
ANALISA KEKUATAN PIN *CHAIN CONVEYOR* MENGGUNAKAN BAJA *PLAIN BAR* JIS G 3112 DENGAN *HEAT TREATMENT* PADA DISAIN MATERIAL *RECLAIMER*

Oktovianus Dharma Rerung

Jurusan Teknik Mesin, Program Studi D4 Produksi dan Perawatan
Politeknik Negeri Kupang

Email: Email: s55_mr@yahoo.co.id, dharmarerung@gmail.com.

Fransiskus Sapar

Jurusan Teknik Mesin, Program Studi D3 Teknik Otomotif
Politeknik Negeri Kupang

Email address: sapar45@gmail.com

Roymons Jimmy Dimu

Jurusan Teknik Mesin, Program Studi D4 Produksi dan Perawatan
Politeknik Negeri Kupang

Email address: roydimu@gmail.com

Reynaldy M. Manuolla

Jurusan Teknik Mesin, Program Studi D4 Produksi dan Perawatan
Politeknik Negeri Kupang

Email address: reynaldymanuolla@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu komponen dari *chain conveyor* adalah pin untuk menghubungkan pelat-pelat, membentuk suatu *chain*. *Pin chain* ini harus mampu menahan beban berat saat peralatan beroperasi, seperti yang terlihat pada kasus *reclaimer* pada pabrik-pabrik dengan pekerjaan curah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bahan *pin chain* menggunakan baja Plain Bar JIS G 3112. Studi ini menggunakan eksperimen *heat treatment* dengan *case hardening* dan *Spheroidized Annealing*. *Desain Eksperimen (DOE)* dengan analisa faktor diperlukan untuk menganalisis dengan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon kekerasan dan respon kekuatan *yielding point*. Pengujian mencakup uji tarik, uji kekerasan, metalografi, dan pengujian komposisi kimia menggunakan *Energy Dispersive X-Ray (EDX)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik faktor *quenching* maupun waktu secara signifikan memengaruhi respon kekerasan maupun respon kekuatan tarik *yielding point*. Observasi metalografi menunjukkan adanya struktur martensitik, perlitik, dan austenitik stabil pada permukaan baja. Pemanasan ulang mengurangi kekerasan dan kekuatan tarik, tetapi tetap mempertahankan kekuatan bahan. Proses ini juga meratakan struktur mikro dan membentuk fase austenit yang lebih stabil. Pengujian komposisi kimia mengungkapkan peningkatan kadar karbon, mangan, silikon, dan aluminium, yang memengaruhi sifat bahan. Karbon membentuk karbida, sedangkan mangan menstabilkan fase austenit. Mangan membentuk austenit, meningkatkan ketangguhan, dan silikon meningkatkan kekuatan.

Kata kunci: *pin chain*, Plain Bar JIS G 3112, *heat treatment*, DOE, metalografi, EDX

ABSTRACT

One of the components of a chain conveyor is the pin used to connect the plates, forming a chain. These chain pins must be able to withstand heavy loads when the equipment is in operation, as seen in the case of reclaimers in bulk handling facilities. This research aims to design the chain pin material using Plain Bar JIS G 3112 steel. The study employs heat treatment experiments

involving case hardening and Spheroidized Annealing. Design of Experiments (DOE) with faktor analysis is needed to analyze the faktors influencing the hardness response and yielding point strength response. Testing includes tensile testing, hardness testing, metallography, and chemical composition testing using Energy Dispersive X-Ray (EDX). The research results show that both quenching and time significantly affect both hardness and tensile strength yielding point responses. Metallographic observations reveal the presence of martensitic, pearlitic, and stable austenitic structures on the steel's surface. Reheating reduces hardness and tensile strength but maintains material strength. This process also evens out the microstructure and forms a more stable austenitic phase. Chemical composition testing reveals increased levels of carbon, manganese, silicon, and aluminum, which impact the material's properties. Carbon forms carbides, while manganese stabilizes the austenitic phase. Manganese forms austenite, enhancing toughness, and silicon increases strength.

Keywords: pins chain, Plain Bar JIS G 3112, heat treatment, DOE, metalografi, EDX

