (°C) | 507.48 (°K) |
| Cold Side Temperature / Tc (°K) | 69.52 (°C)  | 342.52 (°K) |

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L}$$

$$I_f = \frac{4 (170 * 10^{-6} (507.48 - 342.52))}{\frac{4(170 * 10^{-6})}{4} + 0.01196}$$

$$I_f = 9.24 A$$



$$V = \alpha \Delta T Ns$$

$$V = 2 * 170 * (507,48 - 342,52) * 4$$

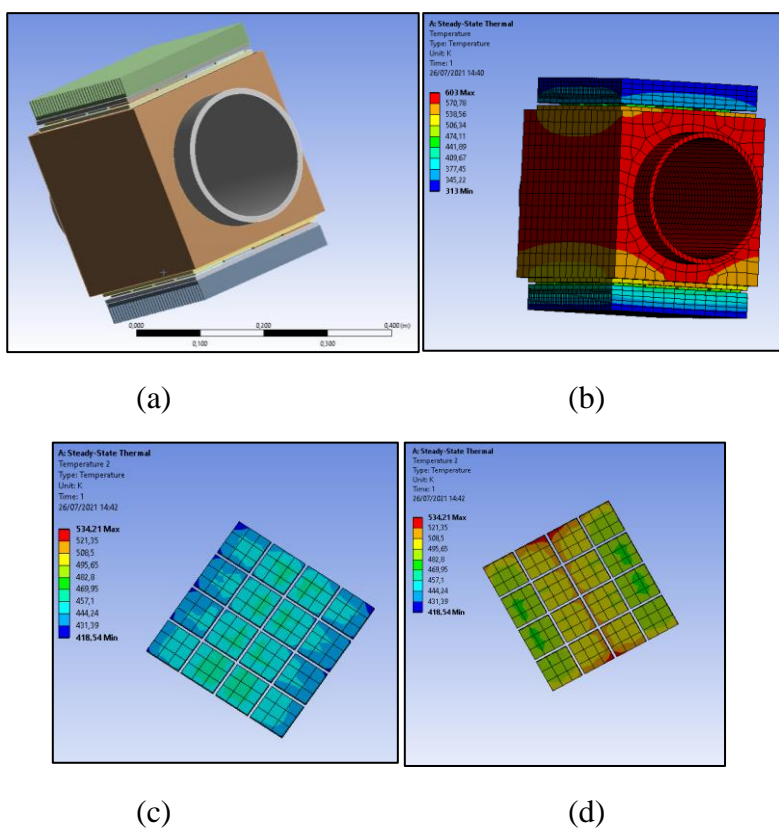
$$V = 0,224 \text{ Volt}$$

$$P = V * I$$

$$P = 0,224 * 9,24$$

$$P = 2 \text{ Watt}$$

#### 4.13.2 2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan tanpa termal isolasi



Gambar 4.29 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 tanpa termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 tanpa termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas

Tabel 4.27 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi berseberangan  
TEG 4x4 tanpa termal isolasi

|                                 |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Hot side temperature / Th       | 220.66 (°C) | 493.66 (°K) |
| Cold Side Temperature / Tc (°K) | 71.26 (°C)  | 344.26 (°K) |

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L}$$

$$I_f = \frac{8 (170 * 10^{-6} (493,66 - 344,26))}{\frac{8(170 * 10^{-6})}{8} + 0,01196}$$

$$I_f = 16.75 A$$

$$V = \alpha \Delta T N_s$$

$$V = 2 * 170 * (493,66 - 344,26) * 8$$

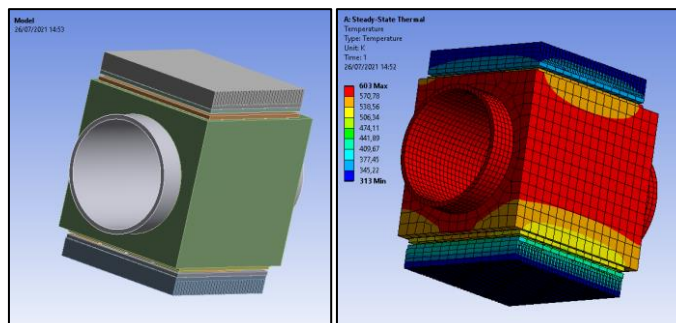
$$V = 0,406368 Volt$$

$$P = V * I$$

$$P = 0,41 * 16,75$$

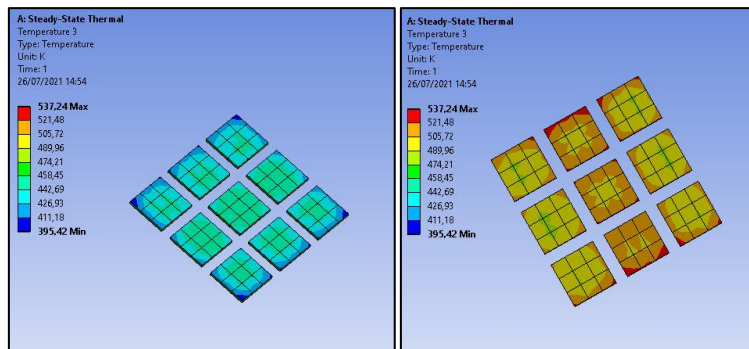
$$P = 6,8 Watt$$

#### 4.13.3 2 Sisi sistem TEG 3x3 berseberangan tanpa termal isolasi



(a)

(b)



(c)

(d)

Gambar 4.30 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 3x3 tanpa termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi berseberangan TEG 3x3 tanpa termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas

Tabel 4.28 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi berseberangan TEG 3x3 tanpa termal isolasi

|                                 |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Hot side temperature / Th       | 237,34 (°C) | 510.34 (°K) |
| Cold Side Temperature / Tc (°K) | 62,11 (°C)  | 335.11 (°K) |

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L}$$

$$I_f = \frac{6 (170 * 10^{-6} (510.34 - 335.11))}{\frac{6(170 * 10^{-6})}{6} + 0.01196}$$

$$I_f = 14.73 \text{ A}$$

$$V = \alpha \Delta T N_s$$

$$V = 2 * 170 * (510,34 - 335,11) * 6$$

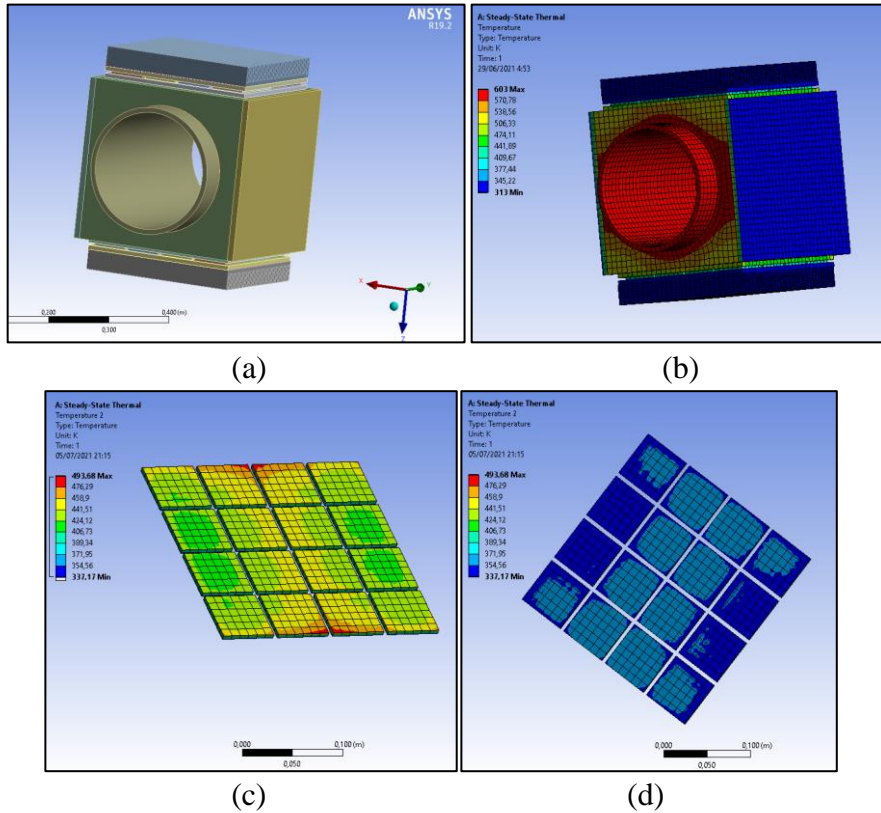
$$V = 0,38 \text{ Volt}$$

$$P = V * I$$

$$P = 0,38 * 14,73$$

$$P = 5,23 \text{ Watt}$$

4.13.4 2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan dengan termal isolasi



Gambar 4.31 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 dengan termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi berseberangan TEG 4x4 dengan termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas

