

Analisa Perambatan Retak Pada Bagian Poros KM. Surya Tulus Akibat Torsi Dengan Metode Elemen Hingga

Taufiq Estu Raharjo, Soeweify dan Totok Yulianto.

Teknik Perkapalan, Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: totoky@na.its.ac.id

Abstrak—Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya Intensitas Tegangan akibat cacat produksi yang menyebabkan perambatan retak. Penelitian ini dilakukan dengan metode elemen hingga dan validasi hasil dilakukan dengan membandingkan panjang retak hasil simulasi dengan panjang retak yang terjadi pada kasus sebenarnya. Material untuk pemodelan ini adalah Poros Antara yang mempunyai spesifikasi baja AISI 1045. Pemodelan dilakukan dengan memvariasi kecepatan putar dari gear box kapal pada 98 – 196 rpm. Dari variasi yang dilakukan, diketahui bahwa Intensitas tegangan pada 128 dan 165 rpm menyebabkan perambatan retak sebesar 186.7 mm.

Kata Kunci—Perambatan retak, intensitas tegangan, Poros Antara, AISI 1045, Metode elemen hingga.

I. PENDAHULUAN

SETELAH beroperasi selama 264 jam dengan putaran mesin 120-128 rpm, K.M. Surya Tulus masih berjalan secara normal. Selanjutnya saat putaran mesin dinaikkan menjadi 163-165 rpm dan dijalankan sampai mencapai putaran ke 60 jam, timbul getaran yang sangat besar, sehingga putaran mesin dihentikan dan diadakan pemeriksaan yang selanjutnya diketahui terjadi keretakan pada poros baling baling di sekitar daerah spie yang menjalar melingkar poros dengan sudut penjaralan sekitar 45 derajat

Penelitian yang dilakukan[1], menghasilkan berbagai hasil yang diantaranya ialah salah satu faktor penyebab pecahnya poros antara K.M. Surya Tulus adalah terjadinya konsentrasi tegangan yang sangat besar diatas 6 pada daerah di sekitar lubang pasak. Konsentrasi tegangan ini di akibatkan tidak adanya radius pada lubang pasak. Dan di perparah dengan adanya cacat produksi.

Petterson [2] memberikan formula bahwa konsentrasi tegangan pada daerah keyway/lubang pasak sekitar maksimal 3,4. Sedangkan Okubo H, K Hosono dan K hakasaki [3] memperlihatkan grafik konsentrasi tegangan yang jika lubang pasak tidak mempunyai radius maka konsentrasi tegangannya sangat tinggi. Hal ini berarti telah terjadi kesalahan desain pada pembuatan lubang pasak, sehingga mengakibatkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi.

Pada daerah keyway atau lubang pasak, perambatan retak dimulai dari daerah yang mengalami cacat produksi. Perambatan retak ini terus menjalar membentuk sudut 45° dan mengelilingi poros antara. Hal ini menunjukkan bahwa material bersifat brittle. "Perez, Nestor [4] memberikan formula paris

dengan besar 6.9×10^{12} (K) untuk baja ferritic-pearlitic pada kecepatan perambatan retaknya. Harga ini sudah sesuai untuk diterapkan pada perambatan retak yang dialami oleh poros antara K.M. Surya Tulus.

II. METODOLOGI

A. Identifikasi perumusan masalah

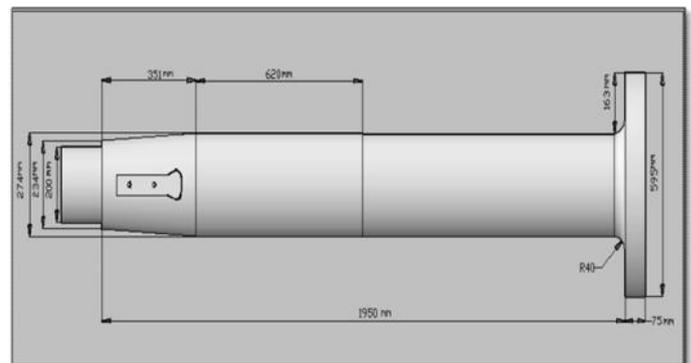
Pada tahap awal adalah menentukan perumusan dan pengidentifikasian masalah yang akan dihadapi dimana selanjutnya akan dijadikan acuan untuk menentukan metode penyelesaian yang akan digunakan. Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana mengetahui perambatan retak yang terjadi pada intermediate shaft. Dalam penelitian ini, data yang dipakai adalah data-data dari pengamatan di lapangan dan dari data- data pendukung lainnya.

