

PENGARUH VARIASI TEMPERATURE PADA PROSES TEMPERING TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR KRISTAL BAJA VCN 150

Dodi Fajri Susilo¹, Budiarto¹, A. Reky Kurnia Widhi²

¹*Program Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia*

dodisusilo140@gmail.com, budidamaz@gmail.com

²*Program Studi Teknik Mesin Industri, Politeknik Industri ATMI Cikarang*

reky@polinatmi.ac.id

Abstrak

Baja VCN 150 termasuk dalam kategori baja berkekuatan *ultra high-strength* yang memiliki kekuatan sangat tinggi dan memadukan *hardenability*, *ductility*, *toughness*, dan ketahanan leleh serta mulur yang tinggi. Makalah ini menjelaskan pengaruh suhu tempering terhadap struktur kristal, kekerasan, dan kekuatan tarik baja VCN 150. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode deskriptif dan studi eksperimen. Pengujian dilakukan dengan mengamati struktur kristal menggunakan X-Ray diffractometer, uji kekerasan dan kuat tarik dengan *Brinell*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat mekanik dan fisis sangat dipengaruhi oleh proses *quenching* dan *tempering*. Kekerasan material mengalami peningkatan setelah proses *quenching* dari 203 HB ke 393 HB menggunakan media *quenching* oli. Pada media pendingin air garam dapat meningkatkan kekerasan secara maksimal yaitu dari 203 HB ke 445,3 HB dan mengalami penurunan yang tidak signifikan kembali setelah melalui proses *tempering*. Penurunan kekerasan dari 445,3 HB ke 304,3 HB setelah 1 jam *tempering* dengan suhu 400°C. Penurunan ukuran kristal terjadi dari tanpa perlakuan hingga dilakukannya T400-t1 yaitu dari 0,5762 (nm) ke 0,4891 (nm). Selanjutnya kenaikan terjadi pada nilai kerapatan diskolasi yaitu 3,0722 (garis/mm²) ke 7,1193 (garis/mm²) dan begitu pula kenaikan regangan mikro tersebut yaitu dari 0,1257 (ε) ke 0,2651 (ε).

Kata kunci : : *baja vcn 150, tempering, quenching, kekerasan, kuat tarik, struktur kristal*

1. PENDAHULUAN

Di era globalisasi saat ini, alat berat sangat dibutuhkan untuk membantu manufaktur, terutama dalam ranah sebuah pembangunan infrastruktur. Tujuan penggunaan alat berat ini adalah untuk memudahkan dan mempercepat proses pembangunan yang dalam pengerjaannya memerlukan alat yang memiliki sifat mekanis yang baik. Salah satu alat berat yang digunakan dalam pembangunan infrastruktur adalah *forklift*. Bahan yang digunakan untuk komponen *gear box*/roda gigi *forklift* salah satunya adalah baja paduan rendah VCN 150.

Roda gigi adalah salah satu bagian mesin forklift, yang bahan material pembuatannya menggunakan baja paduan rendah. Roda gigi merupakan bagian yang sangat penting, hal tersebut membuat para peneliti mengembangkan roda gigi yang baik supaya kasus roda gigi yang patah, rusak dan aus dapat teratasi. Dikarenakan kerusakan tersebut dihasilkan pada saat roda gigi bersinggungan saat mesin beroperasi.

Untuk meningkatkan kekerasan pada suatu logam dilakukannya proses *quenching*. *Quenching* merupakan sebuah proses

perlakuan panas terhadap baja dengan cara baja tersebut dipanaskan pada suhu tertentu serta tergantung pada kandungan karbon yang dimiliki oleh baja itu tersebut, selanjutnya setelah mencapai suhu ditentukan serta ditahan selama waktu yang ditentukan, kemudian baja tersebut di dinginkan secara kejut menggunakan media *quench* seperti air garam, oli dan air. Proses *quenching* adalah proses pendinginan secara cepat dengan cara mencelupkan baja yang telah dipanaskan pada suhu tertentu menggunakan media pendingin seperti oli, air dan air garam (Aryo, 2019).

Quenching (pencelupan pada cairan) merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan baja dengan dilakukan pemanasan baja sampai temperatur didaerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat (Purwanto H, 2011).

Tempering merupakan suatu proses panas yang bertujuan untuk menurunkan kekerasan pada suatu baja, mengurangi tegangan dalam yang dapat menyebabkan baja tersebut bersifat rapuh dan merubah struktur kristal baja sehingga dapat bersifat lunak. Sehingga baja tersebut memiliki sifat kombinasi antara

kerasan, keuletan, keliatan, kekuatan dan berstruktur kristal stabil (Sumpena, 2018).