Tabel 4.29 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi berseberangan TEG 4x4 dengan termal isolasi

|                                 |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Hot side temperature / Th       | 220.68 (°C) | 493.68 (°K) |
| Cold Side Temperature / Tc (°K) | 54.17 (°C)  | 337.17 (°K) |

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L}$$

$$I_f = \frac{8 (170 * 10^{-6}) (493.68 - 337.17)}{\frac{8 (170 * 10^{-6})}{8} + 0.01196}$$

$$I_f = 17.55 A$$

$$V = \alpha \Delta T Ns$$

$$V = 2 * 170 * (493.68 - 337.17) * 8$$

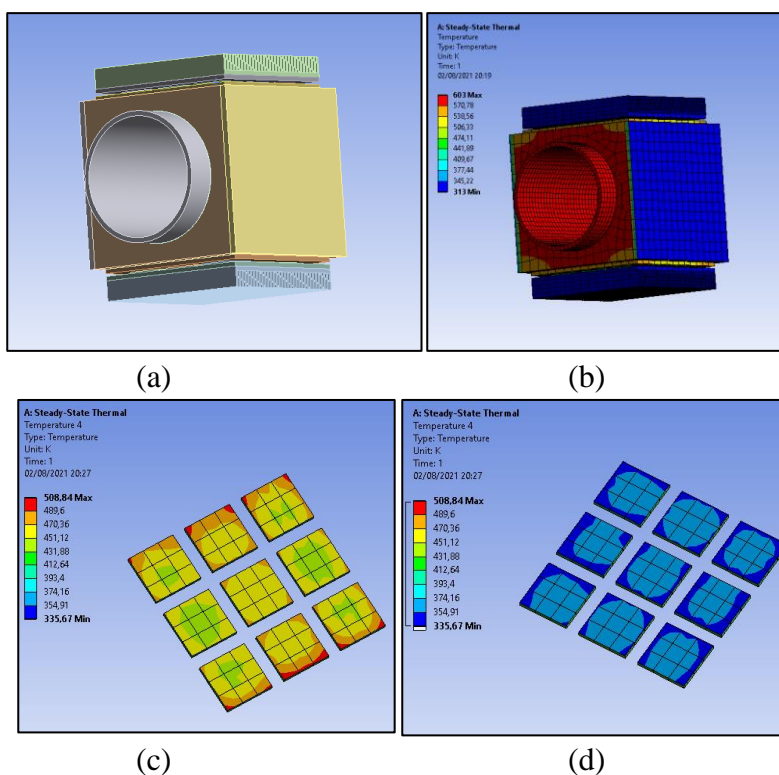
$$V = 0,426 \text{ Volt}$$

$$P = V * I$$

$$P = 0,426 * 17,55$$

$$P = 7,34 \text{ Watt}$$

#### 4.13.5 2 Sisi sistem TEG 3x3 berseberangan dengan termal isolasi



Gambar 4.32 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi berseberangan TEG 3x3 dengan termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi berseberangan TEG 3x3 dengan termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas

Tabel 4.30 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi berseberangan TEG 3x3 dengan termal isolasi

|                                 |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Hot side temperature / Th       | 235,84 (°C) | 508,84 (°K) |
| Cold Side Temperature / Tc (°K) | 62,67 (°C)  | 335,67 (°K) |

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L}$$

$$I_f = \frac{6 (170 * 10^{-6} (508.84 - 335.67))}{\frac{6 (170 * 10^{-6})}{6} + 0.01196}$$

$$I_f = 14.6 \text{ A}$$

$$V = \alpha \Delta T N_s$$

$$V = 2 * 170 * (508,84 - 335,67) * 6$$

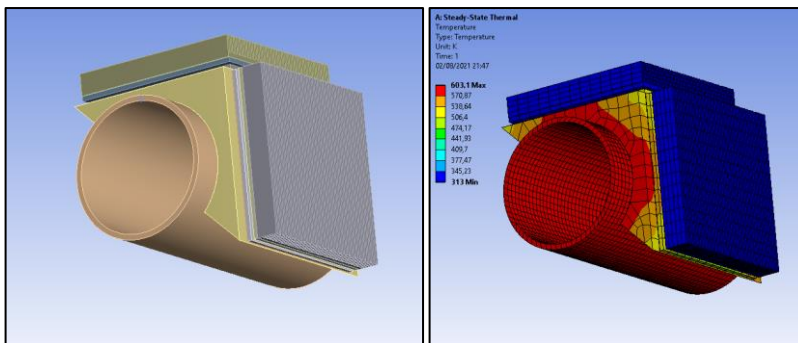
$$V = 0,35 \text{ Volt}$$

$$P = V * I$$

$$P = 0,35 * 14,6$$

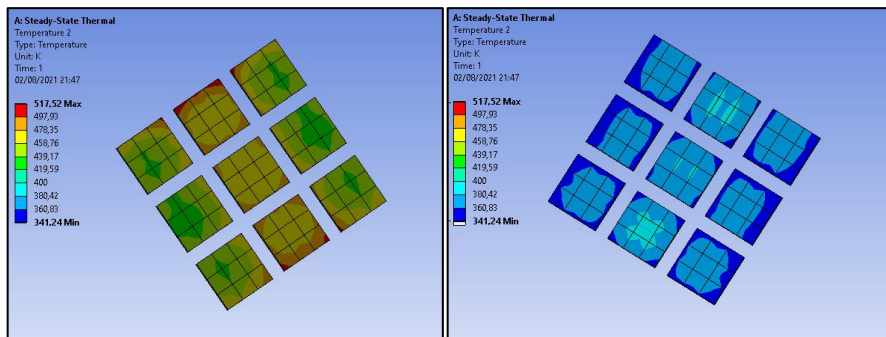
$$P = 5,16 \text{ Watt}$$

#### 4.13.6 2 Sisi sistem TEG 3x3 bersebelahan



(a)

(b)



(c)

(d)

Gambar 4.33 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi bersebelahan TEG 3x3 tanpa termal isolasi (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi bersebelahan TEG 3x3 tanpa termal isolasi (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas

Tabel 4.31 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi bersebelahan TEG 3x3 dengan termal isolasi

|                                 |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Hot side temperature / Th       | 244,52 (°C) | 517,52 (°K) |
| Cold Side Temperature / Tc (°K) | 68,24 (°C)  | 341,24 (°K) |

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L}$$

$$I_f = \frac{6 (170 * 10^{-6} (517.52 - 341.24))}{\frac{6 (170 * 10^{-6})}{6} + 0.01196}$$

$$I_f = 14,82 A$$

$$V = \alpha \Delta T N_s$$

$$V = 2 * 170 * (517,52 - 341,24) * 6$$

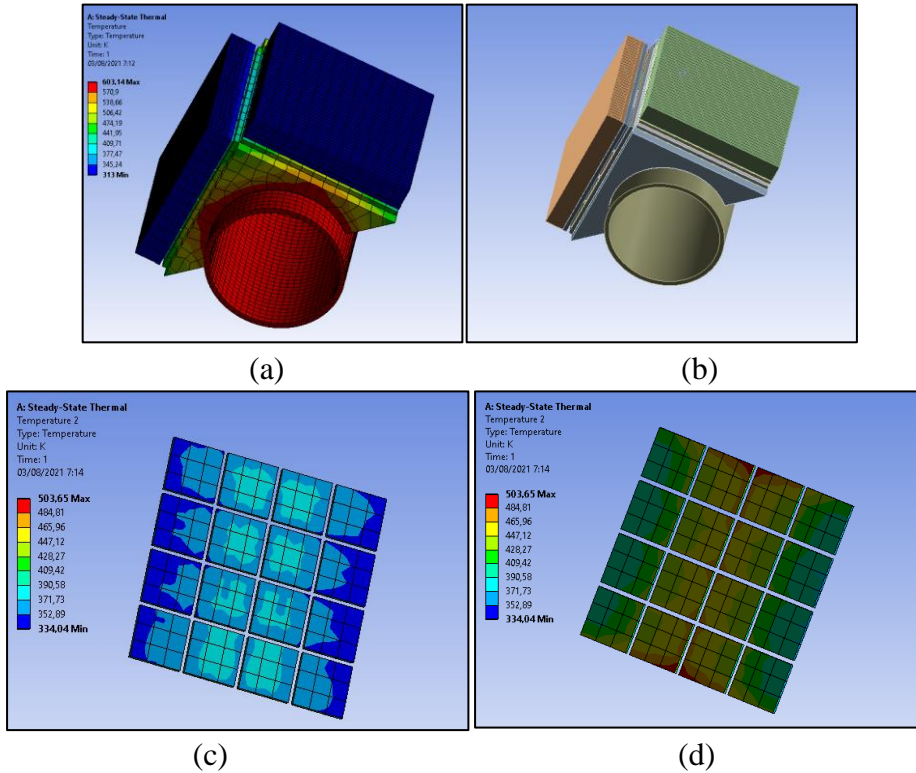
$$V = 0,37 Volt$$

$$P = V * I$$

$$P = 0,37 * 14,82$$

$$P = 5,33 Watt$$

#### 4.13.7 2 Sisi sistem TEG 4x4 bersebelahan



Gambar 4.34 (a) Model 3D sistem TEG 2 sisi bersebelahan TEG 4x4 (b) Hasil simulasi termal untuk sistem secara keseluruhan sistem 2 sisi bersebelahan TEG 4x4 (c) Simulasi susunan TEG pada sisi dingin (d) Simulasi susunan TEG pada sisi panas

