

Perhitungan Kekuatan Pisau Frais pada Proses Perautan Alur Pasak Poros Model Propeller

Suyadi, Hardi Zen

Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT, Surabaya, Indonesia

Article history: Received: 15/10/2017; Revised: 25/11/2017; Accepted : 30/12/2017

ABSTRAK

Proses perautan mesin frais dalam pembuatan alur pasak (slot) poros model baling – baling kapal merupakan pekerjaan yang rutin dilakukan di BTH-BPPT. Pekerjaan utama dalam proses ini memerlukan penggunaan pisau frais potong standar (High Speed Steel), oleh sebab itu kajian teknis tentang besarnya gaya pemotongan, torsi dan tegangan sangat diperlukan dalam memprediksi kekuatan dan umur pakai pisau frais tersebut. Untuk mendapatkan kekuatan dan umur pakai dari mata pahat tersebut dilakukan analisa pada proses pemotongan dengan menggunakan pisau frais potong standar (HSS) dimana variabel yang dipilih dalam proses pemesinan ini berupa putaran mesin yang merupakan parameter sangat berpengaruh terhadap perubahan gaya, torsi dan tegangan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk proses perautan pada putaran mesin 400 rpm dan 500 rpm mata pahat beroperasi pada kondisi normal sedangkan pada putaran mesin 785 rpm pisau frais beroperasi pada kondisi ekstrim dimana torsi yang timbul 154,6 Nm sehingga gaya yang dipikul oleh pisau frais 3866,1 N dengan tegangan yang dihasilkan sebesar 39,6 Ksi dan umur pakai pahat 138 hari operasional pisau frais atau 4,5 bulan kalender.

Kata kunci : Gaya, torsi, tegangan, poros model propeller, alur pasak

ABSTRACT

A process process in the manufacture of milling machines Keyway (slot) propeller shaft models - ship Use the "Insert Citation" button to add citations to this document.

propeller is routine work done in BTH-BPPT. The main work in this process requires the use of a standard cutting blade milling (High Speed Steel), therefore the technical study on the magnitude of cutting force is needed in predicting the service life of the milling blade. To get the service life of the chisel eye analysis in the process of cutting with a knife cut milling standard (HSS) where the variables selected in this machining processes such as engine speed is very influential parameter to change the style, torque and strain. The results showed that for the process sharpener at rpm 400 rpm and 500 rpm eyes chisel operating under normal conditions, while at rpm 785 rpm chisel eye operating at extreme conditions in which the generated strain of 39.6 Ksi and lifespan chisel 138 operational days 4,5 frais chisel or a calendar month .

Key words : Force, toque, stress, propeller model shaft, slot.



Hardi Zen menyelesaikan pendidikan Teknik Mesin di Politeknik Universitas Andalas, memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin bidang Metalurgi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan sekarang bekerja sebagai perekayasa di Balai Teknologi Hidrodinamika Surabaya (BTH).

PENDAHULUAN

Setiap fasilitas workshop di Balai Teknologi Hidrodinamika Surabaya (BTH) dilengkapi mesin frais yang mampu melakukan tugas dari segala mesin perkakas seperti pengerjaan bidang rata, lubang lubang pasak, pemotongan sudut, pembuatan roda gigi. Proses penyayatan benda kerja pada mesin frais menggunakan alat potong dengan mata jamak yang berputar (pisau frais) dan Pembuatan lubang lubang pasak pada poros model baling – baling yang merupakan fungsi utama dari pelaksanaan model uji *self propulsion test dan free*

*Corresponding author.

