

PENGARUH PROSES/METODE PENGECORAN TERHADAP SIFAT-SIFAT MEKANIS PADA BALING-BALING (*PROPELLER*) MOTOR TEMPEL (KETEK)

Siproni Umar

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl.Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139
Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211

RINGKASAN

Proses pembuatan baling-baling dapat dilakukan dengan pengecoran atau penuangan, bisa pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir (*sand casting*) atau pengecoran dengan cetakan logam (*die casting*). Bahan yang digunakan untuk membuat baling-baling biasanya ada 2 (dua) yaitu aluminium atau kuningan, yang masing-masing mempunyai kekurangan dan kelebihan. Untuk mengetahui pengaruh proses pengecoran terhadap sifat-sifat mekanis yang dihasilkannya, terutama kekerasan dan laju perambatan retak, maka penelitian ini dilakukan. Sampel yang digunakan untuk penelitian ini adalah baling-baling yang berdiameter 20" (= 51 cm) sebanyak 2 (dua) buah yang terbuat dari aluminium, dan 2 buah lagi terbuat dari kuningan. Bahan aluminium dan kuningan yang digunakan adalah bahan limbah rumah tangga. Dari tiap-tiap baling-baling kemudian dipotong-potong sehingga didapat 3 (enam) buah spesimen untuk uji tarik statis dan 3 buah spesimen uji perambatan retak, serta beberapa spesimen untuk uji kekerasan, sehingga jumlah spesimen total sebanyak 12 buah untuk uji tarik statis dan 12 buah untuk uji perambatan retak. Penelitian dilakukan di Laboratorim Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya dan Laboratorium Mekanika Bahan Jurusan Teknik Mesin FT-UGM. Dari hasil analisa yang dilakukan ternyata proses/metode pengecoran sangat berpengaruh terhadap kekerasan baling-baling tersebut. Untuk baling-baling yang terbuat dari aluminium maka peningkatan kekerasannya sebesar 38%, sedangkan yang terbuat dari kuningan mengalami peningkatan kekerasan sebesar 42%. Demikian juga proses/metode pengecoran meningkatkan laju perambatan retak dari baling-baling tersebut. Peningkatan yang terjadi pada baling-baling yang terbuat dari kuningan adalah sebesar 29%, sedangkan peningkatan laju perambatan retak pada baling-baling aluminium tidak terlalu signifikan, yaitu hanya sebesar 16%.

Kata kunci : Metode pengecoran, *Propeller* dan Kekerasan

PENDAHULUAN

Motor tempel merupakan alat transportasi air yang sangat penting di daerah Sumatera Selatan, khususnya Palembang. Di antara sekian komponen yang ada pada motor tempel adalah baling-baling (*propeller*), karena dengan menggunakan baling-baling inilah maka motor tempel akan dapat bergerak, bahkan melaju dengan kecepatan yang tinggi.

Kebanyakan baling-baling (*propeller*) yang digunakan sebagai penggerak motor tempel dibuat dari bahan kuningan (*brass*) atau paduan aluminium (*aluminum alloy*), yang masing-masing mempunyai kekurangan dan kelebihan. Kuningan mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dari pada aluminium, akan tetapi kuningan mempunyai kekuatan yang lebih besar bila dibandingkan dengan aluminium. Tetapi keduanya

mempunyai kesamaan yaitu anti korosi dan mudah dituang/dicor.

Proses pengecoran pada baling-baling dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara/metode, yaitu pengecoran dengan menggunakan cetakan yang terbuat dari pasir (*sand casting*) dan dengan menggunakan cetakan yang terbuat dari logam (*die casting*). Dari kedua metode di atas, metode *sand casting* paling banyak digunakan, oleh karena proses pembuatan cetakan yang mudah dan murah. Sedangkan metode *die casting* jarang digunakan, oleh karena proses pembuatan cetakan yang rumit.

Di kota Palembang, pembuatan baling-baling (*propeller*) banyak dikerjakan oleh industri kecil dengan kapasitas yang masih rendah dan tidak kontinyu. Hal ini disebabkan oleh karena terbatasnya kemampuan dan juga modal. Dari beberapa industri kecil pembuat baling-baling, maka kebanyakan proses pengecoran yang dilakukan dengan menggunakan metode *sand casting*. Sedangkan metode *die casting* digunakan hanya apabila ada pesanan khusus.

Proses pengecoran dengan metode *sand casting* biasanya menghasilkan benda kerja yang kurang baik, misalnya permukaan kasar dan sering terjadi keropos. Hal ini disebabkan oleh karena sifat pasir cetak yang kasar dan mengandung air. Sedangkan pada *die casting*, kemungkinan di atas tidak akan terjadi, oleh karena permukaan cetakan yang halus dan cetakan tidak mungkin mengandung air.