Tabel 4.32 Hasil simulasi suhu TEG 2 sisi bersebelahan TEG 4x4

|                                 |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Hot side temperature / Th       | 230.65 (°C) | 503.65 (°K) |
| Cold Side Temperature / Tc (°K) | 61.04 (°C)  | 334.04 (°K) |

$$I_f = \frac{N_s \alpha \Delta T}{\frac{N_s \alpha}{N_p} + R_L}$$

$$I_f = \frac{8 (170 * 10^{-6} (503.65 - 334.04))}{\frac{8 (170 * 10^{-6})}{8} + 0.01196}$$

$$I_f = 19.01 A$$



$$V = \alpha \Delta T Ns$$

$$V = 2 * 170 * (503,65 - 334,04) * 8$$

$$V = 0,46 \text{ Volt}$$

$$P = V * I$$

$$P = 0,46 * 19,01$$

$$P = 8,75 \text{ Watt}$$

#### 4.13.8 Perbandingan hasil simulasi tiap bentuk sistem

Setelah dilakukan perancangan dengan desain dan susunan TEG yang berbeda, hasil dari tiap uji coba menunjukkan nilai yang bervariasi. Berikut adalah rekapitulasi dari hasil tiap uji coba

Tabel 4.33 Rekapitulasi nilai hasil simulasi tiap rancangan dan susunan TEG

| No | Desain  | Suhu panas (Th) (°K) | Suhu dingin (Tc) (°K) | Nilai arus (A) |
|----|---|----------------------|-----------------------|----------------|
| 1  | 1 Sisi sistem TEG 4x4 tanpa termal isolasi                | 507,48               | 342,52                | 4,96           |
| 2  | 2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan tanpa termal isolasi  | 493,66               | 344,26                | 16,75          |
| 3  | 2 Sisi sistem TEG 3x3 berseberangan tanpa termal isolasi  | 510,34               | 335,11                | 14,73          |
| 4  | 2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan dengan termal isolasi | 493,68               | 337,17                | 17,55          |
| 5  | 2 Sisi sistem TEG 3x3 berseberangan dengan termal isolasi | 508,84               | 335,67                | 14,6           |
| 6  | 2 Sisi sistem TEG 3x3 bersebelahan                        | 517,32               | 341,24                | 14,82          |
| 7  | 2 Sisi sistem TEG 4x4 bersebelahan                        | 503,65               | 334,04                | 19,01          |

Hasil pada tabel menunjukkan nilai yang bervariasi dikarenakan susunan atau penempatan sistem pada pipa *exhaust*. Untuk memenuhi kebutuhan arus minimal

sesuai dengan  $I_p$  yaitu 17.1 Ampere. Pemilihan didasarkan pada nilai terkecil yang paling mendekati dengan acuan 17.1 Ampere. Hal ini dilakukan karena nilai acuan yang telah didapat merupakan nilai minimal dengan telah ditambahkan margin sebesar 25% sesuai dengan ABS rules sesuai persamaan 4.9.

Tabel 4.34 Rekapitulasi nilai hasil simulasi dibandingkan dengan kebutuhan nilai arus minimal untuk sistem proteksi

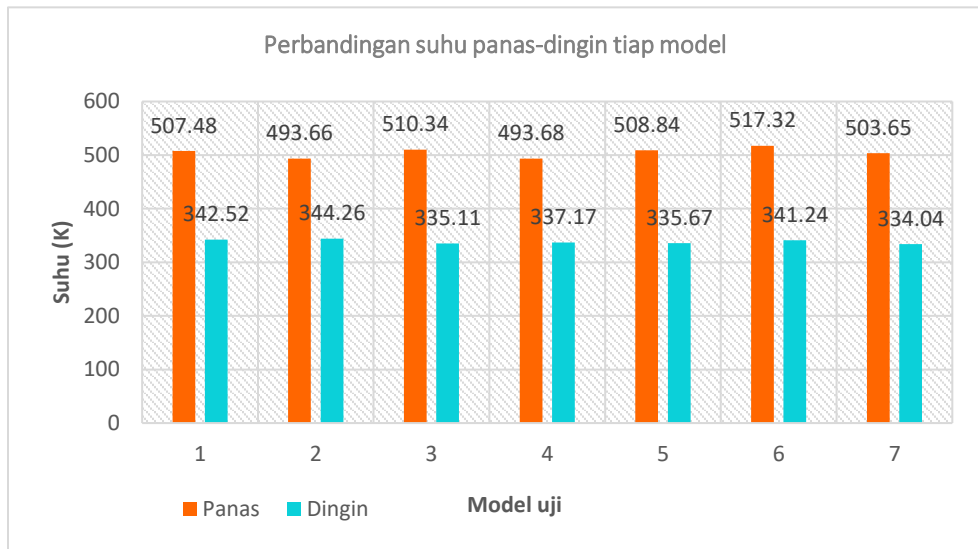
| No | Desain   | Nilai arus (A) | Nilai arus minimal (A) | Y/N      | Keterangan                               |
|----|--|----------------|------------------------|----------|--|
| 1  | 1 Sisi sistem TEG 4x4 tanpa termal isolasi                       | 4,96           |                        | N        | Belum memenuhi                           |
| 2  | 2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan tanpa termal isolasi         | 16,75          |                        | N        | Belum memenuhi                           |
| 3  | 2 Sisi sistem TEG 3x3 berseberangan tanpa termal isolasi         | 14,73          |                        | N        | Belum memenuhi                           |
| 4  | <b>2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan dengan termal isolasi</b> | 17,55          | 17.1                   | <b>Y</b> | <b>Memenuhi</b>                          |
| 5  | 2 Sisi sistem TEG 3x3 berseberangan dengan termal isolasi        | 14,6           |                        | N        | Belum memenuhi                           |
| 6  | 2 Sisi sistem TEG 3x3 bersebelahan                               | 14,82          |                        | N        | Belum memenuhi                           |
| 7  | 2 Sisi sistem TEG 4x4 bersebelahan                               | 19,01          |                        | Y        | Nilai arus terlalu tinggi dari kebutuhan |

Sesuai dengan tabel nilai yang memenuhi terdapat pada 2 rancangan sistem. Namun, dalam pemilihan untuk dapat diterapkan dipilih sistem no 4 '2 Sisi sistem TEG 4x4 berseberangan dengan termal isolasi'. Sistem tersebut dipilih karena memenuhi kriteria berikut:

1. Nilai arus yang dihasilkan telah melebihi kebutuhan arus minimal.
2. Nilai arus yang dihasilkan sangat mendekati dan tidak terlalu jauh.
3. Sistem menggunakan bentuk yang simetris dan adanya termal isolasi sehingga hasil dan bentuk lebih stabil.

## 4.14 Analisis hasil simulasi tiap model

### 1. Suhu tiap model



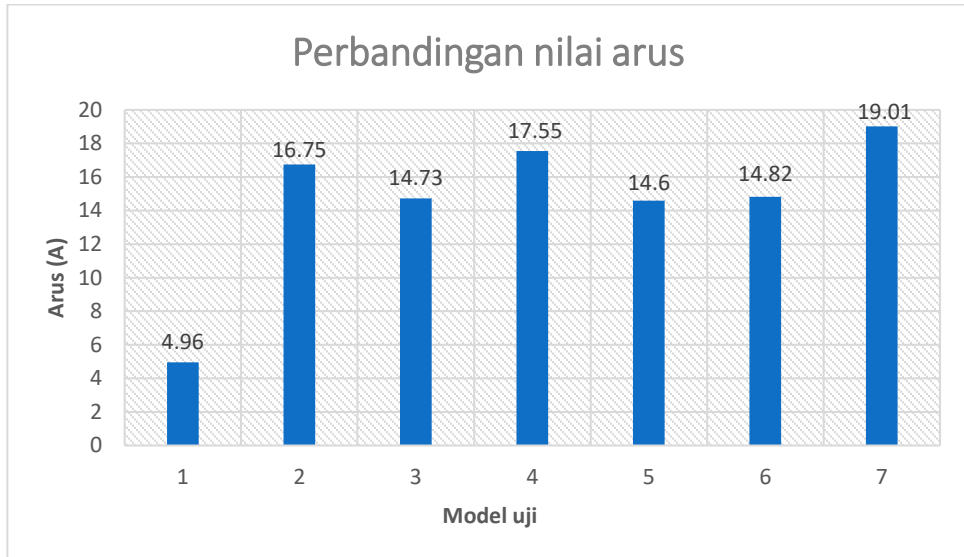
Gambar 4.35 Grafik perbandingan nilai suhu panas-dingin tiap model

