

Design and Manufacture a Tool Post for Turning the Fatigue Test Standard Specimen Profile for Plastic Materials

Syamsul Hadi^{1,*}, Anggit Murdani¹, Agung Wicaksono²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

²Prodi Diploma III, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

*Corresponding author: syampol2003@yahoo.com

Abstract. The preparation of the fatigue test specimen is carried out specifically by the Fatigue Test Machine itself which is a novelty, which is normally done with a CNC Lathe. The ability of CNC Lathes is to work on a combination of tool end movements between movements following a circular cross section of the specimen and a circular longitudinal chisel movement as well, because generally the process of preparing specimens for a material test is done with other machine/equipment. The research objective is to carry out tests effectively and efficiently in fatigue tests for plastic materials without the need for working with CNC Lathes which required a program that costs quite expensive compared to use a Conventional Lathe Machine that is unable to work on it. The research method includes the design of the tool holder (tool post) movement exactly following the movement of the standard profile radius and the specimen size of the fatigue test, making a movement rail of chisel holder forward and backward and the movement to the left and right sides; turning test on fatigue test specimen with PVC plastic material with manual drill drive. The real results obtained in the form of fatigue test specimens of PVC material with the shape and dimensions in accordance with the standard are ready to be carried out the fatigue test if the preparation work is carried out at the Fatigue Test Machine.

Abstrak. Pengerjaan persiapan spesimen uji lelah dilaksanakan secara khusus oleh Mesin Uji Lelah sendiri yang merupakan suatu hal yang baru yang normalnya dilakukan dengan Mesin Bubut CNC. Kemampuan Mesin Bubut CNC adalah mengerjakan kombinasi gerakan ujung pahat antara gerakan mengikuti penampang melingkar spesimen dan gerakan pahat arah memanjang yang melingkar pula, karena umumnya pengerjaan persiapan spesimen suatu pengujian bahan dilakukan dengan mesin/peralatan lainnya. Tujuan penelitian adalah untuk melaksanakan pengujian lelah secara efektif dan efisien untuk bahan plastik tanpa membutuhkan pengerjaan dengan Mesin Bubut CNC yang memerlukan suatu program yang biayanya cukup mahal dibandingkan dengan menggunakan Mesin Bubut Konvensional yang tidak mampu mengerjakannya. Metoda penelitian meliputi desain pergerakan pemegang pahat (*tool post*) persis mengikuti gerakan profil radius standar dari bentuk dan ukuran spesimen uji lelah, pembuatan rel gerakan pemegang pahat bubut profil spesimen uji lelah, pembuatan eretan gerakan pahat maju-mundur dan gerakan pahat ke samping kiri dan ke samping kanan, uji coba pembubutan spesimen uji lelah bahan plastik PVC dengan penggerak bor manual. Hasil riil yang diperoleh berupa spesimen uji lelah bahan PVC dengan bentuk dan dimensi sesuai dengan standarnya yang siap dilakukan uji lelah jika pengerjaan persiapannya dilaksanakan oleh Mesin Uji Lelah tersebut.

Keywords: Persiapan spesimen uji lelah, Mesin Bubut CNC, Mesin Bubut Konvensional, spesimen standar uji lelah, bahan plastik PVC.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Umumnya pengerjaannya persiapan spesimen suatu pengujian bahan dilakukan dengan mesin atau peralatan lainnya. Sebagai contoh untuk pengujian tarik suatu baja tulangan beton suatu bangunan, dibutuhkan suatu pengerjaan persiapan spesimen uji tarik yang dilaksanakan dengan menggunakan sebuah Mesin Bubut Konvensional atau Mesin Bubut CNC. Untuk suatu uji lelah sebuah bahan, misalnya uji lelah pada suatu bahan dari plastik PVC, maka bahan tersebut butuh pengerjaan persipan dengan sebuah Mesin Bubut CNC melalui

pembuatan program gerakan pahat sesuai dengan standar bentuk dan dimensi sebuah spesimen uji lelah. Pembuatan program gerakan pahat dari sebuah Mesin Bubut CNC memerlukan keahlian operator tertentu dan sewa penggunaan mesinnya lebih mahal dibandingkan jika menggunakan Mesin Bubut Konvensional yang kenyataannya Mesin Bubut Konvensional tidak dapat mengerjakannya, karena untuk membubut spesimen uji lelah dibutuhkan kemampuan kombinasi gerakan ujung pahat antara gerakan mengikuti penampang melingkar spesimen dan gerakan pahat arah

memanjang yang melingkar pula. Hal tersebut hanya bisa dilaksanakan dengan menggunakan sebuah Mesin Bubut *CNC* dengan program khusus.

Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat melaksanakan pengujian lelah secara efektif dan efisien untuk bahan plastik tanpa membutuhkan penggerjaan dengan Mesin Bubut *CNC* yang memerlukan suatu program yang biayanya cukup mahal dibandingkan dengan menggunakan Mesin Bubut Konvensional.

Dalam perjalanan penelitian tahun sebelumnya telah dibuat sebuah prototip/purwarupa mesin uji lelah dengan prinsip kerja berdasarkan metode uji lelah R. R. Moore [1] yang telah diperoleh data untuk prediksi umur lelah berupa jumlah putaran yang telah dicapai setelah dilakukan uji lelah hingga spesimen patah dengan beban tertentu dapat mencapai umur lelah berupa jumlah putaran yang dapat dimonitor melalui sebuah laptop atau handphone/HP [2].

Pengertian lelah adalah bentuk kegagalan yang terjadi dalam suatu struktur yang dibebani dengan tegangan dinamis atau berfluktuasi ataupun bergetar, misalnya: jembatan, pesawat terbang, dan komponen-komponen mesin lainnya, misalnya batang penghubung piston/*connecting rod*, roda gigi-roda gigi, dan sebagainya. Dalam kondisi tersebut kegagalan lelah (*fatigue failures*) bisa saja terjadi lebih rendah daripada kekuatan tarik atau kekuatan luluh bahan yang diuji untuk beban statis. Istilah lelah dipakai karena tipe kegagalan normalnya terjadi setelah suatu periode yang panjang dengan beban berulang berupa siklus tegangan atau regangan. Sekitar 90% kegagalan terjadi pada kebanyakan logam [3], pada plastik/polimer dan keramik juga rentan (*susceptible*) terjadi kelelahan.

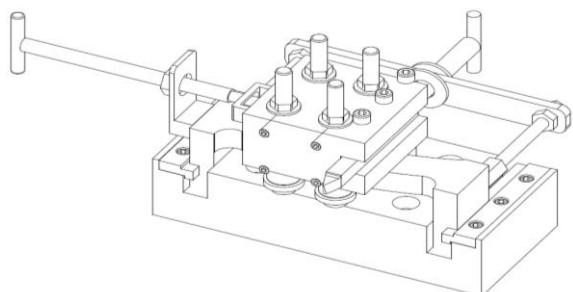
Satu diantara tipe uji lelah untuk prediksi umur lelah suatu bahan yang paling umum adalah uji gelagar putar (*rotating-beam tests*) yang mana pada spesimennya diberikan beban bolak-balik antara tegangan tekan dan tegangan tarik yang sama besar saat poros berputar [1]. Beban (*weight*) diberikan pada pemegang kedua ujung spesimen yang tidak ikut berputar berupa bantalan gelinding dengan suatu batang penggantung, sementara spesimen berputar mengikuti putaran sebuah motor listrik sebagai penggeraknya yang mana jumlah putarannya dihitung oleh penghitung putaran dengan sensor magnetik (*revolution counter*) [4]. Setiap putaran ujung poros melintasi sinar yang direkam oleh sensor sebagai penambahan satu putaran.

Selama uji lelah, permukaan di tengah spesimen mengalami tarikan pada bagian bawah permukaan, dan mengalami tekanan pada bagian atas

permukaan akibat beban yang digantungkan pada kedua ujung pemegang yang terhubung dengan sebuah batang yang bagian tengahnya digantung pemberat tepat di tengah bawah spesimen dengan rantai baja [1].

Metode Penelitian

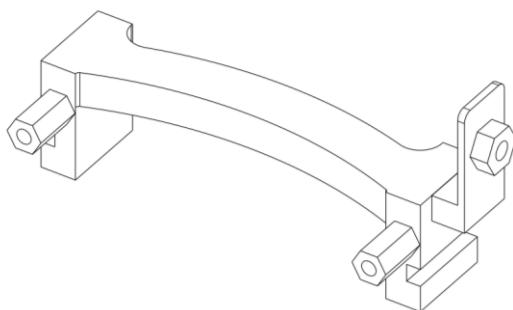
Penelitian dilakukan dengan metoda desain konstruksi pemegang pahat (*tool post*) yang didukung oleh sebuah landasan yang terdapat mekanisme pergerakan pemegang pahat yang persis mengikuti profil spesimen uji lelah standar yang kedudukan ujung pahatnya tepat pada sumbu spesimen yang diputar oleh motor listrik Mesin Uji Lelah. Konstruksi pemegang pahat sebagaimana Gambar 1. Gerakan ujung pahat maju dan mundur juga gerakan ke samping kiri dan ke samping kanan digerakkan oleh batang berulir secara manual (eretan). Gerakan ke arah samping/sumbu memanjang sekitar 90mm dan gerakan ke arah maju dibatasi hingga ukuran diameter tengah spesimen mencapai 8,6mm. Setelah mencapai gerakan maju maksimum berarti spesimen telah selesai dibubut. Radius pahat dibuat berdiameter tidak terlalu runcing agar permukaan spesimen yang dibubut tidak beralur-alur, tetapi rata dan cukup halus.



