

ANALISIS KEKUATAN MEKANIS DARI KABEL POWER BAWAH LAUT

Sandy Bhawana Mulia, Syarif Hidayat
School of Electrical Engineering and Informatics
Bandung Institute of Technology
Bandung, Indonesia
sandybhawana@gmail.com, syarif@hv.ee.itb.ac.id

Diterima : 20 Agustus 2014

Disetujui : 01 September 2014

Dipublikasikan : September 2014

ABSTRAK

Kabel bawah laut (Submarine Cable) adalah salah satu jenis kabel yang digunakan untuk penyaluran tenaga listrik. Indonesia merupakan negara kepulauan sehingga sangat cocok jika menggunakan kabel bawah laut. Kabel bawah laut didesain untuk melindungi bagian dalam dari air, tekanan tinggi, arus bawah laut, gelombang, dan kekuatan alam lainnya yang bisa mempengaruhi keadaan kondisi dasar laut dan air yang ada di atasnya. Alasan yang paling umum pada kegagalan kabel bawah laut adalah kerusakan eksternal. Statistik kegagalan kabel bawah laut menunjukkan resiko 3 sampai 5 kali lebih tinggi dibandingkan resiko kegagalan internalnya. Metode yang akan digunakan untuk menguji kekuatan dari kabel power bawah laut ini adalah uji tarik (tensile strenght). Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Sifat mekanis logam yang dapat diketahui setelah proses pengujian ini seperti kekuatan tarik, keuletan dan ketangguhan. Perhitungan penggelaran kabel bawah laut menggunakan slack positif dari kabel power dapat memberikan manfaat terutama untuk mengetahui kekuatan armor dari kabel tersebut. Dan hasilnya pun dapat tergambarkan setelah dianalisa bahwa pada kedalaman laut 150m-3000m merupakan jarak yang aman untuk proses penggelaran kabel power bawah laut karena armor kabel power mampu menahannya dan menunjukan performa terbaiknya selama proses tersebut.

Kata kunci: kabel bawah laut, laying tension, slack positif; tensile strenght

ABSTRACT

Submarine cable is one type of cable used for electrical power distribution. Indonesia is an archipelago so it is suitable when using the submarine cables. Submarine cable is designed to protect the inside of the water, high pressure, underwater currents, waves, and other natural forces that could affect the state of the seabed and water conditions that exist on it. The most common reason to the failure of the submarine cable is external damage. The failure statistic of submarine cables show the risk of 3 to 5 times higher than the risk of internal failure. The method will be used to test the strength of submarine power cable is tensile strenght test. This test is used to measure the resistance of the material to the static force. The mechanical properties of metals that can be known after this testing process is the tensile strength, tenacity and toughness. The deploying of submarine cables calculation using positive slack from the power cable. Its purpose to determine the armor strength of the cable. At depth of the sea of 150m to 3000m is a safe distance to the process of deploying submarine cables, because the armor of cable power was able to hold and showed the best performance during the process.

Keywords: submarine cable, laying tension, slack positif; tensile strenght

PENDAHULUAN

Kerusakan eksternal adalah alasan yang paling umum pada kegagalan kabel bawah laut. Statistik kegagalan kabel bawah laut menunjukkan resiko third-party mechanical damage, 3 sampai 5 kali lebih tinggi dibandingkan resiko kegagalan internal [9]. Hampir 70% kegagalan diakibatkan oleh pekerjaan mekanis sedangkan hampir 40% kegagalan disebabkan karena kurangnya informasi antara operator kabel dan perusahaan konstruksi. Kerusakan mekanik biasanya terjadi selama atau setelah instalasi, mungkin juga kerusakan selama manufaktur, transportasi dan proses penanganan. Analisis dari kegagalan kabel karena kerusakan mekanik menunjukkan bahwa kerusakan yang terjadi selama instalasi biasanya menjadi sebab langsung kegagalan operasi.

Sebagian besar kegagalan kabel bawah laut disebabkan oleh faktor eksternal. Kegagalan yang disebabkan oleh faktor eksternal biasanya disebabkan oleh factor alam dan factor manusia [1]. Seperti yang diketahui bersama, bahwa setiap hari ada ratusan atau bahkan ribuan aktivitas diatas laut bebas seperti lalu lintas kapal ikan atau kapal kargo, pengeboran minyak lepas pantai, dan lain sebagainya. Sebagian besar aktivitas tersebut tidak menyadari bahwa dibawah laut terdapat instalasi kabel laut yang sedang beroperasi. Hal inilah yang sering menyebabkan kerusakan kabel bawah laut. Terlihat bahwa sebagian besar kerusakan kabel disebabkan oleh faktor manusia diantaranya adalah aktivitas fishing, anchoring dari kapal-kapal yang melintas, dan dredge/ drill untuk membangun rigs atau pipa pengeboran minyak, yang nilainya hampir mencapai lebih dari 70%. Fakta ini juga bisa diperkuat dengan data bahwa sebagian kerusakan berada laut dengan kedalaman kurang dari 200 meter, dimana banyak aktivitas maritim manusia disini. Sedangkan untuk bencana alam bisa dipastikan terjadi pada kedalaman lebih dari 1000 meter.

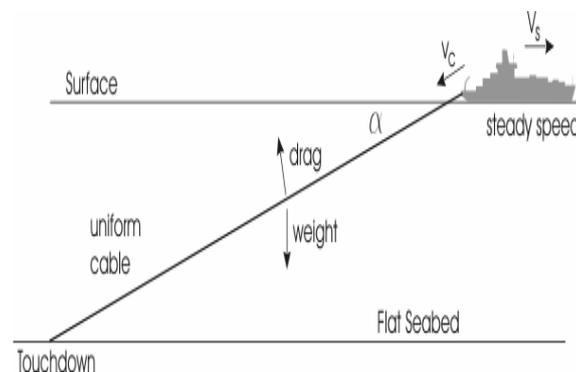
PENGGELARAN KABEL BAWAH LAUT

Selama bertahun-tahun penggelaran kabel itu hanya diletakkan di dasar laut dan aspek geoteknik dari proses instalasi itu dianggap tidak terlalu penting. Dengan demikian aspek geoteknik dari pemilihan rute kabel itu, sebagian besar hanya terbatas pada identifikasi potensi bahaya, seperti longsor di bawah laut yang bisa mematahkan kabel, gunung berapi bawah laut, dan area batuan di mana gerakan atau getaran karena arus (strumming) bisa mengenai armour kabel dan mengakibatkan kerusakan [2].