Dari Gambar 4.35 yang disajikan diketahui nilai variasi suhu dingin dan panas cukup stabil. Hal tersebut menjadi acuan bahwa nilai hasil simulasi dapat dinyatakan tervalidasi Nilai tertinggi untuk suhu panas adalah 517.32 °K dengan rata-rata hasil simulasi adalah 505 °K. Sedangkan suhu dingin terendah dari sistem yang disimulasikan adalah 334.04 °K dengan nilai rata-rata keseluruhan 338.6 °K. Hasil tersebut menjadikan hasil nilai panas dari exhaust yang dapat dipakai secara efektif oleh TEG dengan model sistem yang dirancang berkisar pada nilai 505 °K dan 338.6 °K untuk suhu panas dan dingin secara berturut-turut. Pada hasil model yang dipilih atau yang memenuhi yaitu nomor 4 memiliki nilai suhu panas yang termasuk rendah apabila dibandingkan dengan ke-6 model yang lain yaitu hanya 493.68 °K. Sedangkan untuk sisi dingin memiliki nilai 337.17 dimana selisih dari sisi panas dan dingin sebesar 156.51 °K.

### 2. Nilai arus tiap model

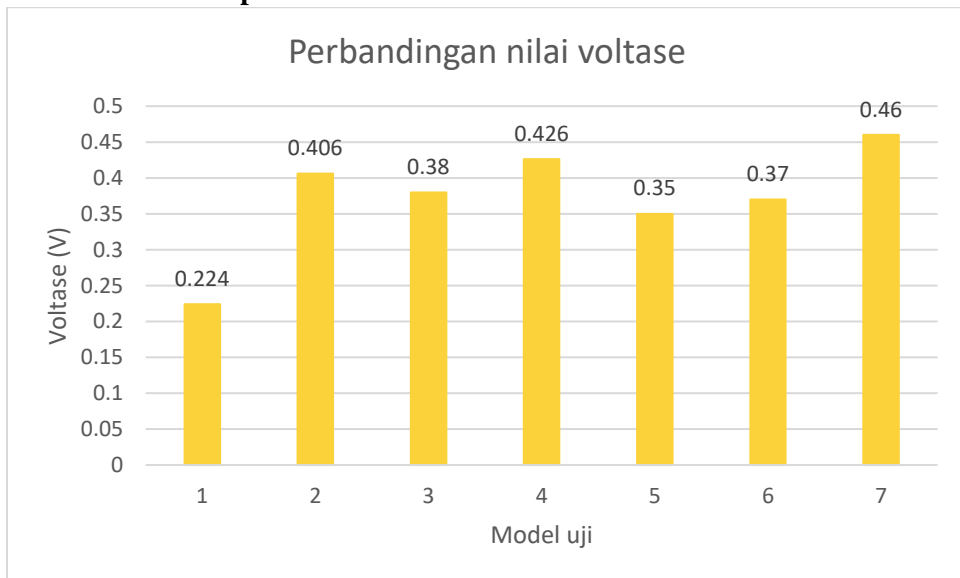
Pada grafik perbandingan nilai arus pada Gambar 4.36. cukup bervariasi dikarenakan jenis dan model yang berbeda-beda. Dengan model 1 sisi nilai yang didapatkan adalah 4.96 A sedangkan untuk variasi dengan 2 sisi nilai cukup stabil untuk konfigurasi 3x3 dan 4x4. Untuk konfigurasi 3x3 nilai arus memiliki rentang nilai antara 14.6-14.82 dengan nilai rata-rata 14.72 A sedangkan untuk nilai konfigurasi 4x4 memiliki rentang cukup besar mulai dari 16.75-19.01. hal tersebut

dikarenakan model yang disimulasikan memiliki sisi yang berbeda yaitu berseberangan dan bersebelahan. Nilai hasil model bersebelahan memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding sisi berseberangan.



Gambar 4.36 Grafik perbandingan nilai arus yang dihasilkan pada tiap model

### 3. Nilai voltase tiap model

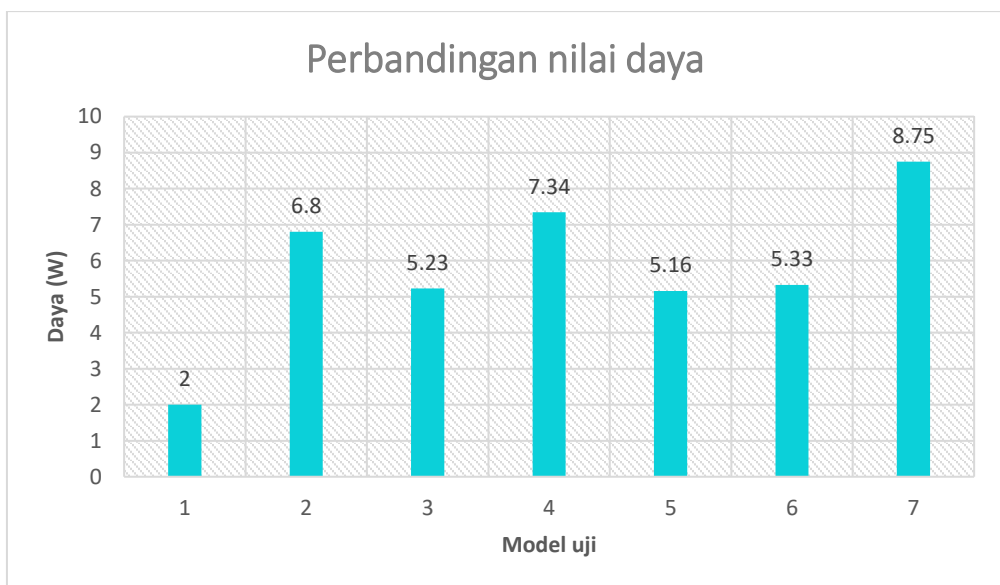


Gambar 4.37 Grafik perbandingan nilai voltase yang dihasilkan pada tiap model

Gambar 4.37 menunjukkan perbandingan nilai voltase yang dihasilkan TEG pada tiap model. Hasil menunjukkan nilai yang cukup rendah apabila dibandingkan dengan kebutuhan dalam menunjang suatu sistem. Nilai rendah ini dapat terjadi karena

perhitungan hasil voltase hanya didasarkan pada susunan TEG yaitu 3x3 atau 4x4 dengan 1 sisi ataupun 2 sisi dan belum melingkupi kebutuhan arus sistem secara keseluruhan. Hasil yang ditunjukkan relative sangat kecil dengan nilai voltase terbesar hanya mencapai 0,46 volt pada model 7 dan terendah pada model 5 dengan voltase 0,35 volt. Sedangkan untuk model 1 mendapat nilai terendah karena susunan sisi yang hanya menggunakan 1 sisi saja. Nilai voltase yang rendah berpengaruh pada kebutuhan komponen sistem lainnya dimana ketika hasil menunjukkan angka yang rendah terdapat kemungkinan komponen lain tidak dapat disuplai dan harus mengandalkan input dari sumber lain.

#### 4. Nilai daya tiap model



Gambar 4.38 Grafik perbandingan nilai daya yang dihasilkan pada tiap model

Nilai daya tiap model juga cukup rendah dikarenakan nilai voltase yang dihasilkan juga rendah dengan nilai terbesar hanya 8,75 watt sehingga Gambar 4.38 telah menunjukkan hasil komparasi yang cukup akurat. Kebutuhan daya dari suatu sistem sangat diperlukan ketika digunakan sebagai acuan dalam suatu aplikasi. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai daya yang masih belum memenuhi untuk kebutuhan sistem utama kapal apabila mengacu pada penggunaan sistem yang seharusnya memiliki nilai acuan daya yang jauh lebih besar. Penelitian ini masih berfokus pada kebutuhan arus sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kebutuhan sistem TEG pada *exhaust* agar memenuhi semua kebutuhan komponen pendukung.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Gambaran umum penelitian

Penelitian ini berfokus pada studi pendekatan dalam penerapan panas dari *exhaust* generator kapal menggunakan TEG sebagai sumber listrik ICCP untuk sistem proteksi lambung kapal. Sistem yang dirancang merupakan sistem dengan variasi model untuk mencukupi nilai kebutuhan arus ICCP kapal AHTS. Penelitian dilakukan perhitungan numerik dan simulasi model. Hasil dari simulasi dianalisis menggunakan perhitungan sehingga didapatkan jenis model yang mampu mencukupi kebutuhan proteksi lambung kapal penelitian. Hasil menunjukkan adanya nilai sesuai dengan kebutuhan arus proteksi namun nilai rendah untuk voltase dan daya dari sistem hal ini dikarenakan perhitungan masih mengacu pada kebutuhan arus anoda dan belum melingkupi keseluruhan sistem yang digunakan sebagai proteksi ICCP.

