

ANALISA KEKUATAN PUNTIR DAN KEKUATAN LENTUR PUTAR POROS BAJA ST 60 SEBAGAI APLIKASI PERANCANGAN BAHAN POROS BALING-BALING KAPAL

Sukanto Jatmiko*, Sarjito Jokosisworo*

* Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik UNDIP

Abstrak

Dalam penelitian ini akan dilakukan uji tarik, uji komposisi, uji puntir dan uji lentur putar untuk material baja karbon ST 60. Tujuannya untuk mengetahui apakah baja ST 60 memenuhi persyaratan BKI sebagai bahan poros baling-baling kapal ditinjau dari aspek kekuatan tarik dan komposisi materialnya. Sedangkan tujuan uji puntir dan uji lentur putar adalah untuk menganalisa aspek kekuatan puntir material dalam menerima beban puntir hingga patah. Dan juga untuk memprediksi ketahanan lelah material terhadap beban lentur putar hingga terjadi kegagalan lelah.

Metode pengujian material akan dilakukan hingga dicapai hasil yang menggambarkan kekuatan dan karakteristik material. Sampel bahan uji berupa spesimen yang menggunakan standar ASTM. Sifat beban yang diberikan mencakup beban statis untuk uji tarik dan puntir, dan beban dinamis untuk uji lentur putar.

Hasil penelitian ini berupa nilai kekuatan material yang kemudian dibandingkan dengan nilai minimum persyaratan BKI. Beberapa hasil seperti penampang patahan juga dapat mewakili karakter keuletan material. Hasil yang dicapai bahwa baja ST 60 memenuhi persyaratan BKI ditinjau dari kekuatan tarik (706,47 Mpa) dan komposisi materialnya C (0,473%), Mn (0,71%), Si (0,274%), P (0,0014%), S (0,0034%). Sedangkan untuk uji lentur putar diperoleh nilai batas maksimum aman untuk beban tekuk yaitu 283,95 Mpa.

Kata kunci : uji tarik, uji puntir, uji lentur putar, komposisi material, takik.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Seiring dengan banyaknya kegagalan mekanis yang ditemui, perkembangan ilmu pengetahuan dan banyaknya penemuan baru, menyebabkan faktor-faktor perancangan mulai bertambah. Salah satu contohnya misalnya faktor kelelahan logam. Pada saat faktor kelelahan belum diketahui, perencanaan suatu komponen hanya didasarkan pada pembebanan statik. Namun dalam prakteknya kemudian ditemukan banyak masalah seperti patahnya poros kereta api, poros roda mobil, rusaknya rivet pada kabin pesawat, dan peristiwa patahnya poros baling-baling kapal (*Propeller Shaft*).

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh beban-beban tersebut terhadap kekuatan lelah material poros, maka diperlukan pengujian material menggunakan benda uji (spesimen) dan disertai dengan analisa maupun perhitungan secara teliti.

Dalam pengujian lelah/ *fatigue* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi tegangan, kondisi permukaan, dimensi, temperatur, beban dan efek lain-lain (korosi, tegangan sisa, dll).

Tanda-tanda yang menunjukkan permulaan adanya kegagalan fatigue tidak begitu jelas, oleh karena itu *fatigue* menjadi satu bahaya besar yang harus diperhatikan secara serius oleh para teknisi-teknisi dalam dunia perancangan.

Tujuan

Dapat dirumuskan bahwa tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisa kekuatan tarik, kekuatan puntir, kekuatan lentur putar dan komposisi kimia baja ST 60 dari hasil pengujian material dengan standar ASTM.
2. Menguji baja ST 60 hasil dari uji tarik dan uji komposisi apakah memenuhi standar BKI sebagai bahan poros baling-baling kapal.

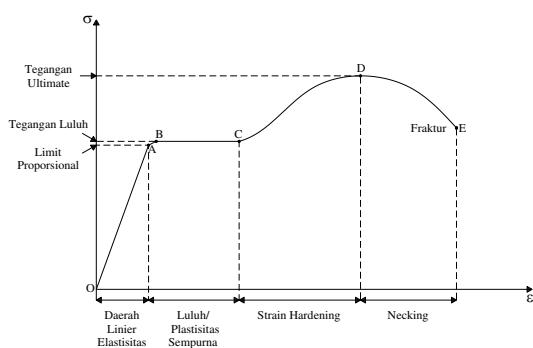
Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Pembahasan dalam tugas akhir ini adalah pembebanan pada poros baling-baling jenis fix pitch.
2. Pengujian kekuatan material yang dilakukan untuk pembahasan tugas akhir adalah dengan menggunakan benda uji (spesimen) tanpa perlakuan panas (*raw material*), dan dengan jenis pengujian uji

