



## Ak sesuainoAnalisa Pengaruh Proses *Annealing* dan *Hardening* pada Baja SUP-9 terhadap Sifat Mekanis dan Perubahan Struktur Mikro

Aldo Bintang Pribadi (Mahasiswa), Ahmad Sidqulhaq (Mahasiswa),  
Ichlas Wahid (Dosen Pembimbing)

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia  
Email : aldobintang18@gmail.com, sidqulhaq04@gmail.com

### ABSTRAK

Logam sering digunakan di dalam dunia industri, salah satunya sebagai bahan baku produksi baja jenis SUP-9. Dalam aplikasinya, baja jenis SUP-9 harus memiliki sifat mekanis yang memadai, terutama dalam aspek kekuatan dan kekerasannya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanis baja SUP-9 setelah dilakukan perlakuan panas serta pengujian merusak. Specimen dilakukan perlakuan panas pada suhu 700°C, 850°C, dan 900°C dengan media pendingin suhu ruang, air, dan oli. Setelah itu melakukan pengujian tarik, kekerasan rockwell, dan mikro. Dengan data pengujian tarik dan hasil pengujian kekerasan rockwell menunjukkan hasil berbanding lurus antara nilai kekerasan, nilai kekuatan tarik maksimum dan mikro. Dapat disimpulkan nilai tertinggi kekuatan tarik maksimum diperoleh specimen dengan variasi suhu 900°C menggunakan media pendingin air dengan nilai rata-rata kekuatan Tarik 112,60 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai terendah yaitu 81,67 kg/mm<sup>2</sup> dari specimen 700°C. Untuk pengujian kekerasan rockwell nilai kekerasan tertingginya diperoleh specimen 900°C menggunakan media pendingin air dengan nilai 68 HRC dan terendah 50,2 HRC dari specimen 900°C media pendingin suhu ruang. Dari data pengamatan struktur mikro bisa dilihat pada specimen 900°C dengan media pendingin air memiliki butiran paling kecil diantara lainnya yaitu sebesar 0,0028 mm dan butiran terbesar 0,0183mm dari specimen 700°C media pendingin air.

**Kata kunci :** Perlakuan Panas, *Annealing*, *Hardening*, Baja SUP-9, Struktur Mikro.

### ABSTRACT

*Metal is often used in the world industry, one of which is as a raw material for the production of SUP-9 type steel. In its application, steel type SUP-9 must have adequate mechanical properties, especially in terms of strength and hardness. Therefore, this research was conducted to determine the mechanical properties of SUP-9 steel after heat treatment and damage testing. The specimens will be heat treated at 700°C, 850°C and 900°C with room temperature cooling media, water and oil. After that do the tensile test, rockwell hardness, and micro. With the tensile test data and the results of the Rockwell hardness test, the results show that the results are directly proportional to the hardness value, the maximum and micro tensile strength values. It can be concluded that the highest value of maximum tensile strength was obtained by specimens with a temperature variation of 900°C using water cooling media with an average tensile strength value of 112,60 kg/mm<sup>2</sup> and the lowest value of 81,67 kg/mm<sup>2</sup> from 700°C specimens. For the rockwell hardness test, the highest hardness value was obtained from 900°C specimen using a water cooling medium with a value of 68 HRC and the lowest was 50,2 HRC from 900°C specimen at room temperature cooling medium. From the observational data of the microstructure, it can be seen that the 900°C specimen with water cooling medium has the smallest grains among others, namely 0,0028 mm and the largest grain is 0,0183mm from the 700°C water cooling media specimen.*

**Keywords:** Heat Treatment, *Annealing*, *Hardening*, SUP-9 Steel, Micro Structure

## PENDAHULUAN

Dalam aplikasinya, penggunaan material logam memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap kemajuan teknologi di masa depan. Material logam sangat banyak digunakan dalam dunia industri, terutama sebagai bahan baku produksi. Pada saat membuat suku cadang atau komponen mesin tentunya diperlukan sifat mekanis material yang sesuai dengan kebutuhan. Aksi gaya eksternal berupa tegangan gesekan dan pembebanan berlebih merupakan masalah paling umum yang terjadi pada baja komponen otomotif, sehingga masa pakai komponen yang sangat terbatas dan tidak sesuai dengan perencanaan awal.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan rekayasa dengan menggunakan metode perlakuan panas untuk mereduksi tegangan internal, mengecilkan dan memperbesar partikel, meningkatkan daya tahan serta kekerasan pada material baja SUP-9. Baja SUP-9 sendiri merupakan bahan baku yang digunakan untuk memproduksi pegas daun, karena memiliki sifat mekanis yang lebih memenuhi persyaratan sebagai baja pegas dibandingkan dengan baja ST-37. Sifat mekanis tersebut meliputi kekerasan, kekakuan, elastisitas, ketangguhan, dan resilience.