#### 5.2 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan perancangan sistem yang telah dilakukan ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai arus listrik yang dibutuhkan agar mencukupi kebutuhan arus untuk kapal jenis *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS) 65 m sebagai proteksi menggunakan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) adalah 17.1 Ampere. Nilai tersebut telah memenuhi untuk proteksi bagian lambung kapal basah dengan mempertimbangkan margin sebesar 25%.
2. Setelah dilakukan perancangan dengan 7 variasi didapatkan model yang memenuhi standar minimal yaitu dengan sistem TEG meliputi *thermal spreader* berbentuk persegi yang melingkupi pipa dengan ukuran 300 x 260 mm dan diameter dalam 211.48 mm, isolasi termal dengan ukuran 256 x 256 mm, *thermal spreader silver* pada tiap kontak sistem, susunan sistem secara berseberangan dengan komposisi 4x4 TEG pada tiap sisi serta heat sink sebagai komponen pada sisi dingin.
3. Sistem yang dirancang dapat menangkap suhu panas 493.68 °K dan suhu dingin 337 °K, sehingga menghasilkan nilai melebihi kebutuhan arus minimal untuk proteksi lambung basah kapal penelitian sebesar 17.55 Ampere yang memenuhi syarat proteksi lambung untuk pelayaran di perairan tropis.

### 5.3 Saran

Setelah dilakukan penelitian terkait perancangan sistem proteksi katodik menggunakan TEG dengan memanfaatkan panas gas buang mesin diesel, peneliti memiliki beberapa saran yang dapat dilakukan agar penelitian terkait topik ini dapat dilakukan lebih lanjut, diantaranya:

1. Dilakukan perhitungan untuk kebutuhan arus keseluruhan pada komponen tercelup air seperti *bowthruster*, *propeller* dan *earthing system* serta *rudder* sehingga tidak hanya pada lambung kapal.
2. Dilakukan pertimbangan nilai arus, voltase, dan daya yang meliputi keseluruhan sistem bukan hanya untuk input ICCP sehingga kebutuhan riil dari seluruh sistem dapat diketahui dan disesuaikan dengan aplikasi pemanfaatan TEG.
3. Penelitian lanjutan berupa pembuatan sistem TEG sesuai ukuran asli mengacu pada kapal yang sedang beroperasi sehingga hasil penelitian dapat dijadikan acuan nyata dalam penerepannya pada sektor maritim.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- ABS. (2017) 'CATHODIC PROTECTION OF SHIPS 2017'
- Ali, H. and Sami, B. (2016) 'Influence of pin material configurations on thermoelectric generator performance', *Energy Conversion and Management*, 129, pp. 157–167. doi: 10.1016/j.enconman.2016.10.031.
- Ashworth, V. (2010) '4. 18 Principles of Cathodic Protection', 2, pp. 3–10.
- Angrist, S. W. (1976). *Direct Energy Conversion*. Boston: Allyn and Bacon Inc.
- Balan, K., 2018. *Corrosion. Metallurgical Failure Analysis*, pp.155-178.
- B. Mainier, F. (2014) 'Ship hull corrosion caused by default and lack of maintenance on the impressed current cathodic protection', *IOSR Journal of Engineering*, 4(2), pp. 34–39. doi: 10.9790/3021-04223439.
- Blanco-davis, E. and Zhou, P. (no date) 'Life Cycle Assessment as a complementary utility to regulatory measures of shipping energy efficiency', 44(0).
- Caterpillar Inc. (2017) 'Project Guide Marine Genset C18'.
- Cathwell. CathSense® ICCP for underwater hull protection - Cathwell. [daring] Tersedia di: <<https://cathwell.com/industries/ships/iocc-for-hull/>> [Diakses 10 Juni 2021].
- Christodoulou, C. *et al.* (2010) 'Assessing the long term benefits of Impressed Current Cathodic Protection', *Corrosion Science*, 52(8), pp. 2671–2679. doi: 10.1016/j.corsci.2010.04.018.
- DNV-GL. (2010) 'DNV-RP-B401: CATHODIC PROTECTION DESIGN 2010'.
- Erturun, U., Erermis, K. and Mossi, K. (2014) 'Effect of various leg geometries on thermo-mechanical and power generation performance of thermoelectric devices', *Applied Thermal Engineering*, 73(1), pp. 128–141. doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2014.07.027.
- G. F. Mars (1980) *Corrosion Engineering and Corrosion Science Third Edition*. McGraw Hill, Inc.
- Hannu, J. and Majewski, W. A. (2017) 'Waste Heat Recovery for Heavy-Duty Diesel Engines—A Review of Mechanical Turbocompounding', *Proceedings of the ASME 2017 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference*, pp. 1–11.
- Jang, J., Tsai, Y. and Wu, C. (2013) 'A study of 3-D numerical simulation and comparison with experimental results on turbulent flow of venting fl ue gas using thermoelectric generator modules and plate fi n heat sink', *Energy*, 53, pp. 270–281. doi: 10.1016/j.energy.2013.03.010.
- Karri, M. A. (2011). *Thermoelectric Power Generation System Optimization Studies*.

Newyork: Clarkson University.

- Kristiansen, N. R. *et al.* (2012) ‘Waste heat recovery from a marine waste incinerator using a thermoelectric generator’, *Journal of Electronic Materials*, 41(6), pp. 1024–1029. doi: 10.1007/s11664-012-2009-6.
- Luo, D. *et al.* (2020) ‘A numerical study on the performance of a converging thermoelectric generator system used for waste heat recovery’, *Applied Energy*, 270, p. 115181. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115181.
- Mat Nawi, Z. *et al.* (2019) ‘The potential of exhaust waste heat recovery (WHR) from marine diesel engines via organic rankine cycle’, *Energy*, 166, pp. 17–31. doi: 10.1016/j.energy.2018.10.064.
- Ouyang, T. *et al.* (2019) ‘Design and modeling of marine diesel engine multistage waste heat recovery system integrated with flue-gas desulfurization’, *Energy Conversion and Management*, 196(April), pp. 1353–1368. doi: 10.1016/j.enconman.2019.06.065.
- Paul, D. (2014) ‘Thermoelectric Energy Harvesting’, *International Conference on Thermoelectrics, ICT, Proceedings*, pp. 54–56.
- Pradhan, S. *et al.* (2018) ‘Investigating the Potential of Waste Heat Recovery as a Pathway for Heavy-Duty Exhaust Aftertreatment Thermal Management’. doi: 10.4271/2015-01-1606.Copyright.
- Sharp, J. (2016) ‘Thermoelectric Energy Conversion Devices’, in *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier. doi: 10.1016/b978-0-12-803581-8.01093-6.
- Soepomo, Heri. (1995). Diktat Kuliah Korosi,. Surabaya :Jurusan Teknik Perkapalan
- Soo, S. L. (1968). *Direct Energy Conversion*. Prentice-Hall Inc.
- Swarnkar, N. (2020) ‘REVIEW OF THERMOELECTRIC MATERIALS AND ITS PROPERTIES WITH REVIEW OF THERMOELECTRIC MATERIALS AND ITS PROPERTIES WITH’, (August).
- Venugopal, S. P. (2018) ‘Cooling system analysis of thermoelectric generator used for marine waste heat recovery’, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(Specialissue5), pp. 4545–4548. doi: 10.3923/jeasci.2018.4545.4548.
- Xu, B. *et al.* (2019) ‘A comprehensive review of organic rankine cycle waste heat recovery systems in heavy-duty diesel engine applications’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107(September 2018), pp. 145–170. doi: 10.1016/j.rser.2019.03.012.
- Yamashita, O., Odahara, H. and Tomiyoshi, S. (2004) ‘Effect of metal electrode on thermoelectric power in bismuth telluride compounds’, *Journal of Materials Science*, 39(18), pp. 5653–5658. doi: 10.1023/B:JMSC.0000040072.92877.cd.
- Zhang, X. *et al.* (2016) ‘The match of output power and conversion efficiency of

