

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

# A R M A T U R

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.unmetro.ac.id/index.php/armatur>

## Analisis Perambatan Fatik Baja Pegas JIS SUP9 yang diberi perlakuan panas *Austempering*

Ahmad Kurniawan Purga<sup>1\*</sup>, Moh. Badaruddin<sup>2</sup>, Sugiyanto<sup>3</sup><sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung 35145<sup>2,3</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung 35145

### A R T I C L E I N F O

#### Keywords:

JIS SUP9 steel  
Tensile Test  
Fatigue Test  
Austempering  
Microstructure

### A B S T R A C T

JIS SUP9 steel is known for its mechanical properties that are able to withstand continuous loads. Regarding this, further observation is needed to comprehensively determine the strength and fatigue characteristic of JIS SUP9 steel which will be used to predict its service life by conducting both tensile and fatigue test experiments, then subjecting the steel to Austempering heat treatment with a salt solution at 800 degrees Celsius for 120 minutes followed by cooling to room temperature. The results of the tensile test showed the maximum stress of the steel indicating a higher strength to 1087.16 MPa hence the specimen became brittle. The fatigue test results showed that the specimen perpendicular to the rolling direction had a cycle of 60,000N and a crack propagation of 20.8 mm, whereas the specimen with the same rolling direction produced a cycle of 37,500N but a crack length of 21.2 mm. The test results showed the high cycle fatigue properties of the specimen because microstructure observations using Optical Microscopy (OM) and Scanning Electron Microscopy (SEM) revealing Pearlite, Bainite, and Ferrite phases. This is the reason why JIS SUP9 Steel can still be relied on as a spring material for vehicles that carry loads.

### Pendahuluan

Ketahanan Baja JIS SUP9 dalam menerima beban kendaraan didukung oleh sifat mekanik seperti kekuatan luluh, kekuatan tarik, modulus elastisitas serta *elongasi* atau disebut faktor metalurgi, namun seiring berjalannya waktu spesimen

tersebut tetap mengalami degradasi sifatnya yang disebabkan oleh sering menerima beban yang dinamis atau sering disebut kerusakan Fatik [1,11]. Baja pegas dalam kerjanya dapat menerima beban berat dan memiliki kekuatan mekanik yang baik seperti kekuatan tarik dan kekuatan impak serta struktur mikro fase martensit sangat

halus. Meskipun begitu, Baja Pegas memiliki tingkat kelelahan yang akan merambat pada keretakan spesimen karena dilakukan pembebanan yang dilakukan secara berulang. Sifat Mekanik dan Struktur Mikro dianalisis dan dievaluasi kekuatan tarik dan perambatan retak fatik terhadap Baja JIS SUP9 dengan beban statis dan kemampuan baja tersebut mencapai tegangan maksimal setelah dilakukan pengujian setelah dilakukannya uji tarik dan uji fatik terhadap spesimen menggunakan pengamatan *Optical Microscope* dan *Scanning Electron Microscope* [3]

Pengujian tarik adalah salah satu proses pengujian yang berfungsi untuk mengetahui kekuatan mekanik dari suatu material. Pengujian tarik dilakukan dengan cara melakukan penarikan material dengan gaya tarik secara terus menerus dan teratur sampai material mengalami kegagalan atau patah, hasil uji tarik dapat menjabarkan atau membuatkan sebuah kurva yaitu kurva tegangan dan regangan. Dan dari kurva tersebut kita bisa mencari dan menganalisa daerah elastis, daerah plastis dan nilai titik luluhnya (*yield strength*). Untuk kurva tegangan vs regangan bisa diperoleh dari hasil pengukuran perpanjangan spesimen uji dimana tegangan yang digunakan adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dan dibagi dengan luas awal penampang melintang benda [10].

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dimana  $\sigma$  merupakan Tegangan tarik, N/m<sup>2</sup> (Pa),  $F$  adalah Gaya (N) dan  $A$  yaitu Luas permukaan (m<sup>2</sup>).

Regangan tarik suatu batang yang ditarik dapat didefinisikan dengan cara yang sama sebagai perbandingan antara berkurangnya panjang batang dengan panjang semula yang nilainya lebih kecil dari 0. Sehingga perubahan yang terjadi dari suatu perbandingan pada panjang batang  $\Delta\ell/\ell_0$  disebut dengan regangan seperti yang pada persamaan berikut [3]

$$\varepsilon = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \quad (2)$$

dimana  $E$  merupakan Regangan,  $\ell$  adalah Panjang batang (m),  $\ell_0$  adalah Panjang semula (m) dan  $\Delta\ell$  ialah Perubahan panjang (m).

