

Peletakan dan Analisis Keandalan Kabel Bawah Laut Bangka-Lepar

Agung Fitrahadi¹, Wijono², Harry Seoktjo³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya¹²³

Email: fitrahadiagung_elektro_ttl@yahoo.com

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.

Keywords : *Laying Procedur, Reliability, Submarine Cower Cable*

INTISARI

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. Model ini 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.

Kata kunci: Keandalan, Kabel Bawah Laut, Keandalan, Prosedour Peletakan

I. PENDAHULUAN

Kabel listrik bawah laut telah bertahun-tahun memainkan peranan penting dalam transfer energi pada skala dunia. Pasokan energi listrik ke sebuah pulau kecil melalui kabel bawah laut secara luas telah digunakan. Hal ini ekonomis untuk menghubungkan sistem tenaga yang terisolasi dari sebuah pulau kecil yang terpisah dari pulau utama dengan jarak beberapa kilometer. Sehingga dapat memenuhi pertumbuhan beban dari pulau kecil yang tidak dapat dipenuhi oleh pasokan lokal.

Kabel listrik bawah laut juga diperluas ke aplikasi lain seperti interkoneksi antar grid, transmisi daya untuk memenuhi kebutuhan energy listrik dan jaringan komunikasi. Kabel harus memiliki spesifikasi yang cocok terhadap perlindungan yang bersifat air korosif dan

memiliki kemampuan transfer energy listrik tanpa hambatan dan juga tanpa kegagalan.

Kualitas konstruksi kabel harus sesuai dengan standar yang tinggi untuk menanggung gangguan mekanik potensi alam atau manusia. Selain karakteristik teknis, kabel harus memungkinkan berfungsi dengan baik dalam lingkungan yang sulit. Ada berbagai parameter yang terkait dengan prosedur peletakan kabel atau reaksi setelah terjadi kegagalan. Prosedur peletakan kabel dilakukan dan dirancang secara khusus atau dibangun menggunakan kapal modern dengan sistem pelacakan posisi dan navigasi. keberhasilan upaya dijaga oleh peralatan khusus yang menjamin prosedur peletakan yang tepat serta perlindungan kabel. Kesalahan pada setiap tahap dapat mengakibatkan biaya keuangan membesar.

Selain karakteristik dan prosedur peletakan kabel, analisis keandalan juga diperlukan. Evaluasi interkoneksi diperlukan untuk meningkatkan perlindungan dan mencegah terjadi kegagalan dimasa depan. Selanjutnya perlu dilakukan untuk pemilihan yang tepat dari pemilihan antar dua atau lebih untuk mempertimbangkan dan bertujuan mendapatkan keandalan yang tinggi.

II. LANDASAN TEORI

A. 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:

- Bentuk dasar laut.
- Kondisi batuan dan pergerakannya.
- Arus laut.
- Lalu lintas kapal.
- Aktivitas manusia disekitarnya.

2. Penentuan tegangan dan pemilihan konduktor

Penentuan tegangan kerja sangat penting karena hal ini akan mempengaruhi pemilihan jenis dan ukuran konduktor yang akan dipakai.

3. Perencanaan isolasi

Penentuan jenis isolasi.

Penentuan jenis isolasi yang akan dipakai sangat tergantung pada besarnya tegangan kerja.

- 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.

B. Proteksi Mekanis Kabel Bawah Laut

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 1.5 dengan menyesuaikan terhadap kondisi *seabed*.

4. Kedalaman laut 20 m – kedalaman laut 40 m

Pada segmen berikut kabel laut dipendam dengan kedalaman pemendaman 2m di bawah *seabed* 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 mekanis di atas, pengamanan kabel laut juga mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 68 Tahun 2011 tentang alur pelayaran di laut pasal 45.

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

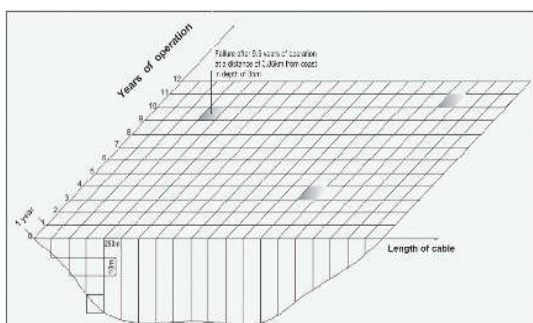
Di daerah kegagalan pilihan faktor-faktor ini dibenarkan dari dampak yang signifikan terhadap tingkat kegagalan. Selama prosedur peletakan kondisi lingkungan yang dapat diterima diasumsikan untuk misalnya dalam kasus cuaca buruk operasi peletakan akan terjadi berhenti sampai cuaca membaik. Apalagi, tidak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

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 Li dan Kedalaman DK. Selain di atas, untuk setiap kabel jumlahnya Kegagalan dipelajari pada interval satu tahun.[1]

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.