Melalui sebuah proses *tempering*, kegetasan dan kekerasan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekuatan tarik turun, kekerasan akan turun pula sedang keliatan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*) baja meningkat. Proses *tempering* terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan (Dwi, 2019).

1.1 Rumus Masalah

- a. Bagaimana mengetahui pengaruh media pendingin proses *quench* dan waktu tahan *tempering* terhadap struktur mikro pada baja paduan VCN 150?
- b. Cara menggunakan teknik *Brinell* untuk memperkirakan kekerasan baja paduan VCN 150 berdasarkan pengaruh media pendingin selama proses *tempering*?
- c. Bagaimana mengetahui pengaruh media pendingin proses *quench* terhadap struktur kristal dengan difraktometer sinar-x pada baja paduan VCN 150?

1.2 Cara menghitung XRD

Kepadatan struktur kristal dapat ditentukan melalui difraksi sinar-X dengan membandingkan nilai jarak bidang kristal (d) dan intensitas puncak difaksi dengan data referensi.

Dengan membandingkan puncak data pada grafik dengan yang ada di database ICDD, dimungkinkan untuk menentukan puncak grafik XRD dari data yang diterima dari temuan XRD. Teknik analisis Rietveld yang diidentifikasi dalam perangkat lunak RIETAN kemudian digunakan untuk menyempurnakan data XRD. Fasa yang terkandung dalam sampel, bersama dengan strukturnya, kelompok ruang, dan parameter kisi, diketahui sebagai hasil penyempurnaan ini.

Pernyataan ini dinamakan hukum Bragg untuk difraksi kristal [4,5,6], secara matematis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan dibawah ini:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \dots \dots \dots (2)$$

dimana: a = parameter kisi

hk = indeks miller bidang
 d_{hkl} = jarak antar bidang

Puncak difraksi sinar-X dari pola difraktogram digunakan untuk menghitung dan menilai ukuran/diameter kristalit menggunakan metode persamaan Debye Scherrer yaitu:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \dots \dots \dots (3)$$

Rumus untuk menentukan nilai regangan kisi:

$$\epsilon = \frac{\beta}{(4\tan\theta)} \dots \dots \dots (4)$$

Rumus untuk menentukan nilai kerapatan dislokasi:

$$\rho = \frac{1}{D^2} \dots \dots \dots (5)$$

- Keterangan:
- D = Diameter kristalit (nm)
- θ = Sudut difraksi (derajat)
- ρ = Kerapatan Dislokasi (garis/mm²)
- λ = 1,54056 Å (Panjang gelombang dari sinar-X)
- K = 0,9-1 (Faktor bentuk dari kristal)
- ε = Regangan Kisi
- β = Nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM) (rad)

2. METODOLOGI

Pelaksanaan awal dengan pembuatan sampel ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, Jakarta. Untuk pengujian struktur kristal dilakukan di Pusat Terpadu Laboratorium UI dan pengujian struktur mikro dilakukan di Puslabfor.

Pengerjaan sampel material baja karbon dimulai dari proses *hardening*, lalu proses *quenching* dengan media oli dan air garam. Selanjutnya masuk ke proses *tempering* pada variasi suhu 350°C dan suhu 400°C. Kemudian langkah berikutnya dilakukan pengujian struktur mikro dan struktur kristal.

Pembuatn sample uji yaitu baja paduan rendah VCN 150 diperoleh dari perusahaan manufaktur di daerah Bogor. Pembuatan material dan sampel uji dengan cara proses *machining*. Diawali dengan pembubutan diameter menggunakan mesin bubut, kemudian material dipotong sesuai dengan ketebalan yang diinginkan. Setelah itu material dilakukan proses perlakuan panas sebagai berikut: (1) Siapkan bahan uji dan alat pendukung (2) Persiapkan media pendingin oli digunakan oli SAE 20W-50, dan untuk media pendingin air garam dengan melakukan pelarutan garam dapur yang ada pada air yang

telah ada sampai jenuh. (3) Setelah temperatur mencapai 850°C dan melakukan penahanan dalam waktu 2 jam, material diambil dari dalam tungku pembakaran menggunakan penjepit. (4) Lalu material uji di lakukan pendinginan dengan 2 media pendingin berbeda (*quenching*) yaitu air garam dan oli dengan temperatur ruangan. (5) Setelah material uji suhu nya telah normal kembali, maka proses *tempering* dilaksanakan pada temperature yang berbeda yakni 350°C, 300°C, dan 400°C dengan waktu penahanan yang sama yaitu 1 jam. Setelah selesai pendinginan nya hanya melalui udara. Fasilitas *heat treatment* yang digunakan adalah tungku listrik dengan temperatur maksimal 1000°C



