

Evaluasi Keandalan *Submarine Power Cable* 20 kV Bangka-Lepar

TESIS

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI SISTEM TENAGA LISTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik



AGUNG FITRAHADI

NIM.156060300111005

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019

DAFTAR ISI**HALAMAN JUDUL****LEMBAR PERSETUJUAN****DAFTAR ISI**..... i**DAFTAR GAMBAR**..... iii**DAFTAR TABEL** iv**ABSTRAK** v**BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah..... 3

1.4 Tujuan Penelitian 3

1.5 Manfaat Penelitian 4

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka 5

2.2 Gambaran Umum Lokasi Penelitian 6

2.3 Bathimetri..... 6

2.4 Zona Kedalaman 7

2.5 Pasang Surut..... 7

2.6 Echosunder 8

2.7 Teknologi Penginderaan Jauh 9

2.8 Sistem Tenaga Listrik 10

2.9 Sistem Transmisi dan Besarannya 11

2.10 Besaran 13

2.11 Interkoneksi..... 16

2.12 Perancangan Jarigan Transmisi dengan Kabel Laut 17

2.13 Kabel Laut..... 17

| | |
|--|----|
| 2.14 Jenis Kabel Laut..... | 18 |
| 2.15 Kabel Laut Isolasi Minyak..... | 18 |
| 2.16 Pemilihan Jenis Kabel..... | 20 |
| 2.17 Konstruksi Kabel Laut..... | 20 |
| BAB 3 KERANGKA KONSEP BERFIKIR | |
| 3.1 Kerangka Berfikir..... | 19 |
| 3.2 Evaluasi SPC (<i>Submarine Power Cable</i>)..... | 19 |
| 3.3 Variabel Penelitian..... | 21 |
| 3.3 Hipotesis..... | 21 |
| BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN | |
| 4.1 Metode Penelitian..... | 22 |
| BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 5.1 Lokasi Penelitian dan Peletakan Kabel..... | 41 |
| 5.2 Batimetri Hasil Pengukuran di Lapangan..... | 42 |
| 5.3 Analisis Keandalan Submarine Power Cable..... | 45 |
| 5.4 Analisa Prosedur Peletakan Kabel..... | 51 |
| BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 6.1 Kesimpulan..... | 55 |
| 6.2 Saran..... | 55 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Peta Lokasi Penelitian | 6 |
| Gambar 2.2 Diagram Sistem Tenaga Listrik..... | 11 |
| Gambar 2.3 Arus Tertinggal 90 Derajat Dari Tegangan..... | 14 |
| Gambar 2.4 Reaktansi Kapasitansi | 15 |
| Gambar 2.5 Arus Mendahului Tegangan 90 Derajat | 11 |
| Gambar 2.6 Kabel Laut Jenis Light | 18 |
| Gambar 2.7 Kabel Laut Isolasi Minyak | 19 |
| Gambar 2.8 Penampang Kabel Laut Isolasi Minyak | 19 |
| Gambar 3.1 Kerangka Konsep Berfikir | 23 |
| Gambar 3.2 Ilustrasi Metode Dimensi Reduksi | 25 |
| Gambar 4.1 Pengubah Nilai Numerik..... | 28 |
| Gambar 4.2 Transformasi Data Geodetik | 29 |
| Gambar 4.3 Proses ‘Gridding Wizard’..... | 29 |
| Gambar 4.4 Penyimpanan Data Kedalam Bentuk ‘b1n’ | 29 |
| Gambar 4.5 Proses ‘Plot’ dan ‘Gridding’ | 29 |
| Gambar 4.6 Membuat Kontur Map..... | 30 |
| Gambar 4.7 Tampilan Kontur dan 3D Hasil Pengolahan Data Pada Surfer | 30 |
| Gambar 4.8 Diagram Alir Metodologi Penelitian..... | 31 |
| Gambar 4.9 Ilustrasi Metode Dimensi Reduksi | 33 |
| Gambar 4.10 Flowchart Perhitungan SPC menggunakan Metode Dimensi Reduksi | 37 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1 Kanal-kanal yang terdapat pada Landsat 8 | 8 |
| Tabel 2 Tahanan Jenis dan Berat Jenis Logam | 21 |



Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi keandalan *submarine power cable* 20 kV Bangka-Lepar. *Submarine power cable* ini juga menggambarkan jaringan distribusi tegangan menengah di Bangka-Lepar dan menentukan korelasi berbagai parameter yang mempengaruhi operasi jaringan kemudian memberikan informasi tentang prosedur peletakan kabel. Selanjutnya penelitian dilakukan dengan analisis reliabilitas berdasarkan model statistik (dimensi reduksi). Dimensi reduksi digunakan untuk mengevaluasi karakteristik operasional kabel seperti tingkat kegagalan dari penyebab alami atau manusia serta juga digunakan untuk memilih antara dua rute kabel dan menentukan satu keandalan maksimum. Hasil dari penelitian ini adalah keandalan jalur alternatif meningkat sebesar 0,16% dibandingkan dengan jalur eksisting, sedangkan jalur alternatif dengan menggunakan proteksi meningkat sebesar 0,11% dibandingkan dengan jalur eksisting yang menggunakan proteksi. Jalur SPC Alternatif memiliki panjang 2813,84meter dan jalur SPC *Existing* memiliki panjang 3064,06 meter, sehingga jalur alternatif lebih pendek dibandingkan jalur SPC *existing*.

Kata kunci: *Dimensi reduksi, Keandalan, Prosedur Peletakan, Submarine Power Cable*

Abstract

This study evaluates the reliability of submarine power cable 20 kV Bangka-Lepar. The Submarine power cable also describes the medium voltage distribution network at Bangka-Lepar and determines the correlation of various parameters that affect network operations and then provides information about the power cable itself and laying procedures. Furthermore the research conducts with reliability analysis based on statistical models. This model is used to evaluate characteristics operational cable such as failure rates of natural or human causes, and is also used to choose between two cable routes and to determine one maximum reliability. The results of this study are increasing the alternative line by 0.16% compared to the existing lane, while the alternative lane using protection increases by 0.11% compared to the existing line that uses protection. The Alternative SPC line has a length of 2813.84 meters and the existing SPC line has a length of 3064.06 meters, so alternative routes are shorter than the existing SPC lines.

Keywords: *Dimension Reduction Reliability, Laying procedur, Submarine Power Cable*

BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pulau Lepar merupakan salah satu pulau terbesar dari pulau pulau kecil yang ada di Propinsi Bangka Belitung, secara administrasi Pulau Lepar masuk di Kecamatan Lepar Pongok, Kabupaten Bangka Selatan. Pulau ini terletak pada posisi Geografis $02^{\circ}57'00''$ LS dan $106^{\circ}48'36''$ BT dengan luas 25.416.380 ha. (Pulau terbesar di Bangka Selatan). Topografi Pulau Lepar berbentuk sedikit datar dan banyak berbukit bukit, Masyarakat desa ini sebagian besar berprofesi sebagai petani dan sebagian nelayan. Pulau lepar adalah pulau yang dilayani oleh *submarine power cable* yang terhubung dari Pulau Bangka. Daerah ini merupakan daerah kawasan wisata yang dihuni 2.087 jumlah keluarga. Kebutuhan listrik di Pulau Lepar disuplai oleh jaringan tegangan menengah 20 kV dengan menggunakan *submarine power cable*. *Submarine* Pulau Lepar ini terhubung dari Pulau Bangka yang jarak nya ± 3 km.

Submarine power cable Bangka-Lepar menjadi perhatian penting dalam penyaluran energi. Beberapa faktor gangguan yang terjadi adalah faktor alam, manusia, dan aktifitas pelayaran kapal. Untuk mengantisipasi terjadi gangguan maka dilakukan perawatan rutin. Perawatan rutin dilakukan untuk menekan terjadinya akibat gangguan. Selain dilakukan perawatan rutin maka SPC Bangka-Lepar perlu dievaluasi guna memperpanjang usia pemakaian, dengan permasalahan tersebut maka perlu dievaluasi. Evaluasi tersebut dapat dilakukan dengan menganalisis peletakan dan keandalan mekanik SPC. Evaluasi SPC (*Submarine Power Cable*) Jaringan listrik tegangan menengah 20 kV dari Pulau Bangka menuju Pulau Lepar sebagai subjek penelitian. SPC dianalisis pada keadaan yang sudah ada dari situ akan dihasilkan keandalan mekanik. Dari data dilihat keandalan mekanik SPC dan dilakukan langkah-langkah perbaikan agar didapatkan keandalan mekanik yang optimal. Evaluasi pada SPC bangka-lepar dilakukan dengan mengacu pada peraturan menteri kelautan dan PUIL.

Selain dengan dengan melakukan evaluasi maka perlu juga dilakukan perancangan rute alternatif. Perancangan rute alternatif merupakan bagian yang esensial dalam mengatasi pertumbuhan kebutuhan energi listrik yang cukup pesat. Perencanaan diperlukan sebab berkaitan dengan tujuan pengembangan sistem distribusi yang harus memenuhi beberapa kriteria teknis dan ekonomis. Perancangan rute alternatif ini harus dilakukan secara sistemik dengan pendekatan yang didasarkan pada peramalan beban untuk memperoleh suatu pola pelayanan yang optimal.

Tujuan perancangan rute alternatif adalah untuk mendapatkan suatu fleksibilitas pelayanan optimum yang mampu dengan cepat mengantisipasi pertumbuhan kebutuhan energi elektrik dan kerapatan beban yang harus dilayani. Adapun faktor-faktor lain yang dapat menjadi input terkait dalam perancangan rute alternatif ini antara lain adalah: pola penggunaan lahan pada regional tertentu, faktor ekologi dan faktor geografi. Perancangan rute alternatif ini harus

mampu memberikan gambaran besarnya beban pada lokasi geografis tertentu, sehingga dapat ditentukan dengan baik letak dan kapasitas gardu-gardu distribusi yang akan melayani areal beban tersebut dengan mempertimbangkan minimisasi susut energi dan investasi konstruksi, tanpa mengurangi kriteria, teknis yang diperlukan.

Perancangan rute alternatif ini dapat dilakukan dalam perioda jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang. Perancangan jangka panjang harus selalu diaktualisasi dan dikoordinasikan dengan perencanaan jangka menengah dan dikoreksi oleh perkembangan jaringan distribusi kondisi eksisting. Efektifitas perancangan rute alternatif ini makin dikaitkan dengan makin tingginya investasi terhadap energi, peralatan dan tenaga kerja. Di samping itu perancangan yang baik akan memberikan kontribusi besar terhadap pengembangan sistem distribusi. Kondisi ini disebabkan pada kenyataan sistem distribusi merupakan ujung tombak dari pelayanan energi listrik karena langsung berhubungan dengan konsumen sehingga adanya gangguan pada sisi distribusi akan berakibat langsung pada konsumen. Sedangkan adanya gangguan pada sisi transmisi ataupun sisi pembangkit belum tentu menyebabkan terjadinya proses interupsi disisi konsumen.

Dalam penelitian (Nakamura, 1991) telah melakukan penelitian analisis keandalan kabel bawah laut. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil nilai perlindungan mekanik eksternal di berbagai dasar laut dikategorikan dengan mempertimbangkan dampak dari faktor kegagalan, terutama kegagalan karena jangkar kapal dan memancing. Panjang dari pulau terdekat dan kedalaman laut diambil sebagai parameter dan nilai-nilai parameter masing-masing rute kabel tersedia di setiap interval panjang 250 meter yang diambil sebagai data mentah. Karena data kegagalan sangat sedikit dibandingkan dengan total tingkat tiga distribusi dimensi parameter, konsep baru yang disebut 'dimensional reduction' itu diterapkan untuk membangun sebuah model matematika dan menemukan tingkat kegagalan per 250 meter panjang untuk setiap tingkat distribusi. Hasil diaplikasikan untuk mengidentifikasi daerah-daerah kritis operasi dan untuk menentukan perlindungan mekanik eksternal yang cocok untuk rute kabel yang diusulkan setelah diketahui nilai-nilai parameter untuk setiap interval panjang 250 meter.

Harry Nugraha, 2016 melakukan penelitian dan mendapatkan hasil, kabel memiliki karakteristik yang unik. Ini biasanya memiliki biaya modal yang sangat tinggi dibandingkan dengan pemeliharaan dan biaya kegagalan, siklus kegunaan yang relatif panjang, dan dibangun oleh komponen diganti dan kokoh terintegrasi. Karakteristik ini akan memberikan hasil sensitivitas rendah dan efektivitas sistem NPV terhadap perubahan yang dibuat di skema pemeliharaan. Beberapa parameter, seperti karakteristik kehidupan kabel, sistem biaya, dan memperbaiki skema yang dinamis tergantung pada Situasi keuangan, karakteristik permintaan beban, dan kondisi lingkungan.

Np Ventikos, 2016 melakukan penelitian berjudul Submarine power cable: laying procedure, the fleet and reliability analysis. Penelitian tersebut menyelidiki kemungkinan masalah peletakan kabel listrik bawah laut (SPC). Ini memberikan informasi tentang kabel listrik sendiri, prosedur peletakan, dan armada masing-masing. Hal ini juga menggambarkan tegangan

menengah (MV) jaringan transmisi di Yunani dan menentukan korelasi parameter yang berbeda yang mempengaruhi pengoperasian jaringan. Selanjutnya, analisis reliabilitas, didasarkan pada model statistik, dilakukan; Model yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik operasional kabel, seperti tingkat kegagalan dari penyebab alam atau manusia, dan juga digunakan untuk memilih antara yang berbeda-rute kabel kandidat untuk menentukan satu dengan keandalan yang maksimum.

Berdasarkan pemaparan diatas, tujuan dari penelitian ini adalah Mengevaluasi SPC (*submarine power cable*) dari Pulau Bangka menuju Pulau Lepar yang sudah ada (*existing*), mengevaluasi proteksi mekanik pengamanan SPC existing mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan tentang alur pelayaran di laut serta mengacu pada Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2000, dan merancang rute alternatif SPC baru.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang maka dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Analisis SPC (*submarine power cable*) 20 kV dari Pulau Bangka menuju Pulau Lepar ditinjau dari jaringan yang sudah ada (*existing*)
2. Analisis Proteksi mekanik SPC 20 kV mengacu pada peraturan Menteri Perhubungan tentang Alur pelayaran di laut
3. Evaluasi Standarisasi jaringan dan perancangan rute alternatif dimasa yang akan datang

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi materi yang ingin dibahas dalam penelitian ini, maka penulis perlu membuat batasan masalah yang akan dibahas. Hal ini dibuat agar isi pembahasan penelitian ini menjadi terarah dan dapat mencapai hasil yang diharapkan. Adapun batasan masalah pada penulisan penelitian ini adalah Evaluasi SPC (*submarine Power Cable*) dari pulau Bangka menuju Pulau lepar yang sudah ada (*exixting*) mengacu pada peraturan Menteri perhubungan tentang alur pelayaran dilaut.

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian bertujuan sebagai berikut:

1. Mengevaluasi SPC (*submarine power cable*) 20 kV dari Pulau Bangka menuju Pulau Lepar yang sudah ada (*existing*)
2. Mengevaluasi proteksi mekanik SPC 20 kV existing mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan tentang alur pelayaran di laut
3. Mengevaluasi standarisasi jalur SPC 20 kV dan Merancang rute alternatif SPC baru

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Sebagai bahan masukan dalam bidang akademia kepada berbagai pihak terkhusus dalam mengevaluasi dan perancangan SPC (*Submarine Power Cable*)
2. Sebagai bahan masukan kepada PLN dan pemerintah daerah agar kedepan menjadi pertimbangan dalam perencanaan sistem distribusi antar Pulau terhadap Pulau-pulau terpencil.



BAB II

Landasan Teori

2.1 Tinjauan Pustaka

Evaluasi *submarine power cable* 20 kV Bangka-Lepar dapat dilihat dari beberapa aspek diantaranya kedalaman laut, panjang kabel, rute jalur SPC, gangguan mekanik, proteksi mekanik, jenis penghantar kabel dan perubahan kondisi yang diakibatkan oleh alam dan manusia. Berikut ini akan diuraikan beberapa peneliti terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang dibuat.

Penelitian mengenai prosedur peletakan, armada dan analisis reliabilitas dilakukan oleh Np Ventikos (2016). Penelitian tersebut menyelidiki kemungkinan masalah peletakan kabel listrik bawah laut (SPC). Ini memberikan informasi tentang kabel listrik sendiri, prosedur peletakan, dan armada masing-masing. Hal ini juga menggambarkan tegangan menengah (MV) jaringan transmisi di Yunani dan menentukan korelasi parameter yang berbeda yang mempengaruhi pengoperasian jaringan. Selanjutnya, analisis reliabilitas, didasarkan pada model statistik, dilakukan; Model yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik operasional kabel, seperti tingkat kegagalan dari penyebab alam atau manusia, dan juga digunakan untuk memilih antara yang berbeda-rute kabel kandidat untuk menentukan satu dengan keandalan yang maksimum.

Penelitian mengenai keandalan kabel laut juga pernah dilakukan oleh Masatoshi Nakamura (1991). Menyelidiki kegagalan kabel bawah laut dijepang selama 15 tahun dengan model sederhana mendapatkan hasil kemungkinan tingkat kegagalan menentukan perlindungan eksternal pada rute kabel bawah laut. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil nilai perlindungan mekanik eksternal di berbagai dasar laut dikategorikan dengan mempertimbangkan dampak dari faktor kegagalan, terutama kegagalan karena jangkar kapal dan memancing. Panjang dari pulau terdekat dan kedalaman laut diambil sebagai parameter dan nilai-nilai parameter masing-masing rute kabel tersedia di setiap interval panjang 250 meter yang diambil sebagai data mentah. Karena data kegagalan sangat sedikit dibandingkan dengan total tingkat tiga distribusi dimensi parameter, konsep baru yang disebut 'dimensional reduction' itu diterapkan untuk membangun sebuah model matematika dan menemukan tingkat kegagalan per 250 meter panjang untuk setiap tingkat distribusi. Hasil diaplikasikan untuk mengidentifikasi daerah-daerah kritis operasi dan untuk menentukan perlindungan mekanik eksternal yang cocok untuk rute kabel yang diusulkan setelah diketahui nilai-nilai parameter untuk setiap interval panjang 250 meter.

Harry nugraha, 2016 melakukan penelitian dan mendapatkan hasil , kabel SPC memiliki karakteristik yang unik. Ini biasanya memiliki biaya modal yang sangat tinggi dibandingkan dengan pemeliharaan dan biaya kegagalan, siklus kegunaan yang relatif panjang, dan dibangun oleh komponen non-diganti dan kokoh terintegrasi. Karakteristik ini akan memberikan hasil sensitivitas rendah dan efektivitas sistem NPV terhadap perubahan yang dibuat di skema pemeliharaan. Beberapa parameter, seperti karakteristik usia kabel, sistem biaya, dan

memperbaiki skema yang dinamis tergantung pada situasi keuangan, karakteristik permintaan beban, dan kondisi lingkungan.

2.2 Gambaran umum lokasi penelitian

Secara geografis perairan selat lepar terletak pada koordinat $02^{\circ}57'00''$ LS dan $106^{\circ}48'36''$ BT. Dibagian barat terdapat Kawasan pesisir desa Sadai dan di sebelah timur terdapat Kawasan Pulau lepar. Selat lepar terletak di kabupaten Bangka selatan dengan Administratif Wilayah Kabupaten Bangka Selatan mempunyai Luas $\pm 25.416.380$ ha. Perairan selat lepar memiliki peranan penting baik dari segi ekonomi maupun ekologis. Secara ekologis selat ini memiliki berbagai sumberdaya alam seperti ikan, lamun, terumbu karang, hutan mangrove dan sebagainya. Secara ekonomi, perairan ini merupakan perairan dengan aktivitas kehidupan ribuan manusia mulai dari nelayan, pelaku bisnis hingga masyarakat umum lainnya seperti perairan berkelanjutan, alur pelayaran kapal terletak didekat pelabuhan sadai serta perikanan tangkap (BPS Bangka Selatan, 2013).



Gambar 2.1: Peta Lokasi Penelitian (BPS Bangka Selatan, 2013)

Kabupaten Bangka selatan dalam klarifikasi iklim Schmit Ferguson termasuk kedalam Katagori beriklim tropis Tipe A dengan variasi curah hujan antar 70,10 sampai 384,50 mm perbulan (BPS Bangka Selatan, 2013). Musim hujan terjadi rata-rata pada bulan Oktober sampai dengan bulan April. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi dan Geofisika (2014) kabupaten bangka selatan memiliki suhu rata berada pada kisaran $25,90^{\circ}$ C sampai $28,30^{\circ}$ C, sedangkan tingkat kelembabannya bervariasi antara 77% sampai 86,3%. Jenis pasang surut selat lepar yaitu jenis pasang surut diurnal dimana dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut.