Gambar 1. Konstruksi *tool post*

Kedudukan landasan pemegang pahat diposisikan sedemikian rupa, sehingga pergerakan senternya berimpit dengan sekitar tengah panjang spesimen. Alas meja tempat kedudukan pemegang pahat dibuat dari bahan baja karbon rendah dengan ketebalan 8mm yang dimaksudkan untuk kekokohan ikatan dan stabil atas getaran yang ditimbulkan oleh getaran motor listrik dan pembubutan.

Satu komponen penting sebagai pemandu/*copy* gerakan persis profil spesimen uji lelah standar ditunjukkan sebagaimana Gambar 2.

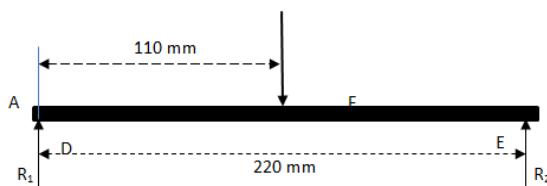


Gambar 2. Komponen pemandu gerakan persis profil lintasan spesimen standar uji lelah

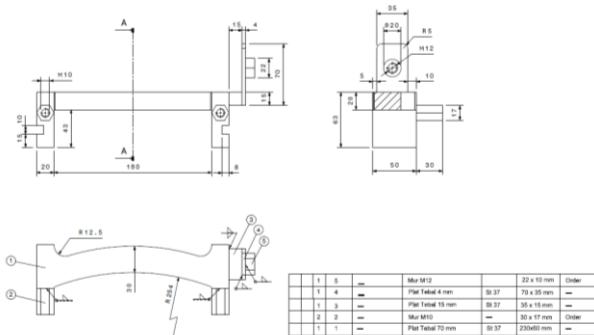
Komponen sebagaimana Gambar 3 digunakan sebagai landasan pergerakan pemegang pahat yang dijepit oleh 4 bantalan gelinding tipe elemen gelinding bentuk jarum (*needle bearing*) yang dapat disetel kerapannya agar dapat selalu menjepit rel pengarah saat digerakkan ke arah samping.

Satu bagian perhitungan tegangan lentur yang terjadi pada komponen penting berupa Landasan Lintasan Profil sebagaimana uraian terhadap diagram benda bebas pada Gambar 3 dari gambar proyeksi sebagaimana Gambar 4.

Panjang tumpuan Lintasan Profil adalah 220mm, sehingga pusat beban pemegang pahat berjarak setengahnya dari tumpuhannya yaitu 110mm.



Gambar 3. Diagram benda bebas



Gambar 4. Proyeksi Landasan Lintasan Profil

Perhitungan tegangan lentur yang terjadi pada Lintasan Profil sebagaimana uraian terhadap Gambar 3.

Kesetimbangan gaya-gaya yang terjadi:

Berat rumah pahat yang membebani Lintasan Profil sekitar 4kg \approx 40N.

Berdasar pada kesetimbangan gaya, maka jumlah gaya-gaya pada arah mendatar sama dengan nol, jumlah gaya-gaya pada arah tegak sama dengan nol, dan jumlah momen pada titik-titik ujung sama dengan nol.

$$\Sigma F_x = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad (2)$$

$$R_1 + R_2 = 40 \text{ N} \quad (3)$$

$$(40 \text{ N} \times 110 \text{ mm}) + (-R_2 \times 220 \text{ mm}) = 0$$

$$4400 \text{ Nmm} + (-220 R_2 \text{ mm}) = 0$$

$$-220 R_2 = 4400$$

$$R_2 = \frac{4400}{-220}$$

$R_2 = -20 \text{ N}$ (tanda minus menunjukkan arah gaya ke atas)

$$M_A = R_1 \times 110 \text{ mm}$$

$$= 20 \text{ N} \times 110 \text{ mm}$$

$$= 2200 \text{ Nmm}$$

$$M_B = R_2 \times 110 \text{ mm}$$

$$= 20 \text{ N} \times 110 \text{ mm}$$

$$= 2200 \text{ Nmm}$$

Momen Inersia untuk penampang segi empat:

$$I = \frac{1}{12} (b \cdot h^3) \quad (4)$$

$$= \frac{1}{12} (30 \cdot 20^3)$$

$$= 20.000 \text{ mm}^4$$

Titik berat atau jarak terjauh dari sumbu (e) untuk bangun kolom segi empat tersebut adalah:

$$\text{Titik e} = \frac{\frac{b}{2}}{2}$$

$$= \frac{30}{2}$$

$$= 15 \text{ mm} \quad (5)$$

Jadi tegangan lentur yang terjadi pada Lintasan Profil adalah:

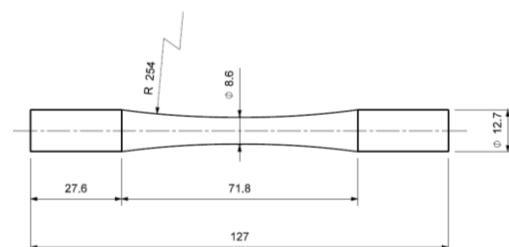
$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot e}{I} \quad (6)$$

$$= \frac{2200 \text{ Nmm} \cdot 15 \text{ mm}}{20000 \text{ mm}^3}$$

$$= 1,65 \text{ N/mm}^2 = 1,65 \text{ MPa.}$$

Perhitungan komponen-komponen lainnya dari pemegang pahat bubut profil spesimen standar uji lelah tidak ditampilkan dalam makalah ini yang diperiksa terhadap kekuatan tarik, kekuatan geser, ataupun kekuatan kombinasi yang bekerja padanya.

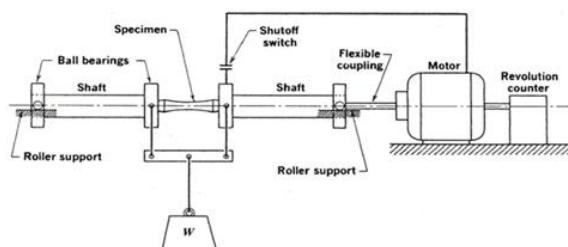
Bentuk dan ukuran sebuah spesimen uji lelah lentur bolak-balik (*reversed-bending*) standar R.R. Moore sebagaimana Gambar 5 [4].



Gambar 5. Bentuk dan ukuran spesimen uji lelah

Ukuran spesimen standar uji lelah berbentuk mengecil silindris ke arah tengah spesimen, sehingga tidak dapat dikerjakan persiapannya oleh Mesin Bubut Konvensional, karena kemampuan gerakan pemegang pahatnya berupa garis lurus arah maju-mundur, ke samping kiri atau ke samping kanan, ataupun bersudut. Jika diinginkan berbentuk lengkung menuntut suatu kemampuan operator untuk menggerakkan secara kombinasi antara gerakan pemegang pahat arah maju-mundur dan ke samping kiri-kanan. Bentuk gerakan pemegang pahat berupa lengkungan dapat dibantu dengan sebuah mal yang telah disiapkan untuk diikuti sebagai mesin bubut *copy* (*Copy Turning Machines*). Berhubung Mesin Uji Lelah yang dibuat sebelumnya menggunakan penggerak motor listrik arus searah (DC) yang memungkinkan mempunyai kecepatan variabel dengan menggunakan potensiometer sebagai pengatur arusnya, maka memungkinkan difungsikan sebagai mesin bubut profil, jika disiapkan pemegang pahat berbentuk profil yang persis mengikuti radius spesimen standar uji lelah.

Konstruksi mesin uji lelah batang putar oleh R.R. Moore sebagaimana Gambar 6 [5].



Gambar 6. Konstruksi mesin uji lelah batang putar prinsip R.R. Moore [5]

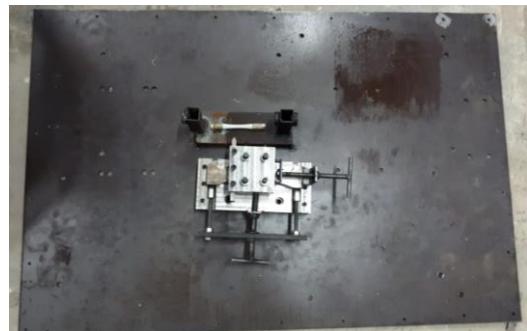
Letak konstruksi pemegang pahat rencana ditempatkan di depan spesimen uji lelah pada landasan meja mesin sebagaimana Gambar 7.