Kelelahan (*Fatigue*) merupakan kecenderungan pada bahan untuk mengalami kegagalan atau patah jika menerima tegangan secara berulang-ulang yang nilainya dibawah batas kekuatan elastisnya. Terdapat tiga fase dalam terjadinya kegagalan bahan akibat fatigue (kelelahan) bahan. Ketiga fase tersebut adalah sebagai berikut:

1. Permulaan retak (*crack initiation*)  
Diawali dengan adanya *crack* sebagai awal terjadinya fatigue kemudian *crack* pada permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pitch dll) akan merambat karena adanya pembebanan yang berulang.
2. Penyebaran retak  
Pada fase ini, *crack* mulai merambat seiring dengan tingginya nilai konsentrasi tegangan di *crack initiation*. Penyebaran retak ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcrack* tersebut berkembang membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada perpatahan bahan.
3. Patah (*fracture*)  
Ini merupakan fase terakhir, bahan akan mengalami perpatahan karena sudah tidak mampu lagi menahan pembebanan secara siklik dan sudah melewati nilai elastisitasnya. Pada tahap ini penjaralan retak yang terjadi pada material sangatlah cepat sehingga struktur akan pecah menjadi dua dan pada akhirnya akan menghasilkan kerusakan permanen.

Selain itu terdapat juga dua siklus yang membedakan Fatik, yaitu :

1. *Low Cycle Fatigue (LCF)* yaitu fatik dengan siklus rendah. Pada *low cycle fatigue* memiliki nilai jumlah siklus dibawah  $\leq 10^3 = 1000$  siklus dalam kondisi plastis. *Low cycle fatigue*

biasanya didesain dengan mengabaikan keseluruhan efek *fatigue* atau dengan mengurangi level tegangan yang diijinkan. Sebagai contoh aplikasi *low cycle fatigue* ini adalah grendel pada laci kecil dekat stir mobil, stud pada roda truk.

2. *High Cycle Fatigue (HCF)* yaitu fatik dengan siklus tinggi. pada *high cycle fatigue* memiliki nilai jumlah siklus antara  $10^4$  sampai  $10^7$  dan di luar kondisi elastis. Sebagai contoh aplikasi *high cycle fatigue* adalah engsel pintu mobil, panel badan pesawat, dan pemukul *softball* aluminium.

*Austempering* merupakan proses perlakuan panas yang diaplikasikan dengan tujuan untuk mendapatkan mikrostruktur yang dikenal sebagai bainit. Perlakuan *austempering* diperlukan guna mendapatkan struktur bainit halus yang dimana karbida ( $F_3C$ ) yang ada pada matriks ferit berbentuk partikel – partikel halus jika dibandingkan dengan struktur lameral karbida ( $Fe_3C$ ) pada perlit [7,9].

Mikro struktur adalah kondisi dari beberapa gabungan fasa - fasa yang terdapat dalam baja serta dapat diamati dan dianalisa melalui teknik metalografi. Berikut adalah beberapa jenis struktur mikro baja :

1. *Ferit*  
*Ferit* adalah paduan dari unsur karbon serta unsur paduan yang terjadi karena akibat dari suatu proses pendinginan dengan secara lambat.
2. *Austenit*  
*Austenit* merupakan campuran dari besi dan karbon yang terjadi karena adanya proses pembekuan.
3. *Simentit*  
*Simentit* merupakan campuran besi yang bisa membentuk fasa stabil pada paduan besi dan baja.
4. *Pearlite*  
*Pearlite* campuran dari dua fasa yaitu ferit dan simentit yang keduanya

tersusun sebagai pelat sejajar dengan kondisi bolak-balik.

5. *Martensit*  
*Martensit* merupakan transformasi yang terjadi pada austenite karena dilakukan proses pendinginan dengan sangat cepat dan tanpa disertai oleh penyusunan atom karbon yang secara difusi pada kisi - kisi austenite tersebut.
6. *Bainit*  
*Bainit* pencampuran dari dua fasa, yaitu antara ferit dan simentit, kedua fasa ini bisa terbentuk dikarenakan adanya proses pendinginan cepat austenit pada suhu antara  $400^{\circ}C$  dan  $550^{\circ}C$  [2].

SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk untuk mengamati bentuk patahan pada spesimen uji setelah dilakukan proses pengujian. Cara untuk mendapatkan struktur mikro dengan membaca berkas elektron, didalam SEM berkas elektron berupa noda kecil yang umumnya  $1\mu m$  pada permukaan specimen. Permukaan spesimen diambil gambarnya, dari gambar tersebut kemudian dianalisa bentuk permukaannya atau kerusakan pada spesimen. Pentingnya SEM adalah memberikan gambaran nyata dari bagian kecil specimen. Berikut adalah gambar bentuk spesimen yang akan dilakukan pengamatan menggunakan SEM.

Pengujian OM (*Optic Miscroscope*) adalah jenis mikroskop yang menggunakan cahaya tampak dan sistem lensa untuk memperbesar gambar sampel kecil. Perbesaran mikroskop ini mencapai 1000x. [5].