Dengan hasil yang demikian tadi maka sifat-sifat mekanis pada baling-baling juga akan berbeda. Diantara beberapa sifat mekanis yang penting adalah kekerasan (*hardness*) dan laju perambatan retak (*crack growth rate*). Kekerasan sangat diperlukan pada baling-baling oleh karena untuk

mempertahankan keausan dari gesekan-gesekan dengan air atau partikel lain. Sedangkan sifat perambatan retak juga diperlukan oleh karena untuk memperlambat terjadinya retak/patah akibat adanya tumbukan dengan benda lain. Oleh karena itu penting sekali untuk mengetahui seberapa besar pengaruh proses pengecoran terhadap sifat-sifat mekanis tadi.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai baling-baling (*propeller*) motor tempel (ketek) jarang sekali dilakukan. Akan tetapi penelitian mengenai bahan baling-baling, yaitu kuningan dan aluminium paduan yang ada hubungannya dengan perambatan retak banyak dilakukan, diantaranya yaitu Inchekel dan Talia (1994). Mereka melakukan penelitian mengenai pengaruh kekasaran permukaan terhadap perambatan retak fatik pada paduan aluminium. Kekasaran dianggap sebagai goresan-goresan yang sangat kecil dan banyak.. Dengan menggunakan 3 parameter, yaitu kedalaman goresan, lebar goresan dan sudut goresan, didapat hasil bahwa semakin dalam goresan maka semakin cepat perambatan retaknya, sehingga umur fatiknya semakin berkurang.

Kemudian Colangelo dan Heiser (1989) menyatakan bahwa terdapat 4 faktor yang mempengaruhi perambatan retak fatik suatu logam/komponen, yaitu : (a) konsentrasi tegangan, (b) ukuran komponen, (c) kekasaran permukaan, dan (d) tegangan kerja rata-rata. Jadi jelas bahwa kekasaran permukaan akan mempengaruhi sifat mekanis suatu logam. Bahkan pada nilai tertentu, kekasaran permukaan akan menurunkan umur fatik hampir 50%nya (Gungor dan Edwards, 1993). Selain itu juga Gungor menemukan bahwa spesimen yang permukaannya halus bisa mencapai tegangan kerja 100 MPa, sedang yang permukaannya

kasar hanya mencapai tegangan kerja 80 MPa.

LANDASAN TEORI

Baling-baling (*propeller*) merupakan komponen yang sangat penting pada sebuah motor tempel (ketek). Oleh karena dengan baling-baling yang diputar dengan sebuah motor penggerak, maka motor tempel (ketek) dapat bergerak dengan kecepatan yang tinggi. Bentuk baling-baling yang digunakan pada motor tempel hampir sama dengan kipas angin, yaitu terdiri dari 3 sudu (*impeler*) yang menempel pada sebuah poros dengan membentuk sudut tertentu (lihat gambar 2.1). Bahan yang biasa digunakan untuk membuat baling-baling ini adalah kuningan (*brass*) atau paduan aluminium (*aluminum alloy*), karena kedua bahan inilah yang paling mudah dicor dan relatif tahan terhadap korosi.



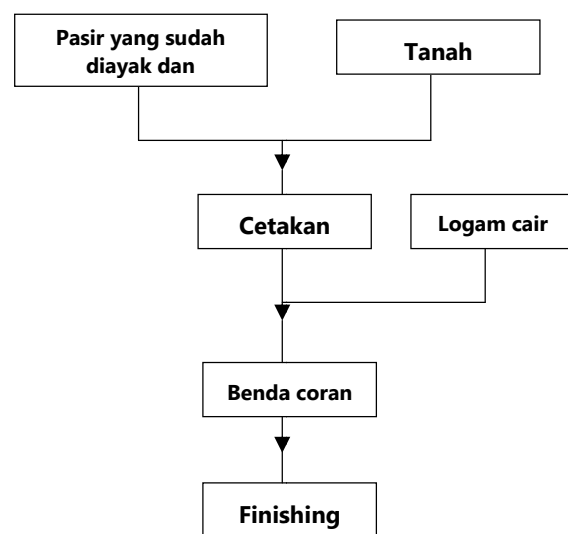
Gambar 2.1. Bentuk baling-baling (*propeller*) motor tempel

Kuningan merupakan logam paduan non-ferro dari tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan kadar antara 60 – 90% Cu dan 10 – 40% Zn, serta sedikit unsur-unsur lain, seperti mangan (Mn), silikon (Si), dan timah hitam (Pb). Kuningan mempunyai banyak kegunaan, dari mulai komponen mesin sampai dengan perabotan rumah tangga. Hal tersebut disebabkan karena kuningan mempunyai sifat-sifat yang cukup baik, antara lain : (a) mempunyai kekerasan dan kekuatan tarik yang cukup, (b) mudah dituang/dicor, bahkan untuk benda-benda yang tipis, (c) warna yang

menarik, dan (d) merupakan konduktor listrik ataupun panas yang cukup baik (Tata Surdia, 1992).