2.3 Bathimetri

Informasi kedalaman merupakan salah satu aspek yang sangat penting untuk beberapa kajian kegiatan sumber daya kelautan, baik kedalaman diperairan dalam maupun perairan dangkal. Secara umum informasi kedalaman hanya untuk daerah atau suatu lokasi yang mampu dilalui kapal sehingga untuk perairan dangkal sering kali tidak dapat dilakukan sehingga sebaran titik kedalaman untuk perairan dangkal sangat minim atau terbatas. Bathimetri dapat diartikan

sebagai ukuran kedalaman laut, baik sebagai elevasi maupun mengenai depresi dasar laut yang dapat memberikan informasi tentang topografi dasar laut dari tinggi rendahnya dasar laut. Kedalaman laut dapat diukur dengan menggunakan metode hidroakustik dan data satelit (Tarigan et al, 2014). Metode hidroakustik mempunyai beberapa sistem pancaran tunggal sebagai pengirim dan penerima sinyal gelombang suara. Kedalaman Laut diukur dengan menggunakan *Conventional Depth Echo Sounder*, dimana kedalaman dasar laut dihitung dari perbedaan waktu antara pengiriman dan penerimaan pulsa suara (Arief et al, 2013). Pengindraan jauh satelit digunakan untuk pemetaan batimetri dengan memanfaatkan gelombang electromagnetic yang dipantulkan oleh objek kemudian diterima oleh sensor yang ada pada satelit tersebut (Arief, 2012).

2.4 Zona Kedalaman

Perairan Indonesia, berdasarkan kedalaman laut terbagi menjadi dua, yaitu perairan dangkal berupa paparan dan perairan laut dalam. Dasar laut memiliki beberapa tipe substrat. Perairan laut terbagi secara horizontal. Secara horizontal perairan alaut terbagi menjadi dua yaitu zona neritic dan oseanik. Neritic meliputi peparan benua, sedangkan zona oseanik merupakan laut lepas. Secara vertical perairan laut juga dapat dibagi menjadi zona litoral, batial, abisal, dan hadal (Yulianda, 2017).

2.4.1 Zona Litoral

Zona Litoral merupakan daerah yang mengalami peredaman dan pengeringan secara berkala akibat terjadinya proses pasang surut. Daerah litoral terletak akibat terjadinya proses pasang surut. Daerah litoral terletak antara batas tertinggi saat pasang dan batas terendah saat surut. Zona litoral merupakan peralihan antara kondisi dasar laut dan kondisi darat sehingga berbagai organisme terdapat di zona ini.

2.4.2 Zona Batial

Zona batial merupakan daerah yang mencakup lereng benua. Pada zona ini sinar matahari sudah tidak bias masuk lagi. Tumbuh-tumbuhan yang hidup di dalamnya pun terbatas.

2.4.3 Zona Abisal

Zona abisal merupakan zona dataran abisal yang luas dari palung laut. Pada zona ini sudah tidak ada sinar matahari, suhu sangat rendah, tidak ada tumbuh-tumbuhan dan jumlah binatang terbatas.

2.4.4 Zona Hadal

Zona hadal merupakan perairan terbuka dari palung laut, terletak pada palung laut.

2.5 Pasang Surut

Pasang surut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya sentrifugal dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Permukaan air laut senantiasa berubah setiap saat karena gerakan pasang surut. Periode selama permukaan air laut naik disebut air pasang (*flood tide*), sedangkan kedudukan pada waktu permukaan air laut menurun akibat gaya

pasang surut disebut air surut (*ebb tide*), dan kedudukan rendah dan air tinggi disebut tuggang (*tidal range*) yang besarnya tergantung pada tempat karakteristik daerah setempat. Pada kondisi morfologi perairan faktor non astronomi yang mempengaruhi pasang surut terutama diperairan semi tertutup (teluk) antara lain bentuk garis pantai dan topografi dasar perairan (Masrukhin *et al.* 2014)

Indonesia memiliki empat jenis pasang surut yakni pasang surut semi diurnal (pasut harian ganda) yaitu dua kali pasang dan dua kali surut dalam 24 jam, pasut diurnal atau pasut harian tunggal (satu kali pasang dan satu kali surut dalam 24 jam), campuran keduanya dengan dominan ganda dan campuran keduanya dengan jenis dominan tunggal. Jenis pasang surut harian tunggal misalnya terjadi di perairan sekitar Selat Karimata (Sumatra dan Kalimantan).

2.6 Echosounder

Penggunaan *singlebeam echosounder* mampu digunakan untuk menampilkan profil dasar laut dan banyak digunakan untuk pengukuran kedalaman tepat dibawah kapal untuk membantu navigasi secara *real time*. Penggunaan instrument single beam echosounder mampu memberikan hasil profil bawah laut yang mempunyai revolusi vertikal yang tinggi secara konsisten (SNI 7646 2010).

Metode hidroakustik mempunyai beberapa sistem, salah satunya sistem *singlebeam echosounder*, yaitu alat ukur kedalaman air yang menggunakan sistem pancaran tunggal sebagai pengirim dan penerima sinyal gelombang suara (SNI 7646 2010). Sistem ini mengukur kedalaman air secara langsung dari kapal survei (Tarigan *et al.* 2014).

Singlebeam echosounder terdiri dari 2 jenis yaitu *Single Frequency* dan *Dual Frequency*. *Single frequency* merupakan single beam echosounder yang menggunakan satu frekuensi saja yaitu high frequency. *Dual frequency* merupakan *singlebeam echosounder* yang menggunakan dua frekuensi yaitu high frequency dan low frequency. *High frequency* lebih memberikan kedalaman yang akurat dalam hubungan dengan keselamatan pelayaran, sedangkan *low frequency* mampu melakukan penetrasi hingga ke lumur dasar lautnya (sangat dalam) sehingga tidak aman untuk pelayaran (Becker dan Sandwell, 2008).

Pengukuran kedalaman dengan singlebeam echosounder terdiri atas 4 komponen:

1. Transduser
2. Transmitter
3. Receiver
4. Control
5. Sistem display

Prinsip kerja sistem tersebut adalah *transmitter* memancarkan energi listrik yang akan diubah *transduser* menjadi pulsa suara akustik dengan frekuensi tertentu ke dasar perairan secara tegak lurus, kemudian dipantulkan oleh dasar perairan lalu diterima kembali energi listrik oleh *transmitter*. *Receiver* berfungsi menerima pulsa tersebut sampai dicatat. Control berfungsi

mengontrol kedalaman air dan mencatat secara otomatis dengan membangkitkan sinyal baru yang dipantulkan dari *receiver*. Data yang diperoleh dari proses dalam sistem display adalah selang waktu gelombang mulai dipancarkan dan gelombang kembali diterima, sehingga diperoleh data kedalaman yang dicatat alat perekam (Becker dan sandwell 2008).

2.7 Teknologi penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah ilmu untuk memperoleh informasi fenomena alam pada obyek (permukaan bumi) yang diperoleh tanpa kontak langsung dengan obyek permukaan bumi melalui pengukuran pantulan (*reflection*) taupun pancaran (*emission*). Oleh media gelombang elektromagnetik (Arief, 2012). Obyek di permukaan bumi berdasarkan pada nilai pantulan energi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh obyek permukaan bumi kemudian energi tersebut direkam oleh sensor.

Ada tiga kelompok utama obyek permukaan bumi yang dapat dideteksi oleh sensor yaitu air, tanah dan vegetasi yang masing-masing memancarkan energi elektromagnetik dengan kemampuan pemetaan citranya tergantung pada karakteristik masing-masing citra satelit. Kanal dan kareteristik inilah yang digunakan oleh penginderaan jauh untuk mengenali objek-objek atau tipe-tipe liputan lahan yang ada dipermukaan bumi (Arief, 2012).

Data penginderaan jauh dalam hal ini citra inderaja Landsat, SPOT, dan Qiuckbird untuk mengukur kedalaman laut dangkal. Kanal spectra daerah tampak terutama daerah biru dan hijau cukup baik untuk penitrasian kedalam tubuh air sambai kedalaman tertentu, bila air jernih kemampuan penetrasinya semakin dalam. Salah satu citra satelit yang digunakan dalam pemetaan batimetri adalah Landsat 8. Sensor pencitra OLI (*operational land imager*) pada LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) yang mempunyai 1 kanal inframerah dekat dan 7 kanal tampak reflektif, akan meliputi panjang gelombang elektromagnetik yang direfleksikan oleh objek pada permukaan bumi, dengan resolusi spasial 30 meter. Sensor pencitraan OLI mempunyai kemampuan resolusi spasial dan resolusi spectral yang menyerupai sensor ETM+ (*Enhanced Thermal Mapper Plus*) dari landsat-7.

Berikut ini kanal-kanal yang dimiliki oleh landsat 8 sebagai berikut:

Tabel 1. Kanal-kanal yang terdapat pada landsat 8 (Campbell, 2013):

| No | Kanal | Kisaran spectral (nm) | Pegunaan data | (resolusi spasial) |
|----|-------------------|--------------------------|---|-----------------------|
| 1 | Biru | 433-453 | Zona pesisir, studi aerosol | 30 m |
| 2 | Biru | 450-515 | Pemetaan Batimetri | 30 m |
| 3 | Hijau | 525-600 | Piment vegetasi | 30 m |
| 4 | Merah | 630-680 | Mendekriminasikan vegetasi | lereng 30 m |
| 5 | Infra merah dekat | 845-885 | Membedakan konten biomassa dan garis mantai | 30 m |
| 6 | SWIR 1 | 1560-1660 | Mendeskriminasi kadar air tanah dan vegetasi | 30 m |

| | | | | |
|----|--------|-------------|---|-------|
| 7 | SWIR 2 | 2100-2300 | Penetrasi awan tipis | 30 m |
| 8 | PAN | 500-680 | Membentuk definisi gambar yang lebih tajam | 15 m |
| 9 | CIRRUS | 1360-1390 | Deteksi kontaminasi awan cirrus | 30 m |
| 10 | LWIR 1 | 10300-11300 | Pemetaan thermal dan perkiraan kelembapan tanah | 100 m |
| 11 | LWIR 2 | 11500-12500 | Pemetaan thermal | 100m |

2.8 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik yang berasal dari pembangkit listrik yang berskala besar sudah menjadi kebutuhan pokok untuk beberapa di daerah sekitarnya. Sehingga sistem tenaga memiliki peranan yang paling penting dalam ketenagalistrikan Indonesia.

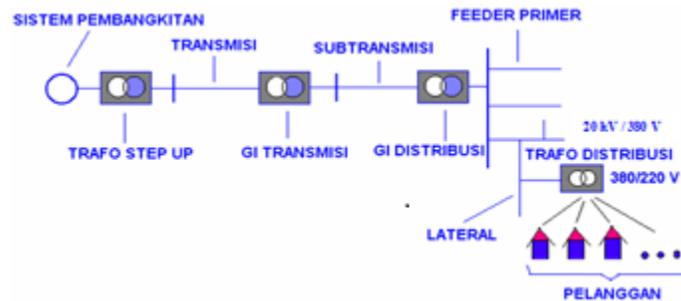
Hampir setiap sektor kehidupan, tenaga listrik memegang peranan kunci. Di rumah, perkantoran, dan di dunia industri, energi listrik sangat dibutuhkan. Kehidupan sehari-hari akan sangat bergantung pada ketersediaan listrik. Rumah-rumah akan terlihat gelap sehingga akan mengganggu proses belajar anak-anak. Aktifitas perkantoran dan sekolah pun akan sangat terganggu. Demikian pula di dunia industri akan mengalami banyak kerugian karena tidak bisa beroperasi dan berproduksi dengan baik.

Pemakaian energi listrik sudah banyak menggeser pemakaian bahan bakar minyak bumi dan batu bara. Hal ini dikarenakan listrik lebih praktis dan ramah lingkungan bila dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Saat ini sudah banyak mesin yang dahulu beroperasi menggunakan bahan bakar minyak sudah di ganti dengan motor-motor listrik. Dahulu penerangan di rumah-rumah menggunakan minyak dan lentera sekarang sudah berganti menggunakan lampu.

Dari uraian diatas, dapat dilihat bahwa ketersediaan tenaga listrik kontinyu sangat dibutuhkan oleh masyarakat di zaman teknologi modern ini oleh karena itu perusahaan penyedia tenaga listrik dituntut untuk dapat membantu pelayan yang optimal. Di Indonesia, perusahaan yang bertugas menyediakan energi listrik adalah PLN.

Tenaga listrik dibangkitkan oleh pembangkit yang berada di pusat-pusat pembangkit tenaga listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP, PLTD, dan lain-lain. Daya listrik yang dibangkitkan oleh pusat-pusat pembangkit ini kemudian disalurkan ke pelanggan. Untuk sampai pelanggan, daya listrik di salurkan melalui jaringan tenaga listrik. Karena biasanya letak beban sangat jauh dari pusat-pusat pembangkit, maka akan diperlukan saluran yang sangat panjang. Hal ini secara otomatis juga akan mengakibatkan kerugian daya yang besar pula, Untuk mengatasi hal ini, maka tegangan dinaikkan terlebih dahulu menjadi tegangan tinggi menjadi ekstra tinggi. Saluran yang dilalui ekstra tinggi ini disebut saluran yang dilalui oleh ekstra tinggi ini disebut transmisi standar transmisi di Indonesia adalah 70 kV, 150 kV, 220 kV, dan 380 kV untuk tegangan tinggi dan 500 kV untuk ekstra tegangan tinggi. Standar ini mengikuti rekomendasi dari IEC (International Electrotechnical Commission). Setelah melalui saluran transmisi, daya listrik belum bisa dipakai oleh pelanggan. Tegangan

transmisi harus diturunkan sampai harga nominal yang aman bagi peralatan dan manusia. Kemudian daya tegangan listrik yang rendah ini disalurkan ke pelanggan.



Gambar 2.2 Diagram Sistem Tenaga Listrik

Suatu system tenaga listrik harus mempunyai syarat-syarat sebagai berikut:

1. Setiap saat memenuhi jumlah energy listrik yang diperlukan konsumen sewaktu-waktu.
2. Mempertahankan suatu tegangan yang tetap , dan tidak terlampau bervariasi $90\% \leq V_{op} \leq 105\%$
3. Mempertahankan suatu frekuensi yang stabil dan tidak bervariasi, kurang lebih 0,05 Hz.
4. Menyediakan energy listrik dengan harga yang wajar.
5. Memenuhi harga-harga standar keamanan dan keselamatan.
6. Tidak mengganggu lingkungan hidup.

2.9 Sistem Transmisi dan Besarannya

2.9.1 Sistem Transmisi

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, sistem transmisi adalah sistem yang dilalui oleh tegangan tinggi sebagai penghubung antara pembangkit tenaga listrik dengan sistem distribusi. Dengan demikian untuk mendesain suatu sistem/saluran harus memperhatikan beberapa hal berikut ini

1. Jumlah daya yang ditransmisikan
2. Jarak dan jenis lapangan yang harus dilalui.
3. Biaya yang tersedia.
4. Pertimbangan-pertimbangan lain, misalnya pertimbangan pertumbuhan beban di waktu mendatang.

Komponen-komponen utama saluran transmisi adalah:

A. Struktur pendukung

Struktur pendukung terdiri atas tiang atau menara listrik yang harus memikul konduktor pada suatu ketinggian secara aman diatas tanah. Untuk tegangan 70 kV kebawah dapat digunakan struktur pendukung berbentuk sederhana seperti tiang listrik, terbuat dari kayu,

besi, dan beton. Untuk tegangan yang lebih tinggi digunakan struktur pendukungnya lebih canggih berupa menara listrik yang terbuat dari menara besi ataupun beton.

B. Konduktor sebagai penghantar energi dan isolator

Konduktor untuk saluran udara tegangan tinggi terbanyak terdiri kawat Aluminium yang diperkuat baja (*Aluminium Cable Steel Reinforced, ACSR*), karena memiliki ciri-ciri ekonomis yang baik. Isolator yang diperlukan untuk mengaitkan konduktor ada struktur pendukung secara mekanikal yang kuat, dan sekaligus memisahkan secara elektrikal struktur pendukung dari konduktor. Isolator terbanyak terbuat dari porselen gelas atau pun bahan sintetik. Pada tegangan listrik yang sangat tinggi akan terjadi pelepasan muatan elektrik di sekitar permukaan konduktor. Fenomena ini disebut dengan korona, dan disebabkan terjadinya ionisasi udara setempat. Efek korona ini mengakibatkan terjadinya rugi-rugi energi sepanjang saluran transmisi. Selain dari itu, korona mengeluarkan bisin dan frekuensi yang tinggi yang dapat mengganggu penerimaan pada pesawat radio dan televisi yang berdekatan. Guna mengurangi terjadinya korona, gradien medan elektrik (V/m) seputar konduktor perlu dikurangi. Hal ini dapat dilakukan dengan memperbesar garis tengah konduktor, ataupun menyusun kawat itu menjadi dua, tiga atau lebih ikat konduktor (*bundled conductors*) per fasa. Penyusunan berbentuk ikatan ikat juga menurunkan sifat induktansi saluran, sehingga lebih banyak daya yang dapat disalurkan. Hal ini merupakan suatu manfaat tambahan yang penting.

Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran energi perlu memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Konduktifitas tinggi
2. Kekuatan tarik mekanikal yang tinggi
3. Tidak berat
4. Biaya rendah
5. Tidak mudah patah

Untuk keperluan ini banyak dipakai tembaga, aluminium, dan berbagai kombinasi kedua bahan tersebut. Tembaga merupakan konduktor baik sekali sebagai penghantar listrik karena memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanikal yang cukup baik, akan tetapi harga tembaga juga sangat tinggi lagi pula harga tembaga yang sangat tinggi itu pula menjadikan kawat tembaga sering kali dicuri karena mudah dijual dipasaran, antara lain sering kali digunakan dalam pembuatan berbagai barang, seperti alat-alat rumah tangga misalnya panci dan tempat memasak nasi. Kawat tembaga sering dinamakan dengan singkatan BC (*Bare Copper Wire*).

Aluminium mempunyai harga yang lebih murah dan juga lebih ringan, namun konduktivitas dan kekuatan mekanikalnya tidak terlalu tinggi. Untuk konduktivitas aluminium adalah 60% dibandingkan dengan tembaga. Untuk konduktivitas yang sama diameter kawat aluminium adalah 26% lebih besar dari tembaga, sehingga lebih banyak menangkap angin. Kawat aluminium sering disebut juga AAC (*All Aluminium Cable*).

2.10 Besaran

2.10.1 Resistansi

Setiap penghantar memiliki hambatan dalam (resistansi) yang berfungsi membatasi arus yang mengalir pada peralatan tersebut. Semakin rendah nilai resistansi suatu benda maka semakin mudah menghantarkan arus listrik (konduktor).

Demikian sebaliknya, Semakin tinggi nilai resistansinya suatu benda maka semakin susah menghantarkan arus listrik (Isolator)

Pada dasarnya kabel untuk transmisi harus mempunyai resistansi yang rendah. Hal ini sangat mempengaruhi panas yang ditimbulkan konduktor.

Resistansi DC:

$$R_0 = \rho \frac{l}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

- R_0 = resistansi konduktor (ohm)
- ρ = hambatan jenis bahan konduktor (ohm/m)
- l = panjang konduktor (m)
- A = luas penampang konduktor

Pengaruh suhu terhadap resistansi konduktor

$$R_t = \{ 1 + \alpha_{20} (t - 20) \} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

- R_t = resistansi konduktor pada suhu t (ohm)
- R_0 = resistansi konduktor pada suhu 20°C (ohm)
- α_{20} = koefisien resistansi terhadap suhu dari material pada t=20°C

Pada arus bolak-balik (AC), kerapatan arus penghantar tidak merata. Kerapatan arus semakin besar jika menjauhi pusat penghantar., ini disebabkan fluks lingkup di pusat penghantar lebih besar dari fluks lingkup di sekitarnya. Fenomena ini disebut *skin effect* yang menyebabkan tahanan AC lebih dari D.C. Medan magnet yang ditimbulkan arus pada penghantar lain yang berdekatan menyebabkan kerapatan arus A.C pada penghantar tersebut menjadi tidak merata. Gejala ini disebut efek lingkungan.