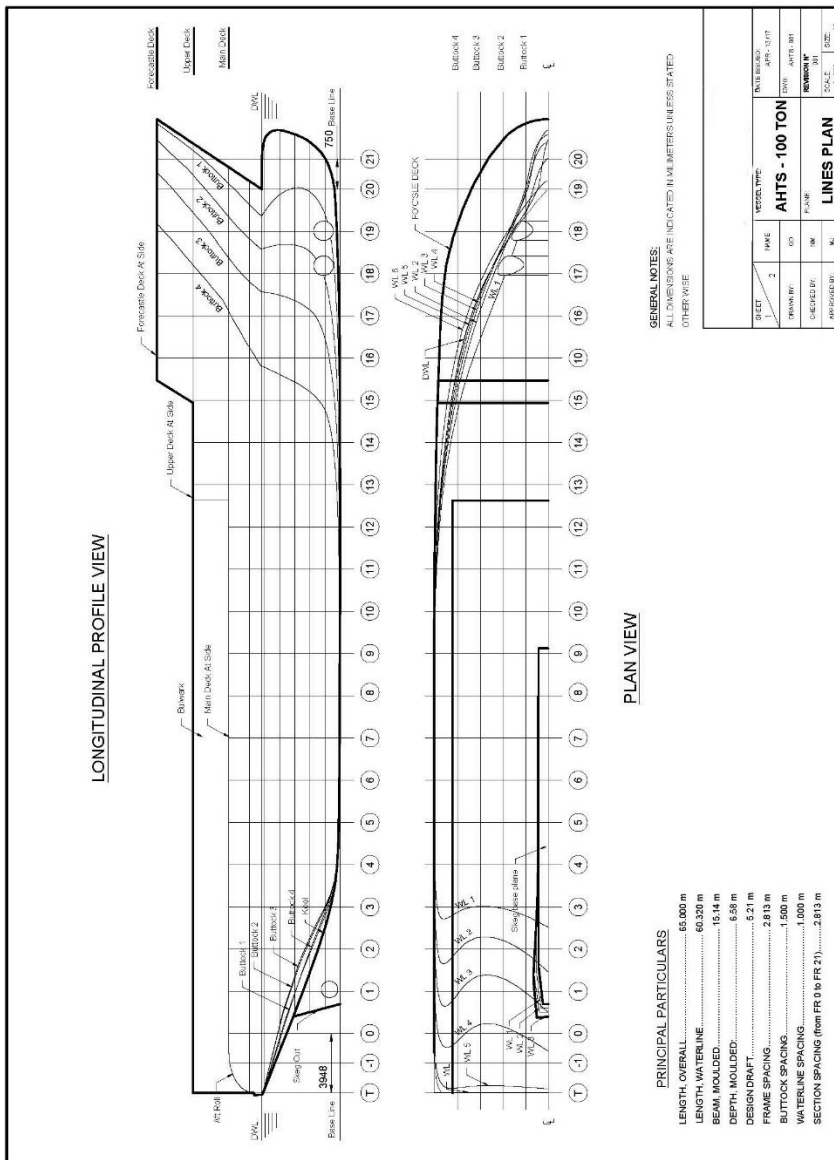
thermoelectric generation technology for vehicle exhausts waste heat', *Proceedings - 2016 8th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2016*, (1), pp. 805–810. doi: 10.1109/ICMTMA.2016.195.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

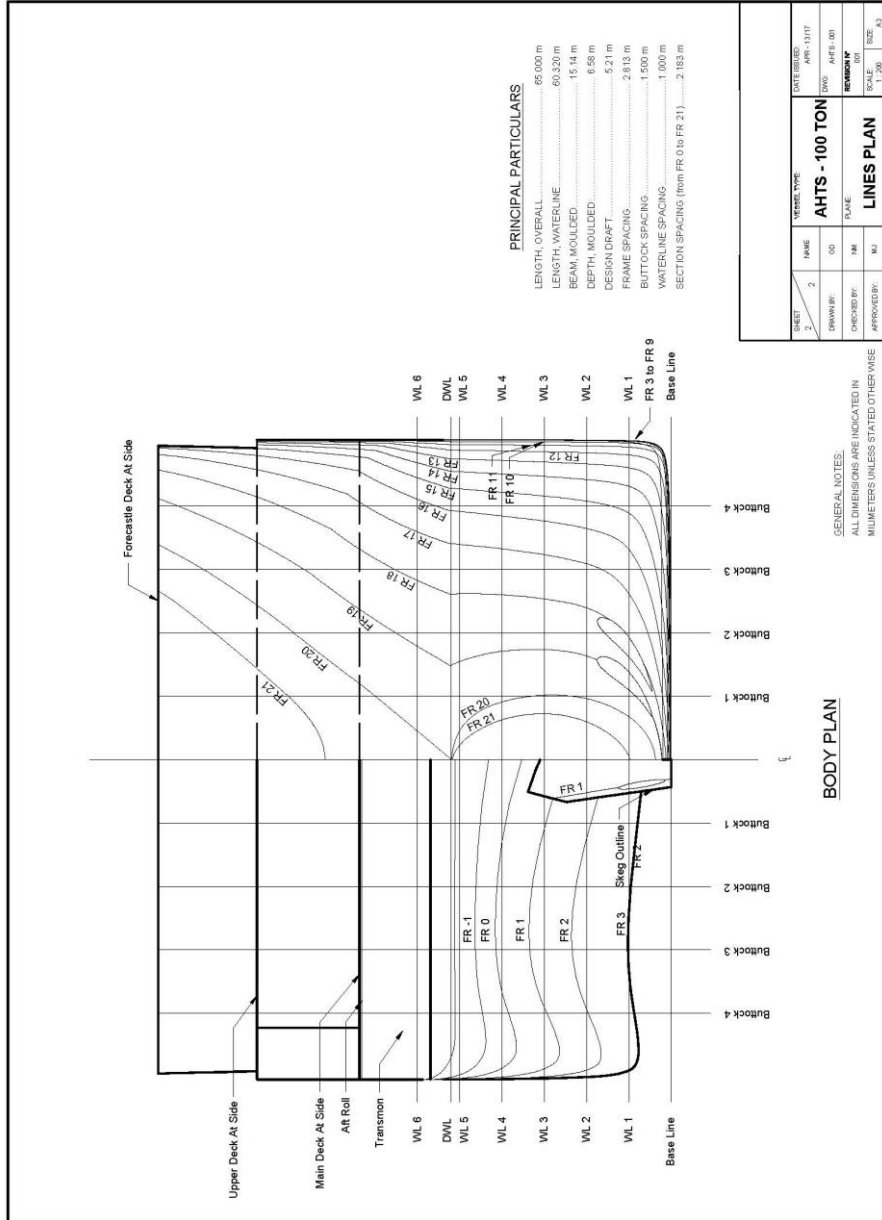
LAMPIRAN

1. Data kapal

LINES PLAN KAPAL AHTS



# BODY PLAN



### PRINCIPAL PARTICULARS

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| LENGTH OVERALL                       | 66,000 m |
| LENGTH WATERLINE                     | 60,320 m |
| BEAM, MOULDED                        | 15.14 m  |
| DEPTH, MOULDED                       | 6.98 m   |
| DESIGN DRAFT                         | 5.21 m   |
| FRAME SPACING                        | 2.813 m  |
| BUTTOCK SPACING                      | 1,500 m  |
| WATERLINE SPACING                    | 1,000 m  |
| SECTION SPACING (from FR.0 to FR.21) | 2,183 m  |