Gambar 4.9 Ilustrasi Metode Dimensi Reduksi [2]

Detail 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 $DK = (D1+D 2)/2$. 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 pengekanan atau sistem gantung (misalnya, membagi kerang dan rantai) dan seterusnya di sisi lain 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 E_i , L_j , dan D_k adalah

$$P(E_i, L_j, D_k) = \frac{N_f(E_i, L_j, D_k)}{N_t(E_i, L_j, D_k)} \quad (1)$$

Keterangan:

1. $N_f(E_i, L_j, D_k)$ Adalah jumlah segmen kegagalan
2. $N_t(E_i, L_j, D_k)$ 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 E_i . Faktor keamanan menunjukkan korelasi relatif antara tingkat kegagalan dari empat tingkat proteksi yang dipekerjakan, mengambil sebagai dasar tingkat kegagalan. Tingkat proteksi E_1 sama dengan satu.

$$F(E_i) = \frac{1}{S(E_i)} \quad (2)$$

Modifikasi pemasangan faktor keamanan LJ:

$$N_f(L_j, D_k | E_1) = \sum_{i=1}^4 N_f(E_i, L_j, D_k) \cdot S(E_i) \quad (3)$$

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

Dimana $N_f(E_i, L_j, D_k)$ dan $N_t(E_i, L_j, D_k)$ Dihitung dengan mengintegrasikan parameter LJ ke dalam 'Dimensi reduksi', jumlah elemen kegagalan setara $N_f(L_j, E_1)$ dan jumlah elemen total $N_t(L_j)$ harus dihitung untuk setiap kombinasi LJ Dan DK.

$$N_f(L_j | E_1) = \sum_{i=1}^7 N_f(L_j, D_k | E_i) \quad (5)$$

$$N_t(L_j) = \sum_{i=1}^7 N_t(L_j, D_k) \quad (6)$$

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

Modifikasi-pemasangan D_k Untuk mengintegrasikan parameter D_k ke dalam

'pengurangan dimensi', Jumlah kegagalan yang setara dengan kedua E1 dan L1 dan Total segmen masing-masing pada setiap Dk, bisa dihitung sebagai:

$$N_f(D_k|E_iL_j) = \sum_{i=1}^{10} N_f(L_j, D_k|E_i) \cdot S(L_j) \quad (7)$$

$$N_t(D_k) = \sum_{i=1}^{10} N_t(L_j, D_k) \quad (8)$$

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:

$$R_t = F(E_i) \cdot F(L_j) \cdot P(D_k|E_i, L_0) \quad (9)$$

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

$$R_{total} = \sum_{i=t}^n R_t \quad (10)$$

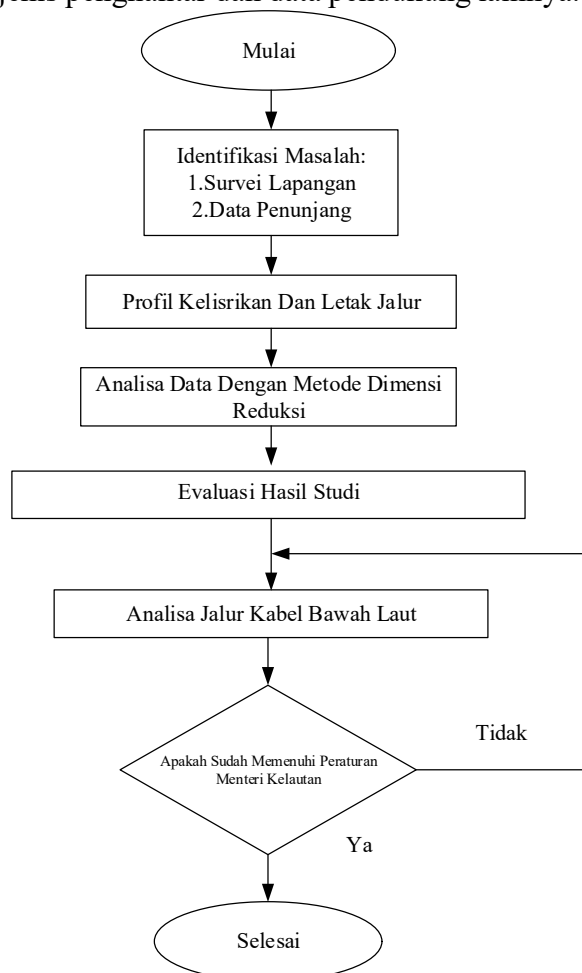
Berarti waktu antara kegagalan (MTBF) Waktu rata-rata antara kegagalan mengacu pada operasi yang aman Waktu untuk rute kabel MTBF adalah:

$$MTBF = \frac{1}{R_{total}} \quad (11)$$

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode evaluasi yang yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3 Tahapan awal penelitian ini dilakukan survei lapangan dan pengambilan data penunjang kabel bawah laut 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.



