

## KARAKTERISASI KETAHANAN LELAH ULIR METRIS AKIBAT PEMBEBANAN PUNTIR LENTUR PADA MATERIAL BAJA KARBON RENDAH

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pemberian takik ulir metris dalam berbagai variasi kedalaman terhadap kekuatan lelah pada baja karbon rendah.

Desain penelitian menggunakan metode *Pre Experimental Designs* bertipe *Static Group Comparison*. Dengan desain ini maka ada dua kelompok penelitian yaitu kelompok eksperimen (spesimen dengan kedalaman ulir metris 0,33, 0,67 dan 1 mm) dan kelompok kontrol (spesimen tanpa ulir). Spesimen uji tarik menggunakan standar JIS Z2201 No. 14A dan spesimen uji fatik mengacu standar JIS Z2274 No. 1, sedangkan pembuatan ulir metris mengacu standar JIS B0205.

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah dengan kadar karbon (C) sebesar 0,11%wt dan kadar besi (Fe) sebesar 99,19%wt. Struktur mikronya terdiri atas ferrite dan pearlite. Hasil pengujian tarik menunjukkan adanya penurunan kekuatan sebagai akibat bertambahnya kedalaman ulir metris, juga penurunan kekuatan tarik dibanding spesimen tanpa ulir matri. Hasil pengujian fatik juga menunjukkan kecenderungan serupa. Kurva S-N yang menunjukkan persamaan  $S = 69,835N^{0,0603}$  untuk raw materials,  $S = 135,36N^{0,1385}$  untuk spesimen bertakik ulir metris dengan kedalaman 0,33 mm,  $S = 124,45N^{0,1416}$  untuk spesimen bertakik ulir metris dengan kedalaman 0,67 mm dan  $S = 188,33N^{0,1897}$  untuk spesimen bertakik ulir metris dengan kedalaman 1 mm. Pengujian pada level tegangan 32,26 kg/mm<sup>2</sup> mengalami penurunan siklus 87,63% untuk ulir dengan kedalaman 0,335 mm, 97,28% untuk ulir dengan kedalaman 0,67 mm, dan 97,82 % untuk ulir dengan kedalaman 1 mm dibandingkan dengan siklus material tanpa ulir.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin dalam ulir metris maka semakin besar penurunan siklus lelahnya. Hal-hal yang dapat disarankan adalah perlunya penelitian lanjutan berkaitan dengan jenis ulir yang lain, radius akar ulir metris, serta upaya-upaya meningkatkan batas lelah dari jenis ulir tersebut.

**Kata kunci:** Ulir Metris, Kekuatan Lelah, Baja Karbon Rendah.

### Pendahuluan

Kelelahan adalah kegagalan yang terjadi pada suatu material pada keadaan beban dinamis. Kegagalan merupakan hal yang sangat membahayakan, karena terjadinya tanpa adanya petunjuk awal. Pada umumnya besarnya pembebanan yang dibutuhkan agar terjadi kerusakan pada suatu komponen jauh lebih kecil dari tegangan statis yang diijinkan. Menurut Darmawan (1997), kekuatan lelah komponen mesin dari baja diperoleh dari kekuatan lelah baja yang digunakan dikalikan dengan faktor pereduksinya. Sedangkan untuk faktor reduksi ketahanan lelah terdiri dari: faktor permukaan, ukuran, temperatur, konsentrasi tegangan, korosi dan faktor lainnya. Semua faktor reduksi tersebut ditentukan secara empirik.

Dalam konteks rancang bangun dan rekayasa, poros merupakan salah satu komponen yang

mempunyai peran penting dalam meneruskan daya dari setiap permesinan. Geometri sebuah poros adalah geometri yang tidak kontinu. Ketidak kontinyuan muncul karena faktor ketidak senggaraan dalam proses permesinan, seperti: rongga, goresan pada permukaan, pengerjaan kasar dan lain-lain.

Ketidak kontinyuan kehadirannya bisa juga karena adanya tuntutan desain, seperti: poros bertingkat, lubang saluran minyak pada poros, alur pasak (*keyways*), ulir dan jalur tipis (*fillet*). Semua keadaan ini sangatlah berpotensi menimbulkan konsentrasi tegangan pada tempat tersebut dan bila terjadi pembebanan berulang akan menjadi penyebab kerusakan, karena daerah tersebut dapat menimbulkan retak awal (*intial crack*).