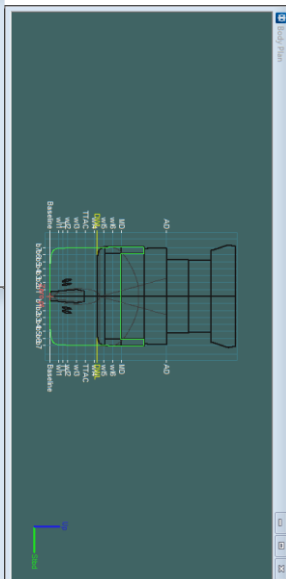
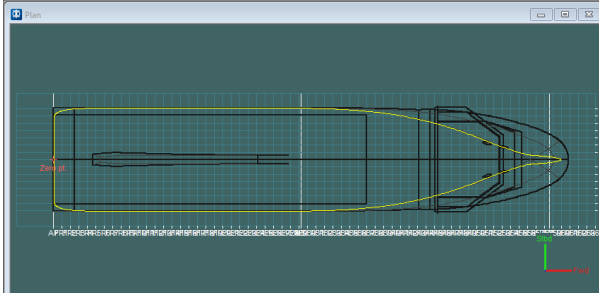
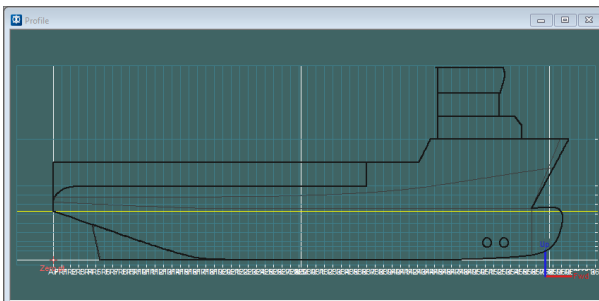
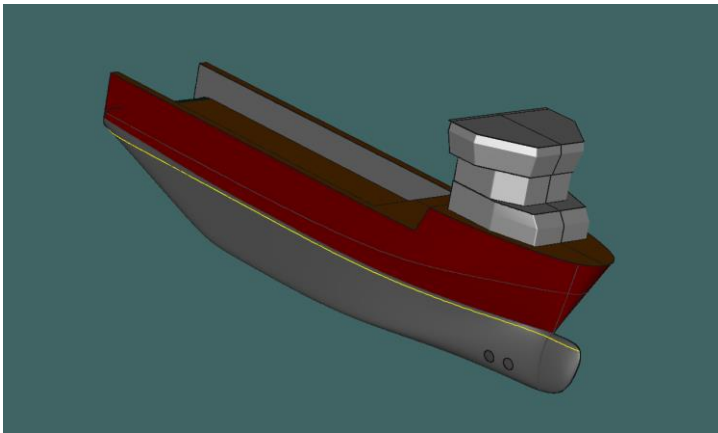
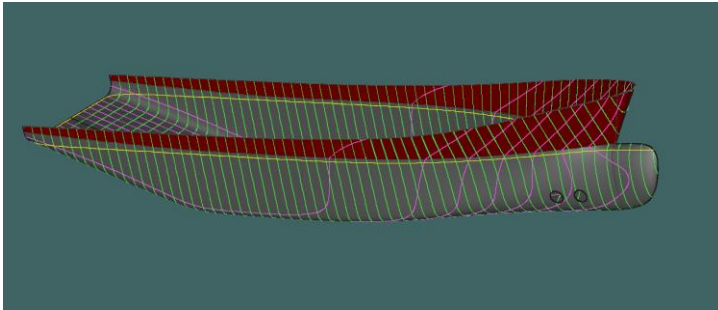
|              |          |            |             |
|--------------|----------|------------|-------------|
| SHEET<br>2   | NO.<br>2 | NAME<br>GO | DATE ISSUED |
|              |          |            | APR-13/17   |
| DRAWN BY     | CHKD BY  | INJ        | DESIGNER    |
|              |          |            | APR-13/17   |
| APPROVED BY: |          |            | SCALE       |
|              |          |            | 1:200       |
|              |          |            | SIZE        |
|              |          |            | A3          |

### BODY PLAN

GENERAL NOTES:  
ALL DIMENSIONS ARE INDICATED IN  
MILLIMETERS UNLESS STATED OTHERWISE

### AHTS - 100 TON LINES PLAN

## 2. Model 3D kapal AHTS maxsurf





### 3. Data luasan basah maxsurf

| Surface                      | Below DWL 3D true surface area m <sup>2</sup> | LC area m | TC area m | VC area m | I-roll m <sup>4</sup> | I-pitch m <sup>4</sup> | I-yaw m <sup>5</sup> | length m | Width m | Depth m | Top edge length (untrimmed) m | Bottom edge length (untrimmed) m | Left edge length (untrimmed) m | Right edge length (untrimmed) m |
|------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------|---------|---------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Topsides                     | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 57,721   | 11,741  | 6,522   | 59,696                        | 57,423                           | 9,506                          | 6,984                           |
| Bottom                       | 933,873                                       | 27,281    | 0         | 1,964     | 17950,714             | 178283,042             | 190812,445           | 54,956   | 11,741  | 6,644   | 55,444                        | 55,548                           | 6,437                          | 6,012                           |
| Topsides Bowcone             | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 2,34     | 4,303   | 3,295   | 3,388                         | 1,403                            | 6,984                          | 7,078                           |
| Aft Roll                     | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 2,411    | 11,961  | 1,901   | 3,399                         | 3,399                            | 7,433                          | 7,433                           |
| Maindeck                     | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 33,307   | 10,074  | 0       | 36,981                        | 36,981                           | 7,433                          | 7,433                           |
| LowerAccomSides              | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 9,542    | 8,75    | 2,64    | 12,562                        | 12,562                           | 3,62                           | 3,551                           |
| LowerAccomRoof               | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 8,746    | 8,739   | 0       | 10,479                        | 10,478                           | 4,718                          | 4,686                           |
| UpperAccomSides              | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 7,664    | 12,147  | 2,87    | 10,847                        | 11,633                           | 3,317                          | 3,203                           |
| UpperAccomRoof               | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 7,811    | 11,844  | 0       | 8,843                         | 7,811                            | 5,322                          | 2,79                            |
| Bulbous bow                  | 29,294  | 56,076    | 0         | 3,16      | 57,219                | 73,783                 | 38,713               | 3,571    | 1,876   | 5,423   | 3,251                         | 2,552                            | 6,012                          | 4,605                           |
| LowerStep                    | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 0,003    | 10,074  | 2,743   | 6,75                          | 6,75                             | 6,326                          | 6,326                           |
| 1st Deck                     | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 41,646   | 11,741  | 0       | 52,467                        | 52,467                           | 6,607                          | 6,607                           |
| 01 Acc Deck                  | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 15,749   | 11,384  | 0       | 21,328                        | 21,328                           | 6,577                          | 6,577                           |
| InnerBulwarks                | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 35,72    | 10,074  | 3,402   | 40,561                        | 40,547                           | 8,696                          | 8,672                           |
| Transom                      | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 0        | 11,741  | 5,487   | 7,015                         | 7,015                            | 9,314                          | 9,314                           |
| AftRollCut                   | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 0        | 0       | 0       | 5,689                         | 5,689                            | 6,382                          | 6,382                           |
| UpperStep                    | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 1,32     | 11,405  | 2,64    | 6,607                         | 6,607                            | 6,259                          | 6,259                           |
| Chine                        | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 56,378   | 11,741  | 4,543   | 57,423                        | 55,548                           | 0,56                           | 5,067                           |
| Chine Bowcone                | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 2,471    | 2,448   | 4,593   | 1,403                         | 0,002                            | 5,067                          | 5,215                           |
| Skeg bottom                  | 46,357  | 9,103     | 0         | 1,288     | 58,438                | 524,014                | 497,767              | 22,315   | 1,58    | 4,03    | 22,422                        | 21,457                           | 4,382                          | 4,421                           |
| Skeg sides                   | 17,995  | 14,586    | 0         | 1,536     | 461,609               | 463,145                | 463,145              | 17,975   | 1,03    | 0       | 21,457                        | 21,445                           | 0,282                          | 0,515                           |
| Skeg end                     | 3,723   | 4,871     | 0         | 2,267     | 5,086                 | 5,021                  | 0,513                | 0,871    | 1,243   | 4,03    | 0,658                         | 0,282                            | 4,569                          | 4,582                           |
| MidleAccomSides              | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 6,966    | 8,589   | 2,64    | 10,453                        | 10,459                           | 3,851                          | 3,851                           |
| MidleAccomRoof               | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 7,088    | 10,832  | 0       | 6,396                         | 6,396                            | 8,01                           | 8,02                            |
| SuperAft                     | 0   | 11,679    | 0         | 4,017     | 0                     | 0                      | 0                    | 0        | 12,139  | 8,149   | 7,572                         | 7,572                            | 9,679                          | 9,679                           |
| Total Below DWL 3D true surf | 1001,202                                      | 26,969    | 0         | 1,934     | 18204,769             | 223725,232             | 236058,57            | 58,718   | 12,147  | 21,877  | ---                           | ---                              | ---                            | ---                             |