Tahanan efektif penghantar AC:

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + Y_s + Y_p) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

- Y_s = factor skin effect
- Y_p = faktor proximity effect

2.10.2 Reaktansi

Mengingat kembali hukum ohm:

$$V = I \times R \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

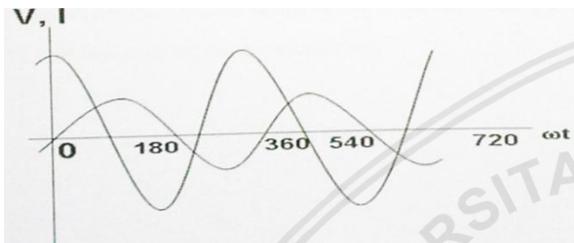
- V = tegangan (Volt)
- I = arus (Ampere)

$R =$ resistansi (ohm)

Reaktansi merupakan tahanan yang bersifat reaktif terhadap perubahan tegangan ataupun perubahan arus. Nilai tahananannya berubah sehubungan dengan perbedaan fase dari tegangan dan arus. Ada dua tipe reaktansi, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Sedangkan gabungan kopmbinasi reaktansi dan resistansi yang membahas kondisi keseluruhan dari komponen dalam rangkaian disebut impedansi (impedance). Reaktansi, resistansi, dan impedansi semua bersatuan Ohm (Ω).

1. Reaktansi Induktif

Peralatan induktif



Gambar 2.3 Arus tertinggal 90° dari Tegangan

$$\text{Fungsinya } V_{(t)} = V_{max}(\sin \omega t) \text{ dan } I_{max}(\sin \omega t - \frac{\pi}{2})$$

Ketika lilitan ini ditempatkan pada rangkaian a.c, fakta fisik kedua adalah perubahan medan magnet pada kawat inductor menginduksi suatu arus untuk mengalir melalui kawat ini. Karena medan magnet berubah secara kontinyu maka akan menginduksi arus yang lain di dalam kawat. Arus induksi ini proposional dengan perubahan medan magnet. Arah arus ini berlawanan dengan arus yang memproduksi medan magnet. Akibatnya akan membuat arus tertinggal (lagging) dibelakan sejauh seperempat siklus 90°.

Efek dari induktor pada rangkaian a.c, diekspresikan oleh reaktansinya, ditulis

$$X_L = \omega . L \dots \dots \dots (2.5)$$

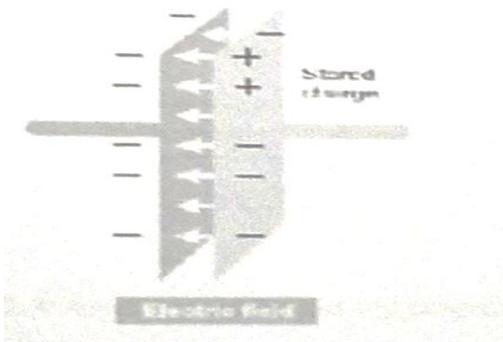
Penurunan tegangan (V) melalui suatu induktor adalah adalah hasil perkalian induksinya (L) dan laju arus (I) yang melaluinya.

$$V = L \frac{\partial I}{\partial t} \dots \dots \dots (2.6)$$

2. Reaktansi kapasitif

Tipe reaktansi yang lain adalah reaktansi kapasitif. Komponen dasar kapasitif adalah kapasitor. Suatu kapasitor terdiri dari dua permukaan penghantar atau plat saling berhadapan dan dipisahkan oleh gap kecil. Plat ini dapat membawa muatan listrik dengan pengisian yang

berlawanan pada plat yang berbeda, sangat dekat tapi tidak menyentuh, memungkinkan mengumpulkan muatan yang besar pada masing-masing plat.

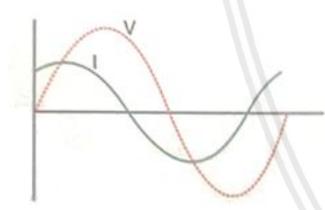


Gambar 2.3 Reaktansi kapasitif

Reaktansi kapasitif ditulis X_c atau X_c yang merupakan hasil perkalian frequency angular dan kapasitansi, yang ditulis dengan C dan bersatuan farad (F)

$$X_c = -\frac{1}{\omega c} \dots \dots \dots (2.7)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa reaktansi kapasitif (abaikan tanda negative) meningkat seiring menurunnya ω dan kapasitansi (C). Hal ini dikarenakan penurunan kapasitansi berarti bahwa plat-plat tersebut berkurang efektifnya dalam mendukung medan listrik untuk mentransmisikan segala sesuatu. Seperti di induktor, suatu kapasitor akan menyebabkan perbedaan fasa antara arus dan tegangan dalam rangkaian a.c suatu kapasitansi murni menyebabkan arus mendahului (leading) tegangan 90° .



Gambar 2.4 Arus mendahului tegangan 90°

Seperti pada induktor, terdapat persamaan hubungan antara arus, tegangan untuk kapasitor, yaitu:

$$I = C \frac{\partial V}{\partial t} \dots \dots \dots (2.8)$$

3. Impedansi

Dituliskan sebagai Z, merupakan kombinasi antara reaktansi, dan resistansi namun bukan merupakan penjumlahan antara R dan X, Z adalah penjumlahan vector antara R dan X pada bidang kompleks, dimana bagian realnya adalah R dan bagian imajinernya adalah X

$$Z = R + jX \dots \dots \dots (2.9)$$

2.11 Interkoneksi

Sistem interkoneksi memiliki banyak keuntungan dalam pengesahan energi listrik. Saluran transmisi yang panjangnya mencapai ratusan kilometer membutuhkan pemeliharaan yang kontinyu. Sementara itu, unit-unit pembangkit membutuhkan penjadwalan operasi dan optimasi pengoperasian sehingga pengoperasian unit pembangkit lebih efisien dan biaya operasinya ekonomis. Dengan demikian diperlukan adanya interkoneksi yang memiliki tujuan untuk memudahkan pengolahan dan pengaturan penyaluran daya listrik.

Dengan interkoneksi, pengoperasian sistem tenaga listrik harus memperhatikan beberapa aspek tanpa melupakan masalah ekonomi, mutu, dan keamanan dalam menghasilkan suplai energi listrik ke beban/konsumen. Beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam pengoperasian sistem tenaga listrik adalah:

1. Koordinasi dan pengendalian pusat-pusat pembangkit.

Pusat-pusat pembangkit yang saling terhubung/interkoneksi harus dikoordinasikan satu dengan yang lain. Dan harus terkontrol, sehingga permintaan beban yang selalu berubah-ubah dapat terpenuhi.

2. Pengawasan operasi sistem tenaga listrik.

Unit pembangkit dan jaringan listrik baik transmisi maupun distribusi harus selalu diawasi pemeliharannya sehingga penyaluran daya listrik bisa lancar, optimal, dan kontinuitasnya bisa terjaga agar kualitas daya yang disalurkan tetap baik, bahkan bisa ditinggalkan.

3. Ekonomi dan lingkungan.

Pengoperasian tenaga listrik membutuhkan biaya yang sangat besar. Oleh sebab itu pengoperasian sistem tenaga listrik harus efisien, sehingga harga yang dihasilkan murah tetapi tetap berkualitas baik. Selain itu, operasi sistem tenaga listrik harus memperhatikan pengaruhnya terhadap lingkungan. Pengoperasian sistem tenaga listrik seharusnya diusahakan semaksimal mungkin agar tidak merusak dan mencemari lingkungan.

Interkoneksi antar sistem kelistrikan memberikan keuntungan sebagai berikut :

1. Harga energi listrik tiap satuan daya semakin rendah akibat meningkatnya efisiensi tenaga listrik.
2. Apabila terjadi kenaikan beban yang mendadak, maka cadangan daya dari pembangkit lain dalam sistem interkoneksi dapat dipakai.
3. Jika salah satu jaringan sedang diperbaiki, suplai daya tetap berlangsung melalui saluran lain, sehingga kontinuitas pasokan daya tetap terjaga.
4. Pembagian beban untuk masing-masing pembangkit dapat dilakukan, demikian juga operasi dan perbaikan (overhaul) pembangkit bisa dijadwal.
5. Penyebaran pasokan daya listrik semakin luas dan merata.

2.12 Perancangan Jaringan Transmisi Dengan Kabel Laut

Untuk membangun suatu jaringan transmisi diperlukan perencanaan yang matang dan cermat. Secara umum tahapan yang harus dilalui dalam perencanaan jaringan transmisi dengan kabel laut adalah sebagai berikut:

1. Pemetaan Jalur Transmisi

Untuk memetakan jalur transmisi kabel laut perlu dilakukan penelitian terhadap situasi dan kondisi laut yang akan dilalui jalur transmisi, meliputi:

- a. Bentuk dasar laut.
 - b. Kondisi batuan dan pergerakannya.
 - c. Arus laut.
 - d. Lalu lintas kapal.
 - e. Aktivitas manusia disekitarnya.
1. Penentuan tegangan dan pemilihan konduktor
Penentuan tegangan kerja sangat penting karena hal ini akan mempengaruhi pemilihan jenis dan ukuran konduktor yang akan dipakai.
 2. Perencanaan isolasi
 - a. Penentuan jenis isolasi.
Penentuan jenis isolasi yang akan dipakai sangat tergantung pada besarnya tegangan kerja.
 - b. Perlindungan kabel.
Perlindungan terhadap kabel dan berbagai kemungkinan gangguan harus dipikirkan sejak awal. Perlu ditentukan jenis dan konstruksi pelindung yang akan dipakai untuk memproteksi konduktor dan isolasi gangguan maupun aktivitas manusia.

2.13 Kabel Laut

Fungsi utama kabel laut adalah untuk menyalurkan energi listrik ke pusat beban melalui laut. Dalam penyaluran akan timbul rugi-rugi. Hal ini menuntut kemampuan kabel untuk mengurangi panas secepat mungkin. Kemampuan kabel untuk menghilangkan panas tergantung pada pemilihan jenis kabel dan instalasinya.

Pemilihan jenis dan ukuran konduktor berdasar pada tegangan dan arus yang akan melalui kabel saat pembebanan. Isolasi kabel juga bermacam-macam. Pada kabel laut yang dipakai yaitu isolasi kertas dan isolasi sintetis. Isolasi disini dimaksudkan agar tidak terjadi kebocoran arus antar dua penghantar yang berdekatan atau pada gradien tegangan tinggi terjadi lompatan api (flashover).

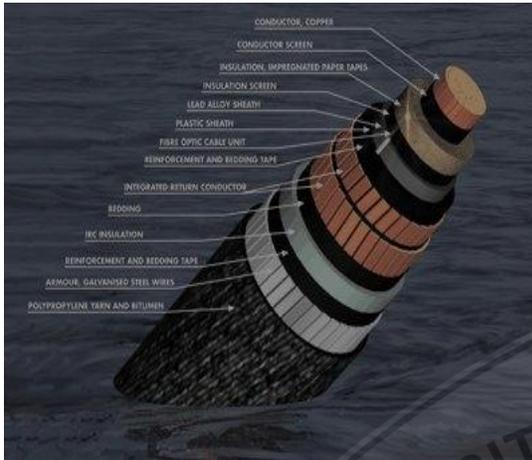
2.14 Jenis Kabel Laut

Berdasarkan isolasi atau pendinginnya, kabel laut ada beberapa macam, yaitu:

1. Kabel laut berisolasi kertas diimpregnasi.

2. Kabel laut berisolasi minyak.
3. Kabel laut berisolasi gas.
4. Kabel laut dengan isolasi XLPE/PE.

Untuk transmisi tegangan ekstra tinggi biasanya dipakai kabel laut dengan isolasi kertas diimpregnansi dan kabel laut berisolasi minyak.



Gambar 2.5 Kabel Laut Jenis Light.

2.15 Kabel Laut Isolasi Minyak

Dikenal sebagai *oil-filled cable*. Penghantarnya berupa *hollow conductor*. Minyak yang digunakan bisa bertekanan tinggi, menengah dan rendah. Makin tinggi tekanan minyak, kekuatan medan listrik yang bisa ditahan semakin tinggi. Kuat medan listrik yang dapat ditahan oleh jenis kabel ini berkisar 11-20 kV/mm untuk kertas selulosa.

Kabel jenis ini banyak digunakan untuk saluran transmisi tegangan ekstra tinggi, bahkan sampai tegangan 750 kV. Spesifikasi dari kabel berisolasi minyak ini adalah :

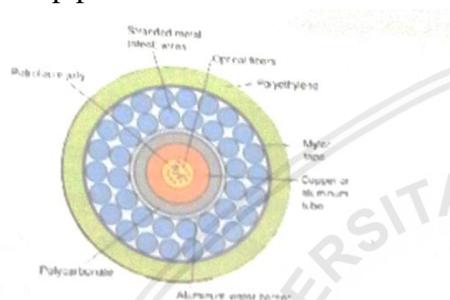
- Untuk tegangan DC, kuat medan listrik tertinggi yang dapat ditahan oleh isolasinya ± 30 kV/mm dan mempunyai tegangan kerja sampai 500 kV.
- Untuk tegangan AC, kuat medan listrik yang dapat ditahan oleh isolasi $\pm 2,5$ kV/mm dan tegangan kerja mencapai ± 750 kV.



Gambar 2.6 Kabel Laut Isolasi Minyak

Kabel laut isolasi minyak ada beberapa macam. Jenis-jenis kabel laut isolasi minyak adalah sebagai berikut :

- Kabel minyak satu inti berbentuk bulat dimana letak saluran minyak terdapat pada pusat hantaran.
- Kabel minyak datar (*flat oil field cable*) dimana tiga inti kabel dengan selubung timah-timah hitam diletakkan dengan susunan mendatar dan ruang diantaranya intinya dipergunakan sebagai saluran minyak.
- Kabel minyak dengan tiga penghantar, saluran minyak di runag antar intinya
- Kabel minyak dengan tekanan dalam pipa tetapi dalam hal ini tiga buah inti kabel telah diberi lapisan (*screen*) diletakkan di dalam pipa baja yang diisi minyak. Tekanan minyak di dalam pipa 14 bar.



Gambar 2.7 Penampang Kabel Laut Isolasi Minyak

Keuntungan kabel laut isolasi kabel minyak dibandingkan dengan kabel laut berisolasi kertas diimpregnansi adalah :

- Kemungkinan gangguan berkurang karena begitu selubung satu seksi memburuk minyak akan langsung mengalir.
 - Peresapan minyak dicapai lebih sempurna.
 - Karena isolasi lebih tipis, maka tahanan panas kabel menjadi lebih kecil sehingga kemampuan membawa arus bertambah.
 - Untuk tegangan kerja yang sama, tebal isolasinya lebih tipis.
- Sementara itu kerugiannya adalah :
- Kabel isolasinya minyak tidak memungkinkan untuk adanya sambungan.

2.16 Pemilihan Jenis Kabel

Jenis kabel laut yang akan digunakan dipilih berdasarkan kekuatan mekanis, sifat listrik, sifat fisik, dan kondisi dari tempat tersebut dipasang secara umum pemilihan kabel laut harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Titik lemah pada kabel laut adalah sambungannya. Untuk menghilangkan dan mengurangi resiko gangguan yang mungkin terjadi pada kabel laut dipilih tanpa sambungan lintasannya, mempunyai kekuatan listrik yang tinggi, dan temperatur kerja yang tinggi. Dalam hal ini lebih disukai kabel satu penghantar.

2. Temperature kerja nominal
 - Kabel isolasi kertas impregnansi 65-80°C
 - Oil field cable 80°C
 - XLPE dan EPR 90°C
3. Kabel pada minyak diperlukan pompa yang cukup kuat untuk mencegah kemungkinan berkurangnya minyak. Minyak yang harus cukup banyak dan cukup tekanannya untuk mencegah masuknya udara ke dalam minyak.
4. Harus memperhatikan cara melindungi kabel dari korosi.
5. Untuk mengurangi rugi-rugi tambahan, lebih disukai dengan kabel tiga penghantar.

2.17 Konstruksi Kabel Laut

2.17.1 Penghantar

Logam yang paling banyak dipakai di tenaga listrik adalah tembaga dan aluminium. Pemilihan kedua logam tersebut sebagai penghantar merupakan kombinasi tingkat penghantaran yang tinggi dan faktor ekonomi yang menguntungkan.

Kelebihan tembaga adalah sebagai penghantar dibandingkan dengan aluminium adalah :

1. Tembaga merupakan tingkat penghantaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium tersebut.
2. Lebih mudah disambung.
3. Lebih mudah dalam penanganan terminalnya
4. Mempunyai tingkat konduktor yang tinggi
5. Modulus elastis yang lebih besar
6. Koefisien pengembangan panas yang lebih kecil
7. Diameter tembaga lebih kecil daripada aluminium, untuk kemampuan arus yang sama, sehingga dibutuhkan isolasi yang lebih sedikit.

Berdasarkan konstruksinya, penghantar dibedakan menjadi :

1. Penghantar padat (solid conductor)
2. Penghantar berlilit (stranded conductor)
3. Penghantar berongga (hollow conductor)

Tabel dibawah ini merupakan tahanan jenis dan berat jenis beberapa logam dapat dijadikan penghantar/konduktor.

Tabel 2 Tahanan Jenis dan Berat Jenis Beberapa Logam

| Logam | Tahanan Jenis (20°) (Ω) | Berat Jenis (20°C) (gr/cm ³) |
|-----------|-------------------------|--|
| Perak | $1,629 \times 10^{-6}$ | 10,5 |
| Tembaga | $1,724 \times 10^{-6}$ | 8,9 |
| Aluminium | $2,828 \times 10^{-6}$ | 2,7 |

| | | |
|-------|------------------------|-----|
| Nikel | $6,844 \times 10^{-6}$ | 8,9 |
|-------|------------------------|-----|

2.17.2 Isolasi

Isolasi listrik pada kabel adalah bahan yang memisahkan muatan listrik pada suatu penghantar atau memisahkan penghantar yang satu dengan penghantar yang lainnya secara kontinyu. Isolasi kabel tenaga merupakan bagian terbesar dari biaya yang diperlukan. Isolasi adalah bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar yang berdekatan sehingga tidak terjadi lonjatan api. Kualitas isolasi bisa turun karena pengaruh luar seperti kelembaban, isolasi, dan lain-lain.

Pada kabel laut, isolasi yang dipakai adalah isolasi kertas dan sintesis yang dikombinasi dengan minyak atau gas. Isolasi kertas yang digunakan adalah kertas diimpregnasi dengan minyak atau minyak diresapi dengan gas. Kedua cara tersebut dimaksudkan untuk mengisi rongga udara yang ada pada kertas sehingga mencegah terjadinya ionisasi. Terjadinya ionisasi karena di dalam rongga udara ada kuat medan yang lebih besar dari pada kuat medan yang ada pada bahan isolasi. Dengan adanya minyak atau gas ada bpada bahan isolasi, rongga udara yang timbul diwaktu pemasangan, pembengkokan atau pada saat pemuaiian dan penyusutan dapat di cegah.

Isolasi sintesis mulai banyak dipakai sesuai dengan perkembangan teknologi.

Kelebihan isolasi sintesis adalah :

1. Tidak menyerap air.
2. Lebih fleksibel.
3. Faktor rugi-rugi dielektrik lebih kecil.
4. Harga kabel untuk kemampuan daya yang sama lebih murah.

Isolasi untuk tegangan tinggi biasanya menggunakan bahan :

1. Polyethylene (PE).
2. Cross Link Polyethylene (XLPE)
3. Butly Rubber.
4. Ethylene Propylene Rubber (EPR).

2.17.3 Pelindung Kabel Laut

Pelindung sheath berfungsi untuk perlindungan terhadap gangguan mekanis. Digunakan bahan timah hitam dan bahan sintesis extruded polyethylene. Sarung kabel sintesis tahan terhadap bahan kimia, percikan api erta penuaan yang lama. Tetapi kekuatan mekanisnya kurang dibandingkan dengan logam, Pelindung armour berupa kawat perisai baja digalvanisir dan dilapisi dengan polypropylene yang tahan terhadap kekuatan tarikan, fleksibel serta melindungi kabel dari korosi. Kabel dapat juga dilindungi dengan menggunakan kantong pasir ataupun kantong semen.

2.18 Transmisi Kabel Bawah Laut

Transmisi tenaga listrik adalah penyaluran tenaga listrik dari suatu sumber pembangkitan ke suatu sistem distribusi atau kepada konsumen, atau penyaluran tenaga listrik antar sistem (SNI

PUIL, 2000). Sistem transmisi terdiri dari saluran transmisi, gardu induk, dan pusat pengaturan beban. Desain saluran transmisi tergantung pada jumlah daya yang harus disalurkan, jarak dan jenis medan yang dilalui, biaya yang tersedia, serta pertumbuhan beban dimasa yang akan datang.