Ulir metris merupakan jenis penyambungan yang umum dipakai. Penyambungan jenis ini lebih banyak memberikan kontribusi positif secara

ekonomis maupun teknis bila dibandingkan jenis penyambungan yang lain. Dalam pembuatan ulir metris mempertimbangkan beberapa faktor, diantaranya jenis beban, jenis alur pasak, kedalaman dan ketajaman ujung ulir, serta jenis pembebanan.

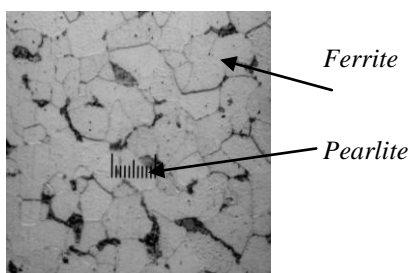
Penelitian ini memfokuskan pada pengaruh variasi kedalaman ulir metris terhadap ketahanan lelah pada material baja karbon rendah sebagai akibat pembebanan puntir lentur. Kehadiran variasi kedalaman ulir metris memberikan pengaruh terhadap konsentrasi tegangan yang berbeda. Faktor konsentrasi tegangan yang berbeda akan memberikan implikasi pada ketahanan lelah yang berbeda pula.

**Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini desain yang digunakan adalah metode *Pre Experimental Designs bertipe Static Group Comparison*. Desain penelitian ini terdiri dari dua kelompok. Kelompok eksperimen dengan spesimen uji tarik dan fatik dengan variasi kedalaman ulir metris 0,33, 0,67 dan 1 mm dan kelompok kontrol dengan menggunakan spesimen uji tanpa ulir metris. Spesimen uji tarik menggunakan standar JIS Z2201 No. 14A dan spesimen uji fatik mengacu standar JIS Z2274 No. 1, sedangkan pembuatan ulir metris mengacu standar JIS B0205.

**Hasil Penelitian**

Hasil pengujian komposisi kimia didapatkan data utama unsur Fe sebesar 99,19% wt, 0,11% wt C dan 0,441% wt Mn. Menurut Wiryosumarto (2000), bahwa baja karbon rendah mempunyai kandungan karbon 0% - 0,30% wt, sehingga material uji tersebut dapat diklasifikasikan sebagai baja karbon rendah, sedangkan struktur mikro terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*.



Gambar 1. Foto mikro raw material dengan perbesaran 500 kali

Tabel 1. Hasil uji tarik

Jenis Spesimen	$\sigma_u$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )
Tanpa ulir metris	49,56	46,09
kedalaman 0,33 mm	49,32	44
kedalaman 0,67 mm	48,8	41,92
kedalaman 1 mm	47,99	31,48

Pengujian tarik digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dan kekuatan luluh dari jenis spesimen uji tanpa ulir metris dan spesimen uji dengan variasi kedalaman ulir metris. Pengujian menggunakan mesin serpulser pada skala beban 4000 Kg dengan menggunakan spesimen standar JIS Z2201 No. 14A. Hasil pengujian ditabulasikan seperti pada Tabel 1 di atas.

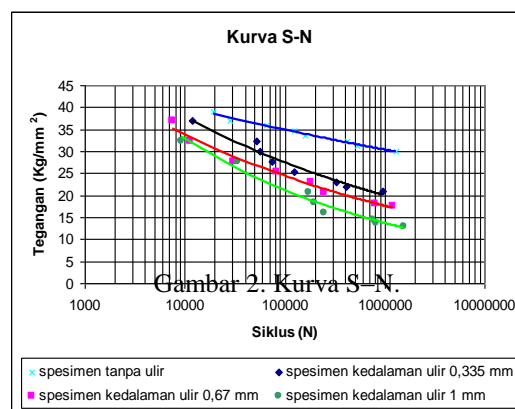
Nilai kekuatan tarik spesimen uji dengan kedalaman ulir metris 0,33 mm mengalami penurunan sebesar 0,48% terhadap spesimen uji tanpa ulir metris, sedangkan untuk spesimen uji dengan kedalaman ulir metris 0,67 mm penurunannya sebesar 1,53% dan spesimen uji dengan kedalaman ulir metris 1 mm juga mengalami penurunan kekuatan tarik sebesar 3,17%.