- tarik, uji komposisi, uji lentur putar (*Rotary Bending*), uji puntir (*Torsion*).
3. Spesimen yang digunakan adalah jenis baja ST 60 dengan bentuk uji standar ASTM.
 4. Jenis baja ST 60 yang dipilih memiliki tensile strength antara 600-720 N/mm² Sesuai BKI Volume III (*Rules For Machinery Installations*) 2006 (*Section 4*), mensyaratkan bahwa material untuk poros baling-baling memiliki *tensile strength* antara 400-800 N/mm².
 5. Analisa tidak membahas tentang getaran, kenaikan temperatur, dan perubahan struktur mikro yang terjadi pada spesimen selama pengujian.
 6. Analisa hasil pengujian meliputi :
 - Analisa karakteristik kekuatan material hasil uji tarik.
 - Analisa komposisi material yang berpengaruh terhadap sifat mekanik material.
 - Penggambaran hasil pengujian dalam bentuk grafik (diagram S-N) yang menyatakan hubungan antara beban terhadap umur bahan/ kekuatan lelah material.
 - Analisa pengaruh perbedaan besar beban yang diberikan terhadap kekuatan lelah.
 - Analisa pengaruh perbedaan dimensi dengan pengkondisian cacat material.
 - Analisa terhadap bentuk penampang patahan spesimen.

Diagram Tegangan-Regangan dan Hukum Hooke



Gambar II.2 Diagram tegangan-regangan

Hukum Hooke menyatakan bahwa untuk sebagian besar jenis bahan jika diberi beban selama tidak melampaui batas elastik, deformasi akan sepadan dengan beban atau lebih sering dinyatakan sebagai tegangan

sepadan dengan regangan. Beberapa informasi yang kita peroleh dari uji tarik yaitu:

- Kekuatan Luluh (*yield strength*) (S_y), adalah batas kekuatan bahan untuk menghasilkan deformasi dimana saat beban dihilangkan bahan masih dapat kembali ke bentuk semula namun terjadi deformasi permanen yang kecil. Pada gambar ditunjukkan dengan garis AB. Titik B merupakan batas luluh bahan. Kekuatan luluh dirumuskan :

$$S_y = \frac{\text{pembebanan..luluh}}{\text{luas.penampang.awal}} = \frac{P_y}{A_0}$$

- Kekuatan Tarik (*ultimate strength*) (S_u), adalah tegangan maksimum yang bekerja pada bahan. Harga maksimum ini dicapai karena deformasi plastis bertambah besar dan terjadi pengerasan regang (strain hardening) sehingga beban yang diperlukan untuk berdeformasi lagi bertambah besar. Kekuatan tarik dirumuskan dengan :

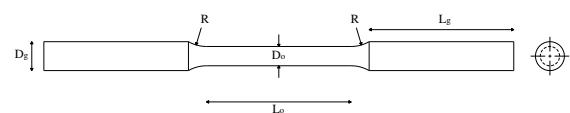
$$S_u = \frac{\text{tegangan..maksimum}}{\text{luas.penampang.awal}} = \frac{P_{\text{maksimum}}}{A_o}$$

Batas *Endurance* Teoritis

Untuk memperkirakan besar beban yang bekerja pada spesimen, terlebih dahulu dicari batas lelahnya (*Endurance Limit*). Dengan mengetahui batas lelahnya, maka pengujian lelah di daerah beban tersebut sudah aman dalam arti tidak ada faktor pereduksi lain. Setiap material memiliki ketahanan lelah yang berbeda-beda, dimana batas kelelahan logam (*fatigue limit*) dapat diketahui dengan dua cara, pertama dari pengujian *fatigue* secara langsung dimana beban diberikan dalam kondisi statis atau cara kedua dengan menggunakan kurva S – N yang sudah ada.

Spesimen Uji Uji Tarik

ASTM E-8
(*Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*)



Gambar 1 Spesimen uji tarik standar ASTM E-8

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)				
	D_o	L_o	R	D_g	L_g
ASTM E-8	8	60	15	12	60

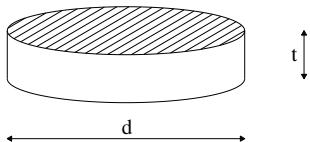
Jumlah = 3 spesimen

Tabel 1 Dimensi spesimen uji tarik standar ASTM E-8

Uji Komposisi

Ukuran : $d = 20 \text{ mm}$, $t = 5 \text{ mm}$,

Spesimen Uji Komposisi

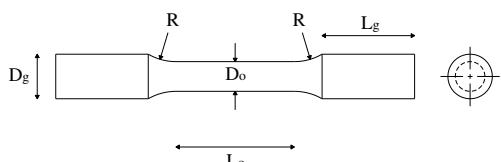


Gambar 2 Spesimen uji komposisi

Jumlah spesimen = 1 buah (sudah mewakili dari material ST 60 yang digunakan dalam tugas akhir ini, karena bahan dari uji tarik, uji puntir dan lentur putar sama).

Uji Lentur Putar

ASTM E-466
(Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Test of Metallic Material)



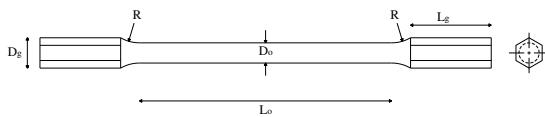
Gambar 3 Spesimen uji rotary bending standar ASTM E-466 (tanpa takik)

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)				
	D_o	L_o	R	D_g	L_g
ASTM E-466	8	32	15	12	25

Tabel 2 Dimensi spesimen uji tarik standar ASTM E-466 tanpa takik

Uji Puntir

ASTM E-143
(Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperatures)



Gambar 4 Spesimen uji puntir standar ASTM E-143 (tanpa takik)

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)				
	D_o	L_o	R	D_g	L_g
ASTM E-143	8	100	15	12	32

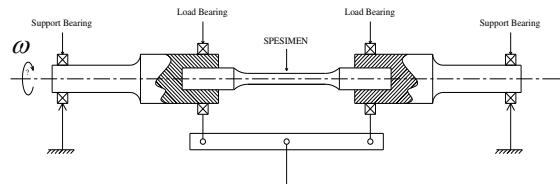
Tabel 3 Dimensi spesimen uji tarik standar ASTM E-143 tanpa takik

Keterangan :

Spesimen uji lentur putar dan puntir dibuat dalam dua kondisi, meliputi kondisi normal dan kondisi bertakik.