Gambar 1 Sample Uji Material VCN 150
Sumber Data : Hasil Foto Penelitian

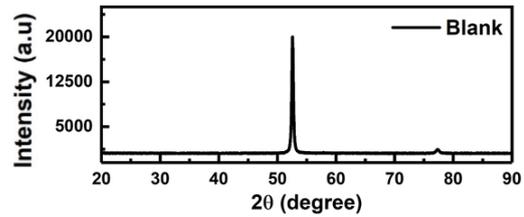
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian XRD digunakan untuk memperoleh data dari hasil pengujian dengan menggunakan alat difraktometer sinar-x. Pada penelitian ini penguji melakukan pengujian tersebut di laboratorium Universitas Indonesia. Data hasil pengujian berupa difraktogram sinar-x dari beberapa spesimen uji yang diujikan untuk mengetahui nilai dari ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan kisi yang terdapat pada sample uji. Pengujian dilakukan sesuai desain rancangan uji sifat mekanis. Berikut adalah tabel dan gambar dari sample dalam pengujian.

Tabel 1 Matriks Sample Pengujian Material

No	Kode Sample	Proses Heat Treatment 1			Proses Heat Treatment 2			Media Quenching
		Heat Treatment	Temperatur (°C)	Waktu Penahanan (Jam)	Heat Treatment	Temperatur (°C)	Waktu Penahanan (Jam)	
1	Tanpa Perlakuan	Tanpa Perlakuan Panas	-	-	-	-	-	-
2	Q850-O-t2	Hardening	850	2	-	-	-	Oli SAE 20W-50
3	Q850-AG-t2	Hardening	850	2	-	-	-	Air Garam
4	T350-t1	Hardening	850	2	Tempering	350	1	Oli SAE 20W-50
5	T400-t1	Hardening	850	2	Tempering	400	1	Oli SAE 20W-50

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



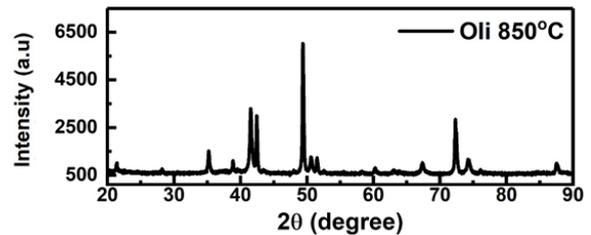
Gambar 2 Difraktogram Sinar-X Tanpa Perlakuan panas

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Tabel 2 Hasil XRD Tanpa Perlakuan Panas

No.	Sudut 2θ	Sudut θ	Intensity	FWHM B	K.λ	d (Å)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ Kerapatan Dislokasi (garis/mm ²)	Σ Regangan Mikro (ε)
1	52,544	26,272	18994	0,270	1,5098	6,232	0,6232	2,5747	0,1371
2	77,298	38,649	1198	0,365	1,5098	5,292	0,5292	3,5697	0,1143
Rata – Rata							0,5762	3,0722	0,1257

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



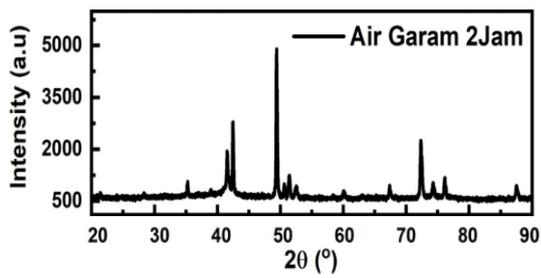
Gambar 3 Difraktogram Sinar-X Proses Quenching (Q850-O-t2)

Sumber Data : Hasil Penelitian

Tabel 3 Data Hasil Uji XRD Baja Paduan Rendah, Quenching (Q850-O-t2)