Proses perlakuan panas yang dilakukan terdiri dari *annealing* dan *hardening*. Kedua metode tersebut merupakan proses perlakuan panas yang dilakukan dengan memanaskan logam mencapai temperatur tertentu sehingga tercapai perubahan yang diinginkan, lalu mendinginkan logam tersebut dengan laju pendinginan yang berbeda. Yang menjadi pembeda adalah *annealing* menggunakan laju pendinginan lambat, sementara *hardening* menggunakan laju pendinginan cepat.

## PROSEDUR EKSPERIMEN

### *Pembentukan Spesimen*

Tahapan paling dasar adalah pemilihan bahan, yang kemudian bahan tersebut dipotong dan dibentuk menjadi sebuah spesimen sesuai dengan standar pengujian yang berlaku. Dalam penelitian ini diperlukan sampel untuk pengujian tarik, pengujian kekerasan Rockwell, dan juga pengujian struktur mikro.

### *Perlakuan Panas*

Metode perlakuan panas merupakan proses dimana sifat mekanis logam dapat direkayasa dengan mengubah struktur mikronya melalui proses pemanasan dan mengatur kecepatan pendinginan, dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia dari logam tersebut. Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk menciptakan sifat mekanis logam sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode perlakuan panas *annealing* dan *hardening* pada temperatur 700°C, 850°C, dan 900°C, serta menggunakan media pendinginan air, oli, dan dibiarkan pada suhu ruangan.

### *Pengujian Tarik*

Agar dapat mengetahui parameter sifat mekanis sudah sesuai dengan kebutuhan atau tidak, salah satu metode yang paling umum digunakan adalah melakukan pengujian tarik. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tarikan pada tiap ujung specimen, yang dimana beban tersebut akan bertambah secara bertahap. Bersamaan dengan itu, dilakukan pula pengamatan pada specimen uji saat mulai terdeformasi sampai putus.

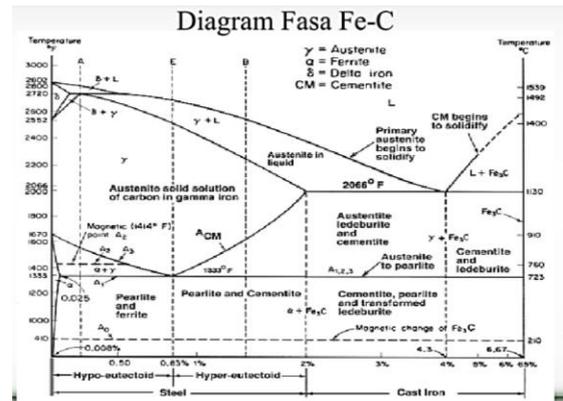
### *Pengujian Kekerasan Rockwell*

Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk mengetahui parameter sifat mekanis material selain pengujian tarik adalah pengujian

kekerasan. Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang paling efektif untuk memeriksa tingkat kekerasan pada material, karena dengan melakukan pengujian ini kita dapat dengan mudah memperoleh gambaran umum sifat mekanis untuk jenis material tertentu. Sekalipun pengukurannya hanya diambil dari satu titik atau area tertentu saja, nilai kekerasannya cukup valid untuk menggambarkan karakteristik kekuatan material tersebut. Dalam penelitian kali ini peneliti menggunakan metode pengujian kekerasan Rockwell. Metode pengujian ini berorientasi pada penentuan nilai kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan terhadap tekanan dari indenter yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang timbul pada permukaan material uji.

*Pengujian Struktur Mikro*

Salah satu pengujian yang paling umum digunakan selain uji tarik dan kekerasan yaitu pengujian struktur mikro. Dalam pengujian ini, benda uji yang akan diperiksa digerus dan dihaluskan sedemikian rupa hingga terlihat unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Struktur mikro sendiri merupakan suatu kumpulan fase yang terdistribusi di dalam logam yang dapat dideteksi dengan pengujian mikro atau metalografi. Dalam pengujian ini bentuk dan ukuran butir baja juga dapat dilihat dari struktur mikronya. Dalam pengujian struktur mikro mengandung fase kesetimbangan dan fase non-kesetimbangan. Fase kesetimbangan merupakan fase yang terbentuk akibat dari proses pendinginan yang sangat lambat, sedangkan fase non-kesetimbangan merupakan fase yang terbentuk akibat dari proses pendinginan sangat cepat. Fase kesetimbangan tersebut dapat dianalisis menggunakan diagram fasa Fe-C.