Gambar di atas menunjukkan spesimen dalam kondisi normal. Sedangkan dalam kondisi bertakik (asumsi cacat material), akan ditambahkan takik jenis U ditengah-tengah panjang ukur (L_o) dengan kedalaman 1 mm ($L_o = 6 \text{ mm}$) dan jari-jari kelengkungan takik (R_t) 2 mm. Jumlah spesimen masing-masing 7 buah.

Skema Pengujian Uji Lentur Putar



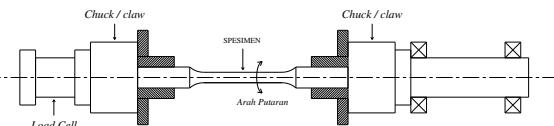
Gambar 5 Skema uji lentur putar

Keterangan :

Kondisi spesimen saat pengujian mengkondisikan poros baling-baling kapal yang diberi perlakuan beban bending karena pergeseran posisi bearing penyanga poros pada bagian tengah.

Mekanisme pembebaan spesimen pada saat pengujian ditentukan melalui perhitungan beban yang mengacu pada kekuatan tarik material dan dimensi spesimen.

Uji Puntir



Gambar 6 Skema uji puntir

Keterangan :

Untuk mengetahui kekuatan puntir material (baja ST 60) seperti pengujian di atas, maka material akan diberi beban puntir hingga mengalami patah. Dari kondisi itu kemudian baru dianalisa mengenai properties material yang diperlukan sebagai data dalam perancangan poros baling-baling kapal.

Hasil Pengujian

Uji Tarik

Setelah dilakukan perhitungan, maka hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Sps Uji	D_o	A_o	P_y	P_u	S_y	S_u
	(mm)	(mm ²)	(kg)	(kg)	(kg/mm ²)	(kg/mm ²)
Sps 1	7,95	49,66	2.280	3.600	45,91	72,49
Sps 2	8	50,29	2.360	3.620	46,93	71,98
Sps 3	7,95	49,66	2.200	3.560	44,3	71,69

Tabel 4 Hasil perhitungan kekuatan luluh dan kekuatan tarik spesimen

Untuk menganalisa kekuatan tarik material hasil uji tarik, perlu dilakukan konversi satuan dari (kg/mm²) menjadi (N/mm²). Hal ini diperlukan karena untuk perhitungan pengujian material berikutnya menggunakan satuan (N/mm² = MPa).

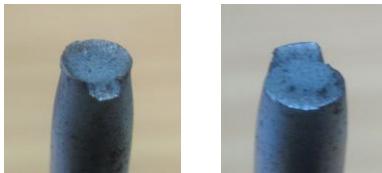
Hasilnya adalah sebagai berikut :

Spes Uji	Sy		Su	
	(kg/mm ²)	(N/mm ²)	(kg/mm ²)	(N/mm ²)
Spes 1	45,91	449,95	72,49	710,88
Spes 2	46,93	460,23	71,98	705,88
Spes 3	44,3	434,43	71,69	702,65
Hasil rata-rata		448,20		706,47

*) 1 kg (force) = 9,80665 N (newton)

Tabel 5 Hasil konversi satuan kekuatan luluh dan kekuatan tarik spesimen

Dari hasil uji tarik baja ST 60, diketahui bentuk penampang patahannya seperti gambar di bawah ini :



Gambar 7 Bentuk patahan uji tarik baja ST 60

Bila dilihat dari bentuk patahan yang terjadi akibat uji tarik, maka material baja ST 60 ini dapat diklasifikasikan sebagai baja karbon menengah (terjadi bentuk partial cup cone).

Kekuatan tarik (*tensile strength*) baja ST 60 dibandingkan dengan persyaratan BKI sebagai berikut :

Material	Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>)(MPa)		
	Umum	Standar BKI	Hasil Pengujian
Baja ST 60	600 - 720	400 - 800	706,47

Tabel 6 Perbandingan kekuatan tarik standar BKI dengan hasil pengujian

Jadi, material baja ST 60 yang digunakan dalam pengujian ini memenuhi standar BKI Volume III (*Rules For Machinery Installations*) 2006 (*Section 4*), yang mensyaratkan bahwa material untuk poros baling-baling kapal harus memiliki *tensile strength* antara 400-800 N/mm².

Uji Komposisi

Uji komposisi ini bertujuan untuk mendeteksi secara detail jenis dan kadar dari unsur-unsur kimia penyusun sebuah material. Sehingga dapat diketahui unsur-unsur apa saja dan berapa

besar jumlahnya yang terkandung dalam material baja ST 60.