Adapun faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam membuat desain transmisi, yaitu pemilihan tegangan, pemilihan jenis kawat, pemilihan sistem perlindungan terhadap gangguan, kontinuitas penyaluran tenaga listrik, dan pembebasan tanah yang dilalui. Dalam sistem kelistrikan saluran transmisi merupakan rantai penghubung antara pusat-pusat pembangkit tenaga menuju pusat beban melalui gardu induk transmisi dan distribusi. Berdasarkan cara pemasangannya saluran sistem transmisi dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu saluran udara (*overhead line*), saluran kabel bawah laut (*submarine cable*) dan saluran kabel tanah (*underground lines*). Pada sistem saluran kabel bawah tanah, penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel seperti kabel bawah laut dengan berbagai macam isolasi pelindungnya.

Saluran kabel bawah tanah ini dibuat untuk menghindari resiko bahaya yang terjadi pada pemukiman padat penduduk tanpa mengurangi keindahan lingkungan. Kabel tanah tegangan tinggi yang dipasang pada lingkungan PT PLN (Persero) adalah 30 KV, 70 KV, dan 150 KV dengan jenis kabel yang digunakan kabel berinti tunggal (*single core cable*), pada dasarnya kabel ini dapat digunakan untuk segala tegangan yang umumnya adalah tegangan tinggi, dan kabel berinti tiga (*three core cable*), dimana kabel ini terbatas pada tegangan 150 KV yang disebabkan oleh terbatasnya dimensi kabel, terutama sekali untuk keperluan transportasi dan pemasangan.

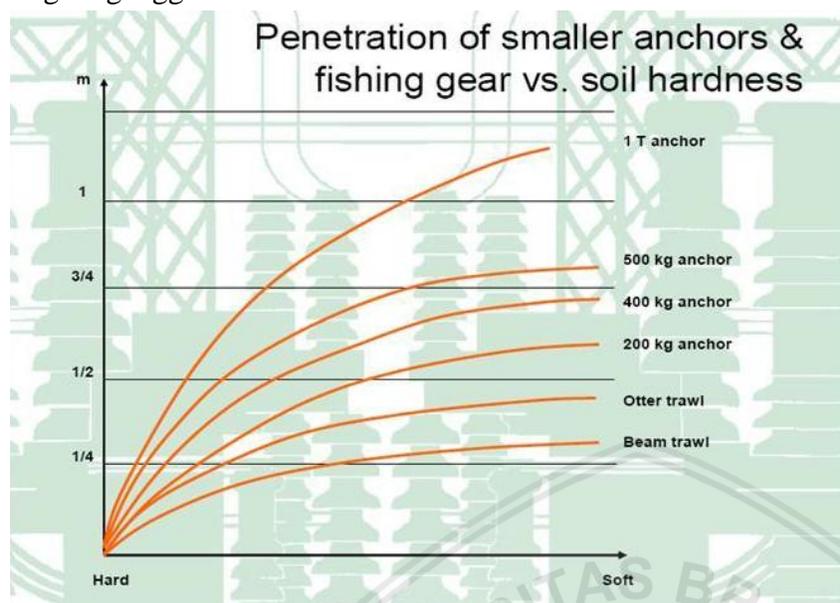


Gambar 2.9 Kabel berinti tunggal dan kabel berinti tiga (Sumber: Proteksi Kabel Saluran Bawah Tanah 150 kV dari GI Jajar ke GIS Mangkunegaran, 2003)

Kabel laut direncanakan memiliki keandalan yang tinggi. Dengan demikian, diperlukan pengamanan yang baik di sepanjang rute kabel laut. Pengamanan kabel laut dapat berupa penanaman kabel di bawah dasar laut (*seabed*) dengan atau tanpa pelindung atau penggelaran langsung di atas permukaan dasar laut dengan atau tanpa pelindung. Penggelaran langsung di atas permukaan dasar laut dilakukan pada kondisi dasar laut yang sangat keras (karang batu). Beberapa jenis gangguan eksternal (*outer damage*) terhadap kabel laut dapat berupa aktifitas menangkap ikan dengan pukat, pelepasan jangkar kapal (bergantung pada ukuran kapal), serta objek lainnya yang mengganggu rute kabel laut seperti daerah ranjau laut dll. Untuk memberikan perlindungan kabel laut dari gangguan eksternal dapat dilakukan penanaman kabel dengan kedalaman yang ditentukan.

Kedalaman penanaman kabel bergantung dari jenis material dasar dan tingkat gangguan eksternal. Penanaman kabel pada material tanah lunak (*soft soil*) membutuhkan kedalaman penanaman kabel lebih dibandingkan dengan material tanah keras (*hard soil*) hal ini terkait dengan penetrasi objek yang jatuh ke dasar laut, seperti jangkar dan alat penangkap ikan. Grafik

berikut menunjukkan antara penetrasi jangkar kapal dengan kekerasan material dasar terhadap tingkat gangguan eksternal.



Gambar 2.10 Grafik kedalaman penetrasi jangkar kapal berdasarkan kekerasan tanah (Sumber: KAK Studi Hidro-oseanografi Pembangunan Kabel Laut Jalur Transmisi 150 KV PLTU Kariangau-GI Petung, 2013)

Proteksi mekanis kabel laut yang akan digunakan untuk rencana rute kabel laut sesuai dengan kondisi kedalaman laut, jenis *seabed* dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 68 tahun 2011 tentang alur-pelayaran di laut, dibagi beberapa segmen seperti berikut berikut:

1. *Landing point* – pasang tertinggi (HWL)

Untuk melindungi kabel laut dari gangguan eksternal seperti aktifitas manusia, pada daerah pantai kabel laut diproteksi menggunakan *concrete duct* dengan tinggi *concrete duct* 1 – 1,5 m dan *concrete duct* dipendam pada kedalaman 1 m dari permukaan tanah, konstruksi *concrete duct*.

2. Pasang tertinggi (HWL) – surut terendah (LLWL)

Di segmen ini kabel laut diproteksi dengan dipendam sedalam 4 m dibawah *seabed* dengan metode *plowing*

3. Surut terendah (LLWL) – kedalaman laut 20 m

Sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 68 tahun 2011 tentang alur-pelayaran di laut, pada bagian ini kabel laut diproteksi dengan metode pemendaman sedalam 4 m di bawah *seabed*, proteksi dengan pemendaman kabel sedalam 4 m dapat digunakan menggunakan metode *trenching* seperti gambar I.5 dengan menyesuaikan terhadap kondisi *seabed*.

4. Kedalaman laut 20 m – kedalaman laut 40 m

Pada segmen berikut kabel laut dipendam dengan kedalaman pemendaman 2 m di bawah *seabed* dengan menggunakan metode *trenching*.

5. Kedalaman laut 40 m – kedalaman laut 80 m

Pada bagian ini kabel laut diproteksi dengan dilakukan pemendaman di bawah *seabed* sedalam 1 m dengan menggunakan metode *trenching*.

6. Kedalaman laut 80 m – kedalaman laut 200 m

Dengan mempertimbangkan bahwa pada kedalaman ini tidak ada gangguan eksternal seperti buang jangkar kapal dan untuk melindungi kabel laut dari arus bawah laut agar kabel tidak bergerak maka digunakan proteksi mekanis menggunakan *concrete matrass*

7. Kedalaman laut 200 m – kedalaman terdalam

Pada kedalaman laut bagian ini kabel laut hanya digelar saja di atas permukaan *seabed*.

Proteksi mekanis pada butir-butir di atas dilakukan juga sebaliknya pada tingkat kedalaman yang sama pada rute menuju *landing point* selanjutnya. Selain dari jenis-jenis proteksi mekanik di atas, pengamanan kabel laut juga mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 68 Tahun 2011 tentang alur pelayaran di laut pasal 45.

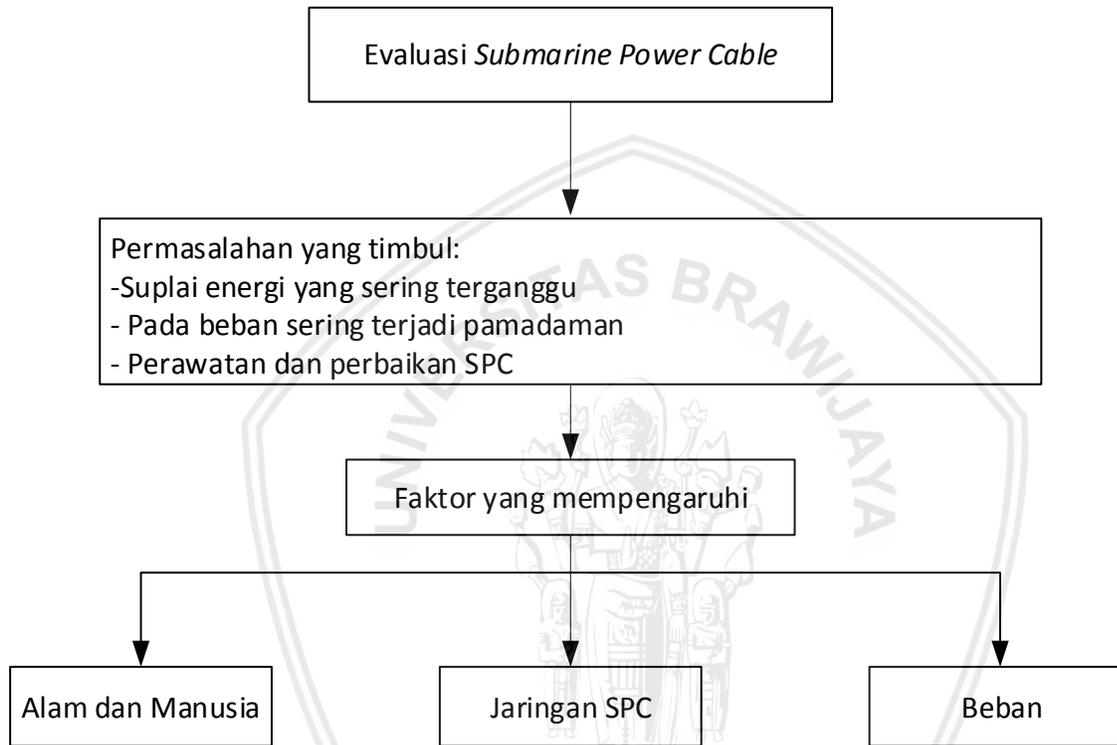


BAB III

Kerangka Konsep Penelitian

3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Berdasarkan uraian pada latar belakang, landasan teori, dan hasil penelitian terdahulu, maka penulis sajikan kerangka pikir sebagai berikut:



Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Evaluasi merupakan kegiatan yang membandingkan antara hasil dengan kriteria dan standar yang telah ditetapkan untuk melihat keberhasilannya. Dari evaluasi kemudian akan tersedia informasi sejauh mana suatu kegiatan tertentu telah dicapai sehingga bisa diketahui bila terdapat perbedaan antara standar yang telah ditetapkan dengan hasil yang bias dicapai. Data-data yang akan diperoleh saat melakukan evaluasi SPC (*Submarine Power Cable*) adalah kedalaman laut, panjang rute, data pembebanan, dan jenis penghantar yang digunakan.

3.2 Evaluasi SPC (*Submarine Power Cable*)

SPC (*Submarine Power Cable*) Jaringan listrik tegangan menengah 20 kV dari pulau bangka menuju pulau leper sebagai subjek penelitian. SPC dianalisis pada keadaan yang sudah ada dari situ akan dihasilkan keandalan mekanik. Dari data dilihat keandalan mekanik SPC dan dilakukan langkah-langkah perbaikan agar didapatkan keandalan mekanik yang optimal.

Penelitian dilakukan dengan mengambil data pada jaringan SPC dari pulau bangka menuju pulau lepar.

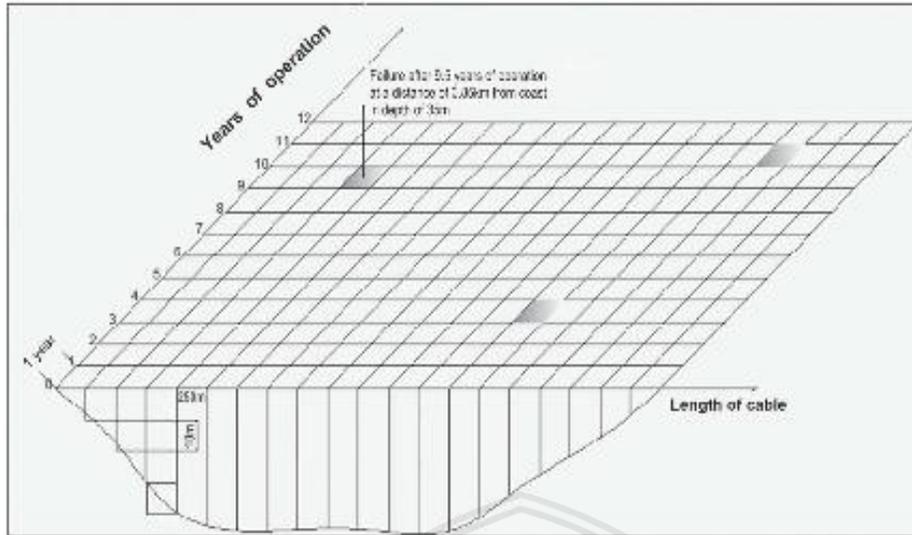
Analisis data menggunakan metode dimensi reduksi. Berdasarkan pemodelan yang dipaparkan oleh Nakamura (1991). Sebuah metode yang disebut 'reduksi dimensi' digunakan untuk mencapainya tujuan perhitungan tingkat kegagalan. Metode 'Reduksi dimensi' digunakan untuk mengurangi / menggabungkan tiga kegagalan ke satu distribusi. Penyesuaian tertentu digunakan untuk membuat model asli sesuai dengan aplikasi yang berkaitan dengan kabel listrik jaringan bawah laut. Hasil akhirnya adalah perhitungan kegagalan per 250 m dan tahun kabel bawah laut yang ada dan yang diusulkan jaringan tegangan menengah. Parameter yang telah dipertimbangkan dalam konteks dari model yang disajikan terdiri dari:

- a. Kedalaman jalur kabel / kedalaman pada titik kegagalan dari kabel;
- b. Panjang jalur kabel / jarak minimum titik kegagalan dari pantai;
- c. Karakteristik dasar dari rute kabel di daerah tersebut kegagalan;
- d. Tingkat proteksi kabel sepanjang jalur kabel

Di daerah kegagalan pilihan faktor-faktor ini dibenarkan dari dampak yang signifikan terhadap tingkat kegagalan. Selama prosedur peletakan kondisi lingkungan yang dapat diterima diasumsikan untuk misalnya dalam kasus cuaca buruk operasi peletakan akan terjadi berhenti sampai cuaca membaik. Apalagi, tidak adanya arus laut signifikan diasumsikan dalam penerapan. Data yang didapat dihitung dengan metode dimensi reduksi sehingga didapat kesimpulan keandalan mekanik dari SPC Bangka-Lepar. Diharapkan dengan terdapatnya evaluasi dapat dilakukan perancangan desain jaringan alternatif.

Model yang diusulkan untuk kebutuhan model statistik secara acak interkoneksi terbagi menjadi dua bagian yang sama. Masing-masing dari titik terminal ke tengah rute terdiri dari bagian sama dengan panjang 250 m, LJ Dengan $j = 0,1,2, \dots 8$; Panjang di atas 2.25 km (sampai ke tengah kabel) dianggap sebagai satu dan disebut L. Masing-masing bagian itu diletakkan secara spesifik kedalaman, DI Dengan $i = 0,1,2, \dots 7$; Parameter panjang L_i dan Kedalaman DK. Selain di atas, untuk setiap kabel jumlahnya Kegagalan dipelajari pada interval satu tahun.

Data kegagalan memberikan dasar yang andal untuk periode antara 2015 dan 2016, yang merupakan periode waktu di bawah pemeriksaan. Menurut asumsi ini, setiap kabel memiliki keunikan 'Identitas' yang sesuai dengan itu sejak saat peletakannya *Up to date*. Akibatnya, setiap segmen kabel 250 m pada kedalaman tertentu ditugaskan setiap tahun yang lewat dengan cara yang unik dengan segmen persegi putih. Gambar 3.1 (diambil dari Nakamura 1991) mewakili model yang diimplementasikan. Dengan asumsi a Kegagalan setelah beberapa tahun menjalani prosedur peletakan secara spesifik Panjang dan kedalaman masing-masing elemen kuadrat diilustrasikan. Dengan warna yang lebih gelap, Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, setiap segmen persegi memiliki tiga Dimensi: resolusi sumbu x sama dengan 250 m per sel, Tahun sumbu y per sel, dan sumbu z kedalaman kabel tertentu.



Gambar 3.2 Ilustrasi Metode Dimensi Reduksi (Nakamura,1991)

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, parameter yang telah dipertimbangkan dalam konteks dari model yang disajikan terdiri dari:

- Kedalaman jalur kabel / kedalaman pada titik kegagalan Dari kabel;
- Panjang jalur kabel / jarak minimum Titik kegagalan dari pantai;
- Karakteristik dasar dari rute kabel di daerah tersebut Kegagalan;
- Tingkat proteksi kabel sepanjang jalur kabel
- Data pembebanan
- Karakteristik penghantar yang digunakan.

3.4 Hipotesis penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang, tinjauan pustaka, dan kerangka konsep penelitian maka didalam penelitian didapat suatu hipotesis bahwa terjadi penambahan rute alternatif pada SPC Bangka-Lepar yang sesuai standart, sehingga dapat meningkatkan kinerja SPC Bangka-Lepar.



BAB IV

Metodologi Penelitian

4.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode evaluasi yang yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.8. Tahapan awal penelitian ini dilakukan survei lapangan dan pengambilan data penunjang SPC (*Submarine Power Cable*) Bangka-Lepar. Dari data-data tersebut, maka dapat diketahui peta jalur kedalaman laut, panjang rute existing, data pembebanan, data kegagalan yang terjadi, jadwal perawatan rutin, data jenis penghantar dan data pendukung lainnya. Pada tahap ini ada beberapa metode yang dilakukan seperti berikut ini:

4.1.1 Metode Survei

Nazir (2005) menjelaskan bahwa metode survei adalah penelitian yang diadakan untuk memperoleh fakta-fakta dari gejala-gejala yang ada dan mencari keterangan-keterangan secara factual dari suatu wilayah.

Pengukuran kedalaman akustik mengikuti bentuk jalur survei yang sudah direncanakan terlebih dahulu. Perhitungan lisan survei dilakukan memperkirakan panjang lintasan dan lama waktu yang akan dibutuhkan selama pengambilan data dilapangan. Kondisi lintasan survei yang tegak lurus garis pantai dan sejajar garis pantai dapat menghasilkan peta batimetri yang lebih baik. Lajur perum utama sedapat mungkin harus tegak lurus garis pantai dengan interval maksimal satu cm pada skala survei (Dewi dkk. 2015). Penelitian ini dilakukan dengan lintasan survei tegak lurus garis pantai.

4.1.2 Metode Pengambilan Data Lapangan

Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data secara data primer dan data skunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari sumbernya ke lapangan, diamati dan dicermati untuk melalui prosedur dan teknik pengambilan data yaitu data batimetri lapangan yang diambil secara langsung ke lapangan. Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber tidak langsung.