Kekuatan luluh spesimen uji tanpa ulir metris (*raw materials*) sebesar 46,09 kg/mm<sup>2</sup> terjadi reduksi 4,53% terhadap spesimen uji dengan kedalaman ulir metris 0,33 mm, dan tereduksi 9,05% terhadap spesimen uji kedalaman ulir metris 0,67 mm, sedangkan spesimen uji dengan kedalaman ulir metris 1 mm mengalami penurunan nilai kekuatan luluh sebesar 31,7%.

Dari hasil pengujian lelah diperoleh hubungan persamaan level tegangan dan siklus pembebanan sebagai berikut :

1. Persamaan untuk spesimen tanpa ulir metris  
 $S = 69,835N^{-0,0603}$  .....(2)
2. Persamaan untuk spesimen dengan kedalaman ulir 0,33 mm  
 $S = 135,36N^{-0,1385}$  .....(3)
3. Persamaan untuk spesimen dengan kedalaman ulir 0,67 mm  
 $S = 124,45N^{-0,1416}$  .....(4)
4. Persamaan untuk spesimen dengan kedalaman ulir 1 mm  
 $S = 188,33N^{-0,1897}$  .....(5)

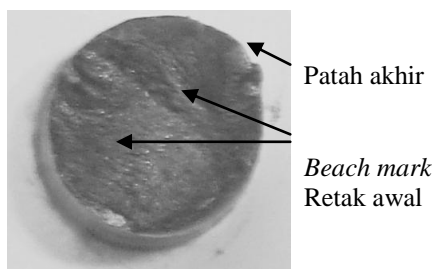
Hasil pengujian lelah disajikan dengan menggunakan kurva S-N seperti pada Gambar 2. di bawah.



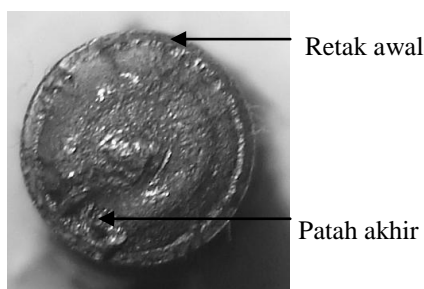
Pengujian pada level tegangan 32,26 kg/mm<sup>2</sup> mengalami penurunan siklus 87,63% untuk ulir dengan kedalaman 0,335 mm, 97,28% untuk ulir

dengan kedalaman 0,67 mm, dan 97,82 % untuk ulir metris dengan kedalaman 1 mm dibandingkan dengan siklus material tanpa ulir metris.

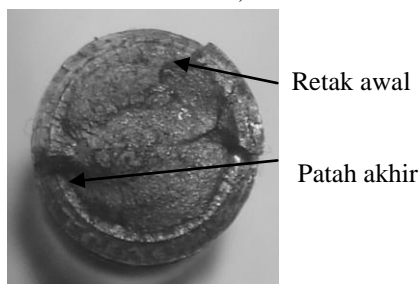
Karakteristik hasil penampang patah spesimen uji leleh tanpa adanya ulir metris menunjukkan pembentukan retak awal (*initial crack*), daerah perambatan retak (*beach mark*), dan daerah patah tiba-tiba/statis (*final fracture*), sedangkan untuk spesimen uji dengan adanya ulir metris hanya menunjukkan pembentukan retak awal (*initial crack*) dan daerah patah tiba-tiba/statis (*final fracture*), kondisi tersebut seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



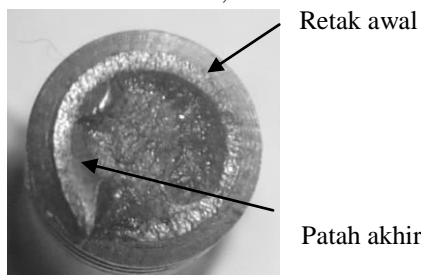
Gambar 3. Penampang patah uji fatik spesimen tanpa ulir