Hasilnya sebagai berikut :

UNSUR	(%)
C	0,4730
Si	0,2742
S	0,0034
P	0,0014
Mn	0,7100
Ni	0,0089
Cr	0,0291
Mo	0,0022
Cu	0,0313

UNSUR	(%)
W	0,0009
Ti	0,0053
Sn	0,0340
Al	0,0130
Pb	0,0000
Ca	0,0016
Zn	0,0012
Fe	98,40

Tabel 7 Komposisi material baja ST 60

Sedangkan komposisi material yang disyaratkan BKI adalah :

Batas Komposisi Kimia Baja Karbon (%)	
Unsur Kimia	Standar BKI
C	Karbon
Mn	Mangan
Si	Silikon
P	Fosfor
S	Belerang

Tabel 8 Batas komposisi material baja karbon standar BKI

Apabila dibandingkan dengan hasil uji komposisi material baja ST 60 pada Tabel 7, maka dari kelima komposisi kimia yang dipersyaratkan BKI menunjukkan bahwa material baja ST 60 memenuhi persyaratan BKI Volume V "Rules for Materials" tahun 2001 *Section 5*, sebagai material/ bahan pembuatan poros baling-baling kapal (propeller shaft).

Uji Lentur Putar

Uji lentur putar merupakan salah satu dari pengujian lelah (*fatigue*) yang berfungsi untuk menganalisa/ mengetahui ketahanan lelah dari suatu bahan/ material. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pengujian ini adalah variabel-variabel sebagai berikut :

- Pemilihan jenis bahan/ material yang akan diuji.
- Dimensi dari benda uji (spesimen).
- Putaran spesimen/ benda uji.
- Pembebanan yang akan diberikan ketika di proses pengujian berlangsung.
- Perlakuan terhadap spesimen (panas/ heat treatment, pemberian takik sebagai pengkodisian cacat material,dll)

Dari beberapa pertimbangan di atas, maka telah ditentukan beberapa ketentuan yang akan dikondisikan dalam pengujian rotary bending. Yaitu sebagai berikut :

- Bahan yang dipilih merupakan baja karbon ST 60 dengan kekuatan tarik maksimum \pm 710 N/mm².

- Kapasitas mesin untuk memutar spesimen memiliki kecepatan 2850 rpm, atau dengan frekuensi 50 Hz.
- Besar beban yang akan digunakan bervariasi sesuai dengan perhitungan.
- Perlakuan khusus yang diberikan terhadap spesimen adalah dengan memberikan takik bentuk U (sebagai pembanding dengan spesimen yang tanpa takik), dimana fungsi takik ini adalah sebagai upaya untuk membuat konsentrasi tegangan di daerah takik. Hal ini dibuat untuk mengkondisikan/ asumsi cacat pada material poros sebelum dilakukan pengujian.

Data Hasil Uji Lentur Putar

Setelah selesai melakukan pengujian, maka diperoleh data-data sebagai berikut :

Tahap pertama :

Uji Rotary Bending Raw Material			
ST 60	Do (mm)	P (newton)	Siklus
Spesimen 1	7,95	140	1.179.900
Spesimen 2	7,95	150	561.700
Spesimen 3	7,98	160	197.700
Spesimen 4	7,94	170	160.900
Spesimen 5	7,95	180	107.600
Spesimen 6	7,95	190	27.700
Spesimen 7	7,92	200	25.000

Tabel 9 Hasil uji lentur putar (tanpa takik)

Tahap kedua :

Uji Rotary Bending dengan Takik U			
ST 60	Do (mm)	P (newton)	Siklus
Spesimen 1	5,83	70	10.700
Spesimen 2	5,90	60	13.600
Spesimen 3	5,87	50	21.000
Spesimen 4	5,84	40	32.000
Spesimen 5	5,90	30	38.200
Spesimen 6	5,90	20	91.400
Spesimen 7	5,90	10	19.700

Tabel 10 Hasil uji lentur putar (dengan takik)

Tahap-tahap analisa uji lentur putar :

1. Memperoleh jumlah siklus seluruh spesimen dari masing-masing pembebanannya dan kemudian dihitung tegangan bending yang terjadi selama pengujian.
2. Menggambar grafik hasil dari mempertemukan tegangan bending yang diterima dengan siklus yang dicapai dalam diagram S-N (Stress-Natural frequency).
3. Menganalisa karakteristik ketahanan lelah material dengan variabel variasi beban, konsentrasi tegangan (dengan dan tanpa takik), menganalisa foto makro penampang patah

KAPAL

Dari hasil pencatatan siklus, maka dapat digambar diagram S-N dengan terlebih dahulu menghitung/ mengkoversi besar beban masing-masing spesimen ke bentuk tegangan bending. Untuk itu digunakan persamaan dibawah ini :

$$P = \frac{2.M}{a} \text{ (Newton)}$$

Sedangkan nilai M sendiri dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$M = \frac{\sigma_a \cdot \pi \cdot d^3}{32} \text{ (N.mm)}$$

Sehingga nilai σ_a dapat dicari dengan mensubtitusikan persamaan diatas menjadi :