Selain itu, untuk setiap operasi penggelaran kabel, bertujuan agar aman saat memindahkan kabel dari kapal (vessel) ke dasar laut dan menempatkannya dengan akurat. Tidak hanya kabel yang harus diletakkan pada jalur khusus, tapi kabel juga harus diletakkan dalam kondisi khusus baik itu slack atau tension-nya.

A. Dasar Penggelaran Kabel dalam Keadaan Steady State

Dalam keadaan steady state tidak ada perubahan dengan waktu-dasar laut yang datar, kapal berada dalam perjalanan steady state pada kecepatan yang sama, payout kabel steady state dan kabel yang digunakan adalah sama.



Gambar 1. Penggelaran kabel dalam keadaan steady state [3]

Letak slack kabel dalam keadaan steady state memiliki karakteristik sebagai berikut [3]:

1. Adapun bentuk kabel dari kapal menuju dasar laut adalah garis lurus, diasumsikan tidak ada tension di dasar laut. Dalam kasus ini, kelebihan atau slack-nya kabel tetap diletakkan. Tentu saja, ada radius bengkokan kecil di dasar laut akibat kekakuan kabel, tapi hal ini tidak bisa dilihat dari perspektif itu saja.
2. Untuk mencegah tension di bagian bawah, payout kabel (V_c) di kapal hanya sedikit lebih cepat dari kecepatan kapal (V_s), $V_c > V_s$. Misalnya, jika kapal bergerak pada 5 m/s dan payout kabel

dari kapal adalah sebesar 5,05 m/s (1% lebih cepat), akan ada 1% kelebihan atau slack di dasar laut yang datar.

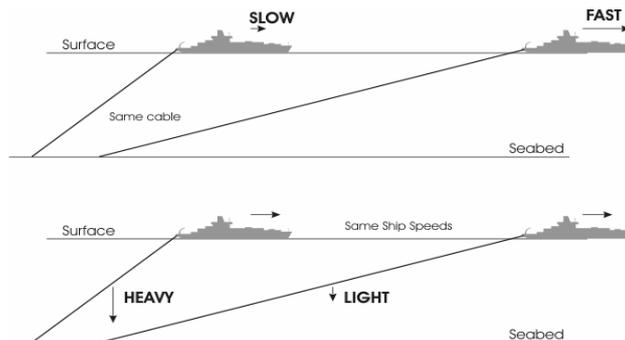
3. Sudut kabel ditentukan oleh kecepatan kapal, berat kabel dan drag koefisien dari kabel (ketahanan terhadap bergerak kabel mengikuti arus).
4. Pendaratan kabel biasanya cukup jauh di belakang kapal. Contohnya, untuk kapal yang bergerak pada 2,5 m/s (5 knots), kabel yang ringan ditempatkan di 4 km dari air yang akan mendarat sekitar 20 km di belakang kapal (jarak layback). Sudut kabel akan mendekati 11 derajat.

B. Sudut Kritis Kabel

Sudut kritis α (α) yang ditunjukkan di bawah adalah fungsi dari kecepatan kapal, berat kabel dan ketahanan tarik kabel mengikuti arus.

Berdasarkan Gambar 2 bisa disimpulkan [3]:

1. Sudut kabel berbanding terbalik dengan kecepatan kapal, jadi, jika kecepatan kapal dua berarti sudut kabel adalah setengahnya.
2. Sudut kabel sebanding dengan berat kabel. Kabel yang lebih berat memiliki sudut kabel yang lebih besar dan lebih vertikal di air.
3. Sudut kabel bukan merupakan fungsi dari kecepatan payout kabel, sepanjang kabel tsb. memiliki kelebihan yang diletakkan di dasar laut.
4. Engineer kabel bawah laut menggunakan istilah konstanta hidrodinamik untuk menentukan hubungan antara Sudut kabel dan kecepatan kapal.
5. Sudut kabel bisa didefinisikan sebagai : $\alpha = H/V_s$
 - H adalah konstanta hidrodinamik dengan unit dari kecepatan-derajat
 - V_s adalah kecepatan dari kapal.



Gambar 2. Pengaruh kecepatan kapal terhadap sudut penggelaran kabel [3]

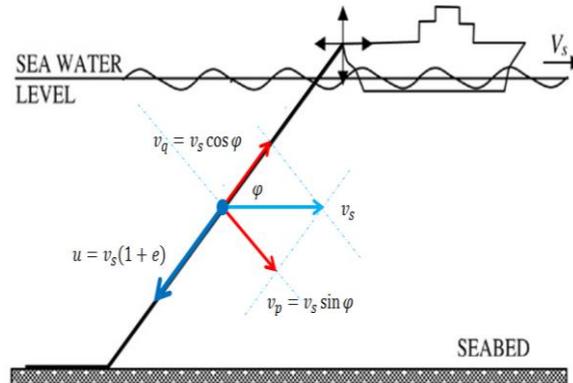
C. Tension untuk Laying dengan Slack Positif

Secara umum, penggelaran kabel laut dilakukan dengan *slack* positif. *Slack* positif memberikan margin untuk dinamika yang terjadi selama penggelaran, sehingga kabel tidak mengalami *overtension* yang dapat mempengaruhi kabel secara mekanik dan berpotensi untuk mempengaruhi kinerja kabel (*short-* maupun *long-term*).