Kuningan yang digunakan sebagai bahan baling-baling motor tempel atau kapal laut adalah yang mempunyai kadar 60% Cu – 39%Zn – 1% Sn (Smith, 1993). Dengan kadar kandungan seperti tersebut maka kuningan sangat mudah dituang/dicor, dan juga mempunyai kekuatan yang cukup baik. Sedangkan bahan aluminium yang sering digunakan dalam pembuatan baling-baling motor tempel adalah paduan aluminium seri 2xxx, yaitu dengan kadar campuran 4%Cu – 1,5%Mn – 2,0%Ni (Smith, 1993). Selain ketahanan korosinya bertambah dengan adanya penambahan unsur Ni, juga kekuatannya bertambah dengan adanya unsur Cu dan Mn.

Proses pengecoran yang sering dilakukan untuk kedua bahan di atas adalah dengan menggunakan cetakan pasir (*sand casting*). Proses pengecoran dengan metode ini mempunyai tahapan-tahapan seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bagan proses pengecoran dengan metode *sand casting*

Dari bagan tersebut dapat diketahui bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi proses pengecoran adalah kualitas pasir cetak yang digunakan. Apabila pasir terlalu kasar maka permukaan benda coran yang dihasilkan juga akan kasar, yang mana hal ini kurang diinginkan dalam proses pengecoran. Tetapi kalau pasir terlalu halus, maka proses pelepasan udara tidak baik/lancar sehingga kemungkinan keropos pada permukaan benda coran akan semakin besar.

Untuk proses pengecoran *dies casting*, maka cetakan yang digunakan bukan terbuat dari pasir, akan tetapi terbuat dari logam yang mempunyai titik lebur yang lebih tinggi dari logam yang akan dicor. Bila bahan coran adalah kuningan atau aluminium, maka bahan cetakan bisa berupa besi tuang. Kelebihan dari proses ini adalah permukaan benda coran yang dihasilkan akan semakin halus. Tetapi kekurangan dari proses ini adalah bahwa sebelum dilakukan pengecoran maka cetakan harus dipanaskan terlebih dahulu, agar logam cair yang dituangkan dalam cetakan tidak langsung membeku.

Salah satu sifat mekanis yang harus dimiliki oleh baling-baling (*propeller*) adalah kekerasan (*hardness*). Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk menerima deformasi plastis, dan sangat dipengaruhi oleh : (a) jenis ikatan antar atom pembentuknya, (b) unsur paduan, dan (c) proses pendinginan yang terjadi (Jastrzebsky, 1981). Kekerasan bisa diukur/diuji dengan berbagai metode/cara, misalnya Brinell, Rockwell, ataupun Vickers. Angka kekerasan Brinell (BHN) suatu bahan dapat dirumuskan sebagai :

$$BHN = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \dots\dots (1)$$

dimana :

BHN = angka kekerasan Brinell (kgf/mm²)

F = beban yang digunakan (kgf)

D = diameter indenter

d = diameter cekungan hasil penekanan (mm)

Kemudian sifat mekanis yang lain yang diperlukan pada baling-baling adalah laju perambatan retak (*crack growth rate*). Laju perambatan retak merupakan sifat yang dimiliki oleh suatu bahan untuk mempertahankan retak awalnya agar tidak melebar/memanjang apabila mendapat beban dinamis. Teori mengenai perambatan retak dapat dijelaskan dengan menggunakan mekanika perpatahan (*fracture mechanics*) (Broek, 1986).

Bila sebuah plat mempunyai retak seperti pada gambar 3 di bawah, maka pada ujung retak akan terjadi faktor intensitas tegangan yang besarnya bisa dirumuskan sebagai :

$$K = Y \sigma \sqrt{2\pi a} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

Y = faktor yang besarnya tergantung pada bentuk retak, untuk retak seperti pada gambar 2.3 maka :

$$Y = \left(\sec \frac{\pi a}{W} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3)$$

σ = tegangan yang bekerja pada plat
 a = panjang retak, dan W = lebar plat



Gambar 2.3. Bentuk retak di tengah plat (*trough-thickness centre crack*)

Dari persamaan (2) di atas dapat dilihat bahwa apabila σ bertambah, maka nilai K juga bertambah. Apabila nilai K tersebut sudah melebihi batas harga K yang dimiliki oleh bahan (K_C), maka perambatan retak akan terjadi (a bertambah), dan akhirnya putus/patah. Bisa juga nilai K yang terjadi masih di bawah harga K_C , tetapi oleh karena tegangan yang bekerja berfluktuasi (dinamis), maka perambatan retak juga akan terjadi, yang sering disebut perambatan retak fatik.