Gambar 7. Letak konstruksi pemegang pahat berada di depan spesimen pada landasan meja mesin

Mesin uji lelah tersebut telah sukses digunakan untuk menguji lelah spesimen pada bahan plastik PVC dan Nylon, tetapi kedua bahan spesimen plastik tersebut persiapannya masih dikerjakan dengan mesin bubut *CNC*.

Dalam uji coba menggunakan penggerak bor manual, posisi pemegang pahat sebagaimana Gambar 8 sampai dengan Gambar 10.



Gambar 8. Posisi pemegang pahat dalam uji coba menggunakan penggerak bor manual

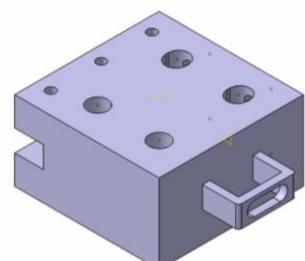


Gambar 9. Posisi pemegang pahat dalam uji coba menggunakan penggerak bor manual

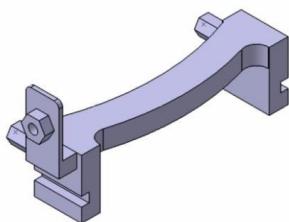


Gambar 10. Posisi pemegang pahat dalam uji coba menggunakan penggerak bor manual

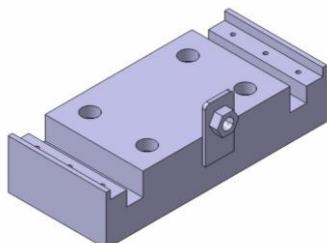
Gambar-gambar isometris untuk Pemegang Pahat, Lintasan Profil Spesimen Uji Lelah, Alur Lintasan Profil Spesimen Uji Lelah, dan Konstruksi Bubut Profil Spesimen Uji Lelah Standar sebagaimana Gambar 11 sampai dengan Gambar 14.



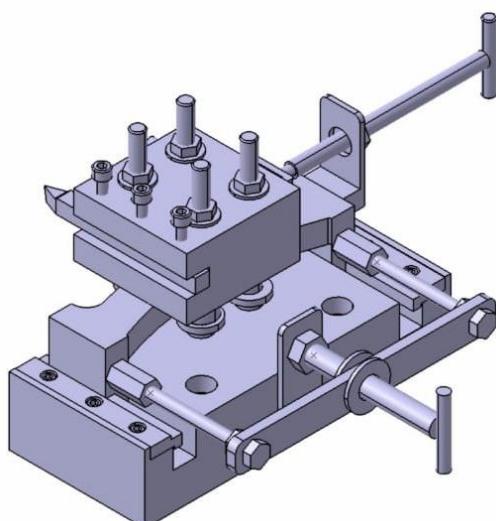
Gambar 11. Pemegang Pahat



Gambar 12. Lintasan Profil Spesimen Uji Lelah



Gambar 13. Alur Lintasan Profil Spesimen Uji Lelah



Gambar 14. Konstruksi Bubut Profil Spesimen Standar Uji Lelah

Tabel 1. Sifat-sifat Plastik PVC [6, 7]

No.	Parameter	Nilai
1	Massa jenis spesifik	1,15-1,65
2	Temperatur proses	160-180°C
3	Temperatur melunak	80°C
4	Simbol daur ulang	03
5	Massa molekul	21150g/mol
6	Sifat fisik	Tangguh, Kuat, Keras Mudah dicampur, Bisa jernih, Bentuk dapat diubah dengan pelarut
7	Penggunaan	Botol Jus, Pipa/Talang Air, Bungkus Plastik, Selubung kabel, Air mineral, Minyak sayur, Botol Kecap/Sambal, Pembungkus makanan/food wrap

Kekuatan tarik PVC tanpa pemlastis adalah 52-58 MPa dengan pertambahan panjang 2-40% dan kekuatan tarik PVC dengan pemplastis rendah adalah 28-42 MPa dengan pertambahan panjang 200-250% [8].

Hasil dan Pembahasan

Hasil uji coba permukaan spesimen uji lelah bahan plastik PVC dari pembubutan dengan penggerak bor manual sebelum diampelas sambil berputar ditunjukkan sebagaimana Gambar 15.



Gambar 15. Permukaan spesimen uji lelah bahan plastik PVC sebelum diampelas sambil berputar

Radius pahat sektor 1,2 mm yang berhasil membubut spesimen standar uji lelah yang permukaannya cukup halus sekitar hasil pembubutan dengan Mesin Bubut CNC sebagaimana Gambar 16.



Gambar 16. Radius pahat sektor 1,2 mm yang berhasil membubut spesimen standar uji lelah

Hasil uji coba pembubutan spesimen uji lelah dari bahan plastik PVC dengan penggerak bor manual setelah diampelas sambil berputar ditunjukkan sebagaimana Gambar 17.