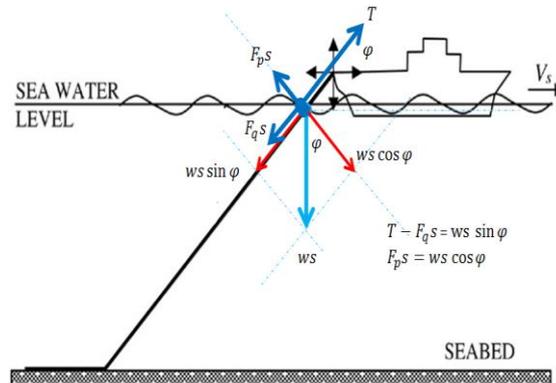
Pada keadaan stasioner (tidak ada komponen percepatan), sistem dapat dimodelkan secara dua dimensi. Seperti ditunjukkan dalam gambar 3 kapal bergerak dengan kecepatan konstan V_s , sedangkan kabel bergerak dengan kecepatan (payout) sebesar $(1+e)V_s$, dimana e adalah *slack* yang diberikan. Nilai e biasanya relatif kecil (misalnya 0.05 atau 0.03) tetapi dijaga agar tetap positif. Nilai *slack* yang besar berpotensi mempengaruhi ketelitian penggelaran terhadap jalur kabel yang

direncanakan, walaupun untuk kasus tertentu (seperti ketika menurunkan beban tambahan berupa repeater atau BU) kadang-kadang juga dilakukan.

Kesetimbangan gaya pada keadaan stasioner ini diperlihatkan dalam Gambar 4. Pada sumbu normal (tegak-lurus terhadap kabel), komponen normal gaya berat bernilai sama dengan gaya resistensi fluida. Pada sumbu tangensial, komponen berat kabel sama dengan *tension* yang terjadi dikurangi dengan gaya tangensial fluida. Metoda yang digunakan untuk menghitung *tension* dengan *slack* positif dalam kajian ini, menggunakan formula yang diberikan oleh Welsby [4] yang diturunkan dari keadaan stasioner dan kesetimbangan gaya dua dimensi seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 3. Pemodelan penggelaran kabel laut stasioner & komponen vektor kecepatan



Gambar 4. Gaya pada kabel pada keadaan stasioner

Seperti diberikan oleh Welsby, *tension* yang terjadi pada penggelaran kabel dengan *slack* positif (yg terjadi pada kapal penggelar) adalah [4]:

$$T = wh \left[1 - \frac{1}{C^2} \frac{(1 + e - \cos\phi)^2}{k^2 \sin\phi} \right] \quad (1)$$

dimana

$$\sin\phi = \left[k^2 \left(1 + \frac{k^4}{4} \right)^{0.5} - \frac{k^4}{2} \right]^{0.5} \quad (2)$$

$$k = \frac{\bar{v}_p}{v_s} \quad C = \frac{\bar{v}_q}{\bar{v}_p} \quad \bar{v}_p = \sqrt{\frac{2000}{C_d \rho}} \sqrt{\frac{w}{d_{mm}}} \quad \bar{v}_q = 11.2 \sqrt{\frac{w}{d_{mm}}} \quad (3)$$

dan

w berat kabel dalam air (dalam N/m)

- h kedalaman laut pada touch-down (dalam m)
- e *slack* kabel
- φ sudut penggelaran / *laying angle* (derajat)
- dmm diameter luar kabel (dalam mm)
- ρ berat jenis air laut (dalam kg/m³)
- C_d koefisien drag kabel
- v_p transverse settling velocity / konstanta hidrodinamik kabel (dalam [rad].m/s)
- v_q tangential settling velocity / konstanta kecepatan tangensial (dalam m/s)

Karena konstanta kecepatan tangensial disesuaikan maka dengan merujuk pada hasil penelitian/eksperimen Nagatomi, akan lebih valid tingkat akurasi. Perbandingan hasil perhitungan *tension* setelah pengaturan konstanta kecepatan tangensial dengan hasil pengukuran/perhitungan Nagatomi [5] diberikan pada Gambar 5. Selain formula yang diberikan oleh Welsby, metoda Zajac [6] juga dapat memperhitungkan penggelaran kabel menggunakan *slack* positif. Berdasarkan metoda tersebut model perhitungan menjadi:

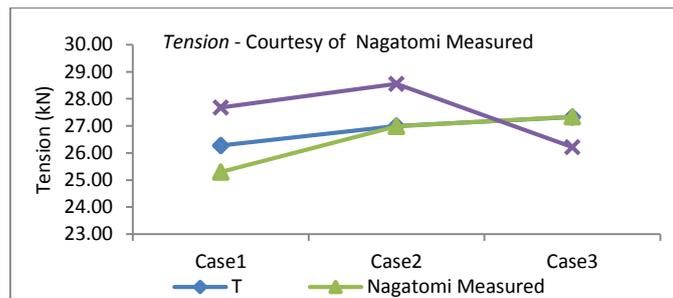
$$T_s = wh + T_0 \quad (4)$$

dimana :

$$T_0 = \frac{w}{\lambda - k} V \delta t \quad (5)$$

dan :

- w : berat kabel di dalam air (kg/m)
- h : kedalaman (m)
- α : *laying angle* (deg)
- $\lambda - k$: fungsi critical angle
- V : kecepatan kapal (m/det)
- δ : *slack* kabel (%)
- t : akumulasi waktu kabel payout (det)



Gambar 5. Perbandingan dengan hasil perhitungan/pengukuran Nagatomi [3/5]

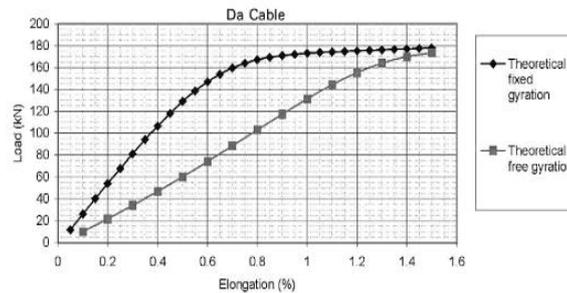
D. Karakteristik Mekanis dari Kabel

Kabel tergantung pada berbagai tingkat dari *tension* saat penggelaran dan operasi *recovery*. Perlu dicatat bahwa beban pada kabel yang didapat selama operasi *recovery* lebih tinggi dibandingkan saat penggelaran dan bahwa peningkatan kecepatan saat *recovery* dan sudut kabel *recovery* akan meningkatkan beban pada kabel tersebut. Kabel harus cukup kuat untuk mendukung beratnya sendiri dalam suspensi, selama beberapa sambungan kabel mungkin telah selesai di atas kapal penggelar kabel. Faktor tambahan cuaca harus diperhitungkan untuk memungkinkan perbaikan yang akan dilakukan jika kekuatan angin 8 dari skala Beaufort atau ketinggian gelombang laut hingga 4m [7]. Beberapa istilah telah ditetapkan untuk menentukan persyaratan beban tarik dari kabel bawah laut [7]:

- Nominal permanent tensile strenght (NPTS). Ini adalah *tension* kabel yang dapat mendukung selama seluruh sistem hidup (25 tahun) tanpa menurunkan keandalan fiber. Serat fiber pada beban kabel adalah sekitar 25% dari *fiber proof strenght* (1 s) untuk probabilitas kegagalan fiber dari 10⁻⁴ sampai 10⁻³.