Misalnya perambatan retak fatik terjadi setelah bahan mendapat beban dinamis sebanyak N kali, maka besarnya laju perambatan retak, yang disimbolkan sebagai da/dN , merupakan fungsi dari perubahan faktor intensitas tegangan (ΔK) dan perbandingan antara K_{maks} dan K_{min} ($= R$). Secara matematis dapat dirumuskan bahwa :

$$da/dN = f(\Delta K, R) \dots\dots\dots(4)$$

Biasanya pengujian perambatan retak dilakukan dalam keadaan R yang konstan, sehingga bentuk persamaan (3) menjadi :

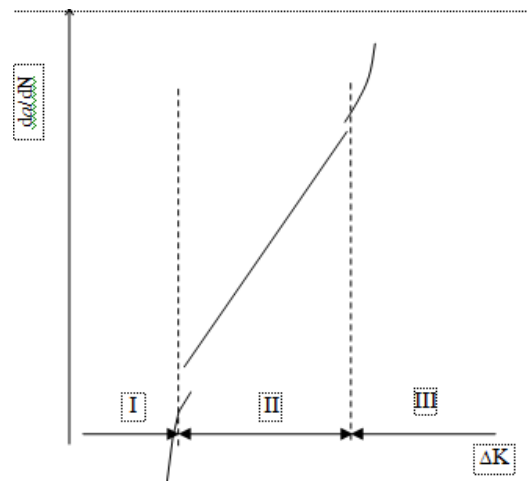
$$da/dN = f(\Delta K)_R \dots\dots\dots(5)$$

Menurut Paris (Broek, 1986), hubungan/fungsi tersebut di atas dinyatakan sebagai :

$$da/dN = C (\Delta K)^n \dots\dots\dots(6)$$

dimana :
 da/dN = laju permbatan retak (m/siklus)
 C dan n = faktor yang besarnya tergantung pada kondisi bahan

Pengujian perambatan retak fatik biasanya dilakukan pada mesin servopulser hidrolik, yang sebelumnya spesimen (benda uji) diberi retak awal terlebih dahulu. Oleh karena pengujian ini dilakukan pada beban/tegangan yang berfluktuasi/berubah-ubah, maka penentuan harga *stress ratio* (perbandingan antara tegangan minimum dan maksimum) adalah sangat penting. Selain itu juga harga *stress level* (perbandingan antara tegangan maksimum pada pengujian dengan tegangan luluh bahan) harus diperhatikan. Apabila harga *stress ratio* dan *stress level* yang digunakan tepat, maka akan didapat grafik (dalam sumbu log-log) seperti pada gambar 2.4 di bawah.



Gambar 2.4. Grafik uji perambatan retak fatik

Bila diamati maka grafik di atas bisa dibagi menjadi 3 daerah (*region*), yaitu daerah I menunjukkan harga ambang (*threshold*) dari ΔK . Di bawah daerah ini maka perambatan retak tidak bisa diamati, walaupun dengan ΔK yang cukup besar. Kemudian daerah II menunjukkan hubungan Paris seperti dinyatakan dalam persamaan (5). Posisi grafik sangat dipengaruhi oleh nilai C dan n . Apabila nilai C semakin

besar maka posisi grafik akan semakin naik, dan sebaliknya. Nilai C sangat tergantung pada : (a) modulus elastisitas bahan (E), (b) tegangan luluh, dan (c) faktor intensitas tegangan kritis (K_C) (Colangelo, 1984). Sedangkan kemiringan (*slope*) grafik sangat dipengaruhi oleh n. Apabila n semakin besar maka grafik akan semakin tegak, dan sebaliknya. Nilai n sangat tergantung pada : (a) arah butiran (*grain orientation*), (b) tegangan luluh, (c) ketebalan benda, dan (d) kekasaran permukaan. Jadi bisa disimpulkan bahwa semakin kasar permukaan maka nilai n akan semakin besar, yang artinya laju perambatan retak akan semakin cepat pula. Demikian pula semakin keras bahan maka semakin besar tegangan luluhnya, sehingga akan mempercepat laju perambatan retaknya.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Baling-baling motor tempel (ketek) dengan ukuran diameter 20" yang terbuat dari aluminium sebanyak 2 buah, 1 buah dicor dengan menggunakan cetakan pasir/tanah liat (*sand casting*), dan 1 buah lagi dicor dengan menggunakan cetakan logam (*die casting*). Logam aluminium yang digunakan berasal dari aluminium bekas (*scrab*) limbah rumah tangga.
2. Baling-baling motor tempel (ketek) dengan ukuran diameter 20" yang terbuat dari kuningan sebanyak 2 buah, 1 buah dicor dengan menggunakan cetakan pasir, dan 1 buah lagi dicor dengan menggunakan cetakan logam. Logam kuningan yang digunakan juga berasal dari kuningan bekas limbah rumah tangga.