Gambar 1 Diagram Fasa Fe-C

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

*Hasil Pengujian Tarik*

Dalam proses pengujian tarik ini digunakan sebanyak 30 specimen dengan variasi suhu *annealing*, *hardening*, dan juga variasi media *quenching* yaitu berupa air, oli dan suhu ruang. Akan dihitung ukuran specimen saat diuji Tarik dengan table ukuran standar sebagai berikut :

Tabel 1 Tabel Standar Spesimen Pengujian Tarik

	Dimensi (mm)	Toleransi (mm)
G-Gage Length	50	±0,1
W-Width	12,5	±0,1
R-Radius of Fillet	12,5	±0,25
L-Overall Length	200	±4
A- Length of Reduced Section	85	±13
T-Thickness		
B-Length of Grip Section	50	±2
C-Width of Grip Section	20	2

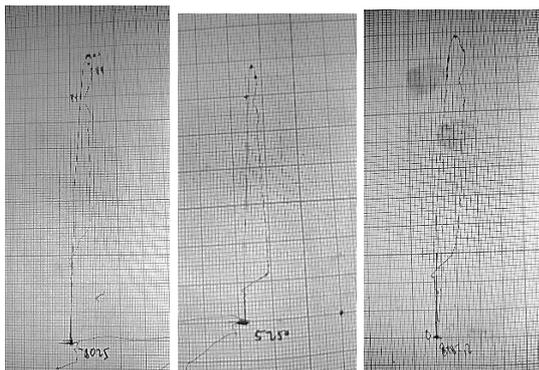
Dengan table standar spesimen pengujian Tarik STM E8 diatas maka akan dilakukan pengujian Tarik pada spesimen pada setiap variasi suhu dan media pendinginnya.

Hasil dari pengujian Tarik Raw Material, datanya sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengujian Tarik pada Raw Material

No.	Spesimen Raw Material	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
1.	Panjang awal (L <sub>0</sub> ), mm	85	85	85
2.	Panjang akhir (L <sub>f</sub> ), mm	86	86	87
3.	Pertambahan Panjang (ΔL <sub>total</sub> ), mm	1	1	2
4.	Luas penampang mula-mula (A <sub>0</sub> ), mm	125	125	125
5.	Beban yield (P <sub>y</sub> ), kg	6944,4	4632,6	7740
6.	Beban ultimate (P <sub>u</sub> ), kg	8025	5250	8282,2
7.	Beban putus (P <sub>pts</sub> ), kg	7793,16	5018,65	7972,2
8.	ΔL (yield), mm	0,50	0,63	1,64
9.	ΔL (max), mm	0,90	0,88	1,43
10.	ΔL (putus), mm	1	1	2

Didapatkan pula 3 grafik dari 3 spesimen yang diperoleh dari mesin sebagai berikut:



Gambar 2 Grafik dari mesin hasil uji Tarik spesimen Raw Material

Untuk mencari tegangan dan regangannya akan dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

**Luas Penampang (A<sub>0</sub>)**

$$A_0 = t \times i$$

$$= 10 \text{ mm} \times 12,5 \text{ mm} = 125 \text{ mm}^2$$

**Tegangan dan Regangan Teknik**

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y$$

$$= 85 + 0,50 = 85,5 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u$$

$$= 85 + 0,90 = 85,9 \text{ mm}$$

$$L_{putus} = L_0 + \Delta L_{putus}$$

$$= 85 + 1 = 86 \text{ mm}$$

**Tegangan**

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{6944,4 \text{ kg}}{125 \text{ mm}^2}$$

$$= 55 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{(max)}}{A_0} = \frac{8025 \text{ kg}}{125 \text{ mm}^2}$$

$$= 64,2 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{t(putus)} = \frac{P_{(pts)}}{A_0} = \frac{7793 \text{ kg}}{125 \text{ mm}^2}$$

$$= 62,34 \text{ kg/mm}^2$$

**Regangan**

$$\epsilon_{yield} = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$= \frac{85,5 \text{ mm} - 85 \text{ mm}}{85 \text{ mm}} \times 100\%$$

$$= 0,59\%$$

$$\epsilon_{max} = \frac{L_{max} - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$= \frac{85,9 \text{ mm} - 85 \text{ mm}}{85 \text{ mm}} \times 100\%$$

$$= 1,06\%$$

$$\epsilon_{putus} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$= \frac{86 - 85}{85 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

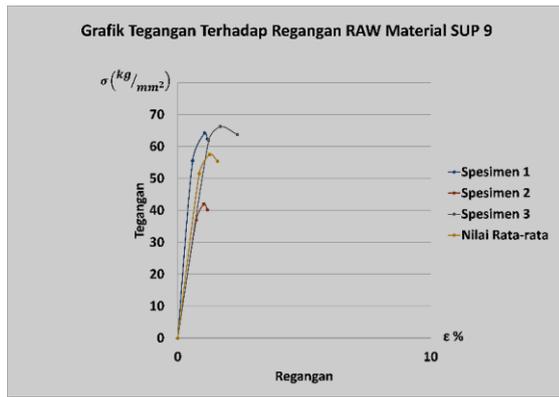
$$= 1,17 \%$$

Setelah dilakukan perhitungan maka didapat semua hasil hasil tegangan dan regangannya pada 3 spesimen maka setiap data akan dimasukkan pada table berikut :