B. Studi Literatur

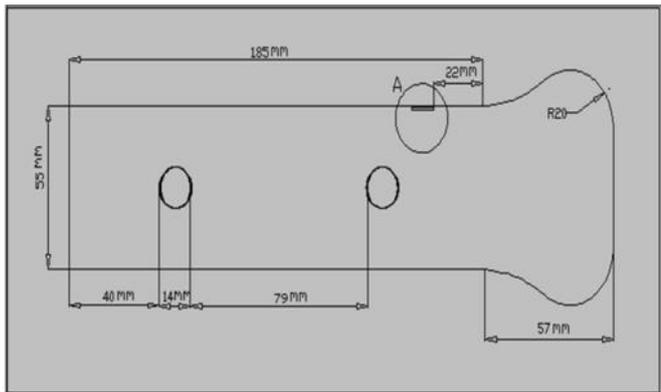
Tahapan selanjutnya adalah melakukan studi literatur dengan tujuan untuk merangkum teori-teori dasar, acuan secara umum dan khusus, serta untuk memperoleh berbagai informasi pendukung lainnya yang berhubungan dengan pengerjaan Tugas Akhir ini. Studi literatur ini dapat diperoleh dari buku-buku yang berhubungan dengan proses penelitian dan jurnal-jurnal penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini. Yang terpenting adalah studi literatur mengenai perambatan retak yang di pengaruhi oleh torsi steady.

C. Pembuatan Model

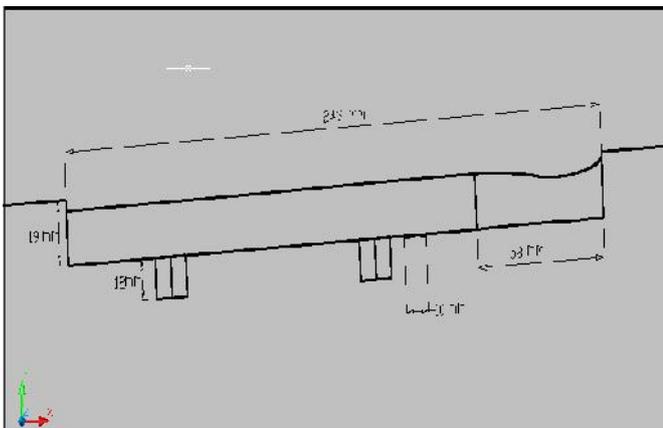
Dalam hal ini, model dari intermediate shaft yang dipergunakan adalah sebagai berikut:



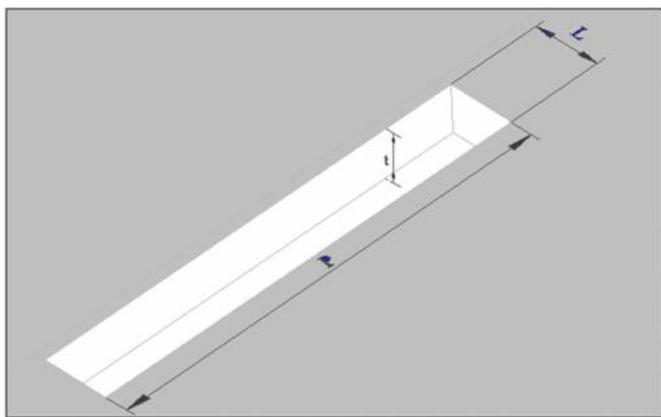
Gambar 1. Intermediate Shaft.



Gambar 2. Keyway.



Gambar 3. Keyway (tampak samping).



Gambar 4. Detail A.

Dimensi pemodelan yang akan dilakukan terdiri dari bagian sebagai berikut :

- Dimensi model
- Dimensi retak

Pada pemodelan ini akan dilakukan pada intermediate shaft dengan ukuran yang telah disebutkan.

Retak yang akan dianalisa adalah lubang yang di pandang sebagai retak dengan ukuran Panjang (P) = 10 mm, Lebar (L) = 1.5 mm dan tinggi (t) = 1 mm.

D. Perhitungan Kecepatan Perambatan Retak.

Perambatan retak dihitung dengan menggunakan persamaan Paris Endorgen, yaitu:

$$\frac{da}{dN} = C_p (\Delta k)^m \tag{1}$$

dimana $\Delta K = K_{max} - K_{min}$, C merupakan faktor konstanta dan m merupakan exponen yang diperoleh dari data pengujian. Data Baja 1045 menunjukkan nilai C dan m sebagai berikut.

$$C = 6.9E-12$$

$$m = 3$$

Tabel 1. Paris Equation.