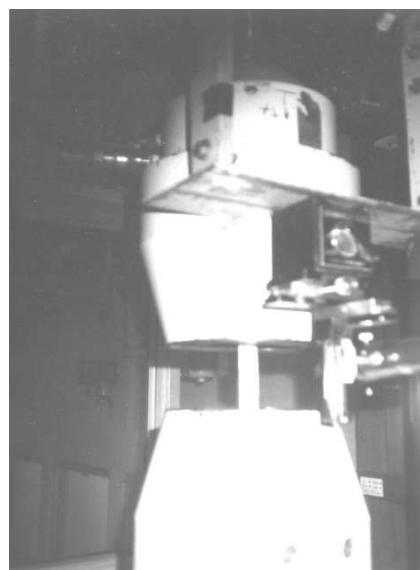
Alat yang Digunakan

1. Untuk membuat spesimen
 - a. Jangka sorong
 - b. Gergaji tangan
 - c. Mesin frais (*milling machine*)

- d. *Wire cutting machine* (mesin yang digunakan untuk membuat retak awal)
2. Untuk mengambil data
 - a. *Universal Hardness Tester*
Alat/mesin ini digunakan untuk melakukan pengukuran kekerasan. Alat/mesin yang digunakan mempunyai merek KARL FRANK Gmbh buatan Austria, dengan spesifikasi :
Type : 38505
Beban : 15 kg, 30 kg, 62,5 kg, 100 kg, 125 kg, 150 kg, dan 200 kg
Indentor : Bola baja \varnothing 2,5 mm dan 5 mm, serta kerucut intan.
 - b. *Servopulser hydraulics machine*

Alat/mesin ini digunakan untuk melakukan uji tarik statis ataupun uji perambatan retak. Alat yang digunakan mempunyai merek SHIMADZU buatan Jepang dengan spesifikasi :
Type : EHF – EB 20
Kapasitas : 20 ton (beban dinamis) dan 30 ton (beban statis).
Type load-cell : SFL-20-350

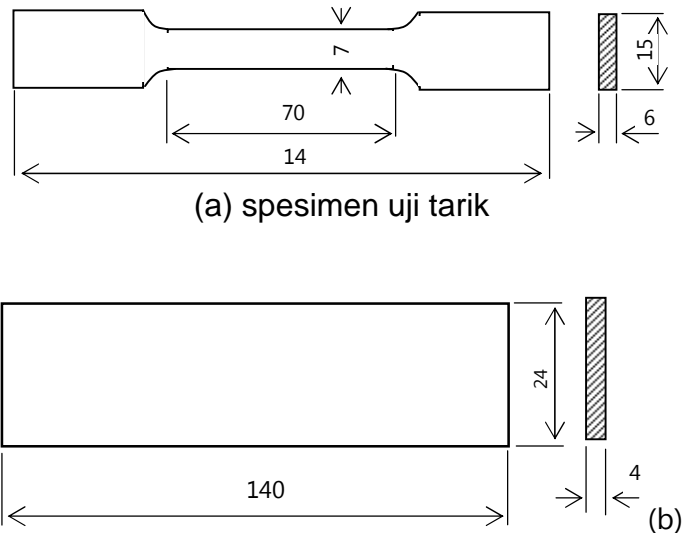
- a. Frekuensi : 0,01 – 110 Hz



Gambar 3.1. Mesin seropulser hidraulik

PROSEDUR PENELITIAN

1. Masing-masing baling-baling dipotong sudu (*impeller*)-nya hingga didapat 12 potong, 6 potong sudu baling-baling aluminium dan 6 potong sudu baling-baling kuningan.
2. Kemudian tiap-tiap potongan sudu tersebut dibelah menjadi 2 bagian, satu bagian untuk dibuat menjadi spesimen uji tarik dan satunya lagi untuk dibuat menjadi spesimen uji perambatan retak, dan sisanya untuk uji kekerasan.
3. Masing-masing bagian diratakan dengan menggunakan mesin frais (*milling machine*) hingga mencapai bentuk dan ukuran seperti pada gambar di bawah.



(b) spesimen uji perambatan retak

Gambar 3.2. Bentuk dan ukuran

4. Untuk spesimen uji perambatan retak, pada bagian tengahnya diberi retak awal dengan ukuran 0,2 x 4 mm ke arah melintang spesimen (lihat gambar 4b), dengan menggunakan mesin *wire cutting*.
5. Pada spesimen uji tarik dilakukan penarikan hingga putus dengan menggunakan mesin hidraulik servopulser. Setelah semua spesimen ditarik, yaitu sebanyak 12 buah, maka akan didapat data seperti pada tabel lampiran I(b). Dari data tersebut dapat dihitung harga tegangan luluh (σ_y) atau tegangan maksimum (σ_u) untuk tiap-tiap bahan dan perlakuan, yang akan digunakan untuk menentukan beban maksimum pada uji perambatan retak.
6. Untuk melakukan uji perambatan retak, maka sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu *stress level* (V) dan *stress ratio* (R)-nya sehingga bisa ditentukan beban maksimum (P_{max}) dan beban minimum (P_{min}), dengan berdasarkan tegangan luluh (σ_y) dan luas penampang (A) spesimen. Untuk menentukan P_{max} dan P_{min} maka perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{max} = A \cdot \sigma_y \cdot V$$
 dalam hal ini V diambil 60%