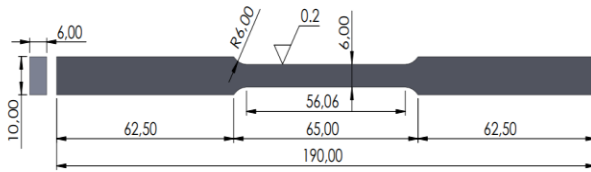
## Metode Penelitian

### 1. Pembuatan Spesimen Uji

Baja Plat JIS SUP9 berbentuk persegi panjang dengan spesifikasi panjang 400 mm, lebar 70 mm dan tebal 7 mm dibentuk menjadi 2 bentuk yaitu spesimen uji tarik dan spesimen uji fatik.

- a. Spesimen Uji Tarik

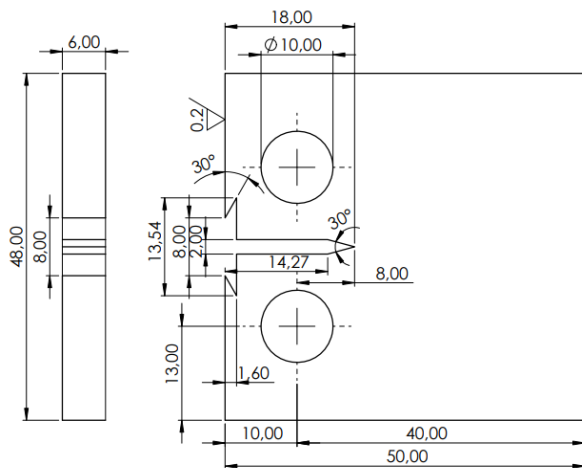
Spesimen Uji Tarik dibentuk pemesian Wire Cut untuk membentuk spesimen dengan ukuran panjang 190mm, lebar 10 mm dan ketebalan 6 mm dilakukan proses sesuai ASTM-E8 seperti gambar berikut :



Gambar 1. Dimensi Spesimen Sesuai ASTM E8

b. Spesimen Uji Fatik

Spesimen Uji Fatik dibentuk berdasarkan standar ASTM E647 dengan dimensi ukuran panjang 48 mm, lebar 50 mm dan panjang retak awal 18 mm dengan ketebalan spesimen 6 mm.



Gambar 2. Dimensi Spesimen Sesuai ASTM 647

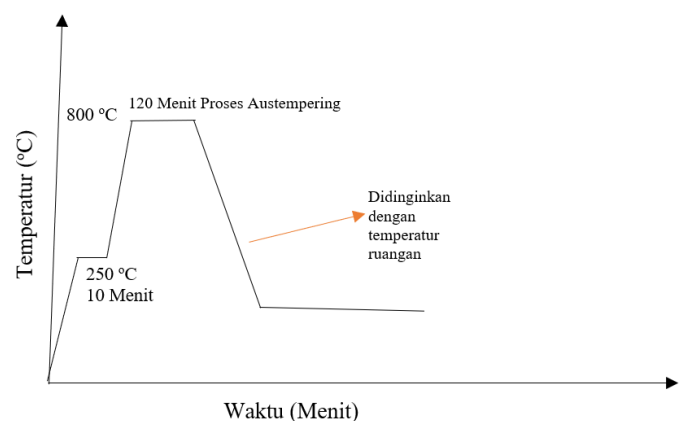
## 2. Proses Austempering

Setelah dilakukan proses pemesian terhadap baja JIS-SUP9 untuk bentuk spesimen uji tarik dan uji fatik maka proses selanjutnya yaitu Proses Austempering yaitu Larutkan Garam pada cawan Tungku Pemanas dengan temperatur 230-250° C atau selama 120 menit. Panaskan Spesimen secara induksi hingga temperatur 250° C untuk mencapai titik Austenit sebelum dicelupkan pada larutan garan pada tungku pemanas. Setelah mancapai temperatur 250° C spesimen dicelupkan kedalam larutan

garam dan panaskan selama 120 menit atau hingga dapat dianggap tempertaur telah mencapai 800° C. Setelah 120 menit dicelupkan ke dalam larutan garam, keluarkan spesimen tersebut lalu dinginkan dengan tempertaur ruangan dengan cara digantung dan lakukan proses yang sama terhadap spesimen yang lain. Setelah Spesimen dingin lalu bersihkan lapisan permukaan spesimen dengan air mengalir lalu keringkan dan simpan ditempat tertutup dan kering sampai proses uji tarik dan uji fatik.



