

Pengaruh Kadar Tembaga Dan Radius Spesimen Uji Lelah Standar Terhadap Umur Lelah Sudu Propeler

Muhamad Taufek Hidayat^{1*}, Syamsul Hadi², Sza Sya Monica Valeria³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Malang, Malang

*Penulis Korespondensi, email: yandyardian@gmail.com

Received: 06/05/2023

Revised: 07/06/2023

Accepted: 08/06/2023

Abstract. The problem faced on the propeller shaft is that it is not yet known for prediction of replacement in maintenance due to the difference in the effect of the type of material and the radius of the rotating rod fatigue test specimen on the fatigue life results. The purpose of the study was to determine the difference in fatigue life due to differences in the type of material and the radius of the fatigue test specimen. The research method is experimental by testing the fatigue of 2 Copper levels and the size of the radius of the specimen at 210 mm and 220 mm with a total of 44 specimens. The specimen radius is 210 mm with a minimum specimen diameter of 7.3 mm. It shows the highest fatigue life of brass C1100 at a radius of 210 mm with a cycle value of $N=1701555$ revolutions at $S=224$ MPa, and the lowest fatigue life of $N=258480$ revolutions at $S=373$ MPa, while the radius of 220 mm shows the highest fatigue life of $N=8746950$ rounds at $S=224$ MPa, and the lowest fatigue life of $N=627420$ revolutions at $S=373$ MPa. While the brass specimen C3604BD at a radius of 210 mm shows the highest fatigue life of a cycle of $N=1550355$ rounds at $S=224$ MPa, and the lowest fatigue life of $N=125130$ rounds at $S=373$ MPa, while at a radius of 220 mm it shows the highest fatigue life of cycles of $N=2370000$ revolutions at $S=224$ MPa, and the lowest fatigue life of $N=372350$ revolutions at $S=373$ MPa, thus the overall difference in fatigue life of C1100 brass is slower around 76,6% than that of C3604BD brass which is faster around 47,6%.

Keywords: Fatigue test, Fatigue life, Specimen radius, Copper levels, Brass C3604BD, Brass C1100.

Abstrak. Permasalahan yang dihadapi pada poros propeler adalah belum diketahui untuk prediksi penggantian dalam perawatan akibat perbedaan pengaruh jenis bahan dan radius spesimen uji lelah batang putar terhadap hasil umur lelah. Tujuan penelitian untuk mengetahui perbedaan umur lelah akibat perbedaan jenis bahan dan radius spesimen uji lelahnya. Metode penelitian adalah experimental dengan menguji lelah 2 kadar tembaga dan ukuran radius spesimen pada 210 mm dan 220 mm dengan jumlah spesimen 44 buah. Radius spesimen 210 mm dengan diameter minimal spesimen 7,3 mm menunjukkan umur lelah tertinggi pada kuningan C1100 pada radius 210 mm senilai siklus $N=1701555$ putaran pada $S=224$ MPa, dan umur lelah terendah senilai $N=258480$ putaran pada $S=373$ MPa, sedangkan pada radius 220 mm menunjukkan umur lelah tertinggi senilai siklus $N=8746950$ putaran pada $S=224$ MPa, dan umur lelah terendah senilai $N=627420$ putaran pada $S=373$ MPa. Sedangkan pada spesimen kuningan C3604BD pada radius 210 mm menunjukkan umur lelah tertinggi senilai siklus $N=1550355$ putaran pada $S=224$ MPa, dan umur lelah terendah senilai $N=125130$ putaran pada $S=373$ MPa, sedangkan pada radius 220 mm menunjukkan umur lelah tertinggi senilai siklus $N=2370000$ putaran pada $S=224$ MPa, dan umur lelah terendah senilai $N=372350$ putaran pada $S=373$ MPa, dengan demikian secara keseluruhan perbedaan umur lelah kuningan C1100 lebih lambat sekitar 76,6% dibandingkan dengan kuningan C3604BD yang lebih cepat sekitar 47,6%.