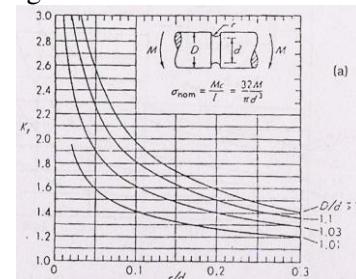
$$\sigma_a = \frac{16.P.a}{\pi \cdot d^3} \text{ (Mpa)}$$

Dengan menggunakan formula di atas, nilai tegangan dari masing-masing spesimen dapat dicari. Dan setelah dihitung menggunakan excel hasilnya adalah sebagai berikut :

Uji Rotary Bending Raw Material				
ST 60	Do (mm)	P (newton)	Siklus	Stress (Mpa)
Spesimen 1	7,95	140	1.179.900	283,95
Spesimen 2	7,95	150	561.700	304,24
Spesimen 3	7,98	160	197.700	320,87
Spesimen 4	7,94	170	160.900	346,10
Spesimen 5	7,95	180	107.600	365,08
Spesimen 6	7,95	190	27.700	385,37
Spesimen 7	7,92	200	25.000	410,27

Tabel 11 Hasil perhitungan uji lentur putar (tanpa takik)

Untuk mendapatkan nilai tegangan bending yang terkonsentrasi pada daerah takik, maka nilai tegangan (stress) yang dihitung menggunakan persamaan di atas harus dikalikan dulu dengan nilai K_t (faktor konsentrasi tegangan) yang didapatkan dari membaca grafik di bawah ini :



Gambar 8 Grafik K_t pada Momen Bending

Untuk mendapatkan nilai K_t dari grafik di atas, terlebih dahulu harus diketahui nilai (r/d) dan (D/d) . Perhitungannya sebagai berikut :

$$r = 2 \text{ mm}$$

$$D = 7,95 \text{ mm}$$

$$d = 5,90 \text{ mm}$$

maka,

$$r/d = 0,34$$

$$D/d = 1,35$$

Karena pada grafik nilai tersebut tidak tercantum, maka akan dicari dengan metode ekstrapolasi. Yaitu membentuk garis baru/ perpanjangan garis yang sudah ada dengan mengikuti trend dari grafik. Dan didapat nilai $K_t = 1,35$.

$$K_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_n}$$

σ_m = tegangan maksimum nyata (pada takikan)

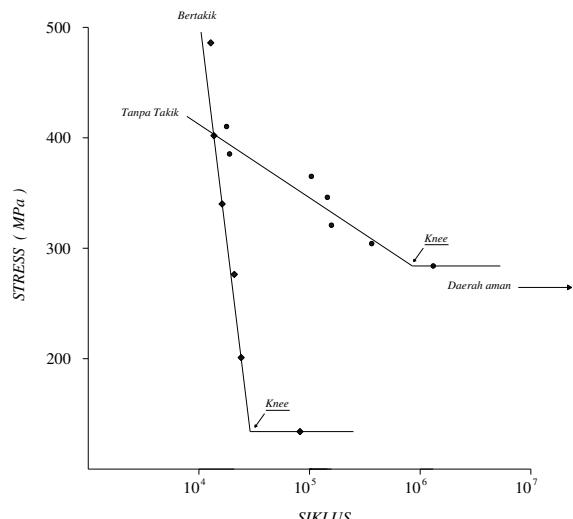
σ_n = tegangan maksimum nominal (digunakan jika tanpa takik)

Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

Uji Rotary Bending Material Bertakik U						
ST 60	Dt (mm)	P (N)	Siklus	σ (Mpa)	Kt	σ_u (Mpa)
Spes. 1	5,83	70	10.700	360,01	1,35	486,01
Spes. 2	5,90	60	13.600	297,73	1,35	401,93
Spes. 3	5,87	50	21.000	251,93	1,35	340,10
Spes. 4	5,84	40	32.000	204,66	1,35	276,30
Spes. 5	5,90	30	38.200	148,86	1,35	200,96
Spes. 6	5,90	20	91.400	99,24	1,35	133,98
Spes. 7	5,90	10	19.700	49,62	1,35	66,99

Tabel 12 Hasil perhitungan uji lentur putar (dengan takik)

Setelah didapatkan nilai *Stress* (S) dan *Natural Frequency* (N)/ siklus, diagram S-N dapat diplot dengan hasil dibawah ini :



Gambar 9 Diagram S-N hasil uji rotary bending

Telah diketahui dari hasil pengujian dan olah data sebelumnya bahwa besar pembebanan, kondisi material dan sifat ketahanan lelah material memiliki hubungan yang sangat erat.

Hubungannya dapat dijelaskan sebagai berikut :
 ➤ Setiap penambahan beban pada spesimen uji akan memperpendek siklus/ ketahanan lelah material.

- Penambahan beban berarti juga menambah tegangan pada spesimen, batas aman beban dapat diketahui dari perhitungan dan pengujian (diagram S-N) berada pada daerah beban < 140 N atau tegangan $< 283,95$ Mpa.
- Kondisi material yang diasumsikan cacat dengan diberi takik, juga akan mempercepat terjadinya kegagalan lelah.
- Pada poin nomor 3 disebabkan karena konsentrasi tegangan yang terpusat pada daerah takik, dimana besar tegangan yang timbul di daerah tersebut sebesar 1,35 kali dari tegangan merata.