E-mail address: suyadi1suyadi@gmail.com

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

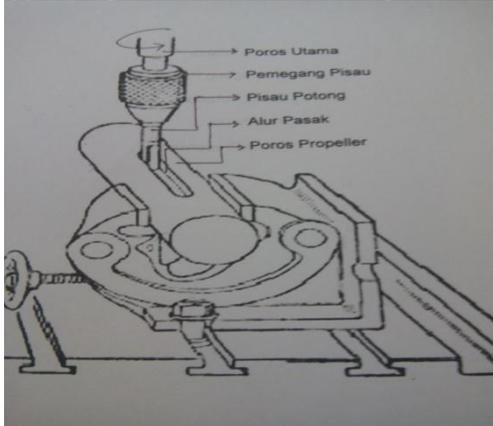
© 2017 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

running seakeeping. Untuk membuat lubang-lubang pasak (gambar 1).



Gambar 1. Alur pasak

Pada poros propeller tersebut diperlukan pisau frais (gambar 2) Fungsi alur pasak adalah untuk membenamkan pasak sebagai pengunci yang disisipkan antara poros dan propeller agar keduanya tersambung dengan pasti sehingga mampu meneruskan momen putar /torsi.



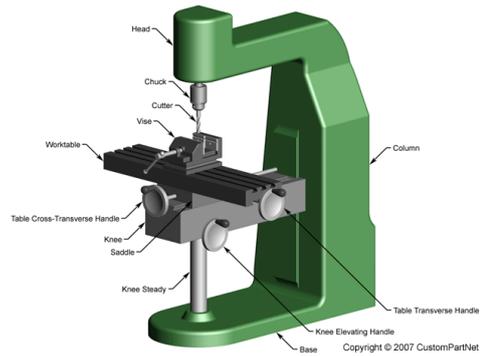
Gambar 2. Benda kerja dan Pisau Frais

Dilihat dari posisi alat potong ,pemotongan pada mesin frais dibagi dalam dua tipe, yaitu tipe pemotongan muka dan tipe pemotongan sisi. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemotongan pisau frais.

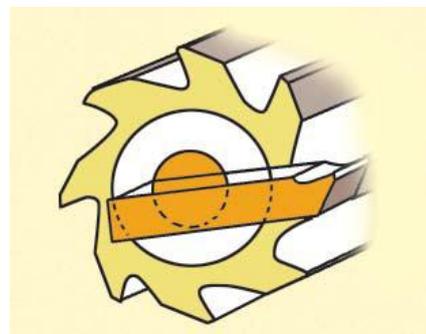
Pada tipe pemotongan muka, bagian muka dari alat potong ikut memotong benda kerja. Pada umumnya tipe ini digunakan pada mesin frais vertikal untuk membuat lubang alur pasak. Serta alat potong yang digunakan adalah alat potong yang mempunyai batang yang harus dicekam ,seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



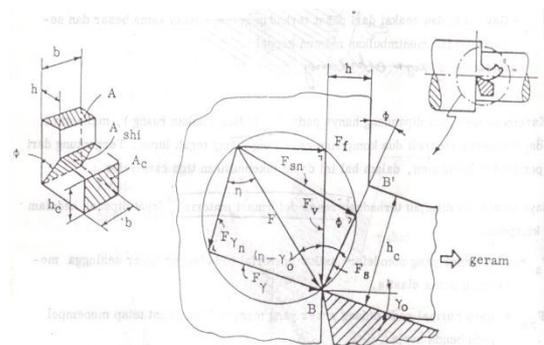
Gambar 3. Mesin Frais Vertikal

Pada tipe pemotongan sisi ,gaya pemotongan terbesar terjadi pada awal pemotongan sehingga benda kerja tertekan kebawah dimana dibagian bawah terdapat meja mesin sehingga pemotongan menjadi stabil. Menurut ASTM definisi pasak adalah “demountable elemen mesin “ yang ketika dipasang pada alurnya, mempunyai kegunaan untuk mentransmisikan torsi antara poros dan propeller, meneruskan tenaga dari transmisi ke propeller sehingga propeller dapat berputar . Oleh sebab itu alur dan pasak harus dibuat halus dan ketelitian tinggi sesuai dengan Standart Nasional (SN) dan ISO (*Internasional Standard Organisation*).