Gambar 3. Proses Pemanasan Spesimen sebelum dilakukan Austempering Larutan Garam



Gambar 4. Diagram Proses Austempering

## 3. Proses Uji Tarik

Proses Uji Tarik dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan luluh ( $\sigma_y$ ) dan tegangan tarik Baja JIS-SUP9 dan berikut langkah yaitu Siapkan Spesimen uji tarik

dengan standar ASTM E8 yang sudah dilakukan proses Austempering dan siapkan perangkat komputer yang sudah terhubung dengan alat Mesin MTS Landmark 370-10 kN. Buka program *Controller 793B* setelah itu klik manual *command*, pilih *displacement mode*, lalu naikan *actuator* ke posisi nol (*zero*). Memasang spesimen pada cross head grip atas kemudian spesimen dicekam. Kemudian cross head diturunkan hingga ujung bawah spesimen masuk ke dalam grip bawah. Klik manual *command* dan klik *control mood* ke *force*. Lalu klik *auto offset* untuk *force*. Setelah itu grip bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah. Memasang extensometer ke spesimen dengan posisi *zero* pin, dan klik manual *offset* untuk *extensometer*. Lalu lepaskan *zero* pin dari *extensometer*. Buka *Software MTS Test Suite* (MPE), lalu pilih template untuk uji tarik statis. Masukkan data tebal plat, Panjang serta lebar, masukan initial *speed* dan *secondary speed* (mm/s). Setelah data diinput selanjutnya klik *RUN* [2,9].

#### 4. Uji Perambatan Retak Fatik

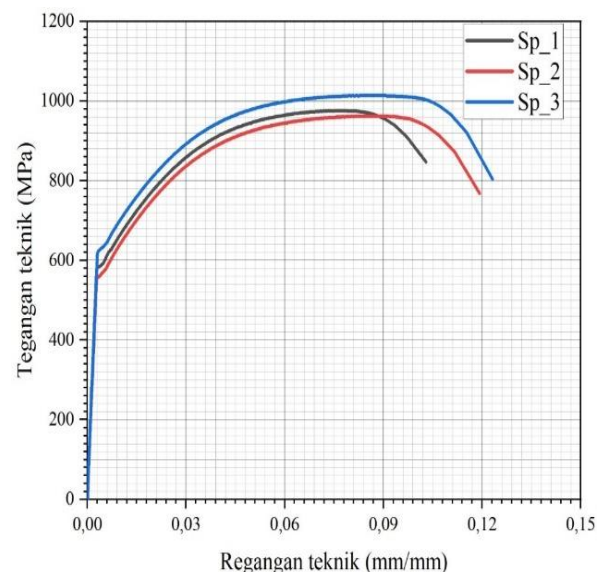
Uji Fatik Baja JIS-SUP9 Siapkan Spesimen uji tarik dengan standar ASTM E8 yang sudah dilakukan proses *Austempering* dan siapkan perangkat komputer yang sudah terhubung dengan alat Mesin MTS Landmark 370-10 kN. Buka program *Controller 793B* setelah itu klik manual *command*, pilih *displacement mode*, lalu naikan *actuator* ke posisi nol (*zero*). Memasang specimen uji pada *cross head grip* atas. Lalu spesimen uji dicekam. Selanjutnya cross head diturunkan hingga ujung bawah spesimen masuk ke dalam *grip* bawah. Kemudian Klik manual *command* serta *control mood* ke *force*. Lalu klik *auto offset* untuk *force*. Selanjutnya *grip* bagian bawah dicekam hingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah. Buka *Software MTS Test Suite* (MPE), lalu pilih *template* untuk *high cycle fatigue testing*. Masukkan data *Pmaks* dan *Pmin*, siklus total, *incremental cycles* untuk mengatur stop

mesin secara otomatis pada setiap jumlah siklus tertentu. dengan tujuan agar retak dapat diamati/diukur dengan menggunakan mikroskop digital *portable*. Masukan initial *speed* serta *secondary speed* (mm/s). Setelah data diinput selanjutnya klik *RUN*.

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik menggunakan Mesin UTS Landmark 100 kN dan hasil uji tarik bahan pelat baja JIS SUP 9 ditampilkan pada Gambar 5 dalam hubungan kurva tegangan (MPa) terhadap regangan (mm/mm). Pengujian tarik yang dilakukan dengan 5 spesimen dengan masing-masing 3 spesimen untuk pengujian tarik tanpa perlakuan panas dan 2 lainnya diberikan perlakuan panas *Austempering* dengan larutan garam dan didinginkan temperatur ruangan.



Gambar 5. Kurva Regangan-Tegangan Teknik Baja JIS SUP9

Spesimen 1 (SP\_1), Spesimen 2 (SP\_2) dan Spesimen 3 (SP\_3), rata-rata spesimen *raw material* memiliki tegangan maksimal masing-masing sebesar 1014,16 Mpa, 962,39 MPa dan 975,86 MPa dengan Tegangan Luluh Spesimen tersebut ketika dilakukan uji tarik masing-masing 592,64 Mpa, 569,90 MPa dan 636,21 Mpa. Sedangkan spesimen dengan perlakuan