No.	Sudut 2θ	Sudut θ	Intensity	FWHM B	K.λ	d (Å)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ Kerapatan Dislokasi (garis/mm ²)	Σ Regangan Mikro (ε)
1	35,201	17,600	1462	0,25	1,5098	6,3357	0,6335	2,4911	0,1970
2	42,395	21,197	2495	0,153	1,5098	10,577	1,0577	0,8938	0,0991
3	42,460	21,230	2981	0,153	1,5098	10,584	1,0584	0,8926	0,0986
4	49,371	24,686	6023	0,161	1,5098	10,3207	1,0321	0,9388	0,0876
5	50,610	25,305	1251	0,3	1,5098	5,5665	0,5566	3,2272	0,1586
6	72,430	36,215	2325	0,23	1,5098	8,1345	0,8134	1,5112	0,0785
Rata – Rata							0,8586	1,6591	0,1199

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

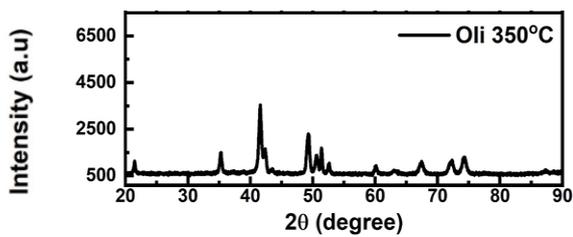


Gambar 4 Difraktogram Sinar-X Proses *Quenching* (Q850-AG-t2)
Sumber Data : Hasil Penelitian

Tabel 4 Data Hasil Uji XRD Baja Paduan Rendah, *Quenching* (Q850-AG-t2)

No.	Sudut 2θ	Sudut θ	Intensity	FWHM β	K.λ	d (Å)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ Kerapatan Dislokasi (garis/mm ²)	Σ Regangan Mikro (ε)
1	35,245	17,622	1006	0,180	1,5098	8,7996	0,8799	1,2914	0,1418
2	41,569	20,784	1913	0,3	1,5098	5,3799	0,5379	3,4549	0,1984
3	42,417	21,208	2477	0,153	1,5098	10,5841	1,0584	0,8926	0,0986
4	49,393	24,696	4890	0,435	1,5098	3,8172	0,3817	0,6862	0,2375
5	51,414	25,707	1224	0,32	1,5098	5,2360	0,5236	3,6474	0,1662
6	72,386	36,193	2153	0,225	1,5098	8,3047	0,8304	1,4499	0,0771
Rata – Rata							0,7020	2,9332	0,1533

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

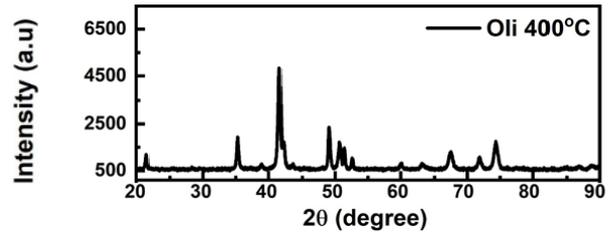


Gambar 5 Difraktogram Sinar-X Proses *Tempering* (T350-t1)
Sumber Data : Hasil Penelitian

Tabel 5 Data Hasil Uji XRD Baja Paduan Rendah, *Tempering* (Q350-t1)

No.	Sudut 2θ	Sudut θ	Intensity	FWHM β	K.λ	d (Å)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ Kerapatan Dislokasi (garis/mm ²)	Σ Regangan Mikro (ε)
1	35,310	17,655	1498	0,2	1,5098	7,9196	0,7919	1,5943	0,1576
2	41,591	20,795	3539	0,24	1,5098	6,7249	0,6724	2,2111	0,1587
3	49,306	24,653	2287	0,315	1,5098	5,2714	0,5271	3,5986	0,1720
4	51,392	25,696	1693	0,32	1,5098	5,2316	0,5231	3,6535	0,1669
5	67,475	33,737	1121	0,452	1,5098	4,0149	0,4014	6,2035	0,1694
6	74,212	37,106	1288	0,55	1,5098	3,4417	0,3441	8,442	0,1818
Rata – Rata							0,3434	4,283	0,1677

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

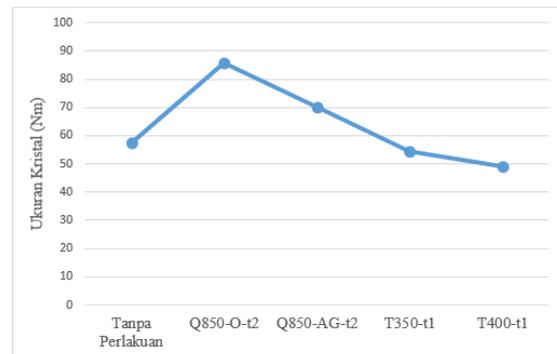


Gambar 6 Difraktogram Sinar-X Proses *Tempering* (T400-t1)
Sumber Data : Hasil Penelitian