Kata Kunci: Uji lelah, Umur lelah, Radius spesimen, Kadar tembaga, Kuningan C3604BD, Kuningan C1100

I. PENDAHULUAN

Ketahanan bahan pada saat ini berperan penting di era teknologi yang terus berkembang. Oleh karena itu, diperlukan suatu acuan standar untuk pengujian kelelahan bahan agar desainer dan produsen memiliki standar dasar ketika mendesain

atau membuat sesuatu agar tidak merugikan atau membahayakan keselamatan pengguna teknologi. Satu metode untuk menentukan kekuatan atau ketahanan suatu bahan dengan menggunakan metode uji lelah atau uji *fatigue* [1]. penelitian ini tergabung dalam sebuah tim untuk meneliti beberapa bahan yang telah disetujui, konsentrasi

pada penelitian ini pada pengujian uji lelah dengan 2 jenis spesimen kuningan yang berbeda dan 2 radius yang berbeda pula. Durasi uji lelah sebelumnya untuk bahan kuningan menunjukkan waktu yang cukup lama, karena bahan tersebut memiliki sifat yang relatif ulet, sehingga tegangan lentur penting untuk diamati dengan perlakuan perbedaan diameter minimal spesimen atau radius spesimen/rel bubut copy, dan penggunaan perbedaan bahan poros kuningan masih terbatas informasinya sebelum dilakukan pemilihan di dalam desain suatu konstruksi pemesinan [2]. Satu metode uji lelah adalah dengan mesin uji fatigue batang putar, sebagaimana spesimen dicekam pada kedua ujung dengan *collet* kemudian spesimen diputar pada kecepatan/rpm tertentu dengan beban yang berada di bawah, sehingga spesimen tampak menerima beban secara siklus/berulang [3]. Kuningan merupakan logam yang terdiri dari campuran tembaga dan seng dengan lebih dari 50% campuran tembaga dan seng sebagai logam paduan utamanya. warna kuningan sangat bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga berwarna kuning terang keperakan, tergantung dari campuran kadar seng. kadar seng pada kuningan berpengaruh terhadap warna kuningan tersebut. kuningan lebih kuat dan keras daripada tembaga, namun kuningan tidak sekuat dan sekeras baja [4]. Salah satu contoh pengaplikasian kuningan adalah baling-baling penggerak perahu motor. Banyak baling-baling yang digunakan sebagai penggerak perahu motor yang dibuat dari kuningan (brass) atau paduan aluminium (*aluminium alloy*), yang dimana kuningan memiliki berat jenis yang lebih tinggi dari pada aluminium, tetapi kuningan memiliki kekuatan yang lebih besar bila dibandingkan dengan aluminium. kedua benda tersebut mempunyai kesamaan yaitu anti korosi dan mudah dituang/dicor [5]. Propeller merupakan bentuk alat penggerak kapal yang umum digunakan untuk menggerakkan kapal. Sebuah propeller yang digunakan dalam kapal biasanya mempunyai bagian daun baling-baling yang terhubung dengan poros. Poros pada propeller terhubung dengan mesin penggerak utama kapal (*main engine*). Kecepatan putar pada propeler sama dengan kecepatan putar pada poros yang

bergantung pada kecepatan putar mesin. Pada poros propeller penumpang lapisan kuningan C3604BD poros (*babbitt*) mengalami pengikisan yang diakibatkan karena permukaan *babbitt* bergesekan dengan permukaan bantalan stern tube (*white metal*) [6]. Selain itu kuningan juga merupakan material yang umum digunakan sebagai bahan untuk memfabrikasi selongsong peluru dengan bahan kuningan yang mengandung 26-32 wt.% Zn [7]. prosedur penilaian kelelahan yang baru-baru ini menyoroti karakteristik kekuatan lelah yang baik. Dengan tujuan untuk mendapatkan kurva S-N referensi untuk mendukung penilaian kelelahan bilah baling-baling dan mengevaluasi efek pada kekuatan kelelahan dari parameter yang mempengaruhi. Tampaknya kekuatan lelah dari kuningan C1100 cukup menantang untuk dievaluasi, karena relatif sedikit data eksperimen yang tersedia [8].

II. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan untuk menyusun skripsi ini adalah studi literatur dan observasi lapangan.

A. Studi literatur

Penelitian untuk menghitung kekuatan yang menggunakan landasan teori dari berbagai sumber seperti referensi buku, jurnal ilmiah, dan materi yang diajarkan selama perkuliahan di kampus.