Proses permesinan dengan mesin frais merupakan proses penyayatan benda kerja yang sangat efektif,kerena pisau frais memiliki sisi potong jamak. Apabila dibandingkan dengan pahat bubut maka pisau frais analog dengan pahat bubut (Gambar 4).



Gambar 4. Analog pisau Frais dengan pahat Bubut



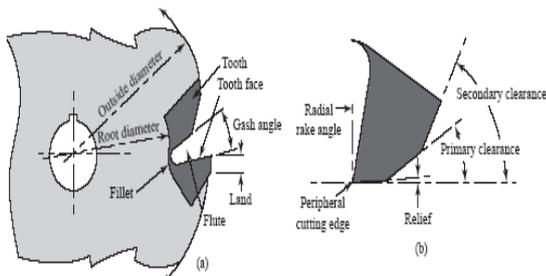
Gambar 5. Lingkaran Gaya Pemotongan atau Lingkaran Merchant, (Taufiq R, 1993)

Gaya-gaya yang bekerja pada proses pemotongan seperti diperlihatkan gambar 5, yaitu gaya pemotongan (cutting force) F_v , dimana gaya ini diperlukan untuk proses pemotongan. Gaya dorong kesamping (trust force), F_t , bekerja pada garis normal terhadap kecepatan potong yaitu tegak lurus terhadap pisau frais. Kedua gaya tersebut membentuk resultan gaya pada ujung pisau frais, maka perlu dianalisa untuk mengetahui besarnya tegangan yang terjadi untuk mengetahui batas operasional pisau frais, agar bekerja dengan aman sehingga kerusakan pada ujung pahat bubut dan pahat bubut menjadi patah dapat dihindarkan.

Poros propeller merupakan salah satu bagian terpenting dari instalasi penggerak kapal. Putaran mesin ditransmisikan ke propeller melalui poros yang dibenamkan pasak kelubang poros, proses pemotongan dengan menggunakan pisau frais standar AISI, HSS (*The American Iron & steel Institue*). Variabel yang dipilih dalam proses perautan ini adalah putaran mesin, gerak makan dan kedalaman potong karena variabel variabel tersebut sangat berpengaruh terhadap perubahan gaya potong.

Karena berasal dari satu gaya yang sama mereka dapat dilukiskan pada suatu lingkaran dengan diameter yang sama dengan gaya total (F), seperti Gambar.5. Lingkaran tersebut digambarkan persis di ujung pahat sedemikian rupa sehingga semua komponen menempati lokasi seperti yang dimaksud. Gambar ini merupakan sistem gaya pada pemotongan *orthogonal*.

Pada dasarnya geometri pahat frais adalah identik dengan pahat bubut. Dengan demikian nama sudut atau istilah yang digunakan sama dengan pahat bubut seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar.6. Geometri Pisau Frais (Pariyanto, 2000)

Side rake angel (γ_o)=14° Back rake angel (γ) = 8°

Sewaktu pemotongan mulai berlangsung, gaya potong F_v dan gaya dorong F_t akan membesar. Daerah di muka potong akan menderita tegangan geser dan tegangan puntir dengan orientasi dan harga yang bervariasi. Salah satu bidang akan menderita tegangan yang terbesar dan dengan naiknya gaya - gaya maka tegangan pada bidang tersebut (bidang geser) akan melampaui batas (*yield*) sehingga terjadi deformasi plastik yang menyebabkan terbentuknya geram. Bila hal ini telah terjadi maka gaya potong telah mencapai harga maksimum.