4.1.3 Pengolahan Data Batimetri

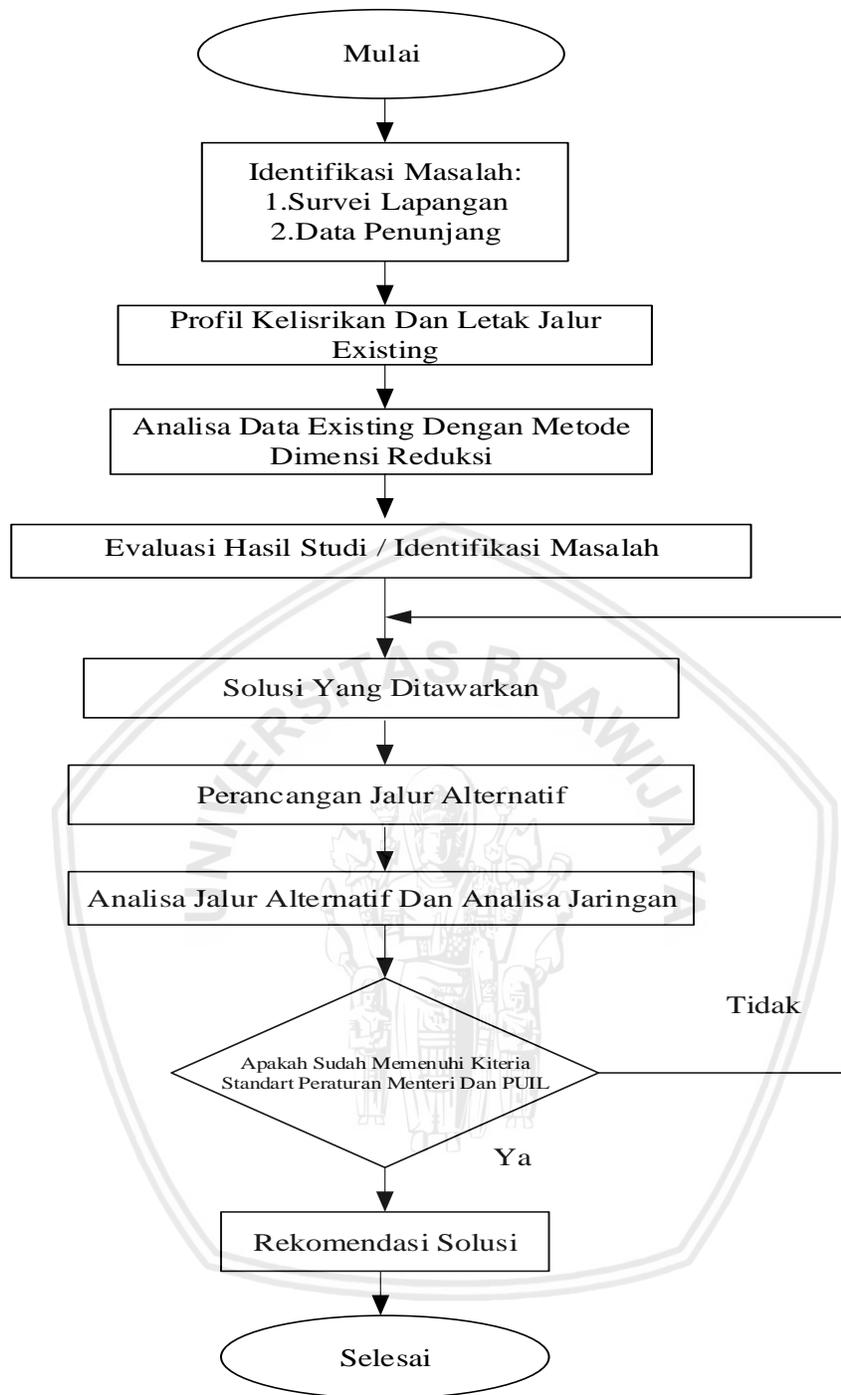
Pengolahan data batimetri menggunakan pengolahan data lapangan dalam bentuk *kringing*. Data akustik diperoleh dari hasil pencatatan selama pemeruman menggunakan *singelbeam echosounder*. Data hasil pemeruman kemudian diekstrak menjadi format X, Y, dan Z pada *software Microsoft excel*. Nilai X, Y menunjukkan posisi koordinat dari GPS sedangkan nilai Z menunjukkan nilai kedalaman dari *echosounder* yang telah dicatat. Pengolahan data berupa data posisi lintang dan bujur diolah dengan menggunakan

transformasi data lapangan numerik menjadi data spasial melalui *software* SURFER untuk nilai kedalaman perairan Bangka-Lepar.

Tahap selanjutnya melakukan perhitungan dengan menggunakan metode dimensi reduksi seperti yang terlihat pada Gambar 4.10. Setelah perhitungan diperoleh maka dapat diperoleh faktor-faktor yang mempengaruhi, yakni: keandalan mekanik dari peletakan kabel, luas penampang kabel untuk melayani beban dan sistem proteksi mekanik kabel yang digunakan. Apabila dalam proses analisis diketahui masalah yang terjadi maka dilakukan analisis kembali untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, yakni perancangan jalur alternatif SPC Bangka-Lepar.

Berdasarkan pada kajian teori yang telah disusun serta beberapa data hasil survey yang diperoleh dapat disajikan diagram alir metodologi penelitian sebagai berikut:





Gambar 4.8 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1. Survei lapangan merupakan kegiatan pengumpulan data yaitu Peta jalur kabel SPC existing, jenis penghantar yang digunakan, data jadwal perawatan rutin, dan data pendukung lainnya.
2. Guna menentukan besarnya keandalan mekanik peletakan kabel maka dapat dicatat kedalaman laut, panjang kabel dan proteksi yang digunakan pada SPC rute existing.

3. Pada tahap analisis ini, beberapa hal yang dapat dilakukan seperti terlihat pada flowchart perhitungan dibawah ini:

Berdasarkan pemodelan yang dipaparkan oleh Nakamura (1991). Sebuah metode yang disebut 'reduksi dimensi' digunakan untuk mencapainya tujuan perhitungan tingkat kegagalan. Metode 'Reduksi dimensi' digunakan untuk mengurangi / menggabungkan tiga kegagalan ke satu distribusi. Penyesuaian tertentu digunakan untuk membuat model asli sesuai dengan aplikasi yang berkaitan dengan kabel listrik jaringan bawah laut. Hasil akhirnya adalah perhitungan kegagalan per 250 m dan tahun kabel bawah laut yang ada dan yang diusulkan jaringan tegangan menengah. Parameter yang telah dipertimbangkan dalam konteks dari model yang disajikan terdiri dari:

- e. Kedalaman jalur kabel / kedalaman pada titik kegagalan dari kabel;
- f. Panjang jalur kabel / jarak minimum Titik kegagalan dari pantai;
- g. Karakteristik dasar dari rute kabel di daerah tersebut kegagalan;
- h. Tingkat proteksi kabel sepanjang jalur kabel

Di daerah kegagalan pilihan faktor-faktor ini dibenarkan dari dampak yang signifikan terhadap tingkat kegagalan. Selama prosedur peletakan kondisi lingkungan yang dapat diterima diasumsikan untuk misalnya dalam kasus cuaca buruk operasi peletakan akan terjadi berhenti sampai cuaca membaik. Apalagi, tidak adanya arus laut signifikan diasumsikan dalam penerapan.

Pada peletakan kabel, proteksi kabel laut yang akan digunakan untuk rencana kabel laut sesuai dengan kondisi kedalaman laut, jenis *seabed* Peraturan Menteri Nomor: PM 68 tahun 2011 tentang alur pelayaran dilaut.

Model yang diusulkan untuk kebutuhan model statistik secara acak interkoneksi terbagi menjadi dua bagian yang sama. Masing-masing dari titik terminal ke tengah rute terdiri dari bagian sama dengan panjang 250 m, LJ Dengan $j = 0,1,2, \dots, 8$; Panjang di atas 2.25 km (sampai ke tengah kabel) dianggap sebagai satu dan disebut L. Masing-masing bagian itu diletakkan secara spesifik kedalaman, DI Dengan $i = 0,1,2, \dots, 7$; Parameter panjang L_i dan Kedalaman DK. Selain di atas, untuk setiap kabel jumlahnya Kegagalan dipelajari pada interval satu tahun.

Data kegagalan memberikan dasar yang andal untuk periode antara 2015 dan 2016, yang merupakan periode waktu di bawah pemeriksaan. Menurut asumsi ini, setiap kabel memiliki keunikan 'Identitas' yang sesuai dengan itu sejak saat peletakannya *Up to date*. Akibatnya, setiap segmen kabel 250 m pada kedalaman tertentu ditugaskan setiap tahun yang lewat dengan cara yang unik dengan segmen persegi putih. Gambar 3.1 (diambil dari Nakamura 1991) mewakili model yang diimplementasikan. Dengan asumsi a Kegagalan setelah beberapa tahun menjalani prosedur peletakan secara spesifik Panjang dan kedalaman masing-masing elemen kuadrat diilustrasikan. Dengan warna yang lebih gelap, Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2, setiap segmen persegi memiliki tiga Dimensi: resolusi sumbu x sama dengan 250 m per sel, Tahun sumbu y per sel, dan sumbu z kedalaman kabel tertentu.

Detil deskripsi parameter dari menggunakan model statistik diatas adalah

1. Kedalaman rute kabel pada titik kegagalan DK ($K = 0$ sampai 7). Inilah jarak masing-masing segmen kabel dari laut permukaan. Dalam kasus kegagalan, kedalaman ini sesuai dengan Kedalaman segmen yang mengalami kegagalan. Total kedalamannya adalah Dibagi untuk 70m pertama ke dalam interval 10m masing-masing. Luar Ambang batas ini tidak ada partisi lebih lanjut, sehingga mengambilnya sebagai a Segmen terpadu; Statistik deskriptif menunjukkan bahwa kegagalan pada kedalaman lebih dari 70 m terdistribusi secara merata. Untuk Kasus dimana segmen di bawah pemeriksaan mengikuti a (Secara signifikan) miring ke bawah, misalnya dari kedalaman D_1 , Sampai kedalaman D_2 , Maka kedalaman yang dirujuk dari segmen kabel sama dengan $D_K = (D_1 + D_2) / 2$. Diasumsikan bahwa perubahan kedalaman pada masing-masing Interval kurang dari 10m. Ini berarti bahwa dalam kasus a dasar laut dengan kecenderungan lebih dari 4%, pilihan kedalaman rata-rata harus dilakukan dengan hati-hati. Akibatnya, domain dari parameter ini adalah:

$$D = \{D_1, D_2, D_3, D_4\} = D\{0 - 9m, 10 - 19m, 20 - 29m, 30 - 39m\}$$

2. Panjang jalur kabel pada titik kegagalan dari pantai LJ ($J = 0$ sampai 9). Parameter ini berfokus pada titik kegagalan dalam hal panjang segmen dari kabel yang mengalami masalah dan jarak minimum dari pantai, yaitu dari Dua titik terminal kabel bawah laut. Jumlah seluruhnya Panjang kabel dipartisi untuk 2.25km pertama (dari Kedua sisi titik terminal) ke segmen 250m masing-masing. Statistik deskriptif menunjukkan bahwa kegagalan lebih jauh terjadi 2.25km terdistribusi secara merata. Domain dari Parameter diberikan (dalam km) sebagai:

$$L\{L_0, L_1, L_2, L_3\}$$

3. Proteksi yang dimodifikasi EI ($I = 1$ sampai 4) dasar laut disusun dalam empat kategori: berlumpur, berpasir, Kerikil, dan berbatu, sesuai dengan karakteristik dasar laut yang dibutuhkan perlindungan kabel dibedakan. Dasar laut berlumpur dan berpasir ada penetrasi alami dari kabel di dasar laut sekitar 0,3-0,5 m. Selanjutnya, proteksi kabel di sepanjang jalur kabel mengintegrasikan dua aspek yang berbeda: di satu sisi, ada Perlindungan kabel dari alam dan manusia yang terkait Bahaya, seperti dari penguburan kabel, penggunaan sistem set-up perlindungan (seperti beton mat- Tresses atau penempatan batuan), atau penggunaan pengekangan atau sistem gantung (misalnya, membagi kerang dan rantai) dan seterusnya di sisi lain, ada perlindungan diri terhadap kabel yang seharusnya ke armor yang digunakan saat pembuatan. Pada kasus ini, Isu penting berkaitan dengan pilihan bahan yang tepat untuk kabel armor dan penggunaan single atau double armor untuk memberikan stabilitas ketegangan dan mekanis ke kabel. Mengingat tingginya korelasi antar fitur dasar laut dan karakteristik proteksi kabel ini

Dua parameter diintegrasikan ke dalam model sebagai kesatuan variabel yang disebut 'modified protection'. Proteksi yang dimodifikasi didasarkan pada kombinasi karakteristik dasar laut sepanjang jalur kabel dengan Perlindungan kabel itu sendiri. Akibatnya, domain ini Variabel adalah $E\{E_1, E_2, E_3, E_4\}$.

Modifikasi pemasangan EI tingkat kegagalan per 250m dan tahun pada kombinasi antara Ei, Lj, dan Dk adalah

$$P(E_i, L_j, D_k) = \frac{N_f(E_i, L_j, D_k)}{N_t(E_i, L_j, D_k)} \quad (4.1)$$

- Keterangan:
1. NF (Ei, LJ, DK) Adalah jumlah segmen kegagalan
 2. NT (Ei, LJ, DK) adalah Sesuai dengan jumlah yang sesuai total segmen.

Dalam hal ini, penggunaan aktual kegagalan untuk menghitung tingkat kegagalan dengan persamaan (1) sama dengan nol untuk level proteksi ini. Namun, untuk bisa memprediksi kegagalan, ini yang terbaik dilengkapi melalui distribusi teoritis, distribusi diskrit digunakan karena sifat dari parameter bunga. Di khususnya, distribusi poisson dengan $\Lambda = 0,2$ dipilih.

Untuk tujuan ini, perkiraan kegagalan aktual dengan faktor modifikasi sesuai dengan distribusi poisson tingkat kegagalan, faktor keamanan dan faktor kegagalan untuk setiap level Ei. Faktor keamanan menunjukkan korelasi relatif antara tingkat kegagalan dari empat tingkat proteksi yang dipekerjakan, mengambil sebagai dasar tingkat kegagalan. Tingkat proteksi E1 sama dengan satu.

$$F(E_i) = \frac{1}{S(E_i)} \quad (4.2)$$

Modifikasi pemasangan faktor keamanan LJ:

$$N_f(L_j, D_k | E_1) = \sum_{i=1}^4 N_f(E_i, L_j, D_k) \cdot S(E_i) \quad (4.3)$$

$$N_t(L_j, D_k) = \sum_{i=1}^4 N_t(E_i, L_j, D_k) \quad (4.4)$$

Dimana NF (Ei, LJ, D K) dan NT (Ei, LJ, DK) Dihitung dengan mengintegrasikan parameter LJ ke dalam 'Dimensi reduksi', jumlah elemen kegagalan setara NF (LJ, E1) dan jumlah elemen total NT (LJ) harus dihitung untuk setiap kombinasi LJ Dan DK.

$$N_f(L_j | E_1) = \sum_{i=1}^7 N_f(L_j, D_k | E_i) \quad (4.5)$$

$$N_t(L_j) = \sum_{i=1}^7 N_t(L_j, D_k) \quad (4.6)$$

Faktor keamanan dan faktor kegagalan masing-masing diturunkan dari rumus berikut:

Modifikasi-pemasangan Dk Untuk mengintegrasikan parameter Dk ke dalam 'pengurangan dimensi', Jumlah kegagalan yang setara dengan kedua E1 dan L1 dan Total segmen masing-masing pada setiap Dk, bisa dihitung sebagai:

$$N_f(D_k|E_i L_j) = \sum_{i=1}^{10} N_f(L_j, D_k|E_i) \cdot S(L_j) \quad (4.7)$$

$$N_t(D_k) = \sum_{i=1}^{10} N_t(L_j, D_k) \quad (4.8)$$

Kegagalan yang sama dari Dk paling baik dipasang melalui distribusi Poisson. Oleh karena itu, perkiraan kegagalan modifikasi diwakili di kolom berlabel 'Mod. Gagal'. Implementasi kehandalan model untuk route kabel khusus faktor kegagalan yang telah dihitung menyiratkan kemungkinan kegagalan untuk setiap kombinasi parameter E_i, L_j, dan D_k. Tingkat kegagalan pada setiap (E_i, L_j, D_k) dari kabel diturunkan sebagai:

$$R_t = F(E_i) \cdot F(L_j) \cdot P(D_k|E_i, L_0) \quad (4.9)$$

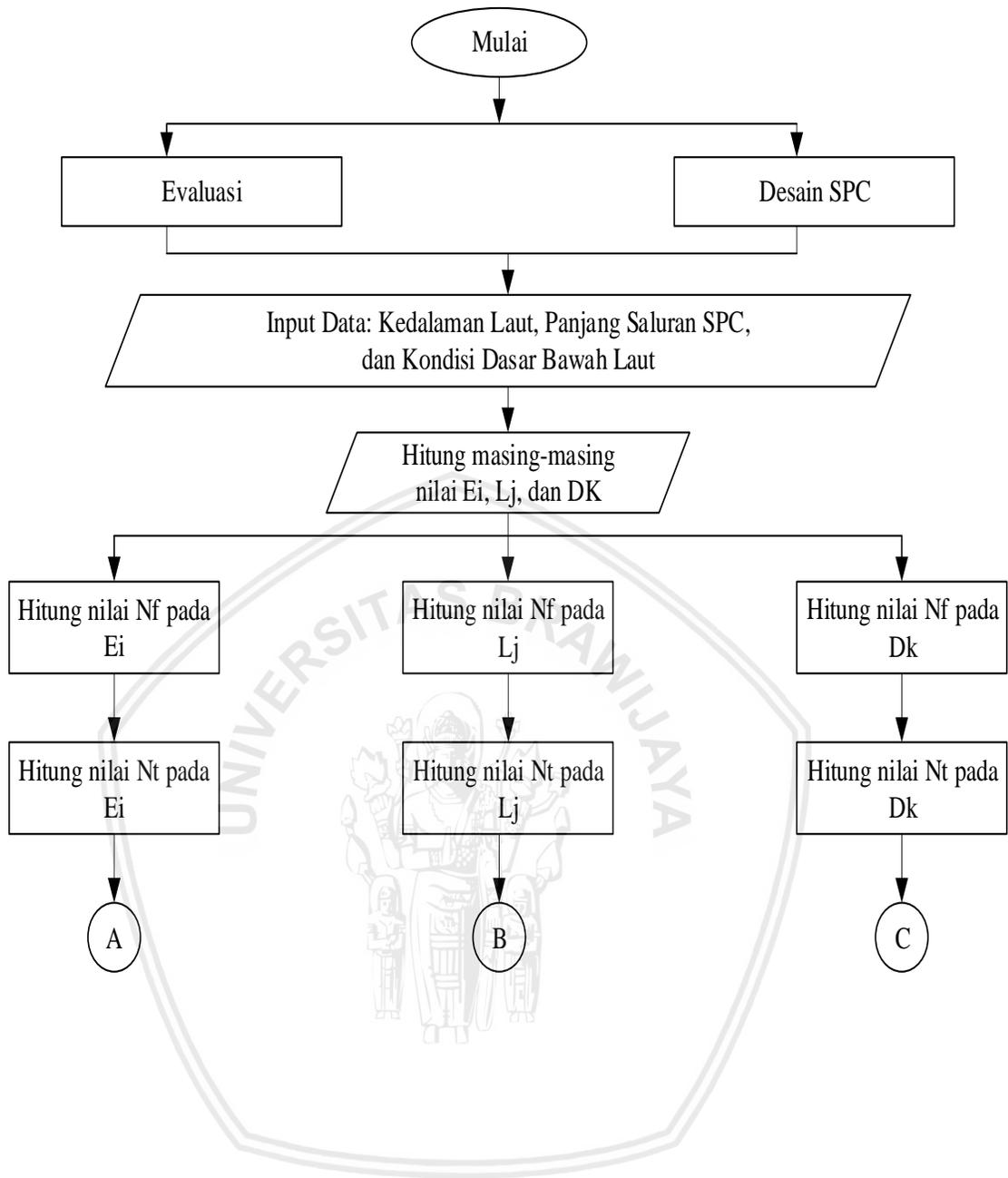
Untuk i= 1 sampai N dimana n adalah total segmen dari kabel, dan untuk seluruh panjang kabel keandalannya adalah