B. Observasi

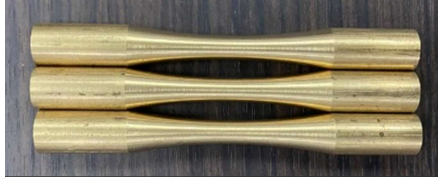
Oservasi merupakan metode pengumpulan data yang sangat berguna untuk penelitian selanjutnya. Analisis lapangan dilakukan untuk untuk mendapatkan informasi ukuran dan radius setiap spesimen, sehingga dapat dipertimbangkan, dari penelitian yang ada dapat ditingkatkan dan dikembangkan lagi dari penelitian ini.

C. Alat dan Bahan

Alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin CNC *turning* berguna untuk membubut radius pada spesimen uji speci batang putar, jika menggunakan mesin bubut konvensional terlalu sulit untuk pembuatan radius pada spesimen.

2. Mesin uji lelah digunakan untuk proses pengujian spesimen.
3. Bahan yang digunakan pada spesimen uji lelah dalam penelitian ini adalah kuningan dengan jenis C1100 dan C3604BD. Berdasarkan standar ASTM E606, maka kuningan jenis C1100 dan C3604BD akan dibentuk menjadi spesimen *bar* [9] sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen uji lelah

D. Rumus

Pada pengujian *Fatigue* dengan cara kerja spesimen diputar dan diberikan pembebanan, sehingga spesimen tersebut dan patah pada putaran spesimen dicatat dengan *revolution counter*. Pada pengujian *fatigue* ini, untuk memperoleh tegangan lentur, S didapatkan dari rumus 1.

$$S = \frac{M.c}{I} \quad (1)$$

dengan:

- S : Tegangan lentur (MPa),
- M : Momen lentur maksimum (Nm),
- c : Jarak dari pusat spesimen ke serat luar (m), dan
- I : Momen inersia penampang melintang spesimen (m^4)

Untuk memperoleh nilai momen inersia yang berada pada lingkaran, (I) diperoleh dengan rumus 2.

$$I = \frac{\pi.d^4}{64} \quad (2)$$

dengan:

- I : Momen inersia (m^4), dan
- d : Diameter terkecil yang terdapat di spesimen (m).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

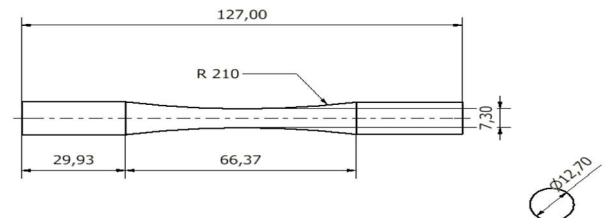
A. Tahap Pembuatan Spesimen Uji Lelah

1. Menyiapkan dua jenis bahan kuningan 2 tipe yang berbeda yaitu C1100 dan C3604BD dengan ukuran $\varnothing 12,7 \times 127$ mm sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen kuningan C3604BD

2. Membubut spesimen dengan dengan mesin CNC *turning* sesuai dengan standar spesimen uji Lelah R.R. Moore dengan radius 210mm, $\varnothing_{min}$ 7,3mm sebagaimana Gambar 3.



Gambar 3. Ukuran Spesimen Uji Lelah Standar

B. Tahap Pengujian

Tahap pengujian meliputi perhitungan tegangan lentur, momen inersia, dan tegangan lentur (S).

1. Mengitung tegangan lentur

Dengan rumus momen lentur yang terjadi terhadap spesimen:

$$M_b = F.L/2 \quad (3)$$

Contoh untuk menghitung momen berat 4 kg (4 keping) dengan jarak antara bantalan beban, $L = 285$ mm, maka jika dihitung sebagai berikut :

$$M_b = 40.285/2$$

$$M_b = 5700 \text{ Nmm}^2$$

dengan : M_b : Momen lentur

F : Gaya/Berat (N)

L : Jarak antara beban dan titik area pengujian (mm)

Sebagaimana yang dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Momen Yang Terjadi Pada Setiap Beban

No.	Berat (g)	F (N)	Kumulatif (N)	Massa Total (kg)	Momen Lentur Yang Terjadi $M_b = F.L/2$ (Nmm ²)
1	1000	10	10	1	1425
2	1000	10	20	2	2850
3	1000	10	30	3	4275
4	1000	10	40	4	5700
5	1000	10	50	5	7125
6	1000	10	60	6	8550
7	1000	10	70	7	9975
8	1000	10	80	8	11400
9	1000	10	90	9	12825
10	1000	10	100	10	14250