Untuk ukuran lubang pasak mengikuti ukuran pasak yang sudah distandarisasi (Tabel.1 IS 2292 dan 2293), maka hasil perhitungan harus dipilih ukuran yang ada

pada standarisasi. Bila hasil perhitungan, ukurannya tidak ada yang cocok dalam tabel pasak, maka ukuran pasak yang diambil adalah ukuran yang lebih besar. Di bawah ini dicantumkan ukuran lebar dan tebal pasak, sesuai dengan standart yang dipasaran

Tabel .1 Standart pasak menurut IS : 2292 dan 2293

Diameter poros (mm)	Penampang pasak	
	Lebar (mm)	Tebal (mm)
10	4	4
12	5	5
17	6	6
22	8	7

Pada standar internasional yaitu ISO R/286 (*Internasional Standard Organisatioan*) adalah suatu badan yang menentukan masalah standarisasi, yang menentukan dan mengembangkan suatu standar toleransi. Dalam suaian basis lubang pasak selalu dinyatakan dengan “h”, ukuran batas lubang pasak selalu sama dengan ukuran nominal (Tabel 2.)

Tabel .2 Toleransi standar internasional ISO R/286 Untuk ukuran lubang Pasak (Anton CN ,2012)

Simbol	Ukuran Nominal (mm)		
	10 - 18	18 - 30	30 - 50
h6	+ 0,011	+ 0,013	+0,016
h7	+0,018	+0,021	+0,025
h8	+0,027	+0,033	+0,039
h9	+0,043	+0,052	+0,062

Pemilihan bahan poros dan pisau frais perlu diketahui untuk menentukan umur pisau frais, pada umumnya pisau frais terbuat dari baja HSS .

Kecepatan pemotongan (*cutting speed*) adalah kecepatan pemotongan pada permukaan kontak antara benda kerja dengan pisau frais.

$$V = \pi \cdot d \cdot n \quad (1)$$

dimana :

d = diameter pisau frais (mm)

n = putaran poros utama (rpm)

v =kecepatan potong (m/s)

Material removel rate (MRR) adalah volume material yang dibuang/dipotong persatuan waktu

$$MRR = \pi \cdot d \cdot l \cdot f \cdot n \quad (2)$$

dimana:

d = diameter pisau frais (mm)

l = kedalaman pemakanan (mm)

f = tebalnya pemotongan setiap satu

putarana benda kerja(mm/rev)

MRR=vol.material terbuang persatuan Waktu (mm³/s)

Tabel 3. Kecepatan pemotongan (B.H.Amstead1977)

WORKPIECE MATERIAL	CUTTING SPEED (m/s)	
	HSS	WC
Aluminum alloys	3-4	5-7
Magnesium alloys	4	10
Copper alloys	0.5-2	1-5
Steels	0.5-1	1-3
Stainless steels	0.15-0.5	1-2
High-temperature alloys	0.05-0.1	0.15-0.3
Titanium alloys	0.15-1	0.5-2
Cast irons	0.15-0.5	0.5-2
Thermoplastics	1.5-2	2-3
Thermosets	1-2	1-4

Note: (a) Depth of cut is usually 4 mm for rough turning and 0.7 mm for finish turning.
 (b) Feeds for rough turning range from 0.2 mm/rev for materials with high hardness, to 2 mm/rev for lower hardness. Finishing cuts require lower feeds.
 (c) Cutting speeds are for uncoated tools. Speeds for coated tools are from 25-75 percent higher.
 (d) Cutting speeds for ceramic tools can be 2-3 times higher than the values indicated.
 (e) Cutting speed for diamond tools is usually 4-15 m/s, depth of cut 0.05-0.2 mm, and feed 0.02-0.05 mm/rev.
 (f) As hardness increases, cutting speed, feed, and depth of cut should be decreased.
 (g) Speeds for free-machining metals are higher than those indicated.
 (h) Speeds for other cutting processes are generally lower by as much as 75 percent.