panas yaitu AT\_1 dan AT\_2 hanya memiliki nilai tegangan maksimal atau ultimate masing-masing dengan besaran 1119,47 MPa dan 1054,85 MPa, hasil tersebut menjelaskan bahwa Spesimen yang diberi perlakuan panas *Austempering* memiliki ketahanan kekuatan yang lebih dari spesimen tanpa proses *Austempering*, namun spesimen ini berkurang sifat ulet dan ketika dilakukan pengujian tarik terjadi sifat getas

dimana spesimen langsung mengalami proses patah. *Modulus Elastisitas* yang terjadi pada masing spesimen Sp\_1, Sp\_2 dan Sp\_3 yaitu 205,47 GPa untuk Spesimen 1, 210 GPa untuk Spesimen 2 dan 636,21 untuk spesimen 3. Sedangkan *Modulus Elastisitas* untuk Spesimen yang diberi perlakuan Panas AT\_1 dan AT\_2 memiliki nilai 200,67 GPa dan 203,42 GPa.

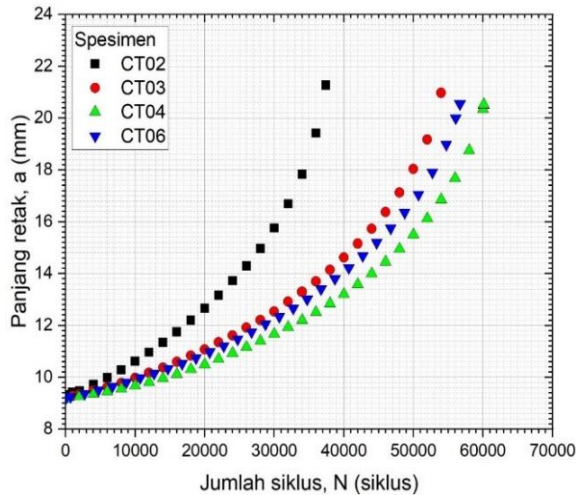
Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

Bahan	Kekuatan tarik, $\sigma$ MPa		Modulus elastis, $E$ GPa	Elongasi $e$ %	$K$ (MPa)	$n$
	$\sigma_{yield}$	$\sigma_{ult}$				
Sp_1	592.64	1014.16	205.47	14.76	2011.32	0.236
Sp_2	569.90	962.39	210.87	19.00	2130.93	0.260
Sp_3	636.21	975.86	210.48	19.26	2045.90	0.230
	599.58±2	984.14±33.	208.94±3.	17.67±2.	2062.72±	0.242±
	6.86	69	01	53	61.55	0.02
AU_1	-	1228.02	192.51	0.64	-	-
Rata-rata		1228.02	192.51	0.64	-	-
AT_1	-	1119.47	200.67	2.73	-	-
AT_2	-	1054.85	203.42	0.53	-	-
Rata-rata	-	1087.16±45	202.04±1.	1.63±1.5	-	-
		.69	95	6		

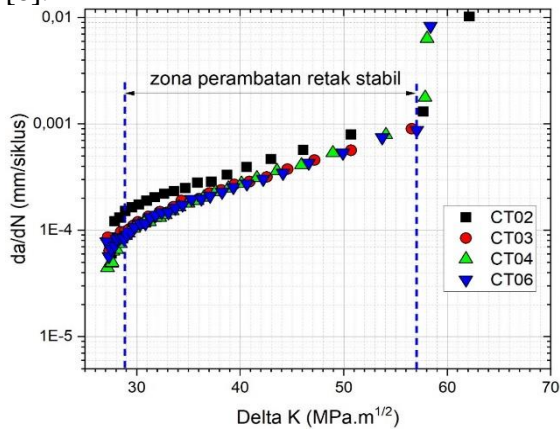
Elongasi atau perubahan panjang spesimen akibat uji tarik terjadi kepada semua spesimen yang di uji tarik, untuk spesimen 1 dengan elongasi 14,76% berdasarkan Gambar 5 terkait spesimen uji tarik maka didapatkan nilai 28 mm dari 190 mm panjang awal spesimen setelah proses pemecinan menjadi 192,80 mm. Sehingga *Elongasi* pada Spesimen 2 dengan nilai 19 % didapatkan nilai 36,1 mm sehingga menjadi 193,61 mm dan Spesimen 3 dengan elongasi 19,26% mendapatkan nilai 193,65 mm. Untuk konstanta Kemiringan linier garis hasil pemetaan dari harga  $n$  dan  $K$  merupakan tegangan sejati pada  $\epsilon = 1$ . Jika harga  $n=0$  maka spesimen bersifat plastis ideal dan jika  $n = 1$  berarti spesimen bersifat elastis ideal. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa masing-masing spesimen dengan nilai 0,236, 0,26 dan 0,230 merupakan spesimen

yang memiliki sifat plastis ideal berarti spesimen memiliki kemampuan dalam

endistribusikan regangan secara merata selama proses deformasi. Ketahanan spesimen ( $K$ ) mampu menahan beban uji hingga 2011,32 MPa pada spesimen 1, 2130,93 MPa spesimen 2 dan 2045,90 MPa untuk spesimen 3.