2. Contoh perhitungan inersia dengan diameter minimal 7,3mm sebagai berikut :

$$I = \frac{\pi.d^4}{64} \quad (4)$$

$$I = \frac{\pi.7.3^4}{64}$$

$$I = 139,3$$

dengan : I : Momen inersia (cm⁴)

d : Diameter benda uji (cm)

3. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung tegangan lentur (S) yang terjadi terhadap spesimen contoh perhitungan tegangan lentur pada pembebanan menengah (4 keping) sebagai berikut :

Tegangan lentur pada spesimen minimal 7,3mm dengan rumus :

$$S = \frac{M.C}{I} \text{ dan } C \text{ dari rumus } C = \frac{d}{2} \text{ dengan}$$

$$\text{perhitungan } C = \frac{7,3}{2} C = 3,65 \quad (5)$$

$$I = 139,3 \text{ dan } C = 3,65$$

$$S = \frac{5700.3.65}{139.3}$$

$$S = 149,3 \text{ MPa}$$

dengan : S : Tegangan lentur (kg/cm²)

M : Momen lentur (kg.cm²)

Maka hasil data perhitungan tegangan lentur pada diameter minimal 7,3mm dapat dihipunkan pada tabel sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Tegangan Lentur

Tegangan Lentur S (MPa) (Ø7,3mm)	Berat Keping
37	1
74	2
112	3
149	4
186	5
224	6
261	7
298	8
336	9
373	10

C. Pengumpulan Data Uji Lelah

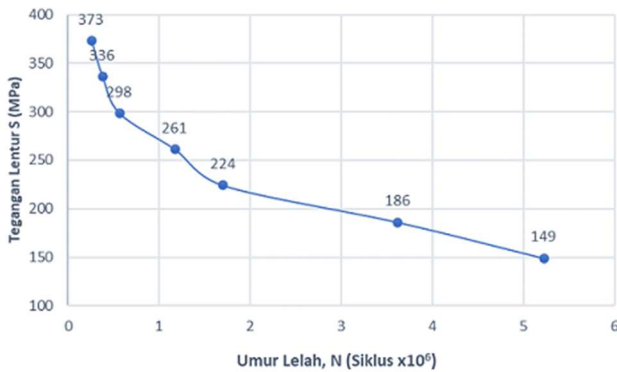
Pengumpulan data uji lelah ini meliputi spesimen kuningan tipe C1100, C3604BD, dengan radius spesimen 210 mm, dan radius 220 mm.

1. Data Uji Lelah Spesimen Kuningan C1100 Radius 210mm

Pengumpulan data uji lelah bahan kuningan tipe C1100, radius 210mm dengan diameter minimal 7,3mm dan kecepatan 1500 rpm yang diterangkan sebagaimana Tabel 3, Bagan 1.

Tabel 3. Tegangan Lentur, Jumlah Siklus, dan Waktu Pengujian

Spesimen Kuningan C1100 Radius 210 mm			
Pengujian ke-	Tegangan Lentur, S (MPa)	Umur Lelah, N (Putaran)	Durasi (menit)
1	373	258480	172
2	336	378420	252
3	298	567060	378
4	261	1174665	783
5	224	1701555	1134
6	186	3619835	2413
7	149	5225632	3484



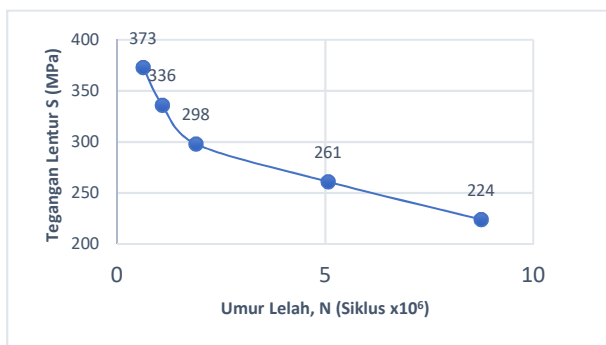
Bagan 1. Plot Grafik S-N Kuningan C1100 Radius 210mm

2. Data Uji Lelah Spesimen Kuningan C1100 Radius 220mm

Pengumpulan data uji lelah bahan kuningan tipe C1100, radius 220mm dengan diameter minimal 7,3mm dan kecepatan 1500 rpm yang diterangkan sebagaimana Tabel 4, Bagan 2.