Untuk memberikan analisa yang lebih mendetail, maka akan diuraikan juga analisa mengenai penampang patahan yang terjadi pada spesimen. Hal ini dapat dijadikan sebagai data tambahan untuk menarik kesimpulan akhir dari uji lentur putar.

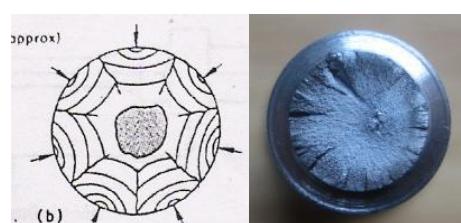
Penampang patahan memiliki 3 daerah utama :

1. Awal retak (inti fatigue)
2. Daerah perambatan retak (beach mark)
3. Daerah patah statis (patah ultimate)



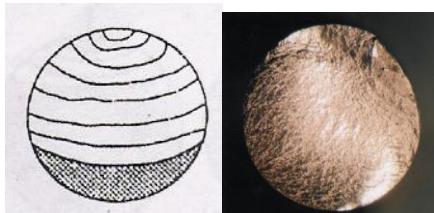
Gambar 10 Daerah patahan spesimen uji rotary bending

Daerah patah statis pada spesimen bertakik terjadi di tengah penampang akibat konsentrasi tegangan. Pola patahan yang terjadi adalah pola radial.



Gambar 11 Pola patahan radial spesimen uji rotary bending bertakik

Sedangkan pada spesimen tidak bertakik, pola yang terjadi adalah :



Gambar 12 Pola patahan spesimen uji rotary bending tak bertakik

Pengurangan beban atau tegangan akan membuat garis pantai semakin rapat dan halus. Spesimen tidak bertakik :



Beban 200 N



Beban 140 N

Spesimen bertakik :



Beban 70 N



Beban 10 N

Gambar 13 Perbandingan pola patahan akibat pengurangan beban

Pada spesimen bertakik, penampang patahan yang terjadi saat beban dikurangi menunjukkan permukaan/ pola yang semakin kasar. Hal ini disebabkan karena getaran berlebih pada mesin uji akibat beban yang diberikan terlalu kecil.

Uji Puntir

Uji Puntir merupakan salah satu jenis pengujian material dengan sifat merusak (*destructive test*). Tujuannya adalah untuk mengetahui sifat material berupa kekuatan puntir setelah menerima tegangan puntir.

Pengkondisian yang ditentukan terhadap benda uji/ spesimen adalah dengan membuat dua jenis kondisi material seperti halnya uji rotary bending sebelumnya. Yaitu kondisi spesimen tanpa takik dan dengan diberi takik jenis U (sebagai asumsi poros mengalami cacat, bisa akibat aus, awal retak, dsb).

Setelah selesai melakukan pengujian seperti di atas, maka diperoleh data-data pengujian sebagai berikut :

Tahap pertama :

Sudut	Uji Puntir Tanpa Takik					
	Momen Puntir/ Torsi (N.m)					Rata-rata
	Spes. 1	Spes. 2	Spes. 3	Spes. 4	Spes. 5	
10	2,20	1,66	1,88	1,54	2,10	1,88
20	3,60	3,45	3,36	3,18	3,18	3,35
30	4,75	4,22	4,70	4,56	4,66	4,58
40	4,80	4,34	4,80	4,78	4,98	4,74
50	4,90	4,38	4,90	4,84	5,10	4,82
60	4,96	4,44	5,00	4,88	5,14	4,88
70	5,10	4,58	5,10	4,94	5,36	5,02
80	5,34	4,80	5,30	5,14	5,56	5,23
90	5,54	5,04	5,54	5,40	5,74	5,45
100	5,82	5,25	5,72	5,54	5,80	5,63
110	5,96	5,40	5,90	5,72	5,92	5,78
120	6,00	5,66	6,20	6,02	6,20	6,02
sudut maks.	1590	1350	1620	1765	1645	1594

Tabel 13 Hasil uji puntir (tanpa takik)

Tahap kedua :

Sudut	Uji Puntir dengan Takik					
	Momen Puntir/ Torsi (N.m)					Rata-rata
	Spes. 1	Spes. 2	Spes. 3	Spes. 4	Spes. 5	
10	1,74	1,76	1,56	1,56	1,50	1,62
20	2,90	3,06	2,62	2,78	2,68	2,81
30	3,76	3,80	3,40	3,66	3,50	3,62
40	4,20	4,16	3,64	3,80	3,92	3,94
sudut maks.	4,22	4,26	3,82	4,00	4,00	4,06
	50	50	42	43	51	47

Tabel 14 Hasil uji puntir (dengan takik)

Untuk mendapatkan analisa dari hasil pengujian di atas, ada beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum mengetahui kecenderungan karakteristik material baja ST 60.