Gambar 17. Hasil uji coba pembubutan spesimen uji lelah dari bahan plastik PVC

Bahan sebelum dibubut berupa batang silindris yang dibeli di perdagangan. Pada percobaan 1, radius ujung pahat masih terlalu runcing yang menghasilkan permukaan beralur, setelah digerinda menjadi sedikit lebih besar dilakukan pembubutan pada percobaan 2, diperoleh permukaan yang lebih halus, namun masih kurang cukup halus. Adanya alur akibat pembubutan pada permukaan spesimen uji lelah dapat menimbulkan konsentrasi tegangan yang harus dicegah atau misalnya dihilangkan dengan pengampelasan. Oleh karenanya, radius ujung pahat diperbesar sedikit lagi, pada percobaan 3 diperoleh hasil permukaan yang lebih halus, tetapi masih kurang sempurna. Dilanjutkan dengan memperbesar radius ujung pahat sampai 1,2 mm, maka pada percobaan 4 diperoleh hasil dengan permukaan yang cukup halus sekitar setara dengan hasil kekasaran permukaan spesimen yang dikerjakan dengan Mesin Bubut CNC sebagaimana Gambar 18. Putaran Bor manual saat awal adalah 2600 rpm, setelah diberikan pembebahan pembubutan dicatat dengan tachometer diperoleh 720 rpm.

Faktor konsentrasi tegangan/stress concentration factor/SCF terkait dengan perbandingan antara hubungan radius fillet spesimen penampang silindris (R) terhadap diameter (D) spesimen uji lelah standar ASTM E 466 menunjukkan nilai yang semakin rendah jika nilai R/D semakin besar [9]. Jadi adanya leukan yang semakin dalam dengan radius semakin kecil pada permukaan spesimen dapat meningkatkan konsentrasi tegangan bahan yang dapat mempermudah patahnya bahan tersebut.



Gambar 18. Hasil pembubutan spesimen dengan Mesin Bubut CNC

Hasil desain mesin dengan motor listrik 1 phasa 1450 rpm, daya $\frac{1}{4}$ HP dan tegangan 220V dapat menguji spesimen baja poros kantilever maksimum $\phi 10$ mm dalam standar ASTM E 466 pada putaran

konstan dan pembebahan mulai dari 5 sampai dengan 20 kg [10] hanya sesuai untuk bahan spesimen baja yang awal pembebannya cukup besar yakni 5 kg yang tentunya tidak sesuai untuk uji lelah bahan plastik yang pembebannya lebih kecil.

Pemrograman bubut CNC telah berhasil dibuat untuk spesimen uji lelah tipe radius kontinyu berdiameter kecil 9,3 mm dan berdiameter utama 16 mm dengan Kode M dan G yaitu M03, G00, G01, G02, M92, M99 dan M30 [11]. Perintah-perintah program dalam Mesin Bubut CNC dengan 7 macam telah dapat membuat spesimen uji lelah berdasar ASTM E466-82 bentuk spesimen silindris tipe *continuous radius* dari R.R. Moore yang mirip dengan bentuk spesimen uji tarik.

Kekasaran permukaan logam akibat pemesinan mempengaruhi ketahanan bahan terhadap pembebahan dinamis. Kekuatan patah bahan pada uji lelah menurun dengan adanya goresan-goresan yang semakin dalam karena konsentrasi tegangan. Slip pada permukaan butir jauh lebih mudah terjadi daripada bagian dalam butir, karena permukaan berhubungan langsung dengan lingkungan. Penggeraan spesimen yang kurang sempurna menimbulkan tegangan yang lebih besar pada daerah permukaan yang berakibat pada perubahan kekuatan lelah bahan [12]. Ketidaksempurnaan permukaan hasil penggeraan pemesinan untuk persiapan spesimen uji lelah dapat menimbulkan menurunnya ketahanan pada beban dinamis.

Poros lebih cenderung mengalami gagal lelah karena adanya beban siklis yang lebih cepat terjadi bila terdapat perubahan geometri penampang seperti poros bertingkat, alur snap ring, ring O, alur pasak, dan adanya lubang. Perubahan tersebut menyebabkan pemasukan tegangan/konsentrasi tegangan, sehingga umur poros berkurang. Konsentrasi tegangan tersebut dapat dikurangi dengan penambahan geometri baru poros berupa 2 alur bantu di sebelahnya pada dimensi tertentu yang ukurannya lebih kecil yang dapat meningkatkan umur poros 27,79% [13]. Umur poros diukur dari jumlah putaran dalam uji lelah hingga spesimen menjadi putus. Pemberian 2 alur bantu sebagai penurunan penjenjangan dari konsentrasi tegangan.