1. PENDAHULUAN

Kemajuan terbaru dalam teknik manufaktur telah menghadirkan kemungkinan baru untuk pembuatan komponen logam. Industri 4.0 merupakan istilah kolektif untuk sejumlah teknologi yang diyakini mampu meningkatkan produktivitas industri secara signifikan. Istilah Industri 4.0 sendiri secara resmi lahir di Jerman tepatnya saat diadakan Hannover Fair pada tahun 2011 [1]. *Chain conveyor* adalah salah satu peralatan yang bekerja cukup berat untuk mengintegrasikan proses transportasi material antara area atau proses dalam area tersebut. Bagian alat yang dimaksud adalah *Stacker* dan *Reclaimer* [2]. Fungsi dari kedua alat tersebut adalah mengambil *limestone* (batu kapur) atau *clay* (tanah liat) dengan kemiringan tertentu pada arah penumpukan untuk proses preblending atau prehomogenisasi. Salah satu peralatan *Reclaimer* adalah *Chain conveyor*, dimana *chain* memiliki pin semacam pasak untuk menghubungkan satu plat *chain* dengan plat lainnya membentuk rantai [3]. Pin *chain* ini bekerja sangat berat menahan tarikan pada saat peralatan bekerja. Sebagai contoh obyek peralatan *reclaimer* yang diteliti mempunyai kapasitas operasional 80 ton per jam. Karena pekerjaan yang berat maka pin ini sering rusak atau patah dimana *chain* menjadi putus mengakibatkan proses blending seperti tersebut di atas menjadi berhenti [4][3]. Salah satu cara menanggungan adalah dengan mengganti pin atau jika platnya rusak, maka harus mengganti dua mata *chain*. Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, maka terbersit pola penyelesaian masalah dengan membuat pin *chain* tersebut dengan menggunakan material yang cukup mudah diperoleh di pasaran yaitu baja tulangan sesuai SNI 2052:2017 adalah Plain Bar JIS G 3112 2 [5][6]. Baja tulangan ini berkekuatan *yielding point* minimal 280 N/mm², merupakan salah satu material baja yang lunak dan tegangan tarik cukup rendah. Tentunya material tersebut membutuhkan *heat treatment* tertentu untuk meningkatkan kekuatan mencapai kekuatan pin *chain conveyor* atau bahkan melebihinya. Selain industri semen, pabrik mineral lainnya, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan pertambangan mengenal sistem *reclaiming* untuk mentransfer batu bara dalam transportasinya [7][8]. Mengingat hampir 80-90 % industri manufaktur menggunakan logam, maka teknologi rekayasa bidang tersebut berkembang sangat pesat [9]. Tantangan dari penelitian ini adalah bagaimana merancang *Design of Experiments* (DOE) dengan analisa faktor material pin *chain* dengan tahapan-tahapan proses *heat treatment* yaitu *case hardening* dan *annealing* untuk dengan respon kekerasan yang cukup dan tegangan *yielding point* ~ 400 N/mm² [3][10]. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan metode eksperimen sungguhan [11] dan membuat analisa faktor berdasarkan *Design of Experiments* (DOE) [12]. Tahapan penelitian dimulai dengan pembuatan pin dengan bahan Plain Bar JIS G 3112 menggunakan mesin bubut. Selanjutnya melakukan *heat treatment* dengan proses *case hardening* menggunakan pemanasan tinggi pada daerah *austenite* dengan media serbuk batu mangan dan arang kayu kesambi [13]. Kedua jenis media ini dipilih dan menjadi sangat penting dalam proses *pirometalurgi* karena mengandung karbon, mangan dan logam-logam lainnya yang dibutuhkan dalam proses difusi *case hardening* [14][15]. Proses lainnya adalah pendinginan proses dengan beberapa media pendingin yang disebut *quenching* dan *annealing*.

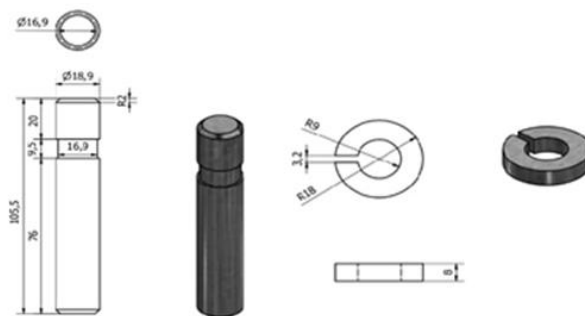
Annealing dilakukan untuk mengembalikan sifat-sifat baja yang terjadi akibat proses deformasi dingin [3]. Proses anil dilakukan jika proses case hardening menghasilkan kekerasan material menjadi sangat tinggi dan menjadi getas[16][17]. Untuk menunjukkan informasi kualitas material dengan pengujian-pengujian yaitu pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro dan pengujian komposisi kimia dengan EDX (*Energy Dispersive X-Ray*). Jika memperhatikan *Design of Experiments* (DOE) yang melibatkan dua faktor, yaitu *case hardening* dengan *Heat Treatment* berpendingin diesel oil dan oil SAE 30 (Q1 dan Q2) dan Waktu (t_1 , t_2 , t_3), dengan respon berupa tingkat kekerasan (HRC) dan Tegangan Tarik *Yield Point* (N/mm²), metalografi dan pengujian komposisi kimia akan banyak hal menarik untuk pembahasan selanjutnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian mempunyai dua macam signifikansi, yaitu signifikansi teoritis karena ia dapat mengembangkan teori, dan signifikansi praktis karena ia dapat memberi bantuan dalam memecahkan masalah [18]. Untuk pembuatan pin *reclaimer* dengan menggunakan baja tulangan Plain Bar JIS G 3112 dan pengerasan *case hardening*, menggunakan metodologi experiment sungguhan [19]. Produk yang ingin dikembangkan dari penelitian ini adalah pin yang banyak digunakan dalam keperluan-keperluan teknik. Secara umum produk ini sudah banyak diproduksi dan bentuknya yang sederhana dan gampang dibuat. Tapi menggunakan material baja karbon sesuatu yang mungkin masih jarang digunakan. Produk ini tentu sangat berguna khusus untuk tujuan alat *reclaimer* pada pabrik.