$$P_{min} = A \cdot \sigma_y \cdot V \cdot R$$
 dalam hal ini R diambil 30%
7. Dari seluruh spesimen yang telah dilakukan pengujian, maka didapat data seperti pada tabel II sampai dengan tabel XIII. Data yang didapat dari pengujian perambatan retak adalah panjang retak kiri (a_{ki})

dan kanan (a_{ka}), serta jumlah siklus (N) pada saat retak tersebut terjadi.

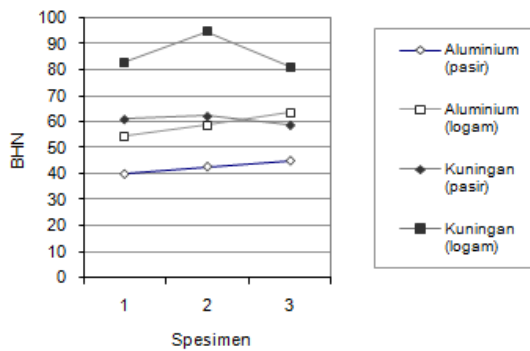
kekerasan bahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus / persamaan (1), dan bila dinyatakan dalam grafik seperti pada gambar 4.1 di bawah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

a) Kekerasan

Dengan menggunakan data yang terdapat pada lampiran I(a), maka



Gambar 4.1. Grafik kekerasan baling-baling

Dari grafik di atas jelas dapat dilihat bahwa baling-baling aluminium yang dicor, dengan cetakan logam mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dari pada baling-baling yang dicor dengan cetakan pasir, demikian juga dengan baling-baling kuningan.

Tetapi untuk mengetahui apakah terjadi perubahan yang signifikan pada tiap-tiap perlakuan, maka digunakan perhitungan statistika, yaitu distribusi t (*t-student*), yang rumusnya :

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \dots\dots\dots(6)$$

- t = nilai t data
- x_1 dan x_2 = rata-rata data perlakuan I dan II
- s_1 dan s_2 = simpangan baku data I dan II
- n_1 dan n_2 = jumlah data pada perlakuan I dan II

Dari perhitungan di atas, kemudian dibandingkan dengan nilai t yang ada pada tabel distribusi *t-student* (t_0) untuk taraf signifikan α (= 5%), dan derajat kebebasan $v = n-1$. Apabila nilai $t > t_0$, ini berarti perbedaan yang terjadi cukup signifikan, dan sebaliknya.

Keterangan :

Tabel 4.1. Nilai statistik untuk data kekerasan

No	Jenis spesimen	Nilai statistik					
		BHN ₁	BHN ₂	BHN ₃	x	s	t
1	Aluminium cor pasir	40,207	42,933	45,147	42,762	2,474	5,573
2	Aluminium cor logam	63,628	54,753	58,956	59,112	4,439	
3	Kuningan cor pasir	62,412	61,229	58,956	60,866	1,756	5,787
4	Kuningan cor logam	81,263	94,95	83,037	86,417	7,443	

Dengan taraf signifikan 5% dan derajat kebebasan $n-1$ (= 2), maka didapat nilai

t dari tabel (t_0) adalah 4,30. Oleh karena $t > t_0$, maka perbedaan

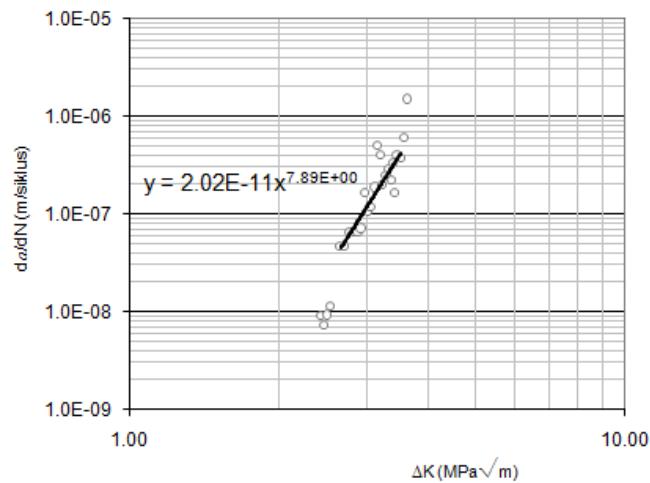
kekerasan yang terjadi pada kedua bahan, yaitu aluminium dan kuningan tersebut cukup signifikan. Ini berarti bahwa baling-baling yang dicor dengan menggunakan cetakan logam menghasilkan permukaan yang lebih keras dari pada baling-baling yang dicor dengan menggunakan cetakan pasir.