Steel	Paris equation (m/cycle)	Strength
Martensitic	$\frac{da}{dN} = 1.35 \times 10^{-10} (\Delta K)^{2.25}$ ΔK in $MPa\sqrt{m}$	$\sigma_{ys} > 483 MPa$ $\sigma_{ts} > 621 MPa$
Ferritic-Pearlitic	$\frac{da}{dN} = 6.90 \times 10^{-12} (\Delta K)^3$	$207 MP < \sigma_{ys} < 552 MPa$
Austenitic	$\frac{da}{dN} = 5.60 \times 10^{-12} (\Delta K)^{3.25}$	$207 MP < \sigma_{ys} < 345 MPa$

III. KONVERGENSI DAN VALIDASI

A. Umum

Pada bagian ini akan dibahas kesesuaian jumlah elemen dalam melakukan analisa (konvergensi mesh) serta pengecekan kesesuaian hasil dari pemodelan penelitian ini.

B. Konvergensi Jumlah Elemen

Pengecekan akan kesesuaian jumlah elemen sangat dibutuhkan dalam suatu analisa struktur dalam pemodelan elemen hingga. Hal ini dikarenakan pemodelan elemen hingga berprinsipkan diskritisasi atau pembagian material menjadi elemen-elemen yang lebih kecil agar memudahkan dalam melakukan analisa. Pada prinsipnya semakin banyak jumlah elemen akan semakin baik, karena nilai analisa yang didapatkan akan semakin mendekati nilai yang sebenarnya.

Akan tetapi jika elemen yang dianalisa maka semakin berat pula kerja komputer untuk melakukan *solving* atau pencarian solusi. Oleh karena itu, konvergensi jumlah pembagian elemen ini sangat diperlukan, agar hasil analisa memiliki nilai kesalahan yang tidak terlalu besar serta dapat menentukan jumlah elemen yang sesuai untuk dilakukan analisa.

Tabel 2.

Perbandingan besar Intensitas tegangan di titik yang diteliti dengan variasi jumlah elemen.

Jumlah Element	Intensitas Tegangan (MPa)
20030	12.008
24289	11.629
40860	12.218
58750	11.172
72573	11.374
110177	12.038
117518	11.904
Nilai Hasil Pengujian	11904

Dari tabel diatas dapat dilihat intensitas tegangan, pada titik yang telah ditentukan, bahwa pada jumlah elemen 117518 sudah tidak terjadi lagi perubahan nilai yang signifikan

terhadap jumlah elemen di atasnya, sehingga dapat dikatakan dengan jumlah elemen tersebut sudah dapat mewakili untuk dapat digunakan sebagai acuan untuk pembuatan model dan pembagian jumlah elemen untuk semua variasi pada penelitian ini.

C. Validasi Panjang Retak

Untuk memastikan hasil dari pemodelan menggunakan metode elemen hingga benar, maka perlu dilakukan validasi panjang retak berdasarkan hasil dari pengamatan di lapangan. Pada kasus ini, sesuai dengan laporan pengujian [1] menunjukkan bahwa panjang retak yang terjadi pada poros intermediate sekitar 600 mm. Sedangkan pada hasil pemodelan, panjang retak yang terjadi sekitar 186.7 mm. Hal ini dikarenakan jumlah beban yang bekerja pada poros tidak sama. Pada keadaan ideal poros mengalami banyak pembebanan, diantaranya gaya dorong, bending, getaran torsional dan torsi sendiri. Sedangkan pada pemodelan ini hanya meneliti tentang beban torsi saja. Tentunya panjang retak pada pemodelan lebih kecil daripada panjang retak pada kondisi sebenarnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Umum

Setelah dilakukan proses pemodelan dan pembebanan, proses berikutnya adalah pembacaan hasil dan perbandingan hasil. Hasil yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah konsentrasi tegangan untuk poros intermediate yang tidak mempunyai retak dan intensitas tegangan untuk poros intermediate yang mempunyai retak. Dalam penelitian ini, obyek variasi yang akan dianalisa adalah besarnya rpm yang menghasilkan variasi torsi seperti yang tertera pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.

Tabel Variasi rpm yang akan dimodelkan dalam Penelitian.