Tahap-tahap analisa uji puntir :

1. Memperoleh nilai kekuatan puntir (tegangan geser) maksimum material baja ST 60 dari tiap-tiap kondisi spesimen.
2. Menganalisa karakteristik kekuatan puntir material dengan variabel konsentrasi tegangan akibat takik.
3. Menganalisa foto makro penampang patah

Untuk mendapatkan nilai tegangan geser maksimum pada kondisi tanpa takik dihitung hingga sudut 120° . Dan persamaan yang digunakan adalah :

$$\frac{T_{mak}}{J} = \frac{\tau_g}{r}$$

Adapun untuk momen inersia polar (J) adalah:

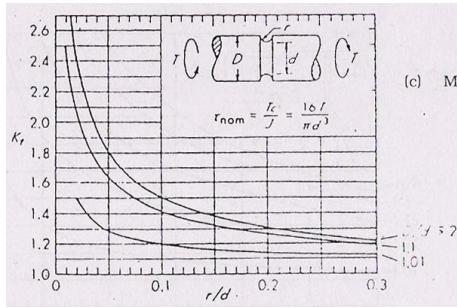
$$J = \left(\frac{\pi}{32} \right) d^4$$

Sehingga tegangan geser maksimumnya adalah sebagai berikut :

$$\tau_g = \frac{16 \cdot T_{mak}}{\pi \cdot d^3}$$

Nilai T_{mak} yang diketahui dari pengujian tahap kedua merupakan nilai momen nyata yang berada di daerah takikan. Maka untuk menghitung nilai momen nominal (perhitungan

terhadap poros tanpa takik) digunakan nilai K_t untuk momen puntir dari membaca grafik di bawah ini :



Gambar 14 Grafik K_t pada Momen Puntir

Untuk mendapatkan nilai K_t dari grafik di atas, terlebih dahulu harus diketahui nilai (r/d) dan (D/d) . Perhitungannya sebagai berikut :

$$r = 2 \text{ mm}$$

$$D = 7,95 \text{ mm}$$

$$d = 5,98 \text{ mm}$$

maka,

$$r/d = 0,34$$

$$D/d = 1,33$$

Karena pada grafik nilai tersebut tidak tercantum, maka akan dicari dengan metode ekstrapolasi. Yaitu membentuk garis baru/ perpanjangan garis yang sudah ada dengan mengikuti *trend* dari grafik. Dan didapat nilai $K_t = 1,2$.

$$K_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_n}$$

σ_m = tegangan maksimum nyata (pada takikan)

σ_n = tegangan maksimum nominal (digunakan jika tanpa takik)

Setelah nilai K_t diketahui, maka dengan menggunakan persamaan (iv.13) dapat dihitung nilai σ_m . Dengan bantuan program *Microsoft Excel* hasilnya dapat diketahui dalam tabel di bawah ini :

Sudut	Torsi maks.	Teg. Geser maks. (Mpa)	
	(N.mm)	nyata/ real	nominal
47 (sudut maks)	4060	96,74	80,62

Tabel 15 Nilai tegangan geser pada spesimen bertakik

Apabila menggunakan data hasil dari uji puntir, maka tegangan geser spesimen tanpa takik yang dapat diketahui adalah :

Sudut	Torsi maks.	Teg. Geser
	(N.mm)	(Mpa)
120 (kaps. mesin)	6020	143,44

Tabel 16 Nilai tegangan geser pada spesimen tidak bertakik

Telah diketahui dari hasil pengujian dan olah data sebelumnya bahwa pengkondisian material dengan pemberian takik sangat berpengaruh terhadap kekuatan material. Analisanya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Kekuatan puntir material ditunjukkan dengan nilai tegangan gesernya. Hasil perhitungan data didapatkan nilai di bawah ini :

Spesimen	Sudut	Kekuatan Puntir (Mpa)
tidak bertakik	120	143,44
bertakik	47	80,62

Tabel 17 Perbandingan kekuatan puntir material

Jadi, kondisi material yang diasumsikan cacat dengan diberi takik akan mempercepat terjadinya kegagalan material akibat puntiran.

2. Konsentrasi tegangan yang terpusat pada daerah takik, memiliki nilai sebesar 1,2 kali dari tegangan merata.
3. Melihat sudut puntir maksimum rata-rata pada spesimen tanpa takik sebesar 1594° atau sekitar 4 putaran puntir lebih, maka dapat disimpulkan bahwa material mempunyai sifat ulet (*ductile*).

Beberapa informasi yang dapat diketahui dari foto adalah :

1. Dari penampang patahan (acuan spesimen tanpa takik) diketahui material bersifat ulet, karena garis pantai panjang (bentuk melingkar). Hal ini menandakan material mampu menerima beban sudut yang besar.
2. Perbandingan kedua kondisi spesimen memiliki ciri khusus pada daerah kulit dan daerah geser



Ket : Gambar (a) spesimen tanpa takik, (b) bertakik

Gambar 15 Perbandingan foto penampang patahan spesimen uji puntir

Pada daerah 1 a, 3 a, 1 b dan 3 b merupakan daerah geser bahan yang terletak dari daerah patahan statis (2a dan 2b) kemudian menyebar mendekati daerah kulit. Beberapa hal yang membedakannya adalah :

- Spesimen tidak bertakik (a) memiliki garis pantai yang lebih panjang dan halus dibandingkan pada spesimen bertakik (b).
- Spesimen (a) juga memiliki motif seperti bulatan-bulatan pada daerah kulit, sedangkan daerah (b) hanya memiliki garis pantai saja.
- Kedua hal di atas disebabkan oleh beban sudut yang ditanggung spesimen (a) jauh lebih besar dari pada (b), yaitu sekitar 34 kali lebih banyak.