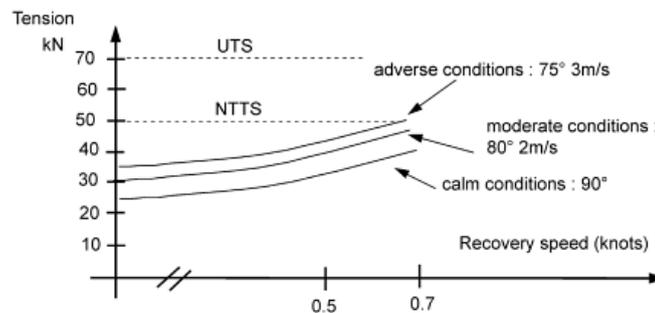
- Nominal operating tensile strength (NOTS). Ini adalah *tension* kabel yang dapat mendukung selama kapal kabel memperbaiki kabel (24 jam) tanpa menurunkan keandalan fiber. Serat fiber pada beban kabel adalah sekitar 33% dari *fiber proof strength*.
- Nominal transient tensile strength (NTTS). Ini adalah *tension* yang dapat diaplikasikan untuk kabel selama periode kumulatif dari 1 jam tanpa menurunkan keandalan fiber. Serat fiber pada beban kabel adalah sekitar 50% dari *fiber proof strength*.
- Ultimate cable tensile strength (UTS), atau kabel memutuskan beban. Ini adalah *tension* pada bagian-bagian kabel dan kepentingan khusus untuk keselamatan di atas kapal kabel. Harus ada margin keamanan yang baik antara NTTS dan UTS (biasanya 10-20%).

Ketika standar nontorsionally seimbang dengan kabel optik bawah laut dikenakan ke beban selama proses instalasi atau operasi, itu akan memutar dan memanjang, tapi kabel yang lebih ringan (LW) akan memutar jauh lebih sedikit daripada kabel berarmor baja (DA). Normalnya digunakan untuk menguji kabel dengan menetapkan kedua ujungnya dan pengukuran setelah beban yang diberikan. Dengan metode ini kabel tidak memutar dan karenanya tingkat perpanjangan terbatas, hal ini disebut dengan kisaran tetap atau *fixed gyration*. Kemudian, tes yang lebih kompleks diperkenalkan dimana kabel akan bebas untuk memutar dan memanjang, ini disebut kisaran bebas atau *free gyration*. Gambar 6 menunjukkan kurva beban perpanjangan dengan perhitungan teoritis untuk kabel berarmor baja (DA) berada di bawah dari *fixed gyration* dan *free gyration*, kurva aktual akan berada di suatu tempat di antara keduanya. Hal ini membantu dalam menjelaskan mengapa beberapa kabel yang diuji hanya *fixed gyration* yang memiliki NTSS lebih tinggi dibandingkan dengan kabel serupa yang diuji akan di bawah *fixed gyration* dan *free gyration*.



Gambar 6. Kurva perpanjang beban [11/7]

Kasus terburuk pada saat kondisi *recovery* yaitu pada kedalaman kabel deployment maksimum, kecepatan maksimum 1 knot (0.5 ms), sudut *recovery* minimal 75°, dan *sea well* hingga 4m. Dari kedalaman *recovery* maksimum 8000m, kabel modern dengan sejumlah kecil serat-serat kecil, *slack* tidak dapat dipulihkan pada kondisi ini. Oleh karena itu, kondisi yang sedikit kurang ketat diaplikasikan, dengan kecepatan *recovery* lebih lambat dari 0.8 knot pada sudut *recovery* yang lebih tinggi dari 80°. (Lihat Gambar 7)



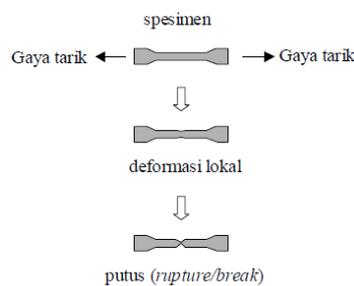
Gambar 7. Tension kabel pada saat recovery [7]

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Tes Tensile Strenght

Uji tarik (*tensile strenght*) adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan material dengan cara memberikan beban gaya berlawanan arah [8]. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Sifat mekanis logam yang dapat diketahui setelah proses pengujian ini seperti kekuatan tarik, keuletan dan ketangguhan. Kurva pada gambar 8 ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.

Pengujian ini banyak dilakukan untuk melengkapi data informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai pendukung bagi spesifikasi bahan. Uji tarik merupakan salah satu yang paling penting dilakukan, karena dengan pengujian ini dapat memberikan informasi mengenai sifat-sifat logam.



Gambar 8. Gambaran singkat uji tarik dan deformasinya [8]

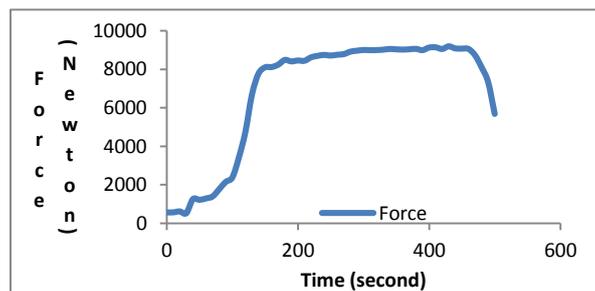
Dalam bidang industri juga diperlukan uji tarik ini untuk mempertimbangkan faktor metalurgi dan faktor mekanis yang tercakup dalam proses perlakuan terhadap logam jadi, untuk memenuhi proses selanjutnya. Uji tarik ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material, sehingga diharapkan dapat digunakan untuk mempertimbangkan dalam pemilihan material yang tepat [8].