4. Data main generator

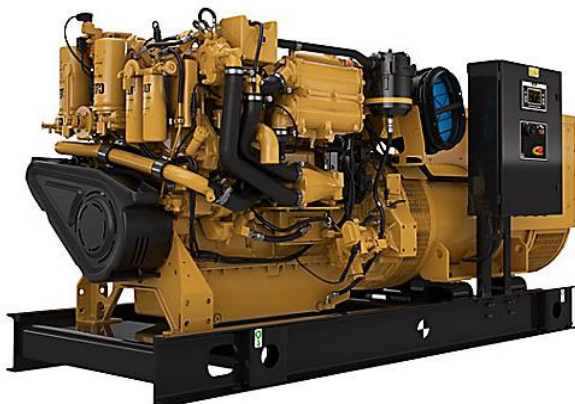
ENGINE PERFORMANCE

| GENSET POWER WITHOUT FAN | PERCENT LOAD | ENGINE POWER | BRAKE MEAN EFF PRES (BMEP) | BRAKE SPEC FUEL CONSUMIPTN (BSFC) | VOL FUEL CONSUMIPTN (VFC) | INLET MFLD PRES | INLET MFLD TEMP | EXH MFLD PRES | EXH MFLD TEMP | EXH MFLD PRES | EXH MFLD TEMP |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| EKW                      | %            | BKW          | KPA                        | G/KWHHR                           | L/HR                      | KPA             | DEG C           | KPA           | DEG C         | KPA           | DEG C         |
| 621.5                    | 110          | 659          | 2,423                      | 215.1                             | 169.0                     | 273.6           | 64.6            | 262.1         | 668.8         | 262.1         | 447.4         |
| 565.0                    | 100          | 599          | 2,203                      | 214.0                             | 152.8                     | 254.2           | 62.7            | 239.9         | 635.1         | 239.9         | 425.7         |
| 508.5                    | 90           | 539          | 1,982                      | 211.2                             | 135.7                     | 227.5           | 60.6            | 210.5         | 601.9         | 210.5         | 407.0         |
| 452.0                    | 80           | 479          | 1,761                      | 210.6                             | 120.2                     | 200.3           | 58.7            | 182.9         | 573.0         | 182.9         | 393.1         |
| 423.8                    | 75           | 449          | 1,651                      | 212.4                             | 113.7                     | 188.7           | 56.1            | 172.1         | 562.8         | 172.1         | 388.8         |
| 395.5                    | 70           | 419          | 1,541                      | 214.5                             | 107.2                     | 177.4           | 57.5            | 161.3         | 553.5         | 161.3         | 385.2         |
| 339.0                    | 60           | 360          | 1,322                      | 219.4                             | 84.0                      | 155.1           | 56.3            | 139.5         | 535.9         | 139.5         | 378.6         |
| 282.5                    | 50           | 300          | 1,103                      | 225.9                             | 80.8                      | 129.9           | 54.7            | 116.7         | 514.8         | 116.7         | 369.8         |
| 226.0                    | 40           | 240          | 882                        | 235.3                             | 67.3                      | 102.2           | 52.4            | 93.5          | 486.6         | 93.5          | 356.0         |
| 169.5                    | 30           | 180          | 662                        | 249.7                             | 53.6                      | 74.6            | 49.4            | 71.5          | 451.6         | 71.5          | 337.4         |
| 141.2                    | 25           | 150          | 551                        | 260.1                             | 46.5                      | 61.5            | 47.3            | 61.4          | 425.9         | 61.4          | 321.4         |
| 113.0                    | 20           | 120          | 441                        | 273.9                             | 39.2                      | 48.8            | 44.5            | 51.9          | 391.1         | 51.9          | 298.1         |
| 56.5                     | 10           | 59.9         | 220                        | 337.5                             | 24.1                      | 24.5            | 37.7            | 34.5          | 306.4         | 34.5          | 239.4         |

HEAT REJECTION

| GENSET POWER WITHOUT FAN | PERCENT LOAD | ENGINE POWER | REJECTION TO JACKET WATER | REJECTION TO ATMOSPHERE | REJECTION TO EXH | EXH RECOVERY TO 177C | FROM OIL COOLER | FROM AFTERCOOLER | WORK ENERGY | LOW HEAT VALUE ENERGY | HIGH HEAT VALUE ENERGY |
|--------------------------|--------------|--------------|---------------------------|-------------------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|-------------|-----------------------|------------------------|
| EKW                      | %            | BKW          | KW                        | KW                      | KW               | KW                   | KW              | KW               | KW          | KW                    | KW                     |
| 621.5                    | 110          | 659          | 386                       | 34.1                    | 560              | 279                  | 89.7            | 161              | 659         | 1,685                 | 1,795                  |
| 565.0                    | 100          | 599          | 349                       | 30.9                    | 504              | 244                  | 81.2            | 142              | 599         | 1,524                 | 1,623                  |
| 508.5                    | 90           | 539          | 312                       | 28.1                    | 445              | 209                  | 72.1            | 119              | 539         | 1,353                 | 1,441                  |
| 452.0                    | 80           | 479          | 278                       | 25.8                    | 393              | 181                  | 63.6            | 98.4             | 479         | 1,194                 | 1,272                  |
| 423.8                    | 75           | 449          | 265                       | 24.7                    | 373              | 171                  | 60.0            | 90.2             | 449         | 1,126                 | 1,200                  |
| 395.5                    | 70           | 419          | 253                       | 23.8                    | 355              | 161                  | 56.6            | 82.6             | 419         | 1,062                 | 1,131                  |
| 339.0                    | 60           | 360          | 229                       | 22.2                    | 321              | 144                  | 49.8            | 67.7             | 360         | 936                   | 997                    |
| 282.5                    | 50           | 300          | 198                       | 20.8                    | 284              | 124                  | 42.7            | 51.0             | 300         | 801                   | 853                    |
| 226.0                    | 40           | 240          | 172                       | 19.0                    | 242              | 101                  | 35.4            | 35.2             | 240         | 665                   | 708                    |
| 169.5                    | 30           | 180          | 155                       | 16.6                    | 194              | 78.0                 | 28.4            | 22.7             | 180         | 533                   | 568                    |
| 141.2                    | 25           | 150          | 143                       | 15.4                    | 169              | 64.8                 | 24.7            | 17.6             | 150         | 464                   | 494                    |
| 113.0                    | 20           | 120          | 127                       | 14.3                    | 143              | 50.0                 | 20.9            | 13.2             | 120         | 382                   | 417                    |
| 56.5                     | 10           | 59.9         | 87.5                      | 12.1                    | 90.2             | 21.5                 | 12.8            | 6.5              | 59.9        | 240                   | 256                    |

## SPEKIFIKASI MAIN GENERATOR



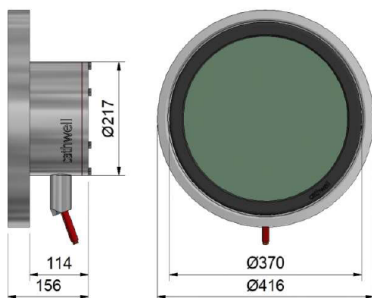
|                  |       |      |
|------------------|-------|------|
| Power rating     | 565   | kW   |
| RPM              | 1800  |      |
| Frequency        | 60    | Hz   |
| SFOC (100% load) | 152,8 | l/hr |
| Number of Cyc.   | 12    |      |
| Bore             | 145   | mm   |
| Stroke           | 183   | mm   |

## SPEKIFIKASI ANODA

### TECHNICAL DATA SHEET

ICCP disc anode Ø370 MMO/Ti w/cofferdam, ADS-2

Medium size, durable disc anode – designed for easy installation and replacement.



ICCP disc anode Ø370 MMO/Ti w/cofferdam, ADS-2

### CAPACITY

|                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| Nominal current | 75-100 A                     |
| Lifespan        | >15 years at nominal current |

### DESIGN

|                |                         |
|----------------|-------------------------|
| Fitting        | Fully recessed in hull  |
| Outer diameter | 370 mm                  |
| Thickness      | 16 mm                   |
| Weight         | 43 kg                   |
| Active layer   | MMO (mixed metal oxide) |
| Solid base     | Ti (titanium)           |
| Encapsulation  | Neoprene (rubber)       |

### INSTALLATION

|           |                 |
|-----------|-----------------|
| Bolting   | Internal        |
| Sealing   | Built-in O-ring |
| Cofferdam | Welding in hull |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Wahid Fajar Sidik, dan akrab dipanggil dengan nama Wahid, dilahirkan di Kota Bandung pada tanggal 19 Juni 1998. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal di SDN 1 Tapan (2004-2010), SMPN 1 Wanadadi (2010-2013), SMAN 1 Banjarnegara (2013-2016). Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang studi *Marine Machinery and System* (MMS) dengan NRP. 04211740000061. Penulis pernah menjalani Kerja Praktik di perusahaan PT. Yasa Wahana Tirta Samudera Semarang

untuk mempelajari proses reparasi kapal dan proses kegiatan galangan, PT. Turbo Tech Indonesia Surabaya untuk mempelajari proses perawatan dan reparasi turbocharger, PT. Reka Bahtera Putra Nusantara untuk mempelajari proses desain kapal cepat, dan PT. Trakindo Utama Surabaya sebagai *sales engineer* untuk mempelajari proses pemenuhan kebutuhan customer terhadap mesin disel baik *main engine* maupun generator. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dan berpengalaman dalam berbagai organisasi. Penulis pernah menjadi Kepala Divisi Materi Trainer Keilmiah ITS 2020/2021, Ketua Biro Keilmiah Himasiskal FTK-ITS 2020/2021, *Staff Competition Development Society of Petroleum Engineer Student Chapter* 2019/2020, Staff Inovasi Karya Himasiskal FTK-ITS 2019/2020 serta Wakil Ketua *Marine Research & Technology Club* 2018/2019. Penulis juga aktif mengikuti pelatihan yaitu LKMM pra TD, LKMM TD, PKTI TD, Pelatihan PKM, *Marine Leadership School*, *Training for Trainer* serta *AutoCAD Basic Training*. Penulis pernah menjuarai beberapa kompetisi internasional dan nasional seperti *Gold Medal I Idea 1 World Turkey* 2021, *2x Gold Medal* dan *2x Bronze Medal Indonesia Inventors Day* 2020, Juara 1 *Smart Competition Indonesia Ocean Expo* 2021 serta beberapa perlombaan yang tidak dapat dituliskan.

**Wahid Fajar Sidik**

wahidfajar72@gmail.com