KESIMPULAN

1. **Uji Tarik (Tension Test)**

Kekuatan tarik baja ST 60 dalam pengujian ini adalah 706,47 Mpa dan memenuhi persyaratan BKI sebagai bahan/ material untuk poros baling-baling kapal.

2. **Uji Komposisi (Composition Test)**

Baja ST 60 ini dikategorikan sebagai jenis baja karbon sedang yang memiliki komposisi kimia memenuhi persyaratan BKI yaitu : C (0,473%), Mn (0,71%), Si (0,274%), P (0,0014%) dan S (0,0034%).

3. **Uji Lentur Putar (Rotary Bending Test)**

- Material yang diberi penambahan beban akan menyebabkan terjadinya penurunan ketahanan lelah pada spesimen.
- Pemberian takik/ asumsi cacat material pada spesimen, akan mempercepat terjadinya kegagalan lelah. Tegangan *bending* yang terjadi pada daerah takik (*K_t*) bernilai 1,35 kali dari tegangan nominal (beban merata).
- Daerah aman perancangan berada pada tegangan *bending* $< 283,95$ Mpa.
- Penampang patahan memiliki 3 daerah utama :
 - ✓ Awal retak (*inti fatigue*)
 - ✓ Daerah perambatan retak (*beach mark*)
 - ✓ Daerah patah statis (*patah ultimate*)
- Daerah patah statis pada spesimen bertakik terjadi di tengah penampang akibat konsentrasi tegangan.
- Pengurangan beban atau tegangan akan membuat garis pantai semakin rapat dan halus.
- Dalam pengujian ini, pola patahan terjadi karena pengaruh :
 - ✓ Arah beban

- ✓ Besar beban
- ✓ Takik (konsentrasi tegangan)
- ✓ Getaran mesin

4. **Uji Puntir (Torsion Test)**

- Material mengalami penurunan kekuatan puntir ketika memiliki takik (cacat mekanis).
- Konsentrasi tegangan yang terpusat pada daerah takik, memiliki nilai sebesar 1,2 kali dari tegangan merata.
- Material baja ST 60 dalam uji puntir ini mempunyai sifat ulet (*ductile*).
- Beban sudut yang mampu diterima oleh spesimen tanpa takik besarnya mencapai hampir 34 kali lebih besar dari spesimen bertakik ($1594^0 : 47^0$).
- Pola patahan yang terjadi pada uji tahap pertama (tanpa takik) memiliki garis pantai yang lebih halus dan panjang, dibandingkan spesimen bertakik yang berbentuk pendek dan kasar.
- Dalam pengujian ini, pola patahan terjadi karena pengaruh :
 - ✓ Besar sudut
 - ✓ Konsentrasi tegangan (takik)

DAFTAR PUSTAKA

Anonimous, 1984, “*Annual Book of ASTM Standart, Volume 03.01. Metal-Mechanical-Testing; Elevated and Low-Temperature*” America Standart Material Hand Book; Race Street, Philadelphia.

Biro Klasifikasi Indonesia, 2006, “*Rules for Machinery Installations, Vol.III*”.

Biro Klasifikasi Indonesia, 2001, “*Rules for Materials, Volume V*”.

Budiman, Anton dan Bambang P, 1999, “*Elemen Mesin Jilid I Disain dan Kalkulasi dari Sambungan, Bantalan dan Poros*”, Erlangga, Ciracas, Jakarta.

Callister Jr, W.D, 1994, “*Material Science and Engineering*”, John Willey and Sons, Inc, New York.

Collins, J.A, 1981, “*Failure of Material in Mechanical Design*”, John Willey and Sons, Inc, New York.

Fajar, Satria, 2004, “*Jurnal : Pengaruh Pengkombinasian Besar Beban Impak Terhadap Kekuatan Lelah Spesimen Pada Beban Lentur Putar (Rotary Bending)*”, Undip Semarang.

Fuch, H.O and Stephens, R.I, 1987, “*Metal Fatigue in Engineering*”, John Willey and Sons, Inc, New York.

Gere, J.M and Timoshenko, 1984, “*Mechanic of Material*”, edisi terjemahan oleh Bambang S. ,Erlangga, Bandung.

Harjanto, Agus Sri, 2005, “*Jurnal : Rancang Bangun Alat Uji Puntir Statis dan Uji Fatik dengan Beban Torsi*”, Undip Semarang.

Popov, E.P, 1995, “*Mechanic of Material*”, edisi terjemahan oleh Zainul,A.T, Erlangga, Ciracas, Jakarta.

Priyoko, Nanang A, 2005, “*Jurnal : Pengaruh Pengkombinasian Frekuensi Beban Impak Terhadap Kekuatan Lelah Spesimen Pada Beban Lentur Putar (Rotary Bending)*”, Undip Semarang.

Timoshenko, S, 1976, “*Strength of Materials Part II*”, Robert E. Krieger Publishing Co, New York.

Totok Surdia, Saito S, 1992, “*Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan Kedua*” PT Pradna Paramita, Jakarta.