Tabel 4. Tegangan Lentur, Jumlah Siklus, dan Waktu Pengujian

Spesimen Kuningan C1100 Radius 220 mm			
Pengujian ke-	Tegangan Lentur, S (MPa)	Umur Lelah, N (Putaran)	Durasi (menit)
1	373	627420	418
2	336	1086315	742
3	298	1896495	1264
4	261	5070180	3380
5	224	8746950	5831



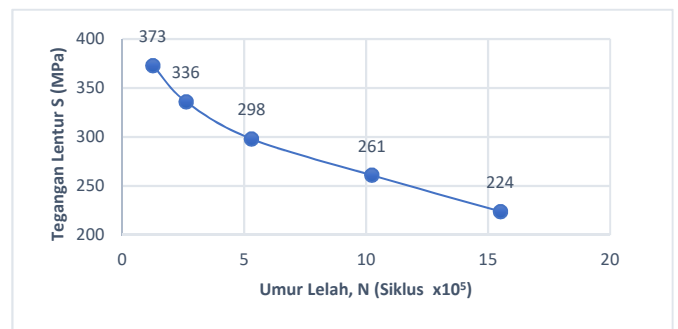
Bagan 2. Plot Grafik S-N Kuningan C1100 Radius 220mm

3. Data Uji Lelah Spesimen Kuningan C3604BD Radius 210mm

Pengumpulan data uji lelah bahan kuningan tipe C3604BD, radius 210mm dengan diameter minimal 7,3mm dan kecepatan 1500 rpm yang diterangkan sebagaimana Tabel 5, Bagan 3.

Tabel 5. Tegangan Lentur, Jumlah Siklus, dan Waktu Pengujian

Spesimen Kuningan C3604BD Radius 210 mm			
Pengujian ke-	Tegangan Lentur, S (MPa)	Umur Lelah, N (Putaran)	Durasi (menit)
1	373	125130	83
2	336	261570	174
3	298	530160	353
4	261	1023270	682
5	224	1550355	1033



Bagan 3. Plot Grafik S-N Kuningan C3604BD Radius 210mm

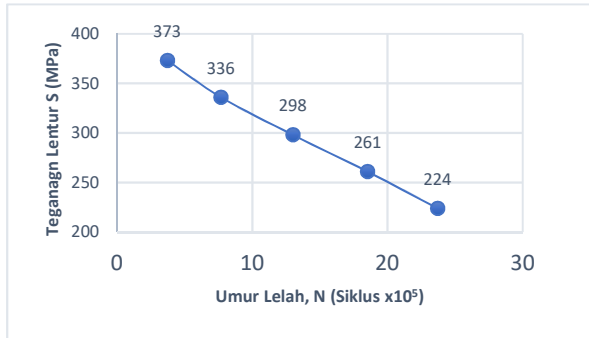
4. Data Uji Lelah Spesimen Kuningan C3604BD Radius 220mm

Pengumpulan data uji lelah bahan kuningan tipe C3604BD, radius 220mm dengan diameter minimal 7,3mm dan kecepatan 1500 rpm yang diterangkan sebagaimana Tabel 6, Bagan 4.

Tabel 6. Tegangan Lentur, Jumlah Siklus, dan Waktu Pengujian

Spesimen Kuningan C3604BD Radius 220 mm			
Pengujian ke-	Tegangan Lentur, S (MPa)	Umur Lelah, N (Putaran)	Durasi (menit)
1	373	372350	248
2	336	768255	512

3	298	1300785	867
4	261	1853190	1235
5	224	2370000	1580



Bagan 4. Plot Grafik S-N Kuningan C3604BD Radius 220mm

D. Pengolahan Data

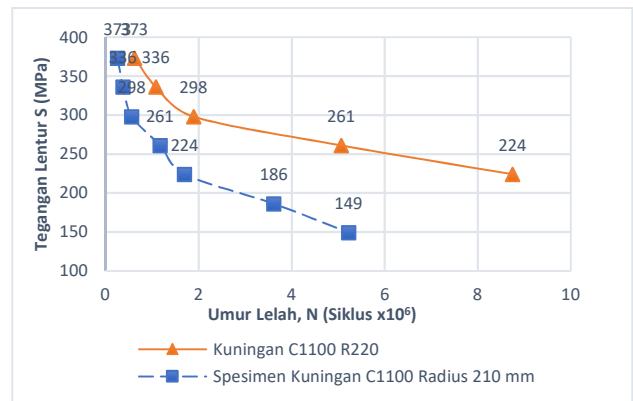
Pengolahan data meliputi gabungan data dari spesimen C1100, C3604BD, dengan radius 210, dan radius 220.