B. Pengujian Armor Kabel Power Bawah Laut

Armor kabel power bawah laut yang terbuat dari galvanis kawat baja (*rod*) dengan diameter 5mm dan panjang 250mm ini dimasukkan pada mesin uji tarik. Kedua ujungnya dikunci agar tidak terjadi pergeseran dan slip, sehingga akurasi hasil pengujian bisa valid. Setelah 3 menit, benda uji mulai mengalami deformasi dan pada akhirnya mengalami *breaking* setelah ditarik 8 menit. Persentase perpanjangan (*elongation*) pada benda uji ini sekitar 0,48% atau mengalami perpanjangan sebesar 12mm.



Gambar 9. Armor setelah mengalami breaking



Gambar 10. Hasil pengukuran armor dari kabel power

Pada Gambar 10 bisa kita lihat kekuatan dari galvanis kawat baja (armor kabel power). Maksimum force dari benda uji ini berada pada titik 8107 N, yang merupakan Ultimate Tensile Strength (UTS) dari armor tersebut.

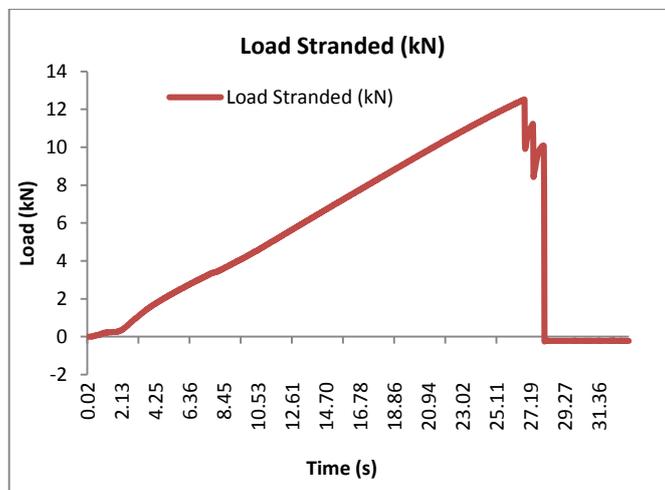
C. Pengujian Armor Kabel Fiber Optik

Armor kabel fiber optik yang terbuat dari galvanis kawat baja (*stranded*) dengan diameter 4mm (8 core x @1mm) dan panjang 250mm. Ada 2 kondisi dalam pengujian kali ini, kondisi pertama armor diuji secara utuh (*stranded*) dan yang kedua salah satu armornya dilepas dari ikatan. Waktu yang dibutuhkan dalam pengujian ini relatif lebih cepat dibandingkan dengan armor kabel power.

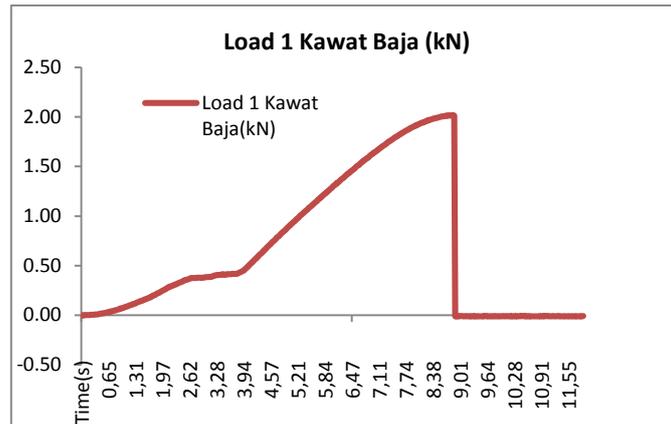


Gambar 11. Proses pengujian armor kabel fiber optik

Pada pengujian armor kabel fiber optik (*stranded*) maximum force yang bisa ditahan oleh benda uji pada kondisi pertama hanya 12,5 kN dan pada benda uji kedua 2,1 kN. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Hasil pengukuran armor dari kabel fiber optik (1)



Gambar 13. Hasil pengukuran armor dari kabel fiber optik (2)

D. Data dan Parameter

Parameter yang digunakan untuk menghitung dan menganalisisnya, yaitu Parameter Lingkungan dan Parameter Kabel. Kabel yang digunakan berasal dari vendor : OALC-7 ASN (Alcatel), dan Nexans 2XS(FL)2YRAA 12/20(24) kV. OALC-7 jenis LWP memiliki core 17mm dan outer diameter 27,5mm, sedangkan 2XS(FL)2YRAA memiliki cooper conductor 150mm² (cross section) dan outer diameter 102mm. Dalam melakukan analisa performa kabel, diperlukan situasi dimana semua kabel berada dalam suatu lingkungan ujicoba yang seimbang dimana kondisi yang akan mempengaruhi kinerja kabel akan berlaku untuk semua jenis kabel.

Parameter lingkungan akan diterapkan pada semua jenis kabel dalam melakukan analisa. Beberapa parameter lingkungan yang digunakan diantaranya densitas air laut dengan asumsi 1030 kg/m³. Untuk parameter lingkungan secara lengkap bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter lingkungan

| Item | Unit | Data |
|-------------------|--------------------|--------------------------|
| Gravity | m/s | 9.8 |
| Water density | kg/m ³ | 1030 |
| Modulus Young | kg/mm ² | 3300 |
| Drag Coefficient | LWP | 1.5 |
| Vertical Velocity | m/s | 1.2 |
| Vessel Speed | m/s | 0 .2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 |
| Recovery Angle | deg | 80 |
| Slack | % | 3 |

Tabel 2. Parameter LWP [10]

| Item | Unit | OALC-7 |
|----------------|------|--------|
| Core diameter | mm | 17 |
| Outer diameter | mm | 27.5 |
| NTTS | kN | 80 |
| NOTS | kN | 55 |
| UTS | kN | 100 |
| W-air | Kg/m | 1.17 |
| W-water | Kg/m | 0.56 |