Timbulnya gaya-gaya yang terjadi pada pisau frais yaitu gaya potong dan gaya dorong (Gambar 5) Maka tegangan yang terjadi pada pisau frais ada dua yaitu:

1. Tegangan lentur

Tegangan lentur terjadi karena timbulnya gaya potong (F_v). Gaya Pemotongan (F_v) adalah gaya tangensial pada titik potong benda kerja yang disebabkan oleh gerakan pisau potong. Oleh karena daya merupakan perkalian antara gaya pemotongan dan kecepatan potong. Daya potong adalah daya yang diperlukan oleh mesin untuk melakukan proses pemotongan.

$$\text{Daya potong (P)} = E_s \cdot \text{MRR} \quad (3)$$

dimana :

P = daya potong (watt)

E_s=energi spesifik (watt.s/mm³)

Tabel 4 .Energi spesifik berbagai jenis benda kerja

MATERIAL	SPECIFIC ENERGY (W·s/mm ³)*
Aluminum alloys	0.4-1.1
Cast irons	1.6-5.5
Copper alloys	1.4-3.3
High-temperature alloys	3.3-8.5
Magnesium alloys	0.4-0.6
Nickel alloys	4.9-6.8
Refractory alloys	3.8-9.6
Stainless steels	3.0-5.2
Steels	2.7-9.3
Titanium alloys	3.0-4.1

$$P = T \cdot 2\pi \cdot n \quad (4)$$

$$F_v = T / l_p \quad (5)$$

dimana :

l_p= jarak antara ujung pisau frais yang menempel pada benda kerja dan bagian pisau yang dijepit pada penjepit pisau.

F_v=gaya pemotongan (N).

T=torsi lentur (Nm).

P = daya potong (watt)



Gambar 7. Ukuran panjang Lp pada pisau frais

Seperti diperlihatkan pada Gambar 4. mata pisau frais mengalami momen lentur (*bending moment*) sebesar torsi (momen lentur) yang dihasilkan oleh benda kerja. Tegangan lentur adalah momen dibagi modulus penampang pahat

$$\text{Stress: } \sigma_b = M/W \quad (6)$$

$$W = 1/6 \cdot d \cdot t^2 = 1/6 \cdot d^3 \quad (7)$$

dimana:

W = modulus penampang pisau frais(mm³)

d = tebal mata pahat/diameter pisau (mm)

t = tinggi mata pisau(mm)

d = t (penampang pisau frais)

σ_b = tegangan lentur (N/m²)

M = momen Lentur (Nm)

2. Tegangan puntir

Tegangan lentur terjadi karena timbulnya gaya dorong (F_t). Gaya dorong adalah bekerja pada garis normal terhadap kecepatan potong yaitu tegak lurus terhadap pisau frais.

$$\text{Stress : } \tau/r = T/I \quad (8)$$

$$I = \pi/32 \cdot d^4 \quad (9)$$

$$r = 1/2 \cdot d \quad (10)$$

Dimana

I = momen inersi penampang pisau (mm⁴)

d = diameter pisau frais (mm)

r = jari-jari pisau frais (mm)

τ =Tegangan puntir (N/m²)

T = momen puntir (Nm)

Karena pisau frais menerima tegangan lentur dan tegangan puntir,maka kekuatan pisau frais didasarkan pada kedua tegangan tersebut,maka besarnya shear stress (τ_{mak}) maksimum dapat dirumuskan dengan mensubstitusikan tegangan lentur (σ_b) dan tegangan puntir (τ) :

$$\tau_{\text{mak}}^2 = (\sigma_b^2 + 4\tau^2)/2 \quad (11)$$

Tabel 4. Properties tegangan untuk material baja

AISI 1020 (David Roylance2008)

Mechanical properties	Metric	Imperial
Tensile Strength, Ultimate	394,72 MPa	57249 psi
Tensile Strength, Yield	294,74 Mpa	42748 psi

METODE

Metodologi ini terdiri dari Studi pustaka dan pengamatan lapangan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil model poros propeller dengan permukaan halus dan umur pakai pisau frais pada proses perautan dengan menggunakan mesin frais adalah sebagai berikut :