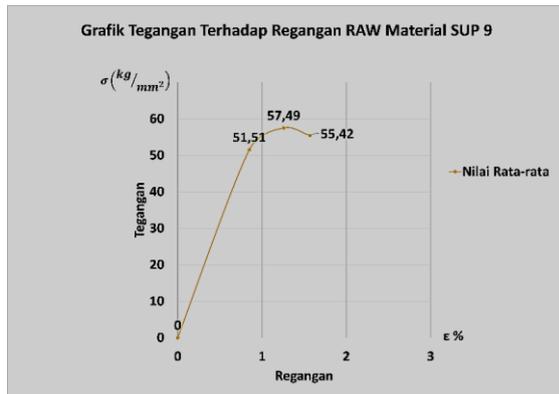
Tabel 3 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan pada Specimen Raw Material

Perlakuan	Spesimen	Tegangan Luluh	Tegangan Maks	Tegangan putus	ε <sub>yield</sub>	ε <sub>max</sub>	ε <sub>putus</sub>
Raw Material	1	55	64,2	62,34	0,59%	1,06%	1,18%
Raw Material	2	37,06	42	40,14	0,74%	1,35%	1,18%
Raw Material	3	61,92	66,25	33,77	1,92%	1,68%	2,35%

Dan juga didapatkan grafik rata-rata dari tegangan dan regangan diatas sebagai berikut :



Gambar 3 Grafik Tegangan terhadap Regangan pada 3 Specimen Raw Material



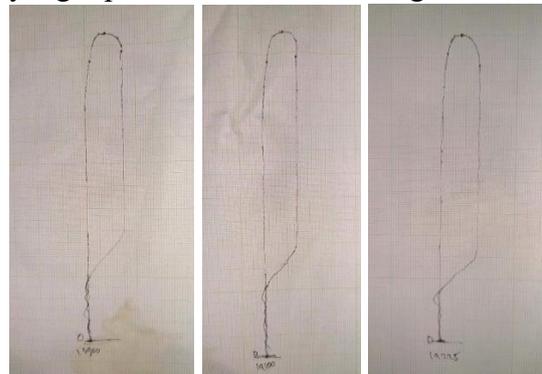
Gambar 4 Grafik Rata-rata Tegangan terhadap Regangan Spesimen Raw Material

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, kemudian dibuatlah kurva tegangan dan regangan untuk mengetahui nilai pengujian tarik pada spesimen Raw Material baja SUP-9. Dari grafik bisa diperoleh dan diketahui nilai besar tegangan maksimum rata – ratanya 57,49 Kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai berbanding terbaik dari semua hasil uji tarik diperoleh pada spesimen dengan variasi temperatur 900°C menggunakan media pendinginan air. Didapat data sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Uji Tarik pada Specimen 900°C dengan Media Pendingin Air

No.	Spesimen 900°C Dengan Pendingin Suhu Ruang	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
1.	Panjang awal (L <sub>0</sub> ), mm	85	85	85
2.	Panjang akhir (L <sub>f</sub> ), mm	87	86	86
3.	Pertambahan Panjang (ΔL <sub>total</sub> ), mm	2	1	1
4.	Luas penampang mula-mula (A <sub>0</sub> ), mm	125	125	125
5.	Beban yield (P <sub>y</sub> ), kg	12767,04	12975,59	13412,52
6.	Beban ultimate (P <sub>u</sub> ), kg	13900	14100	14225
7.	Beban putus (P <sub>pts</sub> ), kg	13075,92	13077,76	12904,47
8.	ΔL (yield), mm	0,26	0,14	0,21
9.	ΔL (max), mm	1,04	0,63	0,56
10.	ΔL (putus), mm	2	1	1

Didapatkan pula 3 grafik dari 3 spesimen yang diperoleh dari mesin sebagai berikut:



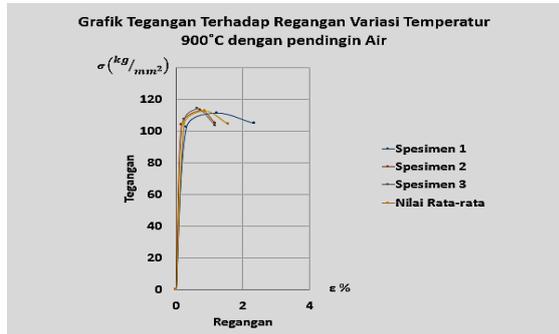
Gambar 5 Grafik Tegangan terhadap Regangan pada 3 Specimen 900°C dengan Media Pendingin Air

Setelah dilakukan perhitungan, maka didapat semua hasil hasil tegangan dan regangannya pada 3 spesimen maka setiap data akan dimasukkan pada table berikut :