Selain parameter lingkungan, analisa juga dilakukan pada dua jenis kabel berbeda yang akan digunakan dalam penggelaran, diantaranya jenis kabel LWP (Lightweight Protection), dan 2XS(FL)2YRAA. Kedua jenis kabel ini akan digunakan pada kondisi lingkungan yang sama dan kabel fiber optik dijadikan referensi dalam penelitian ini. Parameter yang menjadi acuan dalam

analisa diantaranya diameter, berat kabel dalam air, dan *operating tension*. Data parameter kabel yang digunakan merupakan data yang diberikan oleh vendor masing-masing kabel. Parameter kabel LWP yang digunakan secara lengkap bisa dilihat pada Tabel 2. Sementara untuk kabel 2XS(FL)2YRAA bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter 2XS(FL)2YRAA [9]

| Item | Unit | 2XS(FL)2YRAA |
|----------------|------|--------------|
| Core diameter | mm | 14,5 |
| Outer diameter | mm | 102 |
| NTTS | kN | - |
| NOTS | kN | - |
| W-air | Kg/m | 23,3 kg/m |
| W-water | Kg/m | 16,6 kg/m |

E. Asumsi Dasar

Pada analisa ini, salah satu data hasil pengujian uji tarik akan dijadikan referensi dan acuan sehingga nanti bisa didapatkan data yang relevan dan valid. Dengan merujuk perhitungan pada buku Albert G Berian [10] bahwa kekuatan armor (*wire strenght*) adalah:

$$P_{\omega} = \frac{\pi}{4} d_{\omega}^2 S_{\omega} \tag{6}$$

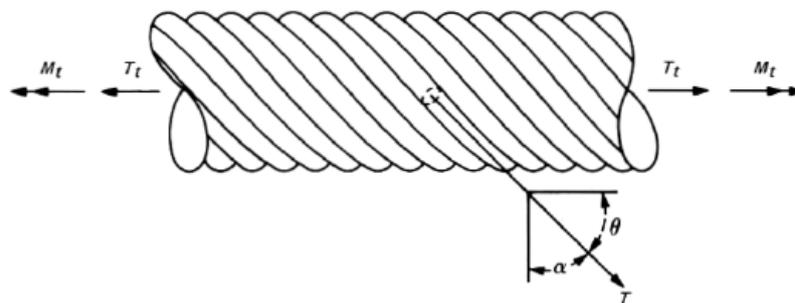
dimana :

P_{ω} = *wire strenght*

d_{ω} = diameter dari kawat armor

S_{ω} = *wire tensile strenght*

Sifat mekanik kabel yang berisi kawat-kawat yang melingkar (*stranded*) akan dianalisis menggunakan model persamaan [11]:



Gambar 14. Pembebanan kabel dan *tension* kawat

$$T_t = nT \sin \alpha \tag{7}$$

dan

$$M_t = nTr \cos \alpha \tag{8}$$

dimana :

- T_t = Force
- n = jumlah kawat
- T = *Tension*
- α = sudut kemiringan kawat
- M_t = Momen
- r = jari – jari

Dengan menggunakan persamaan 6, 7 dan 8, serta menggunakan parameter kabel LWP sebagai referensi, bisa didapatkan data-data yang diperlukan untuk menghitung kedalaman laut yang bisa dicapai oleh kabel power. Selain itu kecepatan kapal sangat berpengaruh terhadap perhitungan ini. Berikut data sementara hasil perhitungan menggunakan persamaan 6, 7 dan 8.

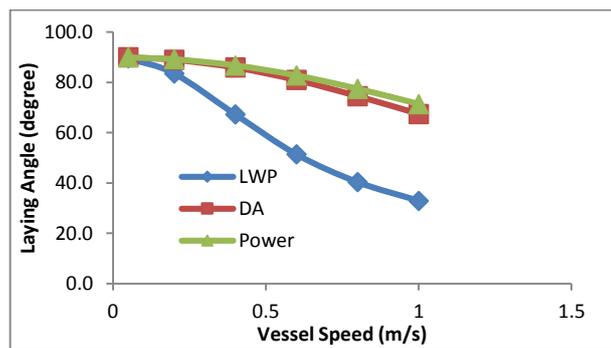
Tabel 4. Hasil perhitungan untuk kabel power

| Item | Unit | Hasil Perhitungan |
|---------------|--------------------|-------------------|
| UTS | kN | 645 |
| NTTS | kN | 580 |
| NOTS | kN | 493 |
| Modulus Young | kg/mm ² | 3441 |

F. Tension untuk Kabel Power

Dengan merujuk pada perhitungan laying dengan slack positif menggunakan metoda Zajac [6]. Kita dapat menghitung dan menganalisis bagaimana penggelaran kabel power bawah laut yang sangat aman.

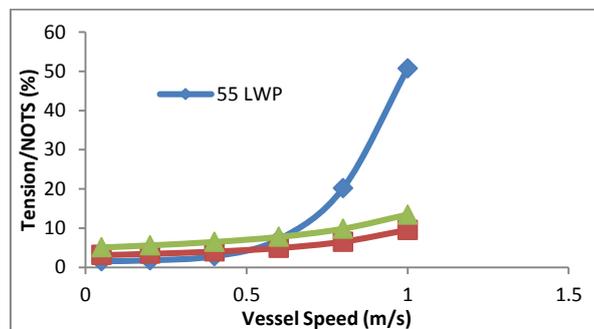
- Tension pada kedalaman laut 150m



Gambar 15. Laying angle dengan slack positif pada 150m

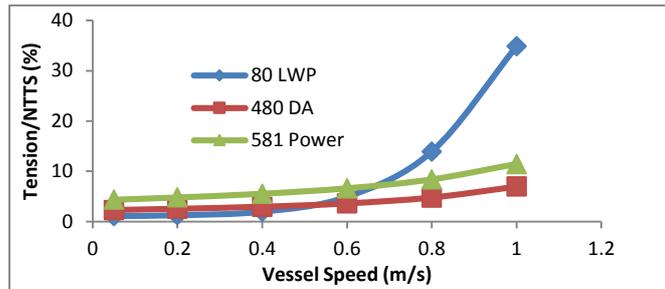
Pada perhitungan yang pertama (pada kedalaman 150m), kabel power memperlihatkan kinerja terendah dibandingkan jenis kabel LWP (OALC-7). Hal ini cukup realistis mengingat parameter kabel power memiliki nilai terbesar terhadap jenis kabel LWP (OALC-7). Besarnya parameter kabel ini akan mempengaruhi *base tension* ($w \times h$) dan *tension* maksimum. Hasil perhitungan *laying angle* untuk kabel power bisa dilihat pada gambar 15. Kabel power memiliki sudut terbesar pada kecepatan 2 knot dengan 71°, sementara LWP (OALC-7) memiliki sudut terendah dengan 33°.