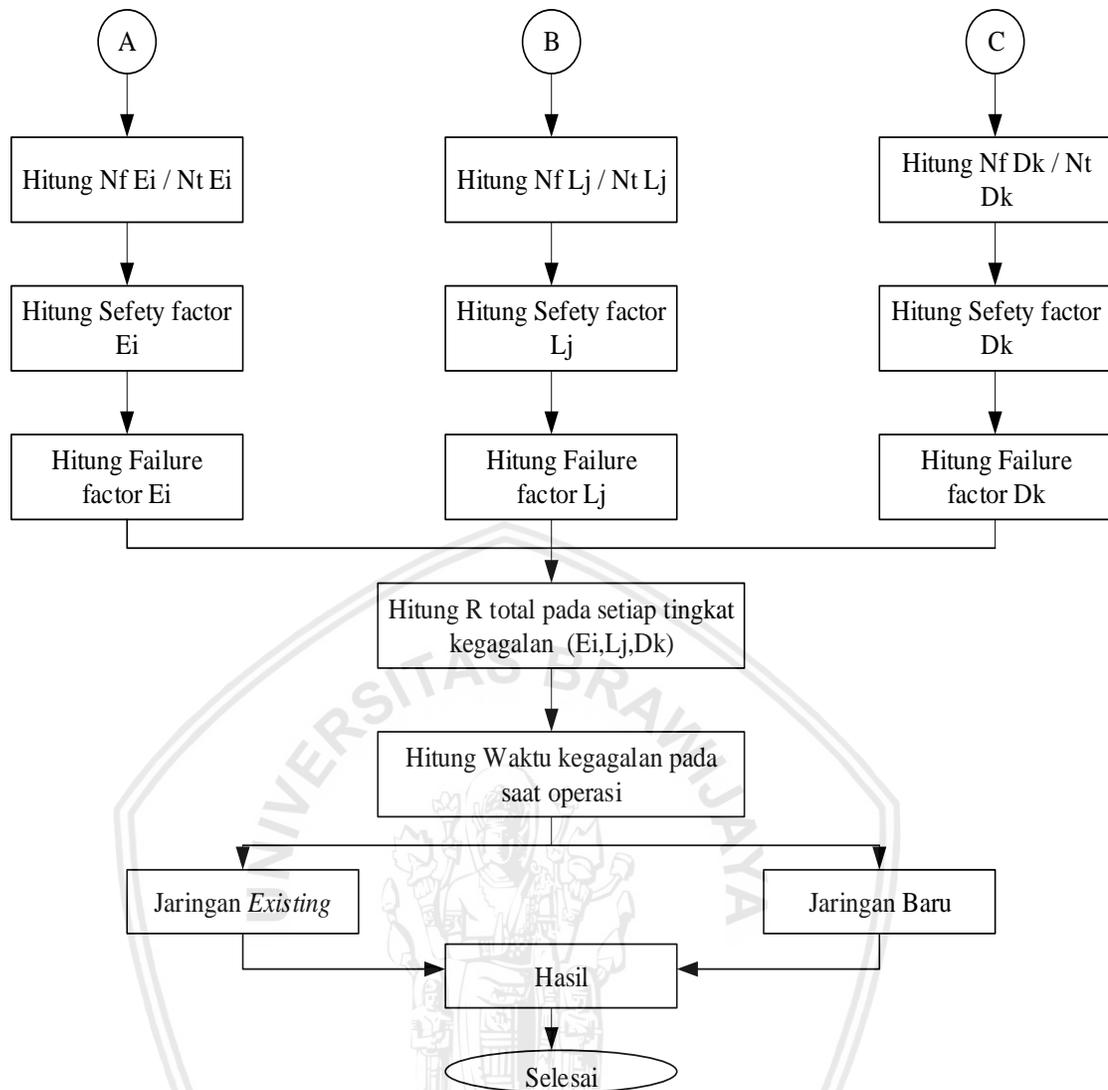
$$R_{total} = \sum_{i=1}^n R_t \quad (4.10)$$

Berarti waktu antara kegagalan (MTBF) Waktu rata-rata antara kegagalan mengacu pada operasi yang aman Waktu untuk rute kabel MTBF adalah:

$$MTBF = \frac{1}{R_{total}} \quad (4.11)$$

Berdasarkan pada perhitungan yang telah disusun serta beberapa data hasil survey yang diperoleh dapat disajikan flowchart pwerhitungan dari metode dimensi reduksi diatas sebagai berikut:





Gambar 4.10 *Flowchart* Perhitungan SPC Menggunakan Metode Dimensi Reduksi

Adapun langkah-langkah Perhitungan SPC Menggunakan Metode Dimensi Reduksi sebagai berikut:

- Pengumpulan data meliputi kedalaman laut, kondisi dasar bawah laut, dan panjang jaringan SPC
- Hitung masing-masing nilai E_i (kondisi dasar bawah laut), L_j (panjang saluran kabel), D_k (kedalaman kabel bawah laut)
- Hitung masing-masing masing nilai total elemen kegagalan E_i , L_j , dan D_k terdapat pada persamaan 4.1
- Hitung masing-masing masing jumlah total elemen E_i , L_j , dan D_k terdapat pada persamaan 4.1
- Hitung masing-masing masing *failure factor* E_i , L_j , dan D_k terdapat pada persamaan 4.2

- f. Hitung masing-masing masing *safety factor* E_i , L_j , dan D_k terdapat pada persamaan 4.3 dan 4.4
 - g. Hitung total pada setiap tingkat kegagalan E_i , L_j , dan D_k terdapat pada persamaan 4.9
 - h. Hitung waktu kegagalan pada saat operasi terdapat pada persamaan 4.10
4. Menentukan perancangan rute alternatif dan rekomendasi yang diambil.



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas beberapa hal mengenai hasil evaluasi *submarine power cable* 20 kV Bangka-Lepar di Propinsi Kep. Bangka Belitung. Berdasarkan pada Bab sebelumnya maka didapatkan hasil sebagai berikut:

5.1 Lokasi Penelitian dan Lokasi Peletakan Kabel

Penelitian ini mengambil tema tentang Evaluasi keandalan (*submarine power cable*) yang terhubung dengan jaringan system distribusi eksisting 20 kV PT. PLN Tobali Bangka Selatan. Penelitian ini dilakukan pada penyulang P. Tj Labu di system eksisting 20 kV gardu hubung TB 4 Toboali Bangka Selatan.

Pulau Lepar merupakan salah satu pulau terbesar dari pulau pulau kecil yang ada di Propinsi Bangka Belitung, secara administrasi Pulau Lepar masuk di Kecamatan Lepar Pongok, Kabupaten Bangka Selatan. Pulau ini terletak pada posisi Geografis 02°57'00" LS dan 106°48'36" BT dengan luas 25.416.380 ha. (Pulau terbesar di Bangka Selatan). Topografi Pulau Lepar berbentuk sedikit datar dan banyak berbukit bukit, Masyarakat desa ini sebagian besar berprofesi sebagai petani dan sebagian nelayan. Peta lokasi peletakan dapat dilihat pada gambar 5.1 dibawah ini:



Gambar 5.1 Peta Lokasi Peletakan Kabel Bawah Laut

5.2 Batimetri Hasil Pengukuran di Lapangan

Hasil pengukuran batimetri di lapangan menggunakan *singlebeam echosounder* di perairan Bangka-Lepar dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan 5.2. Pada Tabel 5.1 merupakan hasil pengukuran pada rute eksisting sedangkan Tabel 5.2 merupakan hasil pengukuran pada rute Alternatif.

Tabel 5.1 Hasil pengukuran *Singlebeam Echosounder* rute eksisting

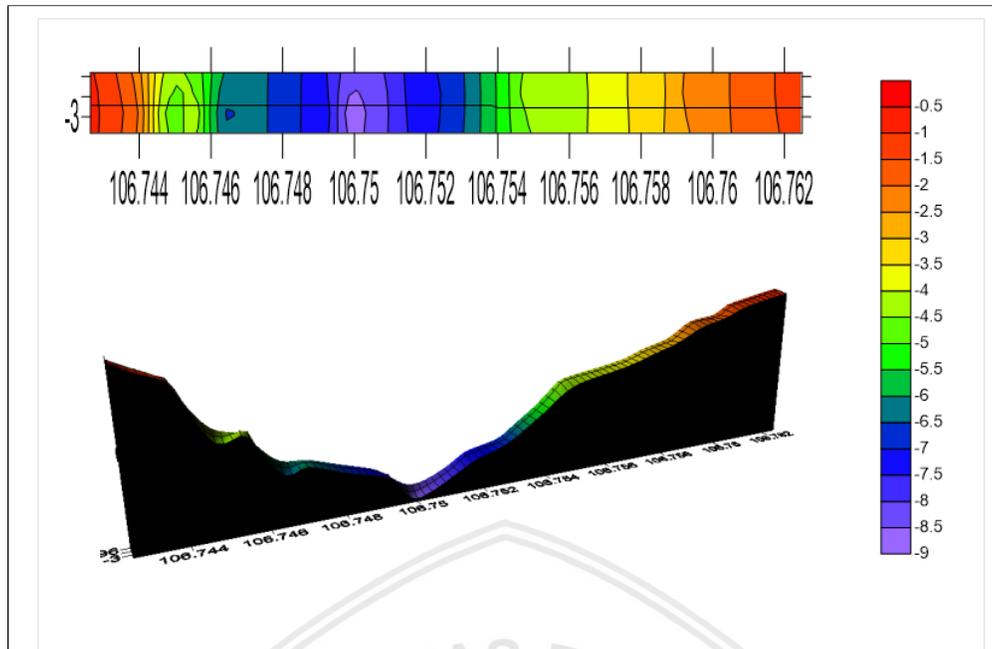
| Longitude | Latitude | Kedalaman (m) |
|------------------|-----------------|----------------------|
| 106°45'44.85"E | 2°59'38.75"S | 1.3 |
| 106°45'38.29"E | 2°59'39.16"S | 1.8 |
| 106°45'36.75"E | 2°59'40.18"S | 2.3 |
| 106°45'33.24"E | 2°59'42.49"S | 2.4 |
| 106°45'30.56"E | 2°59'44.70"S | 3.2 |
| 106°45'27.33"E | 2°59'46.60"S | 3.5 |
| 106°45'24.84"E | 2°59'47.98"S | 3.9 |
| 106°45'22.05"E | 2°59'49.39"S | 4.1 |
| 106°45'16.87"E | 2°59'51.82"S | 4.4 |
| 106°45'15.34"E | 2°59'52.63"S | 5.1 |
| 106°45'13.69"E | 2°59'53.61"S | 5.7 |
| 106°45'11.65"E | 2°59'54.89"S | 6.3 |
| 106°45'9.96"E | 2°59'55.83"S | 6.9 |
| 106°45'5.97"E | 2°59'57.98"S | 7.2 |
| 106°45'4.18"E | 2°59'58.99"S | 7.8 |
| 106°45'1.74"E | 3° 0'0.39"S | 8.4 |
| 106°44'59.47"E | 3° 0'1.97"S | 8.8 |
| 106°44'57.28"E | 3° 0'3.41"S | 7.3 |
| 106°44'52.84"E | 3° 0'5.62"S | 6.8 |
| 106°44'50.76"E | 3° 0'6.51"S | 6.4 |
| 106°44'49.02"E | 3° 0'7.27"S | 6.1 |
| 106°44'47.43"E | 3° 0'7.81"S | 6.7 |
| 106°44'45.48"E | 3° 0'8.74"S | 5.6 |
| 106°44'44.08"E | 3° 0'9.87"S | 4.1 |
| 106°44'41.93"E | 3° 0'12.07"S | 4.8 |
| 106°44'40.63"E | 3° 0'13.47"S | 4.4 |
| 106°44'39.26"E | 3° 0'15.09"S | 2.9 |
| 106°44'38.04"E | 3° 0'16.30"S | 1.7 |
| 106°44'34.97"E | 3° 0'19.28"S | 1.2 |
| 106°44'33.50"E | 3° 0'20.57"S | 0.7 |

Tabel 5.2 Hasil pengukuran *Singlebeam Echosounder* rute Alternatif

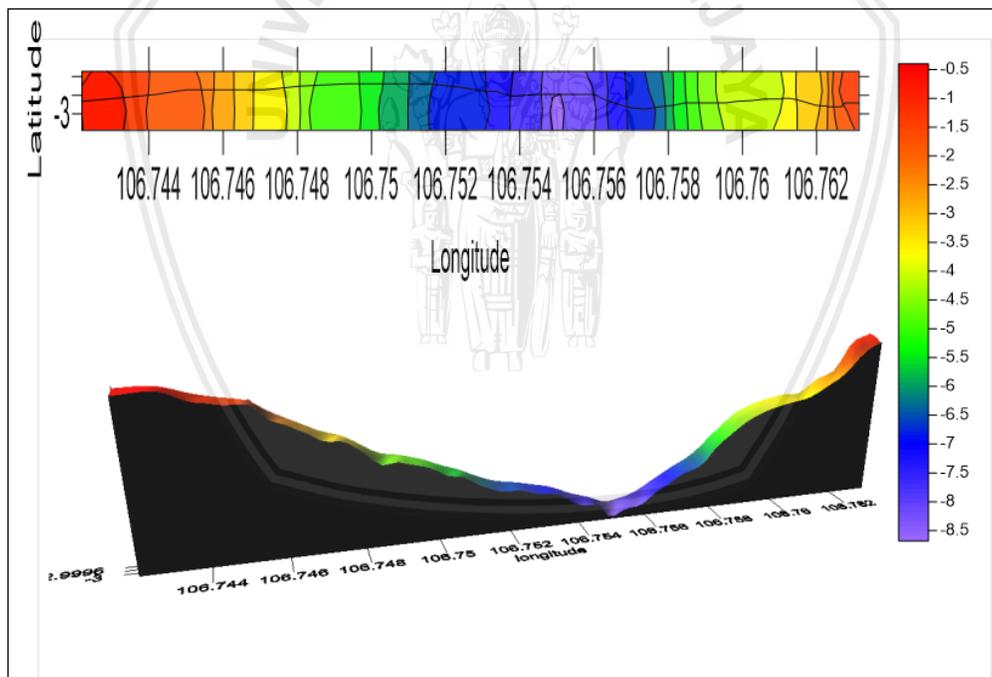
| Longitude | Latitude | Kedalaman (m) |
|------------------|-----------------|----------------------|
| 106°44'32.38"E | 3° 0'26.92"S | 0.5 |
| 106°44'31.89"E | 3° 0'25.71"S | 0.5 |
| 106°44'34.81"E | 3° 0'24.62"S | 0.4 |
| 106°44'35.95"E | 3° 0'25.24"S | 0.4 |
| 106°44'37.31"E | 3° 0'25.59"S | 0.8 |
| 106°44'38.50"E | 3° 0'25.50"S | 1.11 |
| 106°44'39.51"E | 3° 0'25.21"S | 1.1 |
| 106°44'40.81"E | 3° 0'24.79"S | 1.3 |
| 106°44'42.35"E | 3° 0'24.61"S | 1.3 |
| 106°44'43.58"E | 3° 0'24.41"S | 1.2 |
| 106°44'44.82"E | 3° 0'24.06"S | 2.3 |
| 106°44'46.12"E | 3° 0'23.68"S | 2.3 |
| 106°44'47.29"E | 3° 0'23.30"S | 2.7 |
| 106°44'48.35"E | 3° 0'22.86"S | 2.9 |
| 106°44'49.74"E | 3° 0'22.47"S | 3.5 |
| 106°44'51.04"E | 3° 0'22.05"S | 3.2 |
| 106°44'53.37"E | 3° 0'21.24"S | 4.1 |
| 106°44'54.24"E | 3° 0'20.95"S | 4.7 |
| 106°44'54.79"E | 3° 0'20.73"S | 4.9 |
| 106°44'56.04"E | 3° 0'20.24"S | 4.5 |
| 106°44'57.33"E | 3° 0'19.67"S | 4.8 |
| 106°44'58.53"E | 3° 0'19.26"S | 4.9 |
| 106°45'0.01"E | 3° 0'18.63"S | 5.2 |
| 106°45'1.11"E | 3° 0'18.08"S | 5.7 |
| 106°45'2.45"E | 3° 0'17.52"S | 5.5 |
| 106°45'3.65"E | 3° 0'17.03"S | 6.1 |
| 106°45'4.98"E | 3° 0'16.43"S | 6.4 |
| 106°45'6.51"E | 3° 0'15.71"S | 6.7 |
| 106°45'8.18"E | 3° 0'15.04"S | 6.6 |
| 106°45'9.49"E | 3° 0'14.67"S | 6.9 |
| 106°45'10.92"E | 3° 0'14.05"S | 7 |
| 106°45'12.12"E | 3° 0'12.97"S | 7 |
| 106°45'13.61"E | 3° 0'11.74"S | 7.6 |
| 106°45'14.84"E | 3° 0'10.68"S | 7.9 |
| 106°45'16.26"E | 3° 0'9.81"S | 7.7 |
| 106°45'17.85"E | 3° 0'8.71"S | 8.9 |
| 106°45'19.36"E | 3° 0'7.88"S | 8.2 |
| 106°45'21.25"E | 3° 0'6.85"S | 8.3 |

| | | |
|----------------|--------------|-----|
| 106°45'22.74"E | 3° 0'6.26"S | 7.5 |
| 106°45'23.95"E | 3° 0'5.44"S | 7.3 |
| 106°45'25.64"E | 3° 0'4.25"S | 6.7 |
| 106°45'27.94"E | 3° 0'2.67"S | 6.5 |
| 106°45'29.28"E | 3° 0'1.77"S | 5.4 |
| 106°45'30.40"E | 3° 0'0.93"S | 5.1 |
| 106°45'32.31"E | 2°59'59.06"S | 4.2 |
| 106°45'34.46"E | 2°59'57.51"S | 3.8 |
| 106°45'37.90"E | 2°59'54.17"S | 3.5 |
| 106°45'39.61"E | 2°59'52.75"S | 3.7 |
| 106°45'41.61"E | 2°59'50.87"S | 2.8 |
| 106°45'43.83"E | 2°59'48.96"S | 2.7 |
| 106°45'44.87"E | 2°59'47.66"S | 1.2 |
| 106°45'45.79"E | 2°59'46.20"S | 0.8 |
| 106°45'47.27"E | 2°59'43.50"S | 0.7 |
| 106°45'46.47"E | 2°59'39.83"S | 0.9 |

Data tabel 5.1 dan 5.2 merupakan data yang diambil dari lapangan data tersebut diambil menggunakan GPS dan Sonar Echosounder. Dari Tabel 5.1 kondisi terdalam pada laut adalah pada koordinat 106°44'59.47"E dan 3° 0'1.97"S yaitu sedalam 8.8 meter, sedangkan pada tabel 5.2 titik terdalam kondisi laut terdapat pada koordinat 106°45'17.85"E dan 3° 0'8.71"S yaitu sedalam 8.9 m. Data bathimetri dari pengukuran diatas digunakan untuk menghitung kegagalan yang akan terjadi. Data bathimetri ini juga digunakan untuk memvisualkan kondisi kedalaman laut. Visualisasi data bathimetri dapat dilihat pada gambar 5.2 dan 5.3 dibawah ini.



Gambar 5.2 Hasil pengukuran *Singlebeam Echosounder* rute eksisting



Gambar 5.3 Hasil pengukuran *Single Beam Echosounder* rute Alternatif

5.3 Analisis Keandalan Submarine Power Cable

Pada analisis keandalan *submarine power cable* terbagi atas 4 (empat) perhitungan, yaitu

1. Analisis keandalan SPC rute Eksisting

Analisis keandalan SPC rute alternatif menggunakan *dimension reduksi* dapat dilihat berdasarkan gambar 5.4 dan 5.5, serta untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.3 dan 5.4 dibawah ini:



Gambar 5.4 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada rute Eksisting segment panjang



Gambar 5.5 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada rute Eksisting segment kedalaman

Dari gambar 5.4 dan 5.5 hasil pengelompokan data dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.3 dan 5.4. Tabel 5.3 dan 5.4 dibawah ini merupakan hasil perhitungan yang telah didapatkan berdasarkan pemodelan yang dipaparkan oleh Nakamura (1991).