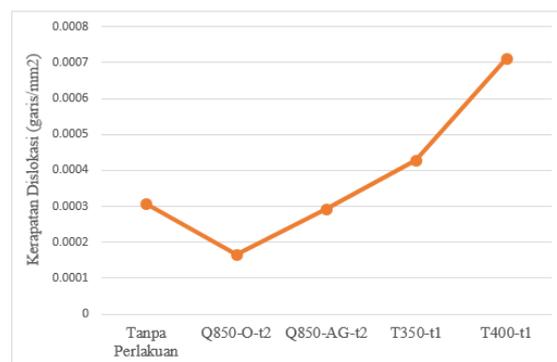
Tabel 6 Data Hasil Uji XRD Baja Paduan Rendah, *Quenching* (T400-t1)

No.	Sudut 2θ	Sudut θ	Intensity	FWHM β	K.λ	d (Å)	D Ukuran Kristal (nm)	ρ Kerapatan Dislokasi (garis/mm ²)	Σ Regangan Mikro (ε)
1	21,510	10,755	1188	0,238	1,5098	6,4558	0,6455	2,3993	0,3148
2	35,310	17,655	1926	0,669	1,5098	2,3676	0,2367	17,8393	0,5272
3	41,613	20,806	4839	0,4	1,5098	4,0376	0,4037	6,1340	0,2632
4	49,067	24,533	2348	0,298	1,5098	5,5677	0,5567	3,2258	0,1634
5	51,392	25,696	1467	0,21	1,5098	7,9720	0,7972	1,5734	0,1095
6	74,407	37,203	1677	0,644	1,5098	2,9432	0,2943	11,5436	0,2121
Rata – Rata							0,4891	7,1193	0,2651

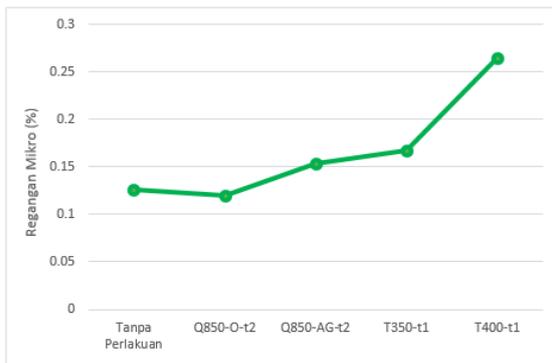
Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 7 Grafik Perbandingan Perubahan Ukuran Kristal
Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 8 Grafik Perbandingan Kerapatan Dislokasi
Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 9 Grafik Perbandingan Perubahan Regangan Kisi
Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

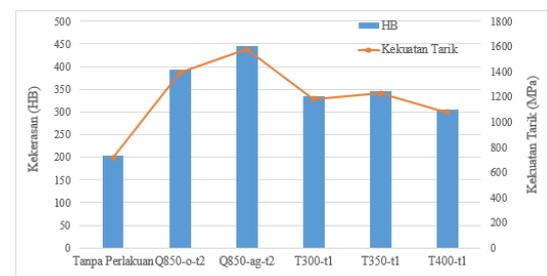
Berdasarkan data tersebut dapat dilihat perubahan yang terjadi pada ukuran kristal sebelum dan sesudah perlakuan panas. Pada gambar 7 data menunjukkan terjadi kenaikan pada ukuran kristal yang signifikan terhadap baja paduan rendah VCN 150 melalui proses pemanasan dalam suhu 850°C dengan waktu 2 jam dan didinginkan secara kejut dengan media oli. Sedangkan dengan pemanasan dan waktu yang sama untuk media air garam tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan oli. Kemudian data ini menunjukkan terjadinya proses rekristalisasi dan regangan makro kisi, terhadap baja paduan rendah VCN 150 bahwa deformasi plastis terjadi melalui proses dislokasi slip dan twin.^[21] Pada proses *quenching* ini baja paduan rendah VCN 150 mengalami pergeseran kisi kristal dan menghasilkan kristalit.

Selanjutnya setelah melewati proses *tempering* baja paduan rendah VCN 150 mengalami penurunan kristal yang signifikan dengan memansakan kembali dengan waktu 1 jam dan variasi temperatur 350°C dan 400°C. Perubahan ukuran kristal pada variasi temperatur 350°C tidak signifikan tetapi struktur kristal pada baja paduan rendah VCN 150 menjadi lebih halus. Sedangkan dengan variasi temperatur 400°C struktur kristal akan lebih halus ketimbang dengan temperatur 350°C. Dengan ini terjadinya kerapatan dislokasi dan regangan kisi perubahannya relatif mirip yaitu material mengalami kenaikan yang signifikan dari sebelum dan setelah proses *tempering*, bahwa nilai kerapatan dislokasi dan regangan kisi meningkat dua kali lipat dari tanpa perlakuan.