Pada Gambar 16, bisa kita lihat persentase perbandingan antara *laying tension* terhadap NOTS. Untuk kecepatan 0.6 m/s atau sekitar 1.2 knot, persentase perbandingan sebesar 8% dicapai oleh kabel power, sementara untuk LWP (OALC-7) hanya berbeda sedikit yaitu 7%.



Gambar 16. Laying tension dengan slack positif/NOTS pada 150m

Persentase perbandingan *tension* terhadap NTTS bisa dilihat pada gambar 17. Pada kabel power yang memiliki nilai NTTS 581 kN, persentase 11 % dicapai pada kecepatan 1 m/s. Pada titik kecepatan yang sama juga bisa dilihat persentase perbandingan LWP (OALC-7) sudah 35%.

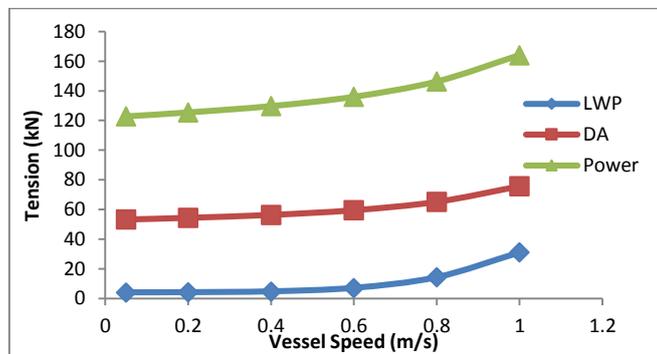


Gambar 17. Laying tension dengan slack positif/NTTS pada 150m

Untuk kabel power pada kedalaman 150 meter ini, secara keseluruhan bila ditinjau perbandingan *tension* terhadap NOTS pada kecepatan 1 knot maka kabel power belum menunjukkan performa terbaik. Sama halnya juga dengan perbandingan *tension* terhadap NTTS untuk kecepatan yang sama, kabel power belum menunjukkan performa terbaik dibandingkan kabel LWP (OALC-7).

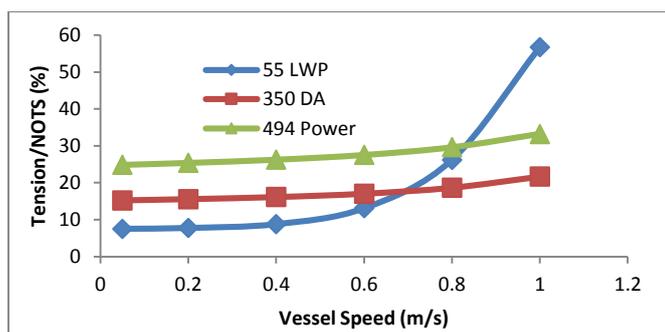
- *Tension* pada kedalaman laut 750m

Hasil perhitungan untuk *laying tension* dengan *positive slack* sebesar 3 % untuk kabel power dan kabel LWP (OALC-7) bisa dilihat pada gambar 18. Pada grafik tersebut bisa dilihat untuk kecepatan sebesar 1 knot atau 0.5 m/s, kabel power membutuhkan *tension* sebesar 164 kN sedangkan kabel LWP (OALC-7) hanya 31 kN. Margin yang sangat besar ini terjadi karena kabel power memiliki dimensi dan berat jenis yang lebih besar dibandingkan tipe kabel LWP (OALC-7).

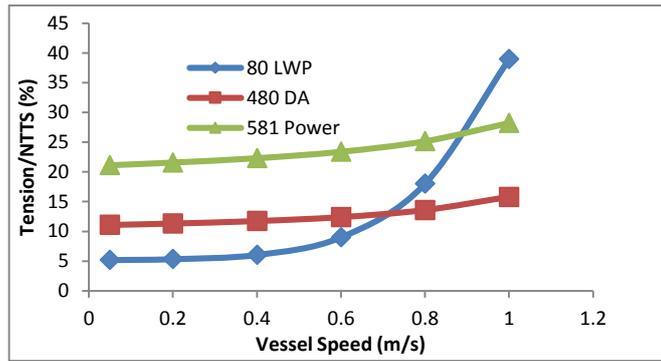


Gambar 18. Laying tension dengan slack positif pada 750m

Pada Gambar 19, bisa kita lihat persentase perbandingan antara *laying tension* terhadap NOTS. Untuk kecepatan 0.6 m/s atau sekitar 1.2 knot, persentase perbandingan sebesar 50% dicapai oleh LWP (OALC-4), sementara untuk kabel power hanya 28%. Semakin besar persentase perbandingan pada titik kecepatan yang sama, menunjukkan performa yang lebih buruk dalam artian margin yang dimiliki untuk mencapai nilai NOTS akan semakin kecil. Persentase perbandingan *tension* terhadap NTTS bisa dilihat pada gambar 20. Pada kabel power yang memiliki nilai NTTS 581 kN, persentase 28 % dicapai pada kecepatan 1 m/s. Pada titik kecepatan yang sama juga bisa dilihat persentase perbandingan LWP (OALC-7) sudah 39%.