Tabel 5.3 Perhitungan keandalan pada kondisi kedalaman rute Eksisting

| Perhitungan Kedalaman Rute Eksisting | | | | | | | |
|--------------------------------------|----|------------|--------------|----|-------|----|----|
| Kedalaman | NF | D. Poisson | Mod.failures | NT | NF/NT | SD | FD |

| | | | | | | | |
|-----------|-------|---------|----------|----|-------|-------|-------|
| 0 - 3 | 9 | 0.37775 | 12.08805 | 54 | 0.224 | 1 | 1 |
| 3.1 - 6.1 | 12 | 0.72456 | 23.18591 | 72 | 0.322 | 0.695 | 1.439 |
| 6.2 - 9.2 | 11 | 0.61899 | 19.80773 | 66 | 0.300 | 0.746 | 1.341 |
| Total | 32 | | | | | | |
| Rata-rata | 10.67 | | | | | | |

Tabel 5.4 Perhitungan keandalan pada kondis panjang rute kabel Eksisting

| Perhitungan Panjang Rute Eksisting | | | | | | | |
|------------------------------------|--------|------------|--------------|----|-------|-------|-------|
| Panjang | NF | D. Poisson | Mod.failures | NT | NF/NT | SL | FL |
| 0 - 1100 | 9 | 0.3778 | 12.088 | 54 | 0.224 | 1 | 1 |
| 1101 - 2201 | 14 | 0.8772 | 28.070 | 84 | 0.334 | 0.670 | 1.493 |
| 2202-3302 | 9 | 0.3778 | 12.088 | 54 | 0.224 | 1 | 1 |
| Total | 32 | | | | | | |
| Rata-rata | 10.667 | | | | | | |

Data dari tabel 5.3 dan 5.4 diatas diperoleh dari perhitungan dimensi reduksi dibawah ini:

NF [Jumlah segment kegagalan] = $L_j = (0-1100= 9)$, $(1101-2201= 14)$, dan $(2202-3302= 9)$

$D_k = (0-3= 9)$, $(3.1-6.1= 12)$, dan $(6.2-9.2= 11)$

NF (Mod. Failuere) = $L_j = (0-1100= 12,08)$, $(1101-2201= 28,07)$, dan $(2202-3302= 12,08)$

$D_k = (0-3= 12,08)$, $(3.1-6.1= 23,18)$, dan $(6.2-9.2= 19,8)$

NT [Total segment kegagalan dalam 1 tahun (dalam 1 tahun terdapat 6 kali kegagalan)]

= $L_j = (0-1100= 54)$, $(1101-2201= 84)$, dan $(2202-3302= 54)$

$D_k = (0-3= 54)$, $(3.1-6.1= 72)$, dan $(6.2-9.2= 66)$

Proteksi pada panjang rute (L_j) dan kedalaman (D_k) dihitung sebagai berikut:

$$P(L_j, D_k) = \frac{N_f(\text{Mod.Failuer})}{N_t}$$

$$P(L_j) = \left[\left(\frac{12,08}{54} \right), \left(\frac{28,07}{84} \right), \left(\frac{12,08}{54} \right) \right]$$

$$P(L_j) = [(0,224), (0,334), (0,224)]$$

$$P(D_k) = \left[\left(\frac{12,08}{54} \right), \left(\frac{23,18}{72} \right), \left(\frac{19,8}{66} \right) \right]$$

$$P(D_k) = [(0,224), (0,322), (0,300)]$$

Safety Factor pada panjang rute (L_j) dan kedalaman (D_k) dihitung sebagai berikut:

$$S(L_j) = \left[\left(\frac{0,224}{0,224} \right), \left(\frac{0,224}{0,334} \right), \left(\frac{0,224}{0,334} \right) \right]$$

$$S(L_j) = [(1), (0,670), (1)]$$

$$S(D_k) = \left[\left(\frac{0,224}{0,224} \right), \left(\frac{0,224}{0,332} \right), \left(\frac{0,224}{0,300} \right) \right]$$

$$S(D_k) = [(1), (0,695), (0,746)]$$

Failure Factor pada panjang rute (L_j) dan kedalaman (D_k) dihitung sebagai berikut:

$$F(L_j) = \left[\left(\frac{1}{1} \right), \left(\frac{1}{0,670} \right), \left(\frac{1}{1} \right) \right]$$

$$F(L_j) = [(1), (1,493), (1)]$$

$$F(D_k) = \left[\left(\frac{1}{1} \right), \left(\frac{1}{0,695} \right), \left(\frac{1}{0,746} \right) \right]$$

$$F(D_k) = [(1), (1,493), (1,341)]$$

Reliabilitas rute eksisting diperoleh dari perhitungan dibawah ini:

$$R_t = (Nf \text{ mod. failure} / NT_{(0-3)} \cdot FLj_{(0-1100)}) \\ + (Nf \text{ mod. failure} / NT_{(3,1-6,1)} \cdot FLj_{(1101-2201)}) \\ + (Nf \text{ mod. failure} / NT_{(6,2-9,2)} \cdot FLj_{(2202-3302)})$$

$$R_t = (0,224 \cdot 1) + (0,322 \cdot 1,493) + (0,300 \cdot 1) = 2 \text{ kegagalan/tahun/1100 meter}$$

Mean Time Between Failures rute eksisting sebagai berikut:

$$MTBF = \frac{1}{R_t}$$

$$MTBF = \frac{1}{2} = 0,5/\text{tahun}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dan tabel 5.3 menunjukkan bahwa *safety factor* tertinggi sebesar 1 berada pada kedalaman 0-3m sedangkan *safety factor* terendah sebesar 0,695 pada kedalaman 3,1-6,1. Untuk *factor failure* terendah terletak pada kedalaman 0-3 yaitu sebesar 1 sedangkan *factor failure* tertinggi sebesar 1,439 pada kedalaman 3,1-6,1m.

Pada tabel 5.4 menunjukkan bahwa *safety factor* terendah sebesar 0,670 berada pada jarak 1101-2201m, sedangkan yang tertinggi sebesar 1 berada pada jarak 0-1100 dan 2202-3302m. Untuk *factor failure* terendah berada pada jarak 0-1100 dan 2202-3302 yaitu sebesar 1 sedangkan *factor failure* tertinggi berada pada kedalaman 1101-2201m yaitu sebesar 1,493. Setelah menggunakan metode dimensi reduksi yang disajikan dalam penelitian ini, keandalan untuk rute kabel dihitung menjadi $R_{total} = 2$ kegagalan per 1100 m per tahun. MTBF masing-masing sama dengan 0,498 /tahun.

2. Analisis keandalan SPC rute Eksisting menggunakan proteksi

Analisis keandalan SPC rute Eksisting menggunakan *dimension reduksi* dapat dilihat berdasarkan gambar 5.6 dan 5.7, serta untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.5 dan 5.6 dibawah ini:



Gambar 5.6 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada rute Eksisting segment panjang



Gambar 5.7 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada rute Eksisting segment kedalaman dengan proteksi

Dari gambar 5.6 dan 5.7 hasil pengelompokan data dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.5 dan 5.6. Tabel 5.5 dan 5.6 dibawah ini merupakan

hasil perhitungan yang telah didapatkan berdasarkan pemodelan yang dipaparkan oleh Nakamura (1991).

Tabel 5.5 Perhitungan keandalan pada kondisi kedalaman rute Eksisting dengan proteksi

| Perhitungan Kedalaman Rute Eksisting menggunakan proteksi | | | | | | | |
|---|-------|------------|--------------|-----|----------|-------|------|
| Kedalaman | NF | D. Poisson | Mod.failures | NT | NF/NT | SD | FD |
| 0 - 3 | 9 | 0.3778 | 12.088 | 54 | 0.223853 | 1 | 1 |
| 3.1 - 6.1 | 21 | 0.9984 | 31.950 | 126 | 0.253572 | 0.88 | 1.13 |
| 6.2 - 9.2 | 2 | 0.0013 | 0.042 | 12 | 0.003536 | 63.31 | 0.02 |
| Total | 32 | | | | | | |
| Rata-rata | 10.67 | | | | | | |

Tabel 5.6 Perhitungan keandalan pada kondisi panjang rute kabel (Eksisting)

| Perhitungan Panjang Rute Eksisting | | | | | | | |
|------------------------------------|--------|------------|--------------|----|-------|-------|-------|
| Panjang | NF | D. Poisson | Mod.failures | NT | NF/NT | SL | FL |
| 0 - 1100 | 9 | 0.3778 | 12.088 | 54 | 0.224 | 1 | 1 |
| 1101 - 2201 | 14 | 0.8772 | 28.070 | 84 | 0.334 | 0.670 | 1.493 |
| 2202-3302 | 9 | 0.3778 | 12.088 | 54 | 0.224 | 1 | 1 |
| Total | 32 | | | | | | |
| Rata-rata | 10.667 | | | | | | |

Data dari tabel 5.3 dan 5.4 diatas diperoleh dari perhitungan dimensi reduksi dibawah ini:

NF [Jumlah segment kegagalan] = Lj = (0-1100= 9), (1101-2201= 14), dan (2202-3302= 9)

Dk = (0-3= 9), (3.1-6.1= 21), dan (6.2-9.2= 2)

NF (Mod. Failuere) = Lj = (0-1100= 12,08), (1101-2201= 28,07), dan (2202-3302= 12,08)

Dk = (0-3= 12,08), (3.1-6.1= 31,95), dan (6.2-9.2= 0,042)

NT [Total segment kegagalan dalam 1 tahun (dalam 1 tahun terdapat 6 kali kegagalan)]

= Lj = (0-1100= 54), (1101-2201= 84), dan (2202-3302= 54)

Dk = (0-3= 54), (3.1-6.1= 126), dan (6.2-9.2= 12)

Proteksi pada panjang rute (Lj) dan kedalaman (Dk) dihitung sebagai berikut:

$$P(Lj, Dk) = \frac{N_f(\text{Mod.Failuer})}{N_t}$$

$$P(Lj) = \left[\left(\frac{12,08}{54} \right), \left(\frac{28,07}{84} \right), \left(\frac{12,08}{54} \right) \right]$$

$$P(Lj) = [(0,224), (0,334), (0,224)]$$

$$P(Dk) = \left[\left(\frac{12,08}{54} \right), \left(\frac{31,95}{126} \right), \left(\frac{0,042}{12} \right) \right]$$

$$P(Dk) = [(0,223), (0,253), (0,003)]$$

Safety Factor pada panjang rute (Lj) dan kedalaman (Dk) dihitung sebagai berikut:

$$S(Lj) = \left[\left(\frac{0,224}{0,224} \right), \left(\frac{0,224}{0,334} \right), \left(\frac{0,224}{0,334} \right) \right]$$

$$S(Lj) = [(1), (0,670), (1)]$$

$$S(Dk) = \left[\left(\frac{0,223}{0,223} \right), \left(\frac{0,223}{0,235} \right), \left(\frac{0,224}{0,003} \right) \right]$$

$$S(Dk) = [(1), (0,88), (63,31)]$$

Failure Factor pada panjang rute (Lj) dan kedalaman (Dk) dihitung sebagai berikut:

$$F(Lj) = \left[\left(\frac{1}{1} \right), \left(\frac{1}{0,670} \right), \left(\frac{1}{1} \right) \right]$$

$$F(Lj) = [(1), (1,493), (1)]$$

$$F(Dk) = \left[\left(\frac{1}{1} \right), \left(\frac{1}{0,88} \right), \left(\frac{1}{63,31} \right) \right]$$

$$F(Dk) = [(1), (1,13), (0,02)]$$

Reliabilitas rute eksisting menggunakan proteksi diperoleh dari perhitungan dibawah ini:

$$R_t = (Nf \text{ mod. } failure_{(0-3)} \cdot FLj_{(0-1100)}) + (Nf \text{ mod. } failure_{(3,1-6,1)} \cdot FLj_{(1101-2201)}) \\ + (Nf \text{ mod. } failure_{(6,2-9,2)} \cdot FLj_{(2202-3302)})$$

$$R_t = (0,223 \cdot 1) + (0,253 \cdot 1,493) + (0,003 \cdot 1) = 0.6059$$

Mean Time Between Failures rute eksisting menggunakan proteksi sebagai berikut:

$$MTBF = \frac{1}{R_t}$$

$$MTBF = \frac{1}{0,6059} = 1,65/\text{tahun}$$

Berdasarkan tabel 5.5 menunjukkan bahwa *safety factor* tertinggi sebesar 63,31 berada pada kedalaman 6,2-9,2m sedangkan *safety factor* terendah sebesar 0,88 pada kedalaman 3,1-6,1. Untuk *factor failure* terendah sebesar 0,02 terletak pada kedalaman 6,2-9,2m sedangkan *factor failure* tertinggi sebesar 1,13 pada kedalaman 3,1-6,1m. Pada tabel 5.6 menunjukkan bahwa *safety factor* terendah sebesar 1 berada pada jarak 0-1100m sedangkan yang tertinggi sebesar 6,022 berada pada jarak 2202-3302. Untuk *factor failure* terendah berada pada jarak 2202-3302 yaitu sebesar 0,166 sedangkan *factor failure* tertinggi berada pada kedalaman 1101-2201m yaitu sebesar 0,862. Setelah menggunakan metode dimensi reduksi yang disajikan dalam penelitian ini, keandalan untuk rute kabel dihitung menjadi $R_{total} = 0.6059$ kegagalan per 1100 m per tahun. MTBF masing-masing sama dengan 1.65 /tahun.

3. Analisis keandalan SPC rute Alternatif

Analisis keandalan SPC rute eksisting dengan menggunakan *dimension reduksi* dapat dilihat berdasarkan gambar 5.8 dan 5.9, serta untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.7 dan 5.8 dibawah ini:



Gambar 5.8 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada rute 1 (Alternatif) segment panjang



Gambar 5.9 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada rute 1 (Alternatif) segment kedalaman

Dari gambar 5.8 dan 5.9 hasil pengelompokan data dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.7 dan 5.8. Tabel 5.7 dan 5.8 dibawah ini merupakan hasil perhitungan yang telah didapatkan berdasarkan pemodelan yang dipaparkan oleh Nakamura (1991).

Tabel 5.7 Perhitungan keandalan pada kondisi kedalaman

| Perhitungan Kedalaman Rute Alternatif | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|------------|--------------|-----|--------|--------|--------|
| Kedalaman | NF | D. Poisson | Mod.failures | NT | NF/NT | SD | FD |
| 0 - 3 | 18 | 0.624382 | 32.46789204 | 108 | 0.3006 | 1 | 1 |
| 3.1 - 6.1 | 17 | 0.531962 | 27.66205651 | 102 | 0.2711 | 1.1085 | 0.9020 |
| 6.2 - 9.2 | 17 | 0.531962 | 27.66205651 | 102 | 0.2711 | 1.1085 | 0.9020 |
| Total | 52 | | | | | | |
| Rata-rata | 17.33 | | | | | | |

Tabel 5.8 Perhitungan keandalan pada kondisi Panjang rute kabel

| Perhitungan Panjang Rute Alternatif | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|------------|--------------|-----|--------|-------|-------|
| Panjang | NF | D. Poisson | Mod.failures | NT | NF/NT | SL | FL |
| 0 - 1100 | 23 | 0.92541 | 48.12132 | 138 | 0.3487 | 1.000 | 1.000 |
| 1101 - 2201 | 18 | 0.62438 | 32.46789 | 108 | 0.3006 | 1.160 | 0.862 |
| 2202-3302 | 11 | 0.07350 | 3.82194 | 66 | 0.0579 | 6.022 | 0.166 |
| Total | 52 | | | | | | |
| Rata-rata | 17.33 | | | | | | |

Data dari tabel 5.3 dan 5.4 diatas diperoleh dari perhitungan dimensi reduksi dibawah ini:

NF [Jumlah segment kegagalan] = Lj = (0-1100= 23), (1101-2201= 18), dan (2202-3302= 11)

$$Dk = (0-3= 18), (3.1-6.1= 17), \text{ dan } (6.2-9.2= 17)$$

NF (Mod. Failuere) = Lj = (0-1100= 48,12), (1101-2201= 32,48), dan (2202-3302= 3,82)

$$Dk = (0-3= 32,46), (3.1-6.1= 27,66), \text{ dan } (6.2-9.2= 27,66)$$

NT [Total segment kegagalan dalam 1 tahun (dalam 1 tahun terdapat 6 kali kegagalan)]

$$= Lj = (0-1100= 138), (1101-2201= 108), \text{ dan } (2202-3302= 66)$$

$$Dk = (0-3= 108), (3.1-6.1= 102), \text{ dan } (6.2-9.2= 102)$$

Proteksi pada panjang rute (Lj) dan kedalaman (Dk) dihitung sebagai berikut:

$$P(Lj, Dk) = \frac{N_f(\text{Mod.Failuer})}{N_t}$$

$$P(Lj) = \left[\left(\frac{48,12}{138} \right), \left(\frac{32,48}{108} \right), \left(\frac{3,82}{66} \right) \right]$$

$$P(Lj) = [(0,348), (0,300), (0,057)]$$

$$P(Dk) = \left[\left(\frac{32,46}{108} \right), \left(\frac{27,66}{102} \right), \left(\frac{27,66}{102} \right) \right]$$

$$P(Dk) = [(0,300), (0,271), (0,271)]$$

Safety Factor pada panjang rute (Lj) dan kedalaman (Dk) dihitung sebagai berikut:

$$S(Lj) = \left[\left(\frac{0,348}{0,348} \right), \left(\frac{0,348}{0,300} \right), \left(\frac{0,348}{0,057} \right) \right]$$

$$S(Lj) = [(1), (1,16), (6,02)]$$

$$S(Dk) = \left[\left(\frac{0,300}{0,300} \right), \left(\frac{0,300}{0,271} \right), \left(\frac{0,300}{0,271} \right) \right]$$

$$S(Dk) = [(1), (1,108), (1,108)]$$

Failure Factor pada panjang rute (Lj) dan kedalaman (Dk) dihitung sebagai berikut:

$$F(Lj) = \left[\left(\frac{1}{1} \right), \left(\frac{1}{1,16} \right), \left(\frac{1}{6,02} \right) \right]$$

$$F(Lj) = [(1), (0,902), (0,902)]$$

$$F(Dk) = \left[\left(\frac{1}{1} \right), \left(\frac{1}{1,108} \right), \left(\frac{1}{1,108} \right) \right]$$

$$F(Dk) = [(1), (0,862), (0,166)]$$

Reliabilitas rute alternatif diperoleh dari perhitungan dibawah ini:

$$R_t = (Nf \text{ mod. failure} / NT_{(0-3)} \cdot FLj_{(0-1100)}) \\ + (Nf \text{ mod. failure} / NT_{(3,1-6,1)} \cdot FLj_{(1101-2201)}) \\ + (Nf \text{ mod. failure} / NT_{(6,2-9,2)} \cdot FLj_{(2202-3302)})$$

$$R_t = (0,300 \cdot 1) + (0,271 \cdot 0,902) + (0,271 \cdot 0,902) = 0,579 \text{ kegagalan/tahun/1100 meter}$$

Mean Time Between Failures rute alternatif sebagai berikut:

$$MTBF = \frac{1}{R_t}$$

$$MTBF = \frac{1}{0,579} = 1,72/\text{tahun}$$

Berdasarkan tabel 5.7 menunjukkan bahwa *safety factor* tertinggi sebesar 1,1085 berada pada kedalaman 3,1-6,1 dan 6,2-9,2m sedangkan *safety factor* terendah sebesar 1 pada kedalaman 0-3. Untuk *factor failure* terendah terletak pada kedalaman 3,1-6,1 dan 6,2-9,2m sedangkan *factor failure* tertinggi sebesar 1 pada kedalaman 0-3m. Pada tabel 5.8 menunjukkan bahwa *safety factor* terendah sebesar 1 berada pada jarak 0-1100m sedangkan yang tertinggi sebesar 6,022 berada pada jarak 2202-3302. Untuk *factor failure* terendah berada pada jarak 2202-3302 yaitu sebesar 0,166 sedangkan *factor failure* tertinggi berada pada kedalaman 1101-2201m yaitu sebesar 0,862. Setelah menggunakan metode dimensi reduksi yang disajikan dalam penelitian ini, keandalan untuk rute kabel dihitung menjadi $R_{total} = 0.579$ kegagalan per 1100 m per tahun. MTBF masing-masing sama dengan 1.72 /tahun.

4. Analisis keandalan SPC rute alternatif menggunakan proteksi

Analisis keandalan SPC rute eksisting dengan proteksi menggunakan *dimension reduksi* dapat dilihat berdasarkan gambar 5.10 dan 5.11, serta untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.9 dan 5.10 dibawah ini:



Gambar 5.10 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada rute 1 (Alternatif) segment panjang



Gambar 5.11 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada rute 1 (Alternatif) segment kedalaman menggunakan proteksi

Dari gambar 5.10 dan 5.11 hasil pengelompokan data dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.9 dan 5.10. Tabel 5.9 dan 5.10 dibawah ini merupakan hasil perhitungan yang telah didapatkan berdasarkan pemodelan yang dipaparkan oleh Nakamura (1991).