b) Laju perambatan retak
Dengan menggunakan data yang terdapat pada lampiran II sampai dengan XIII, maka dapat ditentukan apakah jenis perlakuan akan berpengaruh terhadap laju perambatan retaknya

Tabel 4.3. Data uji perambatan retak salah satu spesimen

a_{ki} (mm)	a_{ka} (mm)	a_{rt} (mm)	a_i (m)	N (siklus)	da/dN (m/siklus)	ΔK (MPa \sqrt{m})
0.1	0.15	2.125	0.002125	60100		
0.2	0.25	2.225	0.002225	71100	9.091E-09	2.4298
0.3	0.3	2.3	0.0023	81500	7.212E-09	2.4705
0.4	0.35	2.375	0.002375	89600	9.259E-09	2.5104
0.5	0.4	2.45	0.00245	96200	1.136E-08	2.5497
0.6	0.5	2.55	0.00255	99650	2.899E-08	2.6013
0.7	0.65	2.675	0.002675	102350	4.630E-08	2.6642
0.8	0.75	2.775	0.002775	104500	4.651E-08	2.7136
0.9	0.9	2.9	0.0029	106400	6.579E-08	2.7740
1	1.05	3.025	0.003025	108300	6.579E-08	2.8332
1.1	1.2	3.15	0.00315	110200	6.579E-08	2.8911
1.2	1.3	3.25	0.00325	111600	7.143E-08	2.9367
1.3	1.45	3.375	0.003375	112350	1.667E-07	2.9926
1.4	1.5	3.45	0.00345	113050	1.071E-07	3.0257
1.5	1.6	3.55	0.00355	113900	1.176E-07	3.0692
1.6	1.8	3.7	0.0037	114700	1.875E-07	3.1334
1.7	1.9	3.8	0.0038	114900	5.000E-07	3.1754
1.8	2	3.9	0.0039	115150	4.000E-07	3.2170
1.9	2	3.95	0.00395	115400	2.000E-07	3.2375
2	2.2	4.1	0.0041	116000	2.500E-07	3.2984
2.1	2.3	4.2	0.0042	116350	2.857E-07	3.3384
2.2	2.4	4.3	0.0043	116800	2.222E-07	3.3779
2.3	2.5	4.4	0.0044	117100	3.333E-07	3.4170
2.4	2.5	4.45	0.00445	117400	1.667E-07	3.4363
2.5	2.6	4.55	0.00455	117650	4.000E-07	3.4747
2.6	2.8	4.7	0.0047	118050	3.750E-07	3.5315
2.7	3	4.85	0.00485	118300	6.000E-07	3.5874
2.8	3.2	5	0.005	118400	1.500E-06	3.6425

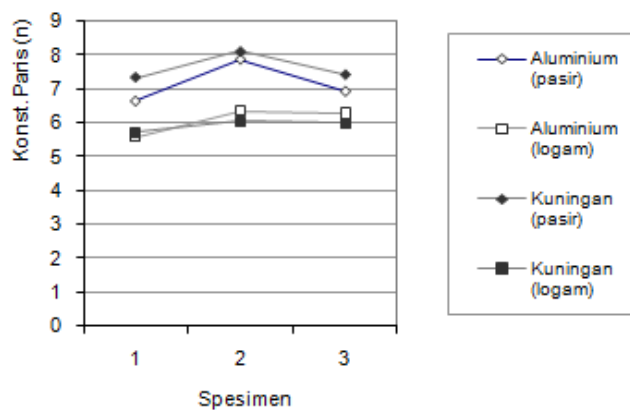
Kemudian dari data pada tabel di atas dapat dibuat grafiknya seperti di bawah.



Gambar 4.2. Grafik laju perambatan retak pada salah satu spesimen

Dari grafik di atas maka pada daerah II dapat ditentukan persamaan Parisnya, dalam hal ini didapat : $y = 2,02 \cdot 10^{-11} x^{7,89}$, atau bisa dinyatakan bahwa : $da/dN = 2,02 \cdot 10^{-11} (\Delta K)^{7,89}$. Ini berarti

faktor C mempunyai nilai $2,02 \cdot 10^{-11}$ dan faktor n (konstanta Paris) = 7,89. Nilai n dari seluruh sampel dapat digambarkan dalam grafik seperti gambar di bawah



Gambar 4.3. Grafik nilai konstanta Paris (n)

Dari grafik di atas jelas dapat dilihat bahwa baling-baling aluminium yang dicor dengan cetakan logam mempunyai nilai n yang lebih besar dari pada baling-baling yang dicor dengan cetakan pasir, demikian juga dengan baling-baling kuningan. Ini berarti bahwa baling-baling yang dicor dengan cetakan pasir mempunyai laju

perambatan retak yang lebih cepat bila dibandingkan dengan baling-baling yang dicor dengan cetakan logam.