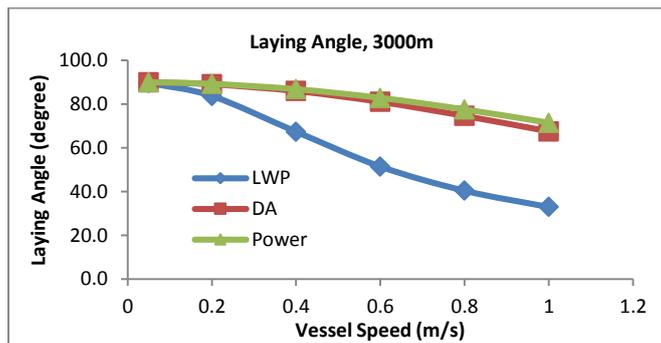


Gambar 19. Laying tension dengan slack positif/NOTS pada 750m



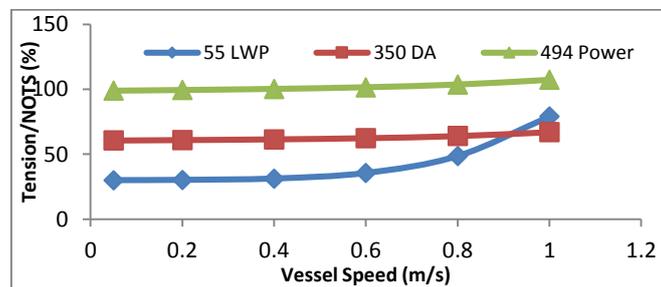
Gambar 20. *Laying tension* dengan *slack* positif/NTTS pada 750m

- *Tension* pada kedalaman laut 3000m

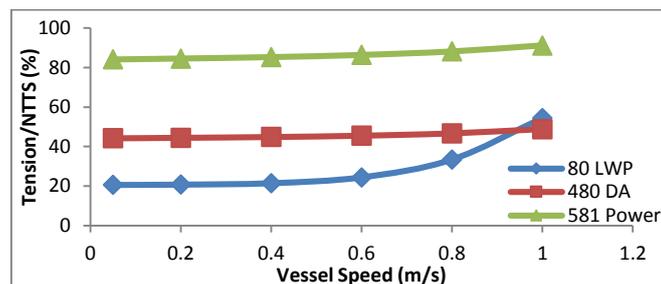


Gambar 21. *Laying angle* dengan *slack* positif pada 3000m

Pada perhitungan ini, kabel power memperlihatkan kinerja terbaiknya. Hasil perhitungan *laying angle* untuk kabel power bisa dilihat pada gambar 21. Kabel power memiliki sudut terbesar pada kecepatan 2 knot dengan 71° , sementara LWP (OALC-7) memiliki sudut terendah dengan 33° . Pada gambar 22, bisa kita lihat persentase perbandingan antara *laying tension* terhadap NOTS. Untuk kecepatan 0.5 m/s atau sekitar 1 knot, persentase perbandingan sebesar 100% dicapai oleh kabel power, sementara untuk LWP (OALC-7) hanya 31%.



Gambar 22. *Laying tension* dengan *slack* positif/NOTS pada 3000m



Gambar 23. *Laying tension* dengan *slack* positif/NTTS pada 750m

Persentase perbandingan *tension* terhadap NTTS bisa dilihat pada gambar 23. Pada kabel power yang memiliki nilai NTTS 581 kN, persentase 90 % dicapai pada kecepatan 1 m/s. Pada titik kecepatan yang sama juga bisa dilihat persentase perbandingan LWP (OALC-7) hanya 54%.

Untuk kabel power pada kedalaman 3000 meter ini, secara keseluruhan bila ditinjau perbandingan *tension* terhadap NOTS pada kecepatan 1 knot maka kabel power menunjukkan performa terbaiknya. Sama halnya juga dengan perbandingan *tension* terhadap NTTS untuk kecepatan yang sama pada kabel power hampir menunjukkan performa terbaiknya (persentasinya 90%) dibandingkan kabel LWP (OALC-7).

KESIMPULAN

Gambaran umum untuk penggelaran kabel dengan *slack* positif pada kedalaman 150m-3000m, semua jenis kabel baik itu LWP (OALC-7) maupun kabel power masih memiliki *tension* dibawah NOTS masing-masing. Akan tetapi selama *slack* dapat diatur tetap positif, hanya penggelaran kabel power pada kedalaman lebih dari 3000m perlu diperhatikan secara khusus. Perhitungan untuk jenis kabel power, kedalaman lebih dari 3000m, menunjukkan bahwa kabel power terbebani dengan *tension* yang melebihi NOTS-nya. Sedangkan untuk kabel LWP (OALC-7), *tension* yang terjadi masih jauh di bawah nilai NOTS-nya. Untuk kabel power pada kedalaman 3000m ini, secara keseluruhan bila ditinjau perbandingan *tension* terhadap NOTS pada kecepatan 1 knot maka kabel power memiliki performa terbaik. Pada perbandingan *tension* terhadap NTTS untuk kecepatan yang sama kabel power memiliki performa terbaik dibandingkan kabel LWP (OALC-7). Dari hasil perhitungan dan analisa di atas bisa disimpulkan bahwa kekuatan armor dari sebuah kabel sangat penting dalam proses penggelaran kabel bawah laut menggunakan *slack* positif karena beban yang didapatkan akibat *tension* akan ditanggung sepenuhnya oleh armor dari kabel tersebut. Pada kedalaman laut 150m-3000m merupakan jarak yang aman untuk proses penggelaran kabel power bawah laut karena armor kabel power mampu menahannya dan menunjukkan performa terbaiknya selama proses tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] CIGRE TB 398, WG B1.21. Third Party Damage to Underground and Submarine Cables. December 2009.
- [2] Allan, PG. Geotechnical Aspects of Submarine Cables, IBC Conference on Subsea Geotechnics, Aberdeen, November 1998.
- [3] Makai Ocean Engineering, Inc., Submarine Cable Planning Software, Waimanalo, Hawaii USA.
- [4] Welsby, A Theoretical Investigation of The Form Assumed by a Submarine Cable During Laying or Recovery, 1957.
- [5] Nagatomi et.al., Dynamic Simulation and Field Experiment of Submarine Cable during Laying and Recovery, Proc. International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan, May 26–31, 2002.
- [6] Zajac, Dynamic and Kinematic of the Laying and Recovery of Submarine Cable, the Bell System Technical Journal, September 1957.
- [7] Chesnoy, Jose. Undersea Fiber Communication System.
- [8] Sastranegara, Azhari. Mengenal Uji Tarik dan Sifat-sifat Mekanik Logam. Jakarta-Indonesia.
- [9] Nexans Group, Submarine Power Cables.
- [10] Berian, Albert G., Oceanographic Electro-Mechanical Cables, 2000.
- [11] Chu, T.C., A Method to Characterize the Mechanical Properties of Undersea Cables, The Bell System Technical Journal, USA, January 22, 1982.