(orientasi bidang X-Y). Sedangkan CT04 dan CT06 adalah spesimen dengan kondisi pembebanan tegak lurus arah pengelolan dan arah retak searah pengelolan (orientasi bidang Y-X), dimana data perambatan retak yang ditampilkan berupa Panjang retak ( $a$ , mm) dan jumlah siklus ( $N$ , siklus) selama periode pengujian fatik. Spesimen CT\_02 memiliki sekitar 37.500 siklus dengan panjang retak 21,2 mm, CT\_02 memiliki 54.000 siklus dengan panjang retak 21 mm, Spesimen CT\_03 memiliki 57.000 siklus dengan panjang retak 20,8 mm dan Spesimen CT\_06 memiliki 60.000 siklus dengan panjang retak 20,7 mm. Berdasarkan penjelasan tersebut Spesimen CT\_2 dan CT\_3 yang merupakan searah pengelolan merupakan fatik siklus tinggi karena jumlah siklus diatas 1000 siklus dan juga apalagi spesimen CT\_4 dan CT\_6 yang merupakan tegak lurus terhadap arah pengelolan diperlukan jumlah siklus besar [6].

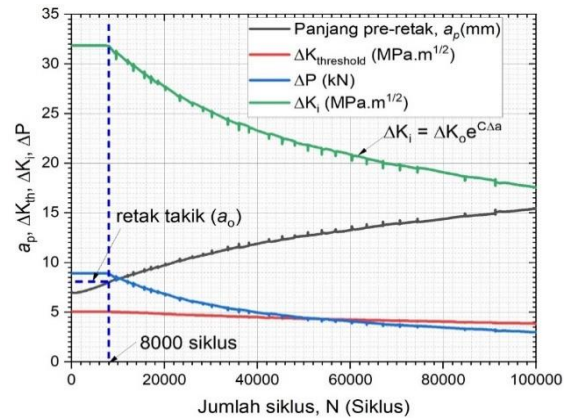


Gambar 7. Kurva  $da/dN$  dan  $\Delta K$  baja JIS SUP 9 dengan kondisi pembebanan fatik dan arah retak berbeda.

Gambar 6. Kurva perambatan retak baja JIS SUP 9 dengan kondisi pembebanan dan arah perambatan retak berbeda.

## 2. Hasil Uji Perambatan Retak

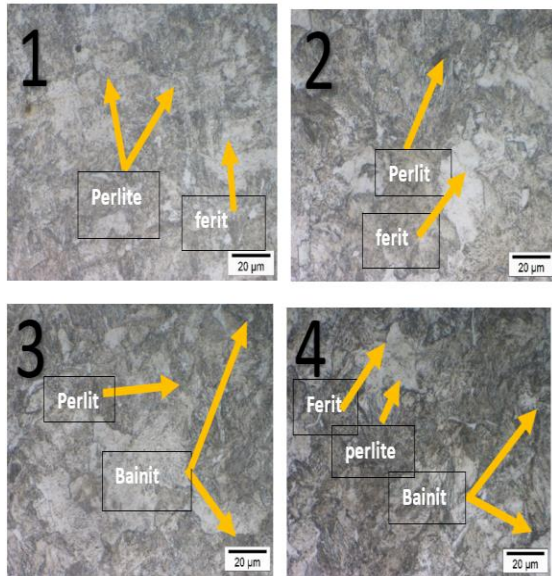
Pengujian Perambatan retak menggunakan 4 spesimen yang dilakukan perlakuan panas, seperti Gambar 6 menampilkan data perambatan retak untuk spesimen CT02, CT03, CT04 dan CT06 Spesimen CT02 dan CT03 adalah spesimen dengan kondisi pembebanan searah pengelolana dengan arah retak tegak lurus arah pengelolan



Gambar 8. Kurva hubungan pre-retak ( $a_p$ ), kisaran beban ( $\Delta P$ ),  $\Delta K_i$ , dan  $\Delta K_{th}$  baja JIS SUP 9 pada orientasi beban dan retak bidang X-Y selama pengujian pre-retak menggunakan model  $\Delta K$  decreasing.

Kisaran faktor intensitas regangan ( $\Delta K$ ,  $MPa.m^{1/2}$ ) ditentukan berdasarkan nilai rata-rata panjang retak sebelum ( $a_n$ ) dan berikutnya ( $a_{n+1}$ ), dimana  $a_n$  dan  $a_{n+1}$  adalah masing-masing panjang retak pada siklus sbelumnya dan Panjang retak pada siklus berikutnya. Hubungan laju perambatan retak ( $da/dN$ ) dan  $\Delta K$  yang diplot dalam skala logaritma pada sumbu x dan y. Laju perambatan retak fatik ( $da/dN$ , mm/siklus) ditentukan dengan menggunakan metode *Secant* (ASTM E647) (Gambar 7). Gambar 8 menampilkan hubungan jumlah siklus parameter dengan perubahan instensitas tegangan, retak kritis, faktor intensitas tegangan ambang ( $\Delta K_{threshold}$ ), dan kisaran beban yang ditepakan dalam pengujian perambatan retak fatik.