Rpm	Torsi (Nmm)
98	1017117.664
100	1059058
109	1258273.612
115	1400615.02
120	1525057.36
122	1576316.896
123	1602264.364
124	1628423.632
128	1735178.704
140	2085090.732
163	2813839.084
165	2883313.42
170	3060787.44
196	4086777.835

Dari tabel diketahui bahwa range rpm ialah 98 – 196. Perbedaan rpm ini akan menghasilkan perbedaan torsi yang selanjutnya menghasilkan perbedaan konsentrasi tegangan dan intensitas tegangan. Kedua indikator inilah yang mempengaruhi umur dari material. Oleh karena itu, maka penelitian ini menitikberatkan pada hasil keduanya

B. Analisa data pada simulasi poros tanpa retak.

Pada proses simulasi poros intermediate tanpa retak, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.

Konsentrasi tegangan tiap tiap rpm.

Rpm	Shear Stress (Mpa)	Max Shear stress (Mpa)	Kt
98	0.3274	2.6548	8.108735492
100	0.33939	2.752	8.108665547
109	0.4042	3.2775	8.108609599
115	0.44884	3.6395	8.108680153
120	0.4887	3.9627	8.108655617
122	0.50513	4.0959	8.108605705
123	0.51344	4.1633	8.108639763
124	0.52183	4.2313	8.108579422
128	0.55604	4.5087	8.10858931
140	0.66817	5.4179	8.108565186
163	0.90169	7.3115	8.108662622
165	0.92395	7.492	8.108663889
170	0.98083	7.9532	8.10864268
196	1.3096	10.619	8.108582773

Dari data diatas, didapatkan konsentrasi tegangan tiap – tiap rpm. Konsentrasi tegangan ini menunjukkan kriteria dimana poros aman atau tidak untuk dipakai. Karena semakin besar konsentrasi tegangan yang terjadi maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya *fracture*.

Pada keadaan tanpa cacat, poros intermediate seharusnya mempunyai kriteria aman atau dapat dipakai. Hal ini secara langsung dapat diterima karena pada pembuatan poros menggunakan standar yang sudah ada dan terdapat banyak literatur yang mengulas tentang kriteria pembuatan poros. Dalam hal ini yang diperhatikan oleh peneliti ialah ukuran dari *keyways* atau lubang pasak.

Sesuai standar yang ada, seperti pada ISO/R773 – P9, lubang pasak mempunyai radius sekitar 1.2-1.6 mm untuk poros yang mempunyai diameter antara 260 – 290 mm. Sedangkan radius ini tidak dimiliki oleh lubang pasak pada K.M. Surya Tulus. Tentu saja,berakibat pada kenaikan harga Kt. Harga kt pada kasus ini sekitar 8, padahal harga kt maksimal yang dimiliki oleh *keyway* atau lubang pasak adalah sekitar 3.4 sesuai [2]. Hal ini mengakibatkan kemungkinan terjadinya *fracture* lebih besar.

C. Analisa data pada simulasi poros yang retak

Pada proses simulasi retak, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5.
Intensitas tegangan tiap tiap rpm

Rpm	K (Mpa√m)		ΔK (Mpa√m)	da/dN (m/cycle)
	max	min		
98	7.0093	6.56E-15	7.0093	2.37615E-09
100	7.2659	6.79E-15	7.27E+00	2.64678E-09
109	8.6535	8.08E-15	8.65E+00	4.4712E-09
115	9.6092	8.94E-15	9.61E+00	6.12225E-09
120	10.463	9.78E-15	1.05E+01	7.90347E-09
122	10.814	1.01E-14	1.08E+01	8.72586E-09
123	10.992	1.03E-14	1.10E+01	9.16388E-09
124	11.172	1.05E-14	1.12E+01	9.62148E-09
128	11.904	1.11E-14	11.904	1.16393E-08
140	14.305	1.34E-14	1.43E+01	2.01982E-08
163	19.304	1.80E-14	1.93E+01	4.96353E-08
165	19.781	1.85E-14	1.98E+01	5.34065E-08
170	20.999	1.97E-14	20.999	6.38918E-08
196	28.037	2.61E-14	2.80E+01	1.5207E-07

Dari data diatas, didapatkan intensitas tegangan tiap – tiap rpm. Intesitas tegangan ini akan mempengaruhi kecepatan perambatan retak. Semakin besar nilai dari intensitas tegangan, maka semakin besar pula perambatan retak yang terjadi. Pada kasus K.M. surya tulus ini harga intensitas tegangan terjadi pada daerah lubang pasak. Tepatnya, pada daerah ujung cacat akibat produksi.