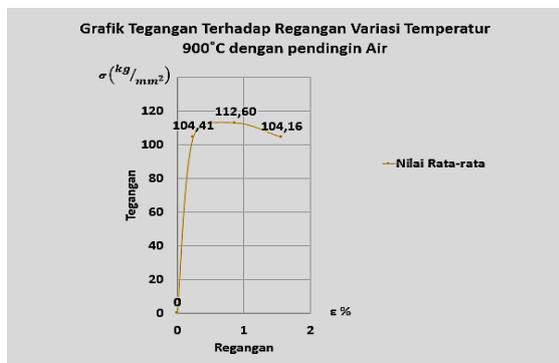
Tabel 5 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan pada Specimen 900°C dengan Media Pendingin Air

Perlakuan	Spesimen	Tegangan Luluh	Tegangan Maks	Tegangan putus	ε <sub>yield</sub>	ε <sub>max</sub>	ε <sub>putus</sub>
900°C Pendingin Air	1	102,14	111,20	104,61	0,31%	1,22%	2,35%
900°C Pendingin Air	2	103,80	112,80	104,62	0,16%	0,74%	1,18%
900°C Pendingin Air	3	107,30	113,80	103,24	0,25%	0,66%	1,18%

Dan juga didapatkan grafik rata-rata dari tegangan dan regangan diatas sebagai berikut :



Gambar 6 Grafik Tegangan terhadap Regangan pada 3 Specimen 900°C Media Pendingin Air



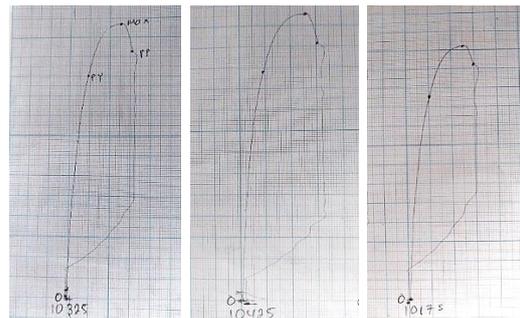
Gambar 7 Grafik Rata-rata Tegangan terhadap Regangan Specimen 900°C Media Pendingin Air

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, kemudian dibuatlah kurva tegangan dan regangan untuk mengetahui uji tarik pada spesimen perlakuan panas hardening 900°C dengan pendingin air baja SUP-9. Dari grafik bisa diperoleh dan diketahui nilai besar tegangan maksimum rata – ratanya 112,60 Kg/mm<sup>2</sup>. Untuk hasil uji Tarik terburuk atau terendah diperoleh pada spesimen variasi suhu 700°C dengan media pendingin air. Datanya sebagai berikut :

Tabel 6 Hasil Uji Tarik pada Specimen 700°C dengan Media Pendingin Air

No.	Spesimen 700°C Dengan Pendingin Air	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
1.	Panjang awal (L <sub>0</sub> ), mm	85	85	85
2.	Panjang akhir (L <sub>f</sub> ), mm	110	109	107
3.	Pertambahan Panjang (ΔL <sub>total</sub> ), mm	25	24	22
4.	Luas penampang mula-mula (A <sub>0</sub> ), mm	125	125	125
5.	Beban yield (P <sub>y</sub> ), kg	8833,15	8814,75	7847,57
6.	Beban ultimate (P <sub>u</sub> ), kg	10600	10425	9600
7.	Beban putus (P <sub>pts</sub> ), kg	9063,58	9504,6	8228,52
8.	ΔL (yield), mm	5,34	9,00	6,84
9.	ΔL (max), mm	17,80	19,50	16,72
10.	ΔL (putus), mm	25	24	22

Didapatkan pula 3 grafik dari 3 spesimen yang diperoleh dari mesin sebagai berikut:



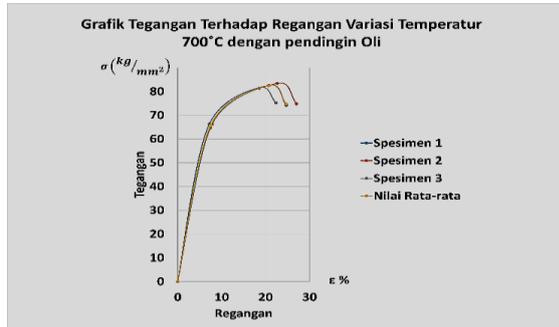
Gambar 8 Grafik Tegangan terhadap Regangan pada 3 Specimen 700°C Media Pendingin Air

Setelah dilakukan perhitungan maka didapat semua hasil hasil tegangan dan regangannya pada 3 spesimen maka setiap data akan dimasukkan pada table berikut:

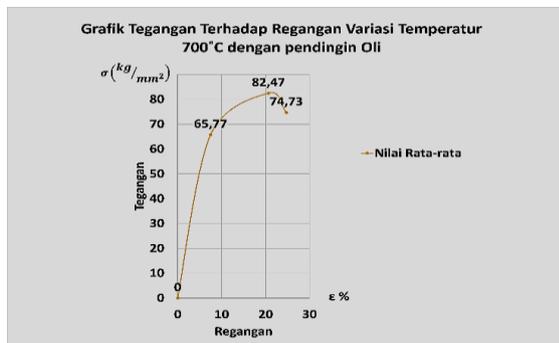
Tabel 7 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan pada Specimen Suhu 700°C dengan Media Pendingin Air