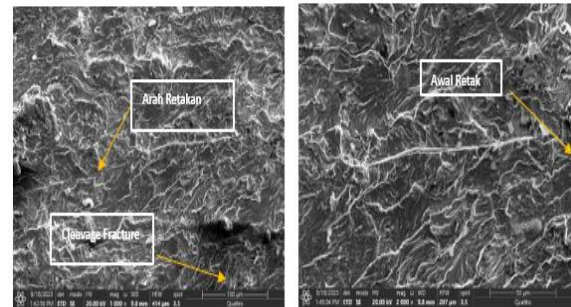
### 3. Pengamatan *Optical Microscope* (OM)



Gambar 9. Hasil Pengamatan *Optical Microscope* dengan pembesaran 1000X atau 20µm Baja JIS SUP9

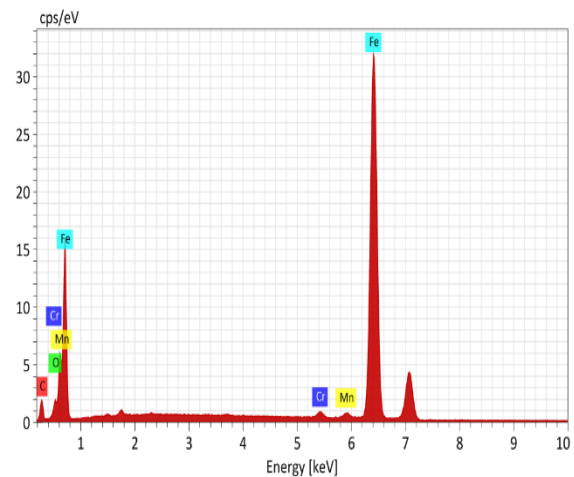
Pengamatan Struktur Mikro dilakukan terhadap 4 jenis titik pengamatan dari spesimen yang digunakan untuk pengujian. Titik 1 dan titik 2 merupakan bagian dari spesimen yang terletak pada sisi bawah spesimen yang sudah dilakukan pengujian fatik ASTM E647 hanya berbeda sisi pada titik 1 terletak sisi ujung bagian luar sedangkan titik 2 terletak di sisi bawah sisi dalam spesimen, titik 3 merupakan sisi spesimen yang terletak bagian dalam dekat dengan arah retak yang dibuat bersebelahan dengan titik 2, sedangkan titik 4 merupakan sisi spesimen yang terletak berdekatan dengan titik retak awal yang dibuat. Pengamatan dilaksanakan di Laboratorium Pengembangan Paduan dan Karakterisasi FTIM-ITB menggunakan Mikroskop jenis *Inverted Metallurgical Microscope Olympus BX41M* dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 9 di bawah ini.

### 4. Hasil Pengamatan Scanning Elektron Microscope (SEM)



Gambar 10. Hasil Pengamatan Scanning Elektron Microscope (SEM) dengan pembesaran 100 µm dan 20µm Baja JIS SUP9

Pengamatan Mikro Struktur melalui SEM (Gambar 10) dengan pembesaran 100 µm dan 20 µm pada spesimen CT\_6 atau tegak lurus terhadap arah pengerolan dan setelah dilakukannya *single Austempering* membuat kekuatan material itu kuat sehingga arah retakan sesuai awal retak yang dibuat, namun terdapat beberapa titik terjadi *Cleavage Fracture* seperti pada arah panah gambar 10 di atas, bahkan akibat keuletan spesimen berkurang membuat spesimen menjadi getas hal ini menyebabkan perlunya tegangan yang cukup tinggi untuk merambatkan retak [7].



Gambar 11 Spektrum Hasil Uji EDS Baja JIS SUP9

Spektrum hasil uji EDS yang dilakukan di Laboratorium BRIN Tanjung Bintang Lampung yang dilakukan pada spesimen yang digunakan untuk melakukan (O) dengan massa 1,24% dan Carbon (C) besar massa 9,23%. sehingga dari Spektrum EDS tersebut dapat disajikan

uji tarik, dapat dilihat pada gambar 4.10 grafik tertinggi ditunjukkan oleh unsur Iron(Fe) dengan massa sebesar 98,64% dari keseluruhan sampel yang diuji, Selanjutnya Cromium (Cr) dengan massa 0,55%, Magnesium (Mn) sebesar 0,82%, Oksigen

komposisi kandungan baja JIS SUP9 seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Unsur Kandungan Baja JIS SUP9 pada luasan tertentu