Gambar 4. Penampang patah uji fatik kedalaman ulir 0,33 mm



Gambar 5. Penampang patah uji fatik kedalaman ulir 0,67 mm



Gambar 6. Penampang patah uji fatik kedalaman ulir 1 mm

### Pembahasan

Hasil pengujian fatik menunjukkan bahwa material tanpa ulir mempunyai kekuatan fatik yang lebih tinggi dibandingkan material material bertakik ulir metris dan kekuatan fatik material bertakik ulir metris akan semakin menurun sebanding dengan peningkatan kedalaman takik ulir metris. Penurunan kekuatan fatik pada material bertakik ulir metris ini dikarenakan adanya konsentrasi tegangan yang terjadi pada ujung takik ulir metris.

Konsentrasi tegangan yang terjadi pada ujung takik akan meningkatkan tegangan maksimal yang dialami material dan semakin besar seiring dengan meningkatnya kedalaman ulir metris. Pada material tanpa ulir metris (*raw materials*) tidak terdapat perubahan geometri / diskontinuitas yang dapat mengakibatkan timbulnya konsentrasi tegangan sehingga tegangan maksimal yang bekerja pada material sama dengan tegangan normal yang bekerja pada material tersebut, sedangkan pada material bertakik ulir metris dapat menimbulkan konsentrasi tegangan. Konsentrasi tegangan pada ujung takik ulir ulir metris akan mengakibatkan peningkatan tegangan maksimal yang bekerja pada material bertakik ulir metris. Peningkatan tegangan maksimal ini mengakibatkan material bertakik ulir metris lebih cepat mengalami kelelahan dibandingkan dengan material tanpa ulir metris. Konsentrasi tegangan pada ujung takik ulir metris akan semakin besar sebanding dengan peningkatan kedalaman takik ulir metris, hal ini mengakibatkan tegangan maksimal yang bekerja pada material bertakik ulir metris akan semakin besar sebanding peningkatan kedalaman takik ulir metris. Tegangan maksimal yang semakin tinggi akan mengakibatkan material akan lebih cepat patah, oleh karena itu material bertakik ulir metris dengan kedalaman 1 mm memiliki kekuatan fatik lebih rendah dibandingkan material bertakik ulir metris dengan kedalaman 0,67 mm dan material bertakik ulir metris dengan kedalaman 0,67 mm memiliki kekuatan fatik yang lebih rendah dibandingkan material bertakik ulir metris dengan kedalaman 0,33 mm.

Kecenderungan pada fenomena penurunan kekuatan tidak hanya terjadi pada pengujian fatik, tetapi juga terjadi pada pengujian tarik. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik maksimum rata-rata dan kekuatan luluh rata-rata material tanpa ulir metris lebih tinggi dibandingkan material bertakik ulir metris. Kecenderungan penurunan kekuatan tarik dan luluh pada material bertakik ulir metris sebanding dengan penambahan kedalaman takik ulir metris, semakin besar kedalaman takik ulir metris maka semakin besar kecenderungan penurunan kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh. Kecenderungan penurunan kekuatan tarik dan luluh ini dikarenakan adanya konsentrasi tegangan pada ujung takik ulir metris. Konsentrasi tegangan pada ujung takik ulir metris akan semakin besar

sebanding dengan penambahan kedalaman takik ulir metris. Konsentrasi tegangan yang semakin tinggi akan menyebabkan tegangan maksimal yang bekerja pada material akan semakin tinggi sehingga menyebabkan material patah pada tegangan yang lebih rendah, oleh karena itu kekuatan tarik dan luluh material tanpa ulir metris lebih tinggi dibandingkan material bertakik ulir metris dan kekuatan tarik dan luluh material bertakik ulir metris akan semakin turun sebanding dengan peningkatan kedalaman takik ulir metris.