Untuk menentukan apakah peningkatan tersebut cukup signifikan ataukah tidak, maka digunakan perhitungan seperti di bawah.

Tabel 4.4. Nilai C dan n untuk seluruh spesimen

No	Jenis spesimen	n			Nilai statistik n		
		n ₁	n ₂	n ₃	X	s	t
1	Aluminium cor pasir	6.65	7.89	6.94	7.163	0.647	1,999
2	Aluminium cor logam	5.60	6.27	6.34	6.070	0.408	
3	Kuningan cor pasir	7.35	8.13	7.43	7.637	0.429	6,520
4	Kuningan cor logam	6.01	6.05	5.73	5.930	0.174	

Bila nilai t yang didapat dari tabel distribusi t (t_0) dengan taraf signifikan (α) 5%, dan derajat kebebasan (ν) 2, maka didapat $t_0 = 4,30$. Ini berarti bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara nilai n pada spesimen aluminium. Dengan kata lain pengaruh proses pengecoran tidak berpengaruh terhadap laju perambatan retak pada baling-baling aluminium. Sedangkan pada bahan kuningan, hal yang terjadi adalah sebaliknya. Proses pengecoran sangat berpengaruh pada laju perambatan retaknya, karena nilai $t > t_0$.

PEMBAHASAN

Dari analisa di atas dapat diketahui bahwa ternyata proses/metode pengecoran sangat berpengaruh terhadap kekerasan baling-baling yang dihasilkannya. Dalam hal ini baling-baling yang dicor dengan cetakan logam mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dari pada baling-baling yang dicor dengan cetakan pasir. Hal ini diakibatkan oleh karena sifat pasir cetak yang digunakan dalam pengecoran tersebut. Biasanya pasir cetak yang digunakan dalam pengecoran bersifat : (a) porous (berpori), (b) lembab (basah), dan (c) kurang padat. Oleh karena itu maka benda coran yang dihasilkannya juga akan bersifat : (a) keropos, karena adanya uap yang terperangkap, (b) mengembang, sehingga kurang padat, dan (c) butiran yang dihasilkan akan semakin besar. Dengan demikian maka kekerasan pada benda coran tersebut akan lebih rendah dari pada benda coran yang dihasilkan dengan cetakan logam.

Demikian juga dengan laju perambatan retaknya, bila kekerasan suatu benda berkurang maka retak akan lebih cepat merambat dari pada benda yang lebih keras. Selain itu juga apabila butiran semakin besar maka retak akan merambat melewati batas butiran (*grain boundaries*), sehingga hal ini akan lebih

mempercepat retak yang terjadi. Seperti yang dikemukakan oleh Colangelo bahwa harga n (konstanta Paris) sangat dipengaruhi oleh besar butiran dan jenis pendinginan yang terjadi.

KESIMPULAN

Dari perhitungan hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada baling-baling yang terbuat dari kuningan, proses pengecoran sangat berpengaruh terhadap terhadap sifat-sifat mekanis, misalnya kekerasan dan laju perambatan retak. Sedangkan pada baling-baling yang terbuat dari aluminium maka proses pengecoran tidak terlalu berpengaruh terhadap laju perambatan retaknya, walaupun terjadi peningkatan tetapi tidak terlalu signifikan. Akan tetapi kekerasan sangat dipengaruhi oleh proses pengecorannya.
2. Baling-baling yang dicor dengan menggunakan cetakan logam akan mempunyai kekerasan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan baling-baling yang dicor dengan menggunakan cetakan pasir. Dari sebanyak 3 buah sampel dari baling-baling aluminium yang digunakan maka peningkatan kekerasan tersebut sebesar 38%, sedangkan untuk baling-baling kuningan, peningkatan kekerasannya adalah 42%.
3. Kemudian juga baling-baling yang dicor dengan menggunakan cetakan pasir mempunyai laju perambatan retak yang lebih tinggi dari pada baling-baling yang dicor dengan cetakan logam. Hal ini dapat dilihat dari harga konstanta Paris (n) pada masing-masing sampel. Untuk baling-baling aluminium maka peningkatan harga n tersebut hanya sebesar 16%, sedangkan untuk baling-baling kuningan maka peningkatannya sebesar 29%.

SARAN

- Sampel yang digunakan sebaiknya lebih diperbanyak lagi (terutama baling-baling aluminium) sehingga akan menghasilkan data yang signifikan.
- Akan lebih baik bila dilakukan uji komposisi dari bahan baling-baling tersebut, untuk lebih mendukung kesimpulan yang ada