Pada saat struktur mengalami retak, belum tentu retak tersebut akan menjalar. Nilai Intensitas tegangan tersebut harus dibandingkan lebih dulu dengan Kthreshold. Jika harga dari intensitas tegangan melebihi Kthreshold maka retak dapat dikatakan menjalar. Tetapi jika harga Intensitas tegangan masih dibawah atau sama dengan nilainya, maka retak belum menjalar. Untuk kasus ini sesuai dengan data dari hasil penelitian, retak pada poros mulai menjalar pada 100 rpm. Karena Kthreshold untuk baja 1045 ialah 7.1 Mpa m.

Perambatan retak pada K.M. Surya tulus dialami saat kapal berlayar pada 120-128 rpm, dan pada saat 163-165 rpm. Karena ketidak pastian berapa rpm yang dipakai dan hanya berupa range, maka untuk lebih mudahnya peneliti mengukur pada rpm 128 dan 165 rpm. Dimana keadaan itu menunjukkan maksimal dari rpm yang digunakan.

D. Perambatan retak pada 128 rpm dan 165 rpm

Pada kedua rpm ini di ketahui bahwa kapal berlayar. Pada 128 rpm belum diketahui secara langsung adanya kerusakan pada poros. Meskipun mungkin poros intermediate sudah retak. Sedangkan pada 165 rpm telah diketahui poros mengalami keretakan. Berikut Tabel Perhitungannya:

Tabel 6.
Intensitas tegangan pada 128 dan 165 rpm

Rpm	K (MPa√m)		ΔK	da/dN (m/cycle)	N (cycle)	a ₀ (mm)	a ₁ (mm)
	max	min					
128	11.2	0	11.9	1.16E-08	2027520	10	33.6
165	33.5	0	33.6	2.6E-07	594000	33.6	186.7

Pada 165 rpm poros kapal sudah mengalami retak sepanjang 33.6 mm. Oleh karena itu K disini bukan = 19.8 Mpa m, tetapi sudah di pengaruhi retak (a₀) pada 128 rpm. Sehingga K= 33.6 Mpa m.

Hasil perhitungan pada 128 rpm dan 165 rpm menunjukkan bahwa poros mengalami retak total (a₁) sepanjang 186.7 mm. Retak total hasil simulasi ini hanya diakibatkan oleh beban torsi. Sedangkan dalam kondisi sebenarnya, retak diakibatkan oleh banyak beban. Sehingga dipastikan bahwa panjang retak antar keduanya tidak akan sama.

Pada perambatan retak kondisi sebenarnya, retak menjalar dengan kedalaman antara 20 mm – 50 mm. Panjang retak sekitar 600 mm, membentuk sudut 45°. Sedangkan pada simulasi retak hanya mempunyai kedalaman 1 mm. Hal ini diakibatkan karena pada kondisi sebenarnya bekerja beban bending yang diakibatkan oleh berat poros itu sendiri.

Efek dari perambatan retak ini dapat dirasakan secara langsung dampaknya pada waktu ke – 60 jam dari mulai dijalankan mesin pada 165 rpm. Getaran yang cukup besar memaksa ABK mematikan mesin kapal. Ini berarti retak telah menyebabkan poros tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. Menyebabkan getaran bertambah besar dan membuat poros tidak dapat digunakan lagi.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Perbedaan rpm mempengaruhi intensitas tegangan. Semakin tinggi rpm, semakin besar intensitas tegangan yang terjadi.
2. Cacat produksi yang besar menyebabkan intensitas tegangan menjadi tinggi. Sehingga proses perambatan retak semakin cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Totok Yulianto, ST., MT., Ir. Soeweify, M.Eng., Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE., PED dan Ibu Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. yang telah membimbing dan memberikan saran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fracture Mechanic group of ITS, *Laporan Keretakan Intermediate Shaft K.M. Surya Tulus*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (2002).
- [2] Peterson, R.E. *Stress Concentration Factor*. New York: John Wiley & Son, Inc., (1974).
- [3] Okubo, H., K. Hosono and K. Sakaki, *The Stress Concentration in Keyways when Torque is Transmitted through Keys*, Japan: Department of Applied Mechanics, The University Nagoya, (1968), 375-380.
- [4] Perez, Nestor, *Fracture Mechanics*. Boston: Kluwer Academic Publishers, (2004).