Hasil tersebut di atas didukung oleh penelitian Ahmad (1998) dalam penelitiannya tentang pendekatan-pendekatan model elastis – plastis untuk memprediksi panjang retak, laju pertumbuhannya serta batas lelah pada bagian takikan dari spesimen penelitian. Model ini didasarkan pada hasil eksperimen perambatan retak panjang dan pendek dari spesimen yang tidak bertakik distribusi tegangan yang mendahului ujung takik. Takikan dalam penelitian ini dibuat bervariasi bentuk dan geometrinya. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut bahwa kekuatan lelah pada komponen-komponen bertakik dipengaruhi beberapa faktor seperti kedalaman dan radius ujung takik, ukuran daerah plastis, kontribusi panjang retak dan faktor konsentrasi tegangan. Jadi untuk meningkatkan kekuatan lelah pada bagian takik, maka semua faktor harus diperhatikan dalam rancang bagian takikan. Sebagai contoh, untuk meningkatkan kekuatan takik radius ujungnya seharusnya sebesar mungkin untuk mengurangi konsentrasi tegangan. Kedalaman takik seharusnya sekecil mungkin untuk menurunkan distribusi tegangan takik terhadap penambahan retak yang panjang. Ukuran daerah plastis seharusnya kecil untuk mengurangi daerah pertambahan retakan yang pendek dan menambah daya yang dikeluarkan dalam memperlebar retakan dalam daerah elastis.

Sedangkan analisa numeris dan eksperimental yang telah dilakukan Shatil (1995) untuk mempelajari perilaku elastis-plastis dan *Low Cycle Fatigue*/LCF pada spesimen bertakik untuk baja EN15ER. Tegangan-tegangan ujung takik diukur dan dibandingkan dengan estimasi-estimasi yang diperoleh dari metode Neuber, Metode Glinka dan metode elemen hingga (*finite Element Method*). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode elemen hingga menyediakan prediksi cukup akurat dalam mengevaluasi tegangan LCF. Tegangan-tegangan ujung takik ini dapat digunakan untuk memprediksi kekuatan spesimen bertakik berdasarkan hasil tegangan LCF dari spesimen tanpa takik.

## Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pembahasan penelitian di atas diperoleh kesimpulan bahwa ketahanan lelah ulir metris mengalami penurunan seiring bertambahnya kedalaman takiknya, hasil tersebut diperkuat dengan hasil uji tarik yang mengalami penurunan dengan bertambahnya kedalaman ulir metris. Beberapa hal yang dapat disarankan dari hasil penelitian ini adalah perlunya penelitian lanjutan berkaitan dengan jenis ulir yang lain, radius akar ulir metris, serta upaya-upaya meningkatkan batas lelah dari jenis ulir tersebut. Hal lain adalah perlunya pengkomputasian ulir metris dalam menentukan faktor konsentrasi tegangan khususnya pada akar ulir metris.

## Daftar Pustaka

- Ahmad, HY., ClodeMP., Yates JR., 1997, "Prediction of Fatigue Crack Growth in Notched Members". Int. J. Fatigue, Vol. 19, 703 - 712
- Boltscience, 2006, "Metric Thread", Web: <http://www.Boltscience.com>.
- Darmawan, H., 1997, "Kriteria Lelah untuk Perancangan Komponen Mesin", Prosiding Seminar Fatigue & Fracture Mechanics, ITB, 1 - 18
- Dieter, George dan Djaprie, S., 1988, "Metalurgi Mekanik", Edisi Ketiga, Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Djaprie, S. dan Vlack, L.H.V., 1996, "Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)", Edisi Kelima, Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Fuchs, H. O., 1980, "Metal Fatigue In Engineering", Penerbit John Willey and Sons : New York.
- Hirt, M dan Budiman, A., 1986, "Elemen Mesin", Edisi Kedua, Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Rochim, S. dan Sonawan, H., 2004. "Metalurgi Pengelasan Logam", Penerbit Alfabeta : Bandung.
- Schonmentz, A., 1985, "Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam", Angkasa : Bandung.
- Shatil, G., Ellison, E.G., Smith, D.J., 1995, "Elastic-Plastic Behaviour and Uniaxial Low Cycle Fatigue Life of Notched Specimen", Fatigue Fract. Engng Mater. Struct. Vol. 18, 235 - 245
- Sularso Dan Suga, K., 2002, "Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin", Edisi Kesepuluh, Penerbit PT Pradnya Paramita : Jakarta.
- Surdia, T. dan Shinroku, S., 1992, "Pengetahuan Bahan Teknik", PT Pradnya Paramita : Jakarta.
- Wiryosumarto, 2000, "Teknologi Pengelasan Logam", PT Pradnya Paramita : Jakarta.