1. Dilakukan pengukuran lubang pasak poros propeller dengan menggunakan standar ISO /R 286.

Tabel.5 Hasil pengukuran lubang pasak.

pengamatan mm		Hasil rata-rata pengukuran mm	Toleransi mm
Panjang	14	14,05	+ 0,05
Lebar	4	4,06	+0,06
Tinggi	2	2,05	+0,04

Rata-rata toleransi hasil pengukuran 0,05, maka dari standard internasional ISO R/286, hasil perautan lubang pasak poros propeller untuk ukuran diameter 18-30 mm mendapatkan hasil h9 (Tabel.2), berarti tingkat kehalusannya paling rendah.

2. Pemilihan bahan poros propeller (stainles steels) dan pisau frais *high speed steels* (HSS). yang ada dipasaran.
3. Dilakukan perhitungan matematis dan pengamatan lapangan seperti yang ditampilkan pada Gambar.8 sedangkan untuk analisa tegangan dengan variable putaran mesin frais berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan (1) s/d (11).



Gambar.8 Pengamatan proses perautan

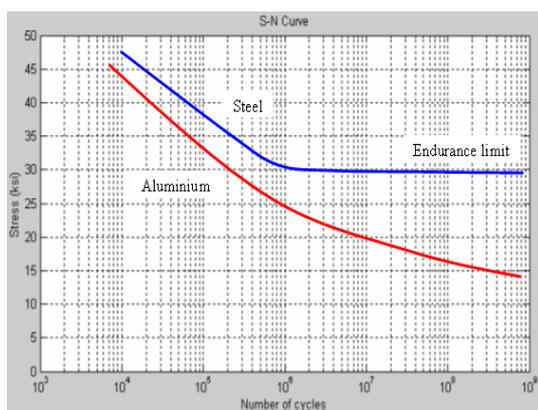
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan lubang pasak Poros propeller pada model pengujian kapal di Laboratorium BTH yang dikerjakan pada bengkel mekanik, material poros terbuat dari stainless steels dan bahan pisau frais terbuat dari *high speed steels* (HSS).

Dimana pada proses perautan menggunakan mesin frais, dengan tipe pemotongan muka. Pembuatan model poros *propeller* dari bahan stainless steels. Data mesin diperoleh : putaran mesin frais (400 rpm, 500 rpm dan 785 rpm) ,daya mesin frais 5000 watt dan jarak antara ujung pahat yang menempel pada benda kerja dan bagian pahat yang dijepit pada penjepit pahat (L_p) 4 cm. Pada uji *self propulsion* Kpc 60 PAL diperoleh data dimensi pasak adalah panjang 14 mm, lebar 4 mm dan tinggi 4 mm, diameter model poros propeller 10 mm, jadi pisau frais HSS yang dipakai untuk proses perautan adalah ϕ 4 mm. Perhitungan dibuat berdasarkan Tabel 1-5 dan mengimplementasikan persamaan 1- 11 maka hasil yang diperoleh diperlihatkan pada Tabel .6 Untuk memudahkan pembahasan, maka dibuatkan Tabel 6. memperlihatkan perbandingan kecepatan potong, gaya torsi dan tegangan hasil perhitungan dan pengamatan dilapangan dengan variabel putaran mesin. Timbulnya gaya pemotongan (F_v) pada Gambar 2.. perlu mendapat perhatian kerana gaya tersebut yang dapat menyebabkan timbulnya tegangan mak.(tegangan puntir dan tegangan lentur) dan torsi pada sisi pisau frais yang dapat merusak geometri pisau frasi dan yang lebih ekstrim yaitu pisau frais menjadi patah.