Bahan paduan baja super (*superalloy*) GH4169 memiliki umur lelah yang berbeda karena perlakuan penggeraan permukaan spesimennya. Umur lelah terendah dimiliki oleh spesimen uji lelah yang dibubut dan dipoles arah melingkar, dan umur lelah tertinggi dimiliki oleh spesimen uji lelah yang dibubut, dipoles arah melingkar, dan diampelas arah memanjang. Umur lelah yang semakin tinggi dimiliki berurutan pada spesimen uji lelah yang dibubut dan dipoles arah melingkar, $5,29 \times 10^4$ siklus; spesimen uji lelah yang hanya dibubut $6,41 \times 10^4$

siklus; spesimen uji lelah yang dibubut, dipoles arah melingkar, dan diampelas arah miring $7,56 \times 10^4$ siklus; dan spesimen uji lelah yang dibubut, dipoles arah melingkar, dan diampelas arah memanjang $15,01 \times 10^4$ siklus [14]. Ternyata umur lelah terpendek dimiliki spesimen yang persiapannya dibubut dan dipoles arah melingkar yang mana keadaan tersebut serupa dengan arah goresan intan pada kaca yang akan dipotong memiliki arah luka gores tegak lurus arah pematahannya, sementara spesimen yang persiapannya hanya dibubut memiliki umur lelah lebih tinggi 21% daripada spesimen uji lelah yang dibubut dan dipoles arah melingkar. Dibandingkan dengan spesimen uji lelah yang dibubut dan dipoles arah melingkar, maka spesimen uji lelah yang dibubut, dipoles arah melingkar, dan diampelas arah miring memiliki umur lelah lebih tinggi 43%; dan spesimen uji lelah yang dibubut, dipoles arah melingkar, dan diampelas arah memanjang memiliki umur lelah tertinggi dengan peningkatan 184%.

Umur lelah paduan γ -TiAl dilakukan dengan pembubutan dengan pahat sisip CNMG120412-MF4, CNMG120408-SM dan pembubutan diikuti pemolesan adalah lebih cocok karena diperoleh gaya pemotongan, kekasaran permukaan, dan keausan pahat yang rendah. Dengan naiknya kecepatan dan kedalaman potong, kedalaman lapisan tegangan sisa tekan, lapisan pengerasan, dan lapisan deformasi plastik meningkat. Pembubutan diikuti pemolesan menghasilkan tegangan sisa tekan berkurang sekitar 20-30% setelah jumlah siklus sepuluh juta (10^7). Pembubutan diikuti pemolesan yang menghasilkan kekasaran permukaan dengan $R_a = 0,15 \mu\text{m}$ telah meningkat 3 kali lipat dari spesimen yang dibubut dengan $R_a = 0,43 \mu\text{m}$ [15]. Semakin halus permukaan dari spesimen uji lelah menunjukkan semakin meningkatnya umur lelah hingga 3 kali lipat untuk kekasaran permukaan yang lebih halus sekitar 3 kalinya.

Dari berbagai hasil penelitian terkait penggeraan persiapan spesimen uji lelah menunjukkan bahwa kehalusan permukaan spesimen uji lelah dapat menaikkan umur lelah suatu bahan. Jadi penggeraan persiapan spesimen uji lelah sebelum pelaksanaan pengujian merupakan langkah penting untuk menghasilkan luaran penelitian yang baik. Pembubutan dengan mesin bubut CNC dapat menghasilkan permukaan yang cukup halus, namun biayanya lebih mahal dibandingkan dengan pembubutan menggunakan sebuah *tool post* bubut profil khusus untuk spesimen uji lelah standar prinsip R. R. Moore.

Kesimpulan

Simpulan atas pembahasan meliputi:

- 1) Spesimen standar uji lelah bahan plastik dapat dilakukan secara sederhana menggunakan penggerak bor manual dengan kekasaran permukaan yang cukup halus setelah di-*finishing* dengan pengampelasan,
- 2) Pekerjaan pembubutan spesimen yang tidak dapat dilakukan dengan Mesin Bubut Konvensional dan hanya dapat dikerjakan dengan Mesin Bubut CNC yang dapat disederhanakan dengan menggunakan pemegang (*tool post*) pahat bubut profil spesimen standar uji lelah,
- 3) Secara khusus persiapan penggeraan spesimen untuk uji lelah dapat dikerjakan pada mesin uji lelah sendiri dan langsung dapat dilakukan uji lelah pada bahan plastik setelah dibuat pemegang pahat bubut profil sesuai dengan spesimen standar uji lelah,
- 4) Rekomendasi untuk penelitian lanjutan yaitu (a) penelitian uji coba pengaruh radius ujung pahat terhadap hasil permukaan spesimen dari bahan plastik, (b) penelitian uji coba pengaruh radius ujung pahat terhadap hasil permukaan spesimen dari bahan logam non ferro, (c) penelitian uji coba pengaruh radius ujung pahat terhadap hasil permukaan spesimen dari bahan logam ferro, (d) penelitian pengaruh pemilihan kecepatan putar dalam pembubutan spesimen terhadap efisiensi daya motor yang dibutuhkan untuk mencapai mutu hasil permukaan spesimen yang optimal.

Penghargaan

Penghargaan disampaikan kepada Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti) atas dukungan dana hibah penelitian multi tahun, tahun ke-2 dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018 antara Pejabat Pembuat Komitmen, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat dengan Politeknik Negeri Malang Nomor : 030/ SP2H/LT/ DRPM/ IV/ 2018 tanggal 26 Maret 2018 dan Politeknik Negeri Malang atas dukungan fasilitas dalam pembuatan komponen-komponen peralatan, ruang ujicoba dan pengembangan Mesin Uji Lelah prinsip R.R. Moore.

Referensi

- [1] Smith, W.F., 2006, Foundations of Materials Science and Engineering, 4th edition, McGraw Hill International, 2006, Singapore.

- [2] Hadi, S. et al. 2017. Design, Fabricated, and Trial on a Fatigue Test Machine. Prosiding SNTTM XVI, Oktober 2017, 201-207.
- [3] Callister, W.D., 2007, Materials Science and Engineering: An Introduction, Wiley Asia Student Edition, John Wiley & Sons, Inc., 7th Edition, Salt Lake City, Utah, USA.
- [4] Hadi, S., 2016, Teknologi Bahan, Andi Offset, Yogyakarta, ISBN: 978-979-29-5586-6.
- [5] Dowling, N.E., 2007, Mechanical Behavior of Materials, Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue, Pearson International Edition, Upper Saddle River, NJ 07458, USA.
- [6] [Informasi dari https://www.google.co.id/search?q=tabel+sifat+sifat+polimer+pvc&safe=strict&tbo=isch&source=iu&ictx=1&fir=xOZ4r7qzkSeW3M%253A%252CqUE-H36nDmHmM%252C_&usg=AFrqEzeydlqwFJ9ArdwlB2GyaUH8obYqQg&sa=X&ved=2ahUKEwjDoqSFx-3cAhWTdn0KHW5EBVAQ9QEwAXoECA_YQBg#imgrc=z8ZA5s8UdHE1RM: (diakses 15 Agustus 2018).]
- [7] Hadi, S., 2018. Teknologi Bahan Lanjut, ISBN: Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 978-979-29-6366-3.
- [8] Bolton, W., 1998, Engineering Materials Technology, 3rd Edition, Butterworth, Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP.
- [9] Simões, D.A. et al. 2012. Improved Fatigue Test Specimens with Minimum Stress Concentration Effects, 67th ABM International Congress.
- [10] Hutabarat, U.J. dan Sitorus, M.B.H., 2017. Perancangan Mesin Uji Lelah Baja Poros dengan Pembebanan Puntir Dinamis, Jurnal Teknik Mesin, Vol.6, No. 4, 258-262.
- [11] Suprihanto, A. dkk., 2006. Pembuatan Spesimen Uji Lelah Tipe Continuous Radius Menggunakan Mesin Bubut CNC, Rotasi, 8(2), 9-13.
- [12] Harahap, D.G. 2015. Studi Literatur Perbandingan Hasil Uji Lelah Tipe Cantilever dan Four Rotating Bending pada Baja Tahan Karat AISI 304, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar Alue Peunyareng, Aceh Barat.
- [13] Chandra, D., 2009. Kaji Eksperimen Peningkatan Umur Lelah Poros Beralur dengan Penambahan Alur Bantu, TeknikA, 1(32), 1-6.
- [14] Wu, D. dkk., 2018. Effect of Turning and Surface Polishing Treatments on Surface Integrity and Fatigue Performance of Nickel-Based Alloy GH4169, Metals 8 (549), 1-17.
- [15] Yao, C. et al., 2018. Surface Integrity and Fatigue Behavior when Turning γ -TiAl Alloy with Optimized PVD-Coated Carbide Inserts, Chinese Journal of Aeronautics, 31(4): 826-836.