1. Data Gabungan Spesimen Kuningan C1100

Rekapitulasi data uji lelah spesimen kuningan C1100 dengan radius 210, dan radius 220 sebagaimana Tabel 7, dan Bagan 5.

Tabel 7. Gabungan Data Spesimen Kuningan C1100

Tegangan lentur S (MPa)	Umur Lelah, N (Putaran)		Durasi (menit)	
	Radius 210	Radius 220	Radius 210	Radius 220
373	258480	627420	172	418
336	378420	1086315	252	742
298	567060	1896495	378	1264
261	1174665	5070180	783	3380
224	1701555	8746950	1134	5831
186	3619835	-	2413	
149	5225632	-	3484	



Bagan 5. Gabungan Grafik S-N Kuningan C1100 R210 mm dan R220 mm

Spesimen kuningan C1100 dengan radius 210 mm memiliki tegangan lentur 373 MPa pada pembebanan maksimum 10 kg dengan jumlah siklus 258480 putaran dalam waktu 172 menit, dengan lima pengujian yang mendapatkan rata-rata jumlah siklus 816036 dan rata-rata waktu 544 menit. Sedangkan kuningan C1100 dengan radius 220 mm pada pembebanan maksimum 10 kg memiliki tegangan lentur 373 MPa dengan jumlah putaran siklus 627420 dengan waktu 418 menit, dengan lima pengujian yang memiliki rata-rata siklus putaran 3485472 dan rata-rata waktu 2327 menit.

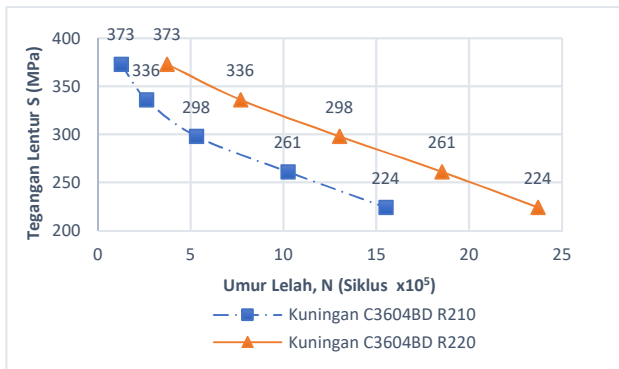
2. Data Gabungan Spesimen Kuningan C1100

Rekapitulasi data uji lelah spesimen kuningan C3604BD dengan radius 210, dan radius 220 sebagaimana Tabel 8, dan Bagan 6.

Tabel 8. Gabungan Data Spesimen Kuningan C1100

Tegangan lentur S (MPa)	Umur Lelah, N (Putaran)		Durasi (menit)	
	Radius 210 mm	Radius 220 mm	Radius 210 mm	Radius 220 mm
373	125130	372350	83	248
336	261570	768255	174	512
298	530160	1300785	353	867
261	1023270	1853190	682	1235

224	1550355	2370000	1033	1580
-----	---------	---------	------	------



Bagan 6. Gabungan Grafik S-N Kuningan C3604BD R210 mm dan R220 mm

Spesimen kuningan C3604BD dengan radius 210 mm memiliki tegangan lentur 373 MPa pada pembebanan maksimum 10 kg dengan jumlah siklus 125130 putaran dalam waktu 83 menit, dengan lima pengujian yang mendapatkan rata-rata jumlah siklus 698097 dan rata-rata waktu 465 menit. Sedangkan kuningan C3604BD dengan radius 220 mm pada pembebanan maksimum 10 kg memiliki tegangan lentur 373 MPa dengan jumlah putaran siklus 372350 dengan waktu 248 menit, dengan lima pengujian yang memiliki rata-rata siklus putaran 1332916 dan rata-rata waktu 888 menit.