Pada gambar 7, 8 dan 9 menunjukkan grafik bahwa peningkatan temperatur pada perlakuan panas *tempering* mengakibatkan penyempitan puncak difraksi, dimana ditandai dengan kenaikan nilai FWHM. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur mengakibatkan semakin kecil kerapatan dislokasinya. Kerapatan dislokasi dan regangan kisi yang semakin kecil

mengakibatkan naiknya tegangan sisa dan menyebabkan cacat garis yang semakin banyak.^[21] Pengaruh media *quenching* dan waktu *tempering* terhadap kekerasan dan kuat Tarik

Hasil pengujian diatas didapat hasil analisa yaitu terdapat perbedaan kekerasan yang dihasilkan dari variasi media pendingin saat *quenching*. Q850-O-t2 merupakan *quenching* menggunakan media pendingin oli, kekerasan yang diperoleh adalah 393 HB dan didapat mikro struktur *martensite*, selanjutnya Q850-AG-t2 merupakan *quenching* menggunakan media pendingin air garam, kekerasan yang diperoleh adalah 445,3 HB dan didapat mikro struktur *martensite*. Hasil tersebut menunjukkan kekerasan pada media pendingin air garam lebih tinggi dibanding media pendingin oli.



Gambar 10 Grafik Kekuatan Tarik dan Kekerasan Brinell (HB)

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan garam (NaCl) sebagai media pendingin dapat mempercepat laju pendinginan, sehingga struktur mikro *martensite* yang terbentuk dapat lebih cepat dan banyak sehingga dapat mempengaruhi kekerasan dari baja tersebut. Tekstur dengan butiran sangat halus dan berserat menandakan bahan ini mempunyai kekerasan tinggi dan ketangguhannya rendah, karena struktur yang telah terbentuk setelah di celup adalah *martensite*. Akan tetapi struktur mikro *martensite* mempunyai kelemahan yaitu getas.

Pada Gambar 10 mendapatkan hasil pengujian kekerasan rata-rata dari sampel material baja paduan rendah VCN 150 proses *tempering* pada variasi temperatur 300°C, 350°C dan 400°C dengan waktu tahan 1 jam. Data hasil pengujian menunjukkan perbedaan temperatur pada proses *tempering* 300°C, 350°C dan 400°C. Nilai kekerasan sebesar (334.7 HB menjadi 304.3 HB) turun secara signifikan dibandingkan material baja paduan rendah VCN 150 setelah *quenching* di media air garam. Hal ini dikarenakan proses *tempering* cenderung menurunkan kekerasan pada baja paduan rendah VCN 150. Hal itu bisa dilihat dari perbandingan ukuran kristal yang turun serta kerapatan dislokasi dan regangan kisi yang

naik. Perlakuan tersebut mempengaruhi struktur kekerasan dari baja VCN 150. Proses perlakuan panas *tempering* baja paduan rendah VCN 150 dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik setelah *hardening*. (Okta Kurniawan, 2020)