Perlakuan	Spesimen	Tegangan Luluh	Tegangan Maks	Tegangan putus	ε <sub>yield</sub>	ε <sub>max</sub>	ε <sub>putus</sub>
700°C Pendingin Oli	1	66,33	82,60	74,16	7,20%	20,80%	24,71%
700°C Pendingin Oli	2	66,23	83,40	74,81	7,84%	22,64%	27,06%
700°C Pendingin Oli	3	64,75	81,40	75,23	7,41%	18,53%	22,35%

Dan juga didapatkan grafik rata-rata dari tegangan dan regangan diatas sebagai berikut:



Gambar 9 Grafik Tegangan terhadap Regangan pada 3 Specimen 700°C Media Pendingin Air



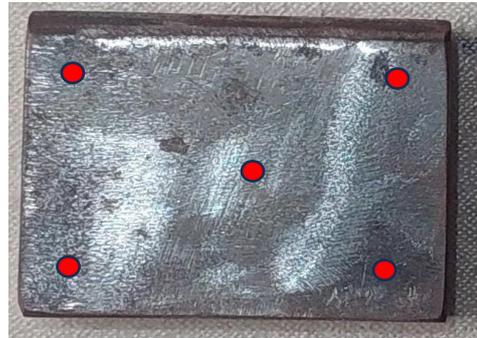
Gambar 10 Grafik Rata-rata Tegangan terhadap Regangan Spesimen 700°C Media Pendingin Air

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, kemudian dibuatlah kurva tegangan dan regangan untuk mengetahui uji tarik pada spesimen perlakuan panas hardening 900°C dengan pendingin air pada baja SUP-9. Dari grafik bisa diperoleh dan diketahui nilai besar tegangan maksimum rata – ratanya 82,47 Kg/mm<sup>2</sup>.

#### Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell

Material baja SUP 9 tanpa perlakuan apapun (raw material) maupun yang telah melalui proses perlakuan panas Annealing, dan Hardening di variasi suhu 700°, 850°, 900° dan juga variasi pendinginan yaitu suhu ruang, air dan oli akan dilakukan pengujian kekerasan rockwell pada 5 titik untuk mengetahui nilai kekerasannya. Pada

setiap titik akan dikenai total beban 150kg dan ditahan selama 5 detik. Datanya sebagai berikut :



Gambar 11 Titik Indentasi Pengujian Kekerasan Rockwell

Setelah melakukan pengujian kekerasan rockwel, didapatkan hasil dengan nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 900°C sebagai berikut:

Tabel 8 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell pada Specimen 900°C dengan Media Pendingin Air

No.	Benda Uji	Kondisi Indentasi	Indentasi	HRC	HRC Rata-Rata
1.	900° pendingin suhu air	P = 150kg t = 5 detik	Kerucut intan	65	68
				73	
				71	
				68	
				63	

Lalu bisa dihitung rata-ratanya sebagai berikut :

$$HRC = \frac{65+73+71+68+63}{5} = 68$$

Sedangkan nilai terendah dari semua hasil uji kekerasan rockwell diperoleh pada spesimen suhu 700°C dengan media pendingin oli. Datanya sebagai berikut :

Tabel 9 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell pada Specimen 700°C dengan Media Pendingin Oli

No.	Benda Uji	Kondisi Indentasi	Indentasi	HRC	HRC Rata-Rata
1.	700° pendingin suhu oli	P = 150kg t = 5 detik	Kerucut intan	57	55,6
				57	
				52	
				58	
				54	

Rata-rata dari spesimen suhu 700°C media pendingin oli adalah 55,6 dan memiliki kekerasan paling rendah disbanding spesimen lainnya.

Hasil Pengujian Struktur Mikro

Hasil metalografi pada baja SUP-9 yang telah diproses perlakuan panas menggunakan metode *annealing* dan *hardening* selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk mengukur butiran struktur mikronya. Sebuah foto yang diperoleh dari sampel hasil pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 500x menunjukkan bahwa fasa yang terjadi merupakan fasa ferite dan sejumlah kecil pearlite. Kemudian membuat lingkaran dengan diameter tertentu dan dilanjutkan dengan menghitung jumlah titik pada perpotongan garis lingkaran dengan garis butir.