Tabel 9. Gabungan Data Spesimen Kuningan C1100 dan C3604BD

Tegangan Lentur, S (MPa)	Umur Lelah, N (Putaran)		Durasi (menit)	
	Radius 210 mm	Radius 220 mm	Radius 210 mm	Radius 220 mm
Kuningan C1100				
224	1701555	8746950	1134	5831
Kuningan C3604BD				
224	1550355	2370000	1033	1580

Berdasarkan Tabel 9 umur lelah pada tegangan lentur 224 MPa, untuk kuningan C1100 dengan radius 210 mm lebih besar daripada kuningan C3604BD yang beradius sama yaitu radius 210 dengan jumlah siklus 1701555-1550355 = 151200 putaran dengan presentase (8,89%) dengan durasi

pengujian yang lebih lambat 1134-1033 = 101 menit (8,91%).

Sedangkan untuk kuningan C3604BD dengan tegangan lentur 244 MPa yang beradius 220 mm lebih pendek dibandingkan kuningan C1100 dengan radius yang sama 220 mm, dengan jumlah siklus 8746950-2370000 = 6376950 putaran dengan presentase (72,90%) dengan durasi pengujian yang lebih cepat 5831-1580 = 4251 menit (72,90%). Jadi dapat disimpulkan secara keseluruhan umur lelah kuningan C1100 lebih tinggi daripada kuningan C3604BD dengan durasi pengujian yang lebih lambat.

E. Analisa Data

analisis menggunakan anova *two way factor with replication* maka harus dilakukan replikasi pengujian lelah sebanyak minimal tiga kali replikasi, data umur lelah pada spesimen. Dengan replikasi sebagaimana pada Tabel 10.

Tabel 10. Umur Lelah Hasil Replikasi Data

Beban	Tipe (kuningan)	Radius 210 mm	Radius 220 mm
Tinggi (10 kg)	C1100 (68%)	258480	627420
		257390	653345
		279355	613215
	C3604BD (61%)	125130	372350
		134565	329820
		112395	351945
Sedang (8 kg)	C1100 (68%)	567060	1896495
		549855	1783790
		524565	1834505
	C3604BD (61%)	530160	1300785
		483950	1481130
		509805	1276455
Rendah (6 kg)	C1100 (68%)	1701555	8746950
		1702790	8767145
		1672389	8912550
	C3604BD (61%)	1550355	2370000
		1472950	2053815
		1513665	2347820

Data dari Tabel 10 tersebut kemudian dianalisis dengan *anova of two ways factor* sebagaimana Tabel 11.

dibandingkan antara hasil F_{hitung} dengan F_{tabel} sebagaimana pada Gambar 4.

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilitas = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.24
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.48	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.98	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Gambar 4. Nilai Ftabel [10]

Tabel 11. Anova Of Two Ways Factor

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Jenis Bahan	1,5E+13	1	1,5E+13	3000,39	1E-26	4,25968
Radius	1,2E+14	5	2,4E+13	4838,96	3,2E-35	2,62065
Interaksi	5E+13	5	1E+13	2044,5	9,9E-31	2,62065
Within	1,2E+11	24	4,9E+09			
Total	1,8E+14	35				

Dari data Tabel 11 hasil analisis *anova of two ways factor* menggunakan *Excel* tersebut analisis bahwa diterima atau ditolaknya hipotesis, maka harus

- 1) Untuk faktor jenis bahan $df_1 = 1$ dan df_2 adalah 24 jadi diperoleh nilai pada Ftabel = 4,26
- 2) Untuk faktor metode pada radius $df_1 = 5$ dan df_2 adalah 24 jadi diperoleh nilai pada Ftabel = 2,62
- 3) Untuk faktor interaksi antara jenis bahan dan radius $df_1 = 5$ dan df_2 adalah 24 jadi diperoleh nilai pada Ftabel = 2,62

Jadi F_{hitung} untuk faktor jenis bahan = 3000,39 > $F_{tabel} = 4,26$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima yang artinya terdapat pengaruh jenis bahan terhadap umur lelah, jadi F_{hitung} untuk faktor metode radius = 4838,96 > $F_{tabel} = 2,62$, maka H_{02} ditolak dan H_{12} diterima yang artinya terdapat pengaruh radius terhadap umur lelah, jadi F_{hitung} untuk faktor interaksi antar jenis bahan dan radius = 2044,5 > $F_{tabel} = 2,62$, maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima

yang artinya terdapat pengaruh interaksi jenis bahan dan radius terhadap umur lelah.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Terdapat pengaruh jenis bahan terhadap umur lelah yang digunakan, dimana spesimen kuningan tipe C1100 dan kuningan C3604BD memiliki umur lelah yang sangat berbeda, contohnya yaitu pada kuningan C1100 dengan radius 210 mm memiliki umur lelah dengan tegangan lentur terendah 224 Mpa yaitu 1701555 putaran, sedangkan spesimen kuningan C3604BD dengan radius yang sama 210 mm pada tegangan lentur 224 MPa yaitu 1550355 putaran, jadi spesimen kuningan C3604BD memiliki umur lelah yang lebih pendek 8,89% dibandingkan umur lelah pada kuningan C1100.