Hasil pengujian dari gambar 10 dengan nilai kekerasan tanpa perlakuan panas adalah 203 HB. Selanjutnya dilakukan perlakuan *hardening* dengan media pendinginan oli adalah 393 HB dan kekerasan yang paling tinggi pada variasi air garam dimana menghasilkan peningkatan kekerasan menjadi 445.3 HB. Peningkatan kekerasan disebabkan oleh terjadinya proses fasa *austenite* ke fasa *martensite*. Saat dilakukannya proses *tempering* dengan variasi temperatur *tempering* 300°C dengan waktu penahanan 1 jam, kekerasan pada sample menurun menjadi 334.7 HB. Ini karena fase martensit telah berubah menjadi bainit atas. Kekerasan meningkat menjadi 346,7 HB ketika prosedur *tempering* dilakukan pada variasi suhu 350°C dengan waktu penahanan 1 jam. Hal ini dikarenakan bulat-bulatan dari fasa *upper bainit* menjadi semakin kasar. Selanjutnya proses *tempering* dengan variasi temperature 400°C dengan waktu penahanan 1 jam, terjadi penurunan kembali kekerasan menjadi 304.3 HB. Fase ferit-perlit dan bainit yang lebih tinggi digabungkan sebagai hasil dari reduksi, yang disebabkan oleh munculnya ferit dan perlit. Prosedur perlakuan panas ini mengubah kekerasan material. Adanya zat paduan yang membuat baja lebih ulet selama pengerasan. Kemudian terutama saat *tempering* pada suhu tinggi, komponen paduan dapat mencegah hilangnya kekerasan material selama proses *tempering*. Komponen paduan kromium (Cr) dan molibdenum (Mo) meningkatkan kekerasan material dan mencegahnya jatuh terlalu rendah dan mengendapkan karbida. Pada unsur paduan dari mangan (Mn) dan nikel (Ni) dapat meningkatkan material menjadi keras dan kekerasan tersebut melalui *solid-solution hardening* pada ferrit. Namun untuk peningkatan kekerasannya tidak terlalu signifikan jika dibandingkan unsur paduan dari pembentuk karbida (Ditri Mahbegi, 2016). Dengan temperatur *tempering* yang tinggi dan waktu penahanan yang lama dapat menyebabkan penguatan oleh unsur paduan tersebut menjadi tidak berarti. Dan presentase unsur paduan dalam baja paduan rendah VCN 150 cukup rendah sehingga terjadinta penurunan kekerasan pada saat proses *tempering* cukup besar, dan terus menurun seiring dengan kenaikan waktu penahanan pada saat proses *tempering*.

Sifat mekanik suatu baja berpengaruh terhadap komposisi stuktur kristal dan kimia yang dimiliki material tersebut. Penelitian menggunakan sample yang dibuat akan tetapi pada proses perlakuan panas setiap materialnya yang berbeda. Sample diberikan proses perlakuan *hardening* dilanjutkan dengan *quenching* dan diakhiri

proses *tempering*. Sample pada proses *hardening* diberikan pada temperatur 850°C dan untuk proses *tempering* pada variasi temperatur suhu 300°C, suhu 350°C dan suhu 400°C dengan waktu tahan 1 jam. Perbedaan perlakuan panas pada sample yang diterima dapat menyebabkan sifat mekanik material dan struktur kristal pada material berbeda.

Proses *tempering* pada baja paduan rendah VCN 150 berfungsi untuk memperbaiki dari sifat mekanik setelah proses *hardening*. Pengamatan dari gambar 4.16 nilai kekuatan tarik baja VCN 150 tanpa perlakuan sebesar 718.62 MPa. Selanjutnya sample dilakukan *hardening* dengan pendinginan kejut menggunakan media oli dimana menghasilkan kenaikan kekuatan tarik sebesar 1391.22 MPa. Sedangkan sample yang menggunakan media air garam mengalami kekuatan tarik yang sangat tinggi sebesar 1576.48 MPa. Proses tersebut disebabkan adanya transformasi dari fasa *austenite* ke fasa martensit. Selanjutnya proses *tempering* dengan variasi temperature suhu 300°C selama 1 jam, mengakibatkan penurunan kekuatan tarik senilai 1184.48 MPa. Proses tersebut disebabkan adanya perubahan fasa martensit ke *upper bainit*. Sampel selanjutnya dengan menambahkan suhu temperature pada proses *tempering* menjadi 350°C selama 1 jam, kekuatan tarik menurun menjadi 1225.9 MPa. Hal ini disebabkan bulat-bulatan fasa *upper bainit* semakin kasar. Dan pada sample berikutnya temperature dinaikan kembali menjadi 400°C selama 1 jam, terjadi penurunan yang signifikan pada kekuatan tarik menjadi 1077.22 MPa. Hasil ini disebabkan oleh munculnya ferit dan perlit untuk menghasilkan kombinasi fasa *upper bainit* dan ferit-perlit. Proses pada perlakuan panas dapat menyebabkan perubahan nilai kekuatan tarik pada setiap sample. Jadi pengaruh *tempering* terdapat material dengan varisasi temperature dapat menurunkan kekuatan tarik akan tetapi material tersebut akan menjadi getas.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

Terjadi perubahan sifat fisik yaitu ukuran pada kristal, kerapatan diskolasi, regangan mikro dan kekuatan luluhnya pada baja paduan rendah VCN 150 setelah dilakukan proses perlakuan *hardening*. Penurunan ukuran kristal terjadi setelah proses *tempering* selama 1 jam dengan temperature 400°C yaitu dari 0,5762 (nm) ke 0,4891 (nm). Selanjutnya kenaikan terjadi pada nilai kerapatan diskolasi yaitu 3,0722 (garis/mm²) ke 7,1193 (garis/mm²) begitu pula kenaikan regangan mikro sebesar 0,1257 (ε) menjadi 0,2561 (ε).