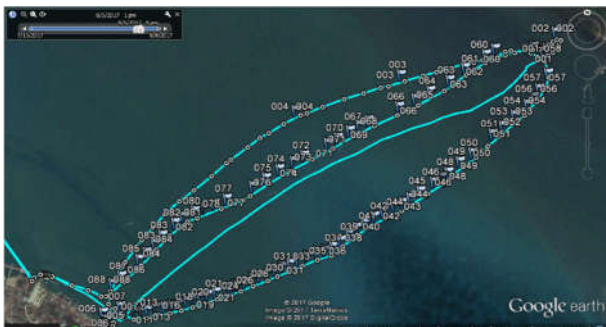
Gambar 3. Diagram alir langkah penelitian

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

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 Provinsi 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:



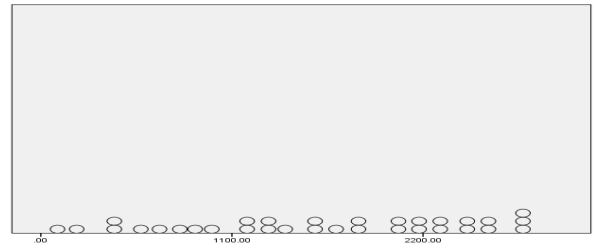
Gambar 5.1 Peta Lokasi Peletakan Kabel Bawah Laut

5.2 Analisis Keandalan Submarine Power Cable

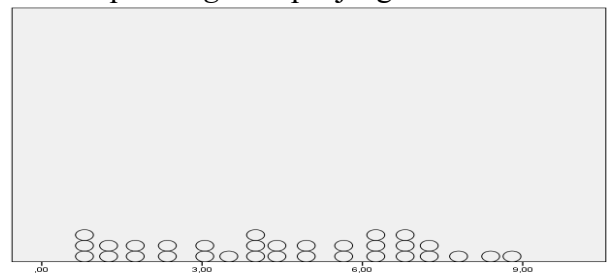
Pada analisis keandalan submarine power cable terbagi atas 4 (empat) perhitungan, yaitu

1. Analisis keandalan SPC rute Eksisting

Analisis keandalan SPC rute alternatif menggunakan *dimension reduksi* dapat dilihat berdasarkan gambar 5.2 dan 5.3, serta untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.1 dan 5.2 dibawah ini:



Gambar 5.2 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada *segment panjang*



Gambar 5.3 Hasil penerapan model dimensi reduksi pada *segment kedalaman*

Dari gambar 5.2 dan 5.3 hasil pengelompokan data dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.1 dan 5.2. Tabel 5.1 dan 5.2 dibawah ini merupakan hasil perhitungan yang telah didapatkan berdasarkan pemodelan yang dipaparkan oleh Nakamura (1991).

Tabel 5.1 Perhitungan keandalan pada kondisi kedalaman

Kedalaman	NF	NT	SD	FD
0 - 3	18	108	1	1
3.1 - 6.1	17	102	1.108	0.90
6.2 - 9.2	17	102	1.108	0.90
Total	52			

Tabel 5.2 Perhitungan keandalan pada kondisi panjang

Panjang	NF	NT	SL	FL
0 - 1100	23	138	1.000	1.000
1101 - 2201	18	108	1.160	0.862

2202-3302	11	66	6.022	0.166
Total	52			

Berdasarkan tabel 5.1 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 5.2 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 dengan proteksi

Analisis keandalan SPC rute Eksisting 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 segment panjang



Gambar 5.5 Hasil penerapan model dimensi reduksi segment kedalaman dengan proteksi

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 kabel dengan proteksi

Kedalaman	NF	Nt	SD	FD
0 - 3	18	108	1	1
3.1 - 6.1	31	186	1.07	0.929
6.2 - 9.2	3	18	3384	0.00029
Total	52			

Tabel 5.4 Perhitungan keandalan pada kondisi panjang rute kabel

Panjang	NF	NT	SL	FL
0 - 1100	23	138	1.000	1.000
1101 - 2201	18	108	1.160	0.862
2202-3302	11	66	6.022	0.166
Total	52			

Berdasarkan tabel 5.3 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 5.4 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.

IV. 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. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. P. Ventikos and D. I. Stavrou, "Submarine power cables: Laying procedure, the fleet and reliability analysis," *J. Mar. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 13–26, 2013.
- [2] I. Transactions and P. Delivcry, "good example of this. Feasibility study of a submarine cable project plays an important role because, if," *Power*, vol. 7, no. 2, 1992.
- [3] C. A. dkk. Arkell, "Design, manufacture and installation of 150 kV submarine cable

system for the Java-Madura interconnection."

- [4] T. A. Short, *Electric Power Distribution Equipment and Systems*. 2006.
- [5] R. and R. N. A. Billinton, *Reliability Evaluation of Engineering Systems*. 1992.