Terdapat pengaruh radius spesimen terhadap umur lelah, dimana radius 210 mm dan radius 220 mm dengan spesimen kuningan C1100 dan kuningan C3604BD sangat berbeda, contohnya yaitu pada kuningan C1100 dengan radius 210 mm memiliki umur lelah dengan tegangan lentur terendah 224 Mpa yaitu 1701555 putaran (durasi uji 1134,37 menit), dan untuk radius 220 dengan spesimen yang sama yaitu C1100 memiliki umur lelah dengan tegangan lentur terendah 224 Mpa yaitu 8746950 putaran (durasi uji 2331,30 menit), sedangkan untuk spesimen kuningan C3604BD dengan radius 210 mm memiliki umur lelah pada tegangan lentur 224 MPa yaitu 1550355 putaran (durasi uji 1033,57 menit), dan untuk radius 220 dengan spesimen yang sama yaitu C3604BD memiliki umur lelah dengan tegangan lentur terendah 224 Mpa yaitu 2370000 putaran (durasi uji 1580,53 menit).

Sebaiknya replikasi data dilakukan lebih dari 3 kali, dikarenakan fakta dilapangan menunjukkan bahwa hasil uji lelah bahan pada pembebanan sama cukup jauh deviasi perolehan jumlah siklusnya, dan untuk pembubutan pada bahan spesimen harus dibuat sehalus mungkin, dikarenakan hasil pada pengujian pada tingkat kekerasan mempengaruhi hasil data yang diuji.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para dosen khususnya, Prof. Ir. Syamsul Hadi, M.T., Ph.D. dan Sza Sya Monica Valeria, S.Tr.T., M.Tr.T. sebagai kakak tingkat yang membimbing dan memberi saran sampai penelitian ini terselesaikan.

REFERENSI

- [1] Adam, R., & Dera, N. S. (2021). Analisa Uji Ketahanan Kelelahan Ass Kuningan 70/30 dengan Mesin Uji Tipe Cantilever Rotary Bending. *Biomedical And Mechanical Engineering Journal (Biomej)*, 1(1), 9-9.
- [2] Hadi, S., Murdani, A., Sudarmadji, S., & Artiko, A. (2020). Testing of The Ability of Fatigue Test Machine Prototype and Fatigue Test for Nylon and Cast Iron Specimens. In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering* (Vol. 732, No. 1, P. 012094). Iop Publishing.K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished.
- [3] Hadi, S., Murdani, A., & Rokhman, F. (2017). Design, Fabricated, and Trial an A Fatigue Test Machine. *Prosiding Snttm xvi*, 201-207.
- [4] Rahayu, E. J. (2018). Pengaruh Komposisi Kuningan (CuZn) Terhadap Kekuatan Impact, Kekerasan, dan Struktur Mikro Hasil Pengecoran Alumunium (Al) dengan Menggunakan Tungku Listrik. Universitas Negeri Semarang.
- [5] Siproni, S., Rasid, M., Seprianto, D., & Yahya, Y. (2018). Pengaruh Proses Pengecoran Terhadap Sifat-Sifat Mekanis Pada Baling-Baling Perahu Motor. *Austenit*, 10(1), 28-33.
- [6] Rismu, L. G. (2014). Analisa Pengaruh Perubahan Beban Poros Propeller Terhadap Kinerja Bantalan Km. *Oriental Samudera* (Doctoral Dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- [7] Mahardhika, A. S. (2017). Pengaruh canai dingin dan temperatur anil terhadap karakteristik paduan Cu-28Zn-5.5 Al hasil pengecoran gravitasi untuk aplikasi selongsong peluru.
- [8] Bertoglio, C., & Rizzo, C. M. (2016). Survey on fatigue strength of cast bronzes intended for

marine propellers. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 39(7), 793-816.

- [9] ASTM. (2021). E606 – 2021 Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing.
- [10] Anonim, 2022a, www.slideshare.net, diakses pada 11 Agustus 2022.