Grain Size No. G	N <sub>v</sub> Grains/Unit Area		A <sub>v</sub> Average Grain Area		D <sub>v</sub> Average Diameter		D <sub>v</sub> Mean Intercept		N <sub>L</sub> No./mm
	No./in. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	µm <sup>2</sup>	mm	µm	mm	µm	
00	0.25	3.88	0.2581	259064	0.5980	598.0	0.4525	452.5	2.21
0.5	0.71	10.95	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2283	228.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32259	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.04	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1118	111.8	8.94
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1088	108.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0080	8005	0.0908	90.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.21	175.26	0.0057	5703	0.0765	76.5	0.0679	67.9	14.61
5.0	16.00	248.00	0.0040	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.69
5.5	22.83	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	486.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.45
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7926.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11233.2	0.000099	99.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15972.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	6.0	166.2
12.0	2048.00	31444.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.00
12.5	2896.31	44832.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5762.82	89765.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Gambar 12 Grain Size Number Ukuran Butir ASTM E-112

Spesimen yang memiliki ukuran paling besar adalah pada variasi suhu 700°C

dengan media pendingin air. Datanya sebagai berikut:



Gambar 13 Struktur Mikro pada Specimen 700°C dengan Media Pendingin Air

Pada gambar struktur mikro di atas, spesimen yang telah dikenai perlakuan panas *hardening* dengan suhu 700°C menggunakan media pendinginan suhu air terdapat struktur Ferit (berwarna terang) dan struktur perlit (berwarna gelap). Analisa dari gambar struktur mikro di atas memberikan informasi sebagai berikut:

P = 20 titik

M = 500x

$L_T = (\text{Keliling lingkaran}) = (50 \times \pi) = 157 \text{ mm}$

$P_L = \frac{20}{(157/500)} = 63,69/\text{mm}$

$L_3 = 1/N_L = 1/P_L = 1/N_L = 1/63,69 = 0,016$

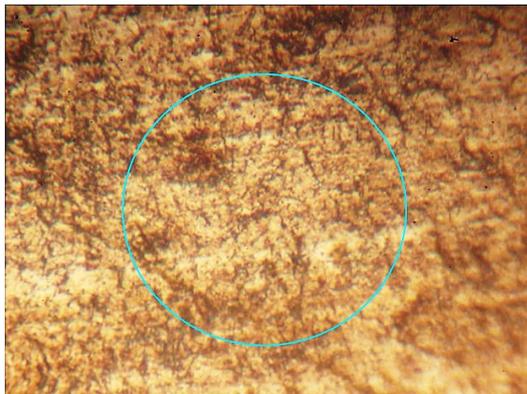
$G = [-6,646 \log L_3] - 3,298$

$G = [-6,646 \log 0,016] - 3,298 = 8,64 \approx 8,5$

Grain Size No. G	N <sub>v</sub> Grains/Unit Area		Average Grain Area		Average Diameter		Mean Intercept	
	No./in. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	µm <sup>2</sup>	mm	µm	mm	µm
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2891	289.1
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1923	192.3
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1
3.5	5.66	87.59	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1
4.0	8.00	124.00	0.0080	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0236	23.6
8.0	128.00	1954.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8
9.0	256.00	3988.0	0.00025	252	0.0158	15.8	0.0141	14.1
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0
10.5	724.08	11233.2	0.000089	88.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4
11.0	1024.00	15972.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.9	0.0040	4.0	0.0035	3.5
13.5	5792.52	89755.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5

Gambar 14 Grain Size Number ASTM e-112

Sedangkan specimen yang memiliki ukuran butir paling kecil yaitu pada specimen variasi suhu 900°C dengan media pendingin air. Datanya sebagai berikut:



Gambar 15 Foto Mikro Specimen 900°C dengan Media Pendingin Air

Pada gambar struktur mikro di atas, spesimen yang telah dikenai perlakuan panas *hardening* dengan suhu 900°C menggunakan media pendinginan suhu air terdapat struktur Ferit (berwarna terang) dan struktur perlit (berwarna gelap) beserta struktur martensit (berbentuk jarum). Analisa dari gambar struktur mikro di atas memberikan informasi sebagai berikut:

$$P = 97 \text{ titik}$$

$$M = 500x$$

$$L_T = (\text{Keliling lingkaran})$$

$$= (50 \times \pi) = 157 \text{ mm}$$

$$P_L = \frac{97}{(157/500)}$$

$$= 308,92/mm$$

$$L_3 = 1/N_L = 1/P_L$$

$$= 1/N_L = 1/308,92 = 0,003$$

$$G = [-6,646 \log L_3] - 3,298$$

$$G = [-6,646 \log 0,003] - 3,298$$

$$= 13,47 \approx 14$$

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan untuk Analisa Pengaruh Proses *Annealing* dan *Hardening* Pada Baja SUP 9 Terhadap Sifat Mekanis Dan Perubahan Struktur Mikro menggunakan pengujian tarik, kekerasan rockwell, dan pengamatan mikro, maka penulis mendapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil kekuatan tarik rata-rata pada specimen sebelum dilakukan proses perlakuan panas *annealing* dan *hardening (raw material)* yaitu sebesar 57,49 kg/mm<sup>2</sup>, dengan nilai regangan rata-ratanya sebesar 1,36%. Pada proses *annealing* didapatkan nilai rata-rata kekuatan tarik paling tinggi pada specimen dengan suhu 900°C sebesar 92,27 kg/mm<sup>2</sup>, dengan besar regangan rata-ratanya 8,19%. Serta nilai kekuatan tarik terendah didapat pada specimen suhu 700°C sebesar 82,67 kg/mm<sup>2</sup>, dengan besar regangan rata-ratanya 15,2%. Pada proses *hardening* didapat nilai rata-rata kekuatan tarik paling tinggi pada specimen pada suhu 900°C dengan media pendingin air dengan nilai 112,60 kg/mm<sup>2</sup> dan regangan rata – rata sebesar 0,87%, dan nilai kekuatan tarik terendah didapat pada specimen pada suhu 700°C dengan media pendingin air dengan nilai 81,67 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai regangan rata – rata 21,18%.
2. Nilai kekerasan rata – rata pada spesimen sebelum dilakukan *annealing* dan

hardening (raw material) adalah sebesar 58,8 HRC. Pada proses annealing didapat nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 700°C dengan nilai 57 HRC dan nilai terendahnya pada 900°C yaitu 50,2 HRC. Pada proses hardening didapat nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 900°C dengan media pendingin air sebesar 68 HRC dan nilai terendahnya pada spesimen 700°C dengan media pendingin oli sebesar 55,6 HRC.

3. Struktur mikro pada spesimen sebelum dilakukan annealing dan hardening (raw material) didapat nilai batas butir sebesar 0,0033 mm. Pada spesimen yang sudah dilakukan annealing nilai batas butir paling kecil terdapat di spesimen 700°C sebesar 0,0056 mm dan dengan nilai butir paling besar pada spesimen 900°C dengan ukuran 0,0079 mm. Pada spesimen yang sudah dilakukan hardening nilai butir paling besar terdapat pada 700°C dengan media pendingin air yaitu sebesar 0,0189 mm dan dengan nilai butir paling kecil pada 900°C dengan media pendingin air yaitu berukuran 0,0028 mm. Semakin kecil ukuran butir maka semakin keras baja tersebut.

Berdasarkan data pengujian yang dilakukan didapat hasil pengujian tarik dan pengujian kekerasan rockwell menunjukkan kurva yang berbanding lurus antara nilai kekerasan dengan nilai kekuatan tarik maksimumnya. Semakin besar nilai kekerasan suatu material maka akan semakin besar nilai kekuatannya. Begitu pula yang terjadi pada pengujian struktur mikro, semakin besar ukuran butir (*grain size*), maka diameter butir akan semakin kecil. Butir yang membesar dapat

mengakibatkan penurunan nilai kekerasan pada material tersebut.

#### Saran

Terdapat beberapa saran yang penulis sampaikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada material baja SUP-9, diantaranya:

1. Dalam penelitian ini terjadi banyak kesalahan dalam pemrosesan spesimen pada pengujian struktur mikro dikarenakan kurangnya bahan dan cairan etsa sehingga tidak sesuai dengan standar.
2. Untuk pengujian Tarik disarankan menggunakan alat yang terbaru dan lebih modern untuk mendapatkan data yang lebih spesifik

#### REFERENSI

- Pramono, A. (2011). Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra. M Vol. 5 No.1. April 2011 (32-38)*, 5, 32-38.
- R. Rahmadani, A. H. (2020). Pengaruh Hardening Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat. *Jurnal JMMME, Volume 1, Nomor 2, Oktober 2020, 1*, 14-18.
- Saktisahdan, T. J. (2019). PENGARUH PROSES HEAT TREATMENT TERHADAP PERUBAHAN. *Jurnal Laminar, Vol. 1 No. 1 (Desember 2019)* 28 - 33, 1, 28-33.
- Setiawan, I. and Nur, M.S., 2008. Meningkatkan Mutu Baja Sup 9 Pada Pegas Daun Dengan Proses Perlakuan Panas. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2).
- Agus Setiyo Umartono, A.S.U., ANALISA KEGAGALAN PROSES HEAT TREATMENT BAJA SUP-9 PADA PEMBUATAN PEGAS

- DAUN. *Wahana Teknik*, 4(1), pp.55-57.
- Sarjana, A.D., 2019. *KELAYAKAN BAJA JIS G 4801 SUP 9 PADA PEGAS DAUN MENGGUNAKAN PROSES HEAT TREATMENT TERHADAP SIFAT MEKANIS* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).
- Alamsyah, M.W.N., 2020. *Analisis Pengaruh Variasi Pembebanan pada Uji Tarik Baja Pegas SUP 9 setelah Proses Full Annealing* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Malang).
- Arifin, Z. and Uliyak, A., 2020. *PENGARUH VARIASI TEMPERATURE DAN MEDIA PENDINGIN PERLAKUAN PANAS QUENCHING PELAT BAJA SUP 9 TERHADAP SIFAT MEKANIS KEKUATAN DAN KEKERASAN* (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Purnomo, G., 2020. *PENGARUH QUENCHING TERHADAP KEKERASAN MATERIAL BAJA JIS SUP 9* (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).