Terjadi perubahan sifat mekanik yaitu kekerasan dan kekuatan tarik pada baja paduan rendah VCN 150 setelah dilakukan proses

perlakuan panas. Kekerasan material mengalami peningkatan setelah proses *quenching* dengan media ilo yaitu dari 203 HB ke 393 HB. Sedangkan pa da media *quenching* air garam merupakan media pendingin terbaik karena dapat meningkatkan kekerasan sangat signifikan yaitu dari 203 HB menjadi 445.3 HB dan mengalami penurunan yang tidak signifikan. Hal ini merupakan perbaikan sifat material agar tidak getas. Penurunan kekerasan dari 445.3 HB ke 304 HB setelah 1 jam *tempering* dengan temperatur 400°C. Sama dengan halnya peningkatan dan penurunan juga terjadi pada kekuatan tarik material VCN 150 ini sama seperti grafik kekerasan

DAFTAR PUSTAKA

- Arief Murtiono, *Pengaruh Quenching Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*, Jurnal e-Dinamis, Volume II, No.2, September 2012
- Bustami Ibrahim, Aziza Noor Fadhila, Rofan Yulian Romansyah, *Perancangan Gearbox Traktor Tangan 2 Kecepatan 1 Mundur Dengan Sistem Pemindah Gigi Synchromesh*, Machine; Jurnal Teknik Mesin Vol. 4 No. 1, Januari 2018
- Budiarto Djono Siswanto, *Pengaruh Temperatur Artificial Age Terhadap Kekerasan, Kekuatan luluh, dan Kerapatan Dislokasi pada Paduan $Al_{97,11}Mg_{1,52}Si_{0,86}Zn_{0,51}$* , Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy, Vol. 5 (2) Des (2021)
- Budiarto Djono Siswanto, Melya Dyanasari Sebayang, Septian Arum Fajar Maulana, *Analisa Temperatur Sinter Terhadap Diameter kristallit, Kerapatan dislokasi, Regangan mikro Dan Struktur mikro Pada Material Katoda Baterai $LiNi_{0,7}Fe_{0,2}Co_{0,1}O_2$* , Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy, Vol. 6 (1) Juni (2022)
- Dwi Joko Purnomo, Sarjito Jokosisworo, Untung Budiarto, *Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 70*, Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 07, No. 1 Januari 2019
- Ditri Mahbegi, *Analisa Pengaruh Temperatur Tempering Pada Perlakuan Panas Terhadap Perubahan Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Coupler Yoke Rotary (AAR-M201 Grade E)*, Tugas Akhir S.T, Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2016
- Firda Herlina, Muhammad Firman, Muhammad Najib, *Analisa Uji Kekerasan Baja Vcn 150 Pada Poros Baling-Baling Pisau Mesin Crusher*, Jurnal Teknik Mesin UNISKA Vol. 01 No. 02, 2016
- Muhammad Pandu, *Perencanaan Sistem Pemindah Daya Motor Pada Kontruksi Lift Bangunan 2 Lantai Berkapasitas 500 Kg*, Tugas Akhir S.T, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia, 2021
- Jourdy Praditya, *Analisis Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Hardening Material 4340 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Untuk Komponen Axle Shaft*, Tugas Akhir S.T, Jurusan Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2018
- Khoirur Rizki, *Perencanaan Transmisi Roda Gigi Penggerak Pompa Dengan Vertical Axis Win Turbine (VAWT)*, Skripsi S.T, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia, 2018
- Okta Kurniawan Andryanto, Teguh Triyono, Agung Tri Wijayanta, *Analisis Pengaruh Variasi Ukuran Impeler Pengaduk Terhadap Kekerasan, Kekuatan Bending Dan Densitas Aluminium Matrix Composite (AMC) Dengan Metode Stir Casting*, Jurnal Teknik Mesin Indonesia, Vol. 15 No. 2 Oktober 2020 Hal. 7-12
- Rian Irawan, *Pengaruh Pembebanan Terhadap Kekuatan Roda Gigi Lurus Komposit*, Tugas Akhir S.T, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia, 2018
- Thessa Adhitya Thomas, *Pengaruh Holding Time Dan Quenching Terhadap Angka Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 4140*, Skripsi S.T, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia, 2020
- Yopi Handoyo, *Pengaruh Quenching Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft*, Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 3, No.2 Agustus 2015 Universitas Islam 45 Bekasi