Tabel.6 Perhitungan gaya, torsi dan tegangan

	Hasill perhitungan			B.H.Amstead Roylance,2008
	400 rpm	500 rpm	785 rpm	
v	0,08 m/s	0,1 m/s	0,15 m/s	0,15-0,5m/s
F_v	1970 N	2462,5 N	3866.1N	-
F_t	491,1 N	613,8 N	963,7 N	-
T	9,8 Nm	12,2 Nm	19,2 Nm	-
M	78,8 Nm	98,5 Nm	154,6 Nm	-
σ_b	118,2Mpa	147,7Mpa	231,9Mpa	-
τ	78,2Mpa	97,7 Mpa	153,4Mpa	-
σ_{mak}	138,6Mpa	173,2Mpa	271,9Mpa	294,74 Mpa
	20,2 Ksi	25,2 Ksi	39,6 Ksi	42,75 Ksi



Gambar .9 Grafik S – N, (Alaa A.Ateia , 2009)

Kecepatan potong untuk putaran mesin 400 Rpm, 500 Rpm dan 785 Rpm (0,08 m/s, 0,1 m/s dan 0,15 m/s) pada hasil perhitungan, sesuai dengan ketentuan yaitu 0.15-0,5 m/s (B.H.Amstead 1977).

Pada Tabel.6 dan grafik S - N, diperoleh data yaitu untuk putaran mesin 400 rpm didapat tegangan maks. 20,2 ksi, untuk putaran 500 rpm tegangan maks. 39,6 ksi, jadi proses perautan pada kedua putaran tersebut berjalan normal karena posisinya masih berada dibawah garis grafik S-N. Sedangkan untuk putaran mesin 785 rpm, posisinya mendekati grafik S - N dengan nilai tegangan maks. 39,6 ksi (Tabel.6). Penggunaan mesin frais di BTH rata-rata pemakaiannya 2 jam /hari dengan putaran mesin 785 rpm maka didapat umur pisau frais 138 hari, ini berarti pisau frais beroperasi pada kondisi ekstrim, hal tersebut menyebabkan pisau frais menjadi patah/rusak. Maka disarankan pada proses perautan pembuatan alur pasak pada poros propeller tersebut menggunakan putaran mesin dibawah 785 rpm

KESIMPULAN

Untuk melakukan pekerjaan perautan logam pembuatan lubang pasak pada poros model propeller, hal yang harus diperhatikan adalah terjadinya torsi dan tegangan pada pisau frais karena pengaruh putaran dari mesin frais yang dapat menyebabkan rusaknya pisau frais dan atau pisau frais patah.

Untuk pemilihan material poros model *propeller* berupa baja stainless dan jenis pisau frais yaitu HSS, maka disarankan untuk memilih putaran mesin dibawah 785 Rpm. Hal ini akan memperpanjang umur pakai dari mata pahat. Untuk kecepatan putaran 785 rpm tersebut, pisau frais mengalami tegangan maks. sebesar 39,6 ksi, berarti mendekati batas tegangan luluh materialnya yaitu sebesar 42,75 ksi. Untuk kondisi ekstrim ini pisau frais sanggup beroperasi hingga 138 hari kerja atau 4,5 bulan kalendar..

Sekiranya perlu juga dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh tegangan maks (tegangan puntir dan tegangan lentur) pada mata pisau frais terhadap putaran mesin frais yang menyebabkan pisau frais menjadi patah sebelum umur pakai terlampaui.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amstead, B.H. Manufacturing Processes. John Wiley & Sons. 1977.
- [2] Anton CN. Toleransi dan Suaian Teknik Mesin Manufaktur. 2012.
- [3] Taufiq Rochim. Teori dan Teknologi Proses Permesinan Bandung Jurusan Teknik Mesin FTI – ITB. 1993.
- [4] Tim Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta Modul Menggerinda Pahat Potong. 1997.
- [5] Dr.Eng.Alaa A.Ateia. Manufacturing Processes II 3rd Materials Engineering. 2009.
- [6] David Roylance. Mechanical Properties of Material. 2008.
- [7] Pariyanto, M.Pd. Proses Pembubutan Logam Universitas Negeri Yogyakarta. 2000.