Elemen	No. Atom	Netto	Massa (%)	Mass Normal (%)	Atom (%)
Iron	26	316223	98,64	89,28	66,95
Carbon	6	5918	9,23	8,36	29,13
Oxygen	8	2546	1,24	1,13	2,95
Manganese	25	3444	0,83	0,74	0,57
Chromium	24	3248	0,55	0,50	0,40

### Kesimpulan

Nilai Kekuatan Baja dilihat dari Tegangan *Ultimate* yaitu 1087,16MPa, dimana spesimen yang digunakan sudah dilakukan perlakuan *Austempering*, namun untuk sifat ulet spesimen menurun dapat dilihat melalui *Modulus Elastisitas* Spesimen yang berawal memiliki nilai 205,47 GPa pada Spesimen 1 dan 210 GPa untuk spesimen 2 menjadi 200,67 GPa Spesimen 1 (AT\_1) dan 203,42 GPa spesimen 2 (AT\_2).

Spesimen CT\_02 memiliki siklus sekitar 37500 dengan panjang retak 21,2 mm , CT\_02 memiliki siklus 54000N dengan panjang retak 21 mm, Spesimen CT\_03 memiliki siklus 57000N dengan panjang retak 20,8 mm dan Spesimen CT\_06 memiliki siklus 60000N dengan panjang retak 20,7 mm. Selanjutnya laju perambatan retak fatik (*dadN*, mm/siklus) ditentukan dengan menggunakan metode Secant (ASTM E647). Proses perambatan retak spesimen tegak lurus terhadap arah pengerolah memerlukan siklus lebih besar untuk membuat perambatan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa spesimen JIS SUP9 mempunyai sifat *High Cycle Fatigue* karena

siklus yang diperlukan perambatan retak diatas 1000N atau 1000 siklus dan pada struktur mikro menunjukkan Fasa Perlit, Bainit dan Ferlit hal tersebut mempengaruhi terhadap Sifat Mekanik Spesimen tersebut, seperti pada spesimen Uji Tarik memiliki sifat getas ketika spesimen tersebut telah diberikan perlakuan panas austempering dengan larutan garam, begitupun dengan spesimen uji fatik, kakuatan material itu kuat sehingga arah retakan sesuai awal retak yang dibuat, namun terdapat beberapa titik terjadi *Cleavage Fracture* menyebabkan perlunya tegangan yang cukup tinggi untuk merambatkan retak.

### Ucapan Terimakasih

Saya Ucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, sehingga Artikel ini dapat dibuat dan digunakan sebagai syarat Wisuda pada Program Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Lampung. Saya sampaikan terimakasih kepada Dosen Pembimbing, Teman-teman Teknik Mesin Unila, Laboratorium Material Unila, Laboratorium Metalurgi ITB, Laboratorium Produksi

SMKN 2 Bandar Lampung, serta Armatur UM Metro.

## Referensi

- [1] Fendri Risno, Darmawi, Syahrul, Jasman. 2018. Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur Pada Perlakuan Panas *Tempering*. Universitas Negeri Padang : Padang.
- [2] Indratmoko, Andreas Luki (2023). Pengaruh perlakuan panas single dan double quenching tempering terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja JIS SUP9A. Lampung : Universitas Lampung.
- [3] Strunk Jr., W. and White, E.B., 1979. *The elements of style*, 3<sup>rd</sup> Ed., Macmillan, New York.
- [4] Pratowo, Bambang. 2018. Analisa Keuletan Baja Karbon Rendah Setelah Dilakukan Perlakuan Panas *Austempering*. Universitas Bandar Lampung : Lampung.
- [5] Y. Fan, X. Gui, M. Liu, X. Wang, B. Bai, and G. Gao, "Effect of microstructure on wear and rolling contact fatigue behaviors of bainitic/martensitic rail steels," *Wear*, vol. 508-509, p. 204474,
- [6] Salindeho.R.D, Soukota.J, Poeng.R. 2013. *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*. Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- [7] Badaruddin M, Sugiyanto, et. al. 2019. *Improvement Of Low-Cycle Fatigue Resistance In AISI 4140 Steel By Annealing Treatment. International Journal Of Fatigue*. 125, 406-407.
- [8] J. Daudpoto, D, Kumar, S. A. Et. al "Fatigue failure of SUP-9 spring steel," *Materials Research Express*, vol. 8, no. 6, p. 066509, 2021/06/09 2021
- [9] Sumiyanto & Abdunnaser. 2015. Pengaruh Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon Astm A-36. *Bina Teknika, Volume II Nomer 2*, 155-170.
- [10] Ashby, F. Michael. 2013. *Material and Environment*. Butterworth-Heinemann : English.
- [11] Duyi Ye, Haobo, et al (2010). Effects of Low Cycle Fatigue on static mechanical properties, microstructures and fracture behavior of 304 stainless steel. YE20104092 : *Material Science and Engineering*.