Tabel 5.9 Perhitungan keandalan pada kondisi kedalaman dengan proteksi

| Perhitungan Kedalaman Rute Alternatif menggunakan proteksi | | | | | | | |
|--|------|------------|--------------|-----|-------------|--------|--------|
| Kedalaman | NF | D. Poisson | Mod.failures | NT | NF/NT | SD | FD |
| 0 - 3 | 18 | 0.62438 | 32.46789 | 108 | 0.300628 | 1 | 1 |
| 3.1 - 6.1 | 31 | 0.99898 | 51.94719 | 186 | 0.279285 | 1.0764 | 0.929 |
| 6.2 - 9.2 | 3 | 3.1E-05 | 0.001598 | 18 | 8.88243E-05 | 3384.5 | 0.0002 |
| Total | 52 | | | | | | |
| Rata-rata | 17.3 | | | | | | |

Tabel 5.10 Perhitungan keandalan pada kondisi panjang rute kabel

| Perhitungan Panjang Rute Alternatif | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|------------|--------------|-----|--------|-------|-------|
| Panjang | NF | D. Poisson | Mod.failures | NT | NF/NT | SL | FL |
| 0 - 1100 | 23 | 0.92541 | 48.12132 | 138 | 0.3487 | 1.000 | 1.000 |
| 1101 - 2201 | 18 | 0.62438 | 32.46789 | 108 | 0.3006 | 1.160 | 0.862 |
| 2202-3302 | 11 | 0.07350 | 3.82194 | 66 | 0.0579 | 6.022 | 0.166 |
| Total | 52 | | | | | | |
| Rata-rata | 17.33 | | | | | | |

Data dari tabel 5.3 dan 5.4 diatas diperoleh dari perhitungan dimensi reduksi dibawah ini:

NF [Jumlah segment kegagalan] = $L_j = (0-1100= 23)$, $(1101-2201= 18)$, dan $(2202-3302= 11)$

$D_k = (0-3= 18)$, $(3.1-6.1= 31)$, dan $(6.2-9.2= 3)$

NF (Mod. Failuere) = $L_j = (0-1100= 48,12)$, $(1101-2201= 32,48)$, dan $(2202-3302= 3,82)$

$D_k = (0-3= 32,46)$, $(3.1-6.1= 51,94)$, dan $(6.2-9.2= 0,0015)$

NT [Total segment kegagalan dalam 1 tahun (dalam 1 tahun terdapat 6 kali kegagalan)]

= $L_j = (0-1100= 138)$, $(1101-2201= 108)$, dan $(2202-3302= 66)$

$D_k = (0-3= 108)$, $(3.1-6.1= 186)$, dan $(6.2-9.2= 18)$

Proteksi pada panjang rute (L_j) dan kedalaman (D_k) dihitung sebagai berikut:

$$P(L_j, D_k) = \frac{N_f(\text{Mod.Failuer})}{N_t}$$

$$P(L_j) = \left[\left(\frac{48,12}{138} \right), \left(\frac{32,48}{108} \right), \left(\frac{3,82}{66} \right) \right]$$

$$P(L_j) = [(0,348), (0,300), (0,057)]$$

$$P(D_k) = \left[\left(\frac{32,46}{108} \right), \left(\frac{51,94}{186} \right), \left(\frac{0,0015}{18} \right) \right]$$

$$P(D_k) = [(0,3006), (0,279), (0,000088)]$$

Safety Factor pada panjang rute (L_j) dan kedalaman (D_k) dihitung sebagai berikut:

$$S(L_j) = \left[\left(\frac{0,348}{0,348} \right), \left(\frac{0,348}{0,300} \right), \left(\frac{0,348}{0,057} \right) \right]$$

$$S(Lj) = [(1), (1.16), (6,02)]$$

$$S(Dk) = \left[\left(\frac{0,3006}{0,3006} \right), \left(\frac{0,300}{0,279} \right), \left(\frac{0,300}{0,0000088} \right) \right]$$

$$S(Dk) = [(1), (1,076), (3384)]$$

Failure Factor pada panjang rute (Lj) dan kedalaman (Dk) dihitung sebagai berikut:

$$F(Lj) = \left[\left(\frac{1}{1} \right), \left(\frac{1}{1.16} \right), \left(\frac{1}{6,02} \right) \right]$$

$$F(Lj) = [(1), (0,902), (0,902)]$$

$$F(Dk) = \left[\left(\frac{1}{1} \right), \left(\frac{1}{1,076} \right), \left(\frac{1}{3384} \right) \right]$$

$$F(Dk) = [(1), (0,929), (0,0002)]$$

Reliabilitas rute alternatif menggunakan proteksi diperoleh dari perhitungan dibawah ini:

$$R_t = (Nf \text{ mod. } failure / NT_{(0-3)} \cdot FLj_{(0-1100)}) \\ + (Nf \text{ mod. } failure / NT_{(3,1-6,1)} \cdot FLj_{(1101-2201)}) \\ + (Nf \text{ mod. } failure / NT_{(6,2-9,2)} \cdot FLj_{(2202-3302)})$$

$$R_t = (0,300 \cdot 1) + (0,279 \cdot 0,862) + (0,0000088 \cdot 0,166) = 0,541$$

Mean Time Between Failures rute alternatif menggunakan proteksi sebagai berikut:

$$MTBF = \frac{1}{R_t}$$

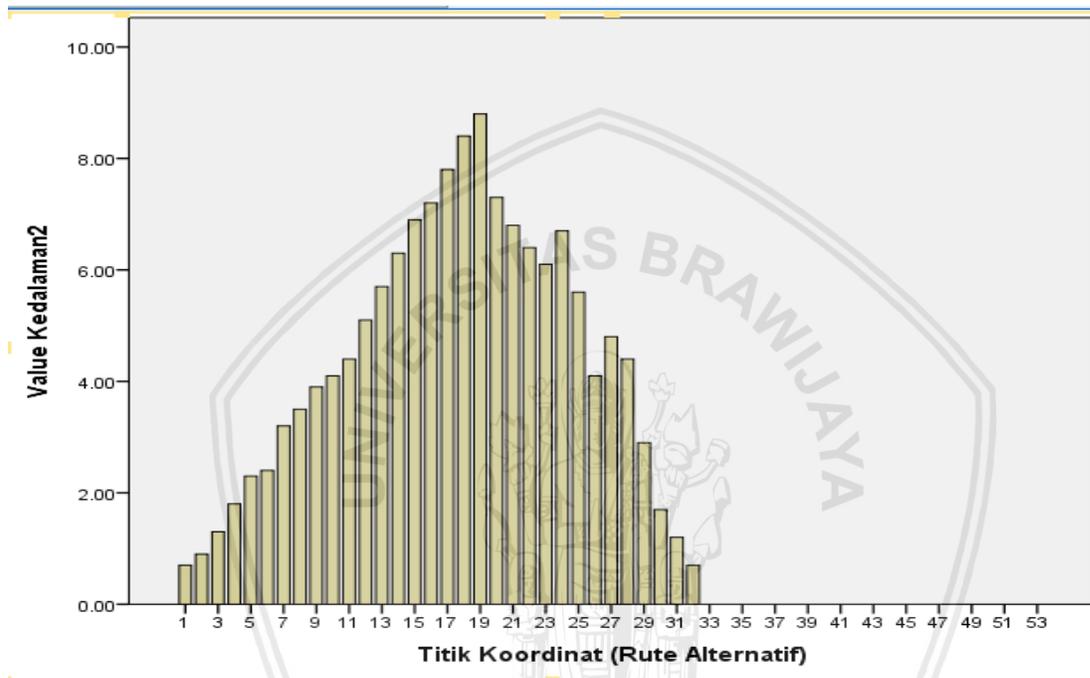
$$MTBF = \frac{1}{0,541} = 1,84/tahun$$

Berdasarkan tabel 5.9 menunjukkan bahwa *safety factor* tertinggi sebesar 3384,5 berada pada kedalaman 6,2-9,2m sedangkan *safety factor* terendah sebesar 1 pada kedalaman 0-3. Untuk *factor failure* terendah sebesar 0,0002 terletak pada kedalaman 6,2-9,2m sedangkan *factor failure* tertinggi sebesar 1,13 pada kedalaman 3,1-6,1m. Pada tabel 5.10 menunjukkan bahwa *safety factor* terendah sebesar 1 berada pada jarak 0-1100m sedangkan yang tertinggi sebesar 6,022 berada pada jarak 2202-3302. Untuk *factor failure* terendah berada pada jarak 2202-3302 yaitu sebesar 0,166 sedangkan *factor failure* tertinggi berada pada kedalaman 1101-2201m yaitu sebesar 0,862. Setelah menggunakan metode dimensi reduksi yang disajikan dalam penelitian ini, keandalan untuk rute kabel dihitung menjadi $R_{total} =$

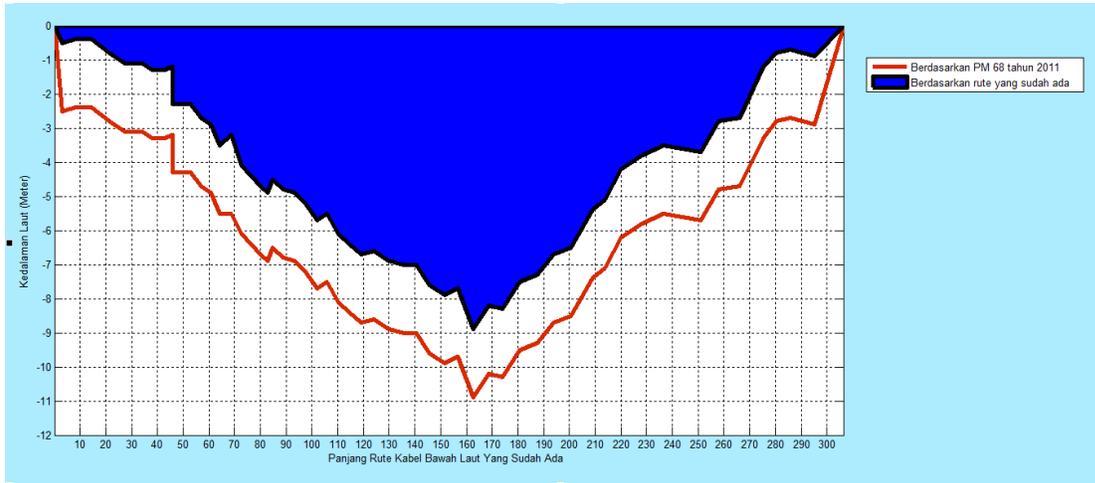
0.541423737 kegagalan per 1100 m per tahun. MTBF masing-masing sama dengan 1.84 /tahun.

5.3 Analisa Prosedur Peletakan Kabel

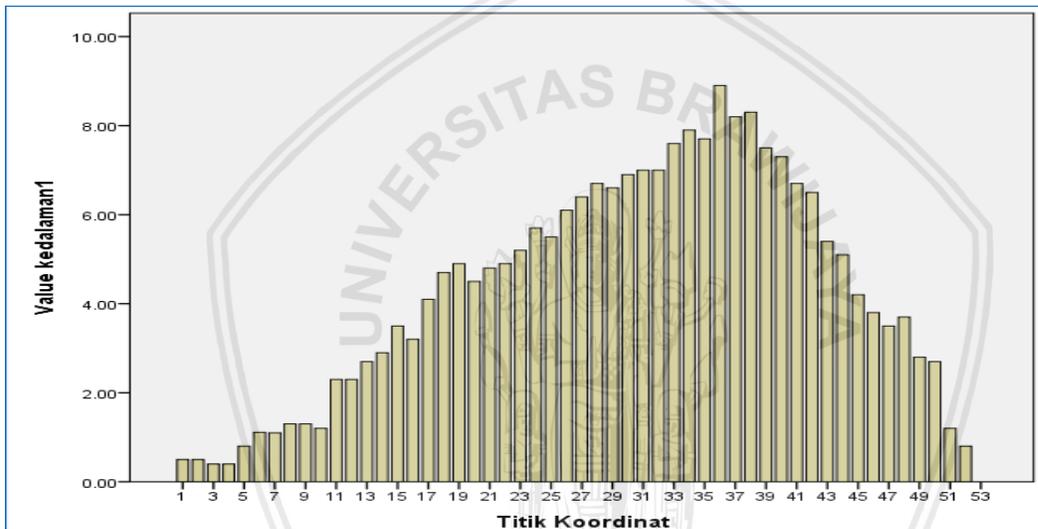
Analisis data saluran dapat dilihat berdasarkan grafik kontur bawah laut ini adalah hasil pengukuran, berikut ditunjukkan pada grafik kedalaman laut dan jarak antara Pulau Bangka dan Lepar. Pada pengukuran kontur bawah laut ini dimulai dari tepi pantai Desa Sadai pulau Bangka sampai dengan tepi pantai Desa Penutuk Pulau Lepar.



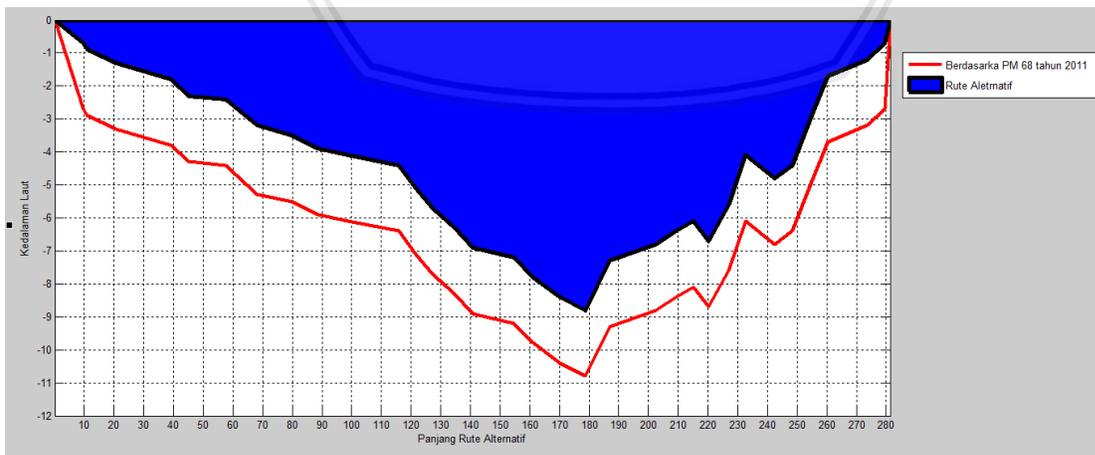
Gambar 5.12 Titik koordinat dan kedalaman peletakan kabel rute 2 Eksisting



Gambar 5.13 Peletakan kabel berdasarkan PM 68 tahun 2011 pada rute 2 eksisting



Gambar 5.13 Titik koordinat dan kedalaman peletakan kabel rute 1 (alternatif)



Gambar 5.14 Peletakan kabel berdasarkan PM 68 tahun 2011 pada rute 1 Alternatif

Hasil analisis saluran berdasarkan pengukuran kontur bawah laut dan pengukuran Panjang Panjang saluran sebelum dan setelah adanya penambahan rute interkoneksi (HVAC) baru antara Pulau Bangka dan Lepar ditunjukkan pada table 5.10

Tabel 5.10 Pengukuran saluran

| Pulau | Jarak jenis kabel | Jenis kabel | Tegangan kV |
|---------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------|
| Bangka ke Lepar (eksisting) | 3064,09 meter | XPLE 3x70 mm ² | 20 kV |
| Bangka ke Lepar (alternatif) | 2813,84 meter | XPLE 3x70 mm ² | 20 kV |

Dari tabel 5.1 ditunjukkan jarak antara Pulau Bangka dan Lepar sebelum dan setelah adanya penambahan kabel, serta jenis kabel dan tegangan, yang akan digunakan untuk interkoneksi. Pada tabel terlihat bahwa jarak pada Pulau Bangka ke Lepar adalah 3064,06 meter pada jalur yang sudah ada, serta untuk jalur alternatif yaitu sepanjang 2813,84 meter.

Implementasi model pemilihan jalur kabel hipotesis studi kasus ini membahas rancangan awal hubungan antara pulau Bangka dan Lepar Propinsi bangka, seperti yang ditunjukkan pada target dari koneksi baru ini adalah untuk mentransfer tenaga listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga disel (PLTD). Pada rute alternatif difungsikan sebagai backup ketika kabel eksisting mengalami perawatan sehingga penyaluran energi yang pada pulau Lepar tidak mengalami pemadaman.

Dalam konteks ini, selama tahap perancangan awal, dua rute kabel yang berbeda diidentifikasi dan diusulkan. Rute A panjangnya 3064,06meter dengan kedalaman maksimum hingga 8,8 m, dan rute B adalah panjang 2813,84meter dengan kedalaman maksimum hingga 8,9 m. Menurut analisis, daerah yang paling kritis untuk rute berada di dekat titik terminal yaitu di dekat pantai. Probabilitas kegagalan tertinggi diberikan pada rute B dan lebih spesifik lagi di dekat pantai pulau Bangka. Selain itu, rute kabel eksisting tampaknya memiliki lebih banyak segmen dengan kemungkinan kegagalan minimum atau kurang dari pada masing-masing nilai rute alternatif. Perbandingan antara perkiraan MTBF untuk dua rute kabel kandidat menunjukkan bahwa rute alternatif tampaknya menjadi pilihan yang lebih baik daripada mengadopsi rute eksisting model menghasilkan MTBF berikut:

$$\text{MTBF (eksisting)} = 1 / \text{RA} = 0,498 \text{ tahun}$$

$$\text{MTBF (alternatif)} = 1 / \text{RB} = 0,579 \text{ tahun.}$$

Jika kabel yang dipasang untuk kedua rute kabel terlindungi berdasarkan PM 68 tahun 2011, maka nilai MTBF masing-masing akan bertambah secara signifikan ke:

$$\text{MTBF (eksisting)} = 1 / \text{RA} = 1,65 \text{ tahun}$$

$$\text{MTBF (alternatif)} = 1 / \text{RB} = 1,84 \text{ tahun}$$

Oleh karena itu, rute A nampaknya kurang dapat diandalkan dibandingkan rute B, walaupun rute B memiliki segmen kritis yang perlindungan tambahan harus dipertimbangkan karena aktivitas manusia lokal yang intens.



BAB VI

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan diatas maka diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Pada jalur SPC existing di lokasi penelitian tidak ada proteksi sehingga kegagalan pada range kedalaman terjadi secara merata dan berpengaruh pada nilai dari *safety factor* dan *factor failure*.
2. Keandalan jalur SPC existing dengan menggunakan proteksi meningkat sebesar 2,31% dibandingkan jika tidak menggunakan proteksi. Semakin dalam kabel diletakan maka *safety factor* mengalami peningkatan sedangkan *factor failure* mengalami penurunan.
3. Keandalan jalur alternatif meningkat sebesar 0,16% dibandingkan dengan jalur eksisting, sedangkan jalur alternatif dengan menggunakan proteksi meningkat sebesar 0,11% dibandingkan dengan jalur eksisting yang menggunakan proteksi. Jalur SPC Alternatif memiliki panjang 2813,84meter dan jalur SPC *Existing* memiliki panjang 3064,06 meter, sehingga jalur alternatif lebih pendek dibandingkan jalur SPC *existing*.

6.2 Saran

Selama fase desain awal, rute optimal untuk meletakkan kabel dapat dipilih. Lebih khusus lagi, pemodelan dapat menilai keandalan rute kabel kandidat dan membantu memilih yang paling aman, yaitu rute dengan keandalan yang lebih tinggi atau dengan *Mean Time Between Failures* (MTBF) yang lebih tinggi, dan dapat dibenarkan secara memadai.



Daftar Pustaka

- Arkell, C.A. *dkk.*, 1989. Design, manufacture and installation of 150 kV submarine cable system for the Java-Madura interconnection, *IEEE Proceceedings*, Vol. 136, Pt. C, No. 3
- Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Penerbit Universitas., Indonesia.
- Kundur, P. 2004. Definition and Classification of Power System Stability, *IEEE Trasactions on Power Systems*. Vo. 19, No. 2.
- Li, Fangxing, “Distributed Processing of Reliability Index Assessment and Reliability–Based Network Reconfiguration in Power Distribution System”, *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol.20, No. 1, pp.231, February, 2005.
- Marsudi, Dj. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Graha Ilmu, Jakarta.
- Nakamura, Masatoshi. 1991. Reliability Analysis of Submarine Power Cables and Determination of External Mechanical Protections. *IEEE 0-7803-0219-2*
- Nugraha, Herry. 2016. Maintenance Dicision Model For Java-Bali 150 kV Power Tranmission Submarine Cable Using RAMS. *IEEE Power and Energy Technology System Journal*, Vol 3, No 1.
- Panjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Andi, Yogyakarta
- Priyatna, Dwi. 2000. *Keandalan dan Perawatan*, Penerbit Institut Teknologi Surabaya
- Saadat Hadi. 1999. *Power System Analisis*. Milwake School of Engineering, New York
- Short, T.A., “*Electric Power Distribution Equipment and Systems*”, CRC Press Taylor & Francis Group, United States of America, 2006.
- Stevenson, William D., Granger, John J., 1994. *Power System Analysis*, McGraw-Hill International Edition., New York.
- Ventikos, Np.2016. Submarine Power Cable: Laying Prosedur, The Fleet and Reliability Analysis. *Jurnal Of Marine Engineering and Technology*,12:1, 13-26.
- Billinton, R. and Ronald N. Allan [1992], *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques*, 2nd edition, Plenum Press, New York and London
- Hoyland, Arnljot and Marvin Rausand [1994], *System Reliability Theory Models And Statistical Methods*, John Willey & Sons, Inc.