2.1 Desain Pin

Dari disain tersebut diatas digunakan pada *chain reclaimer* [20]. Jenis pin tersebut adalah yang paling sederhana dimana di kedua bahagian ujung terdapat lubang yang berfungsi sebagai tempat pengikat yang disebut sebagai cotton pin (dapat dilihat pada gambar 1).



Gambar 1. Reclaimer Chain Conveyor pin

2.2 Design of Experiment (DOE)

Design of Experiment (DOE) adalah alat yang ampuh untuk mencapai peningkatan kualitas produk yang signifikan dan efisiensi proses. Cara ini dapat diperoleh data yang cukup dengan sejumlah kecil penyelidikan karena itu memungkinkan perubahan beberapa secara simultan dan terus menerus parameter eksperimental dalam jangka waktu yang lama [21]. Di dalam percobaan faktorial, selain mengetahui pengaruhnya masing-masing faktor, dimungkinkan juga untuk mengetahui efek gabungannya (interaksi) dari faktor-faktor yang dicoba [15]. Untuk pengujian *case hardening* dengan pengujian eksperimen sungguhan dan pengujian *Annealing* menggunakan DOE dengan analisis faktorial dengan dua faktor pada tiga level yaitu faktor *quenching*/pendingin (Q) dan Temperatur *Annealing* (t) pada tiga level temperatur 700°C pada *holding time* (t_1), (t_2) dan (t_3) dan level *quenching* diesel oil (Q1) dan oil SAE 30 (Q2). Tujuan utama dari salah satu cara ANOVA

adalah menguji apakah dua kelompok atau lebih berbeda satu sama lain secara signifikan dalam satu atau lebih karakteristik. ANOVA faktorial membandingkan rata-rata dua atau lebih variabel independen. Tujuan utama dari salah satu cara ANOVA adalah menguji apakah dua kelompok atau lebih berbeda satu sama lain secara signifikan dalam satu atau lebih karakteristik. ANOVA faktorial membandingkan rata-rata dua atau lebih variabel independen [22].

1. Faktor : faktor *quenching*/pendingin (Q) dengan *diesel oil* (Q1) dan oil SAE 30 (Q2) ; dan faktor Temperatur *Spheroidized Annealing* (t)
2. Level : *holding time* (t1) 30 menit, (t2) 60 menit dan (t3) 90 menit
3. Respon : *Hardness* (HRC dan *Yielding point* (N/mm²)
4. Variabel kontrol, pengamatan hasil uji metalografi, Nilai hasil Pengujian komposisi kimia material dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX)

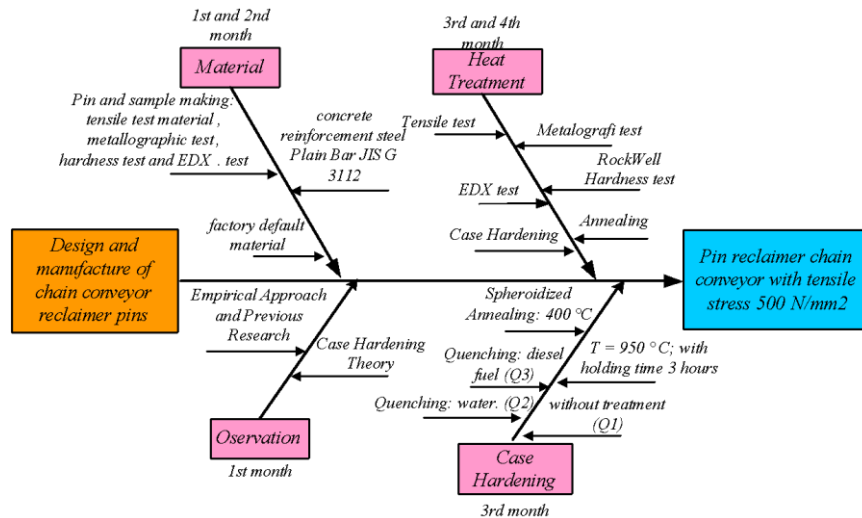
Format pengambilan data proses hardening dan Annealing yang menghasilkan data-data pengujian kekerasan dan pengujian tarik seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Eksperimen Case Hardening dengan arang kusambi dan serbuk batu mangan

<i>Case Hardening</i>	<i>Level</i>	
Suhu perlakuan	900°C	900°C
<i>Holding Time</i>	3 hours	3 hours
Media pendingin	<i>Diesel oil</i>	<i>Oil SAE 30</i>
Arang kesambi, bubuk mangan	50 %	50 %
<i>Spheroidized Annealing</i>	400 °C	400 °C
<i>Holding Time</i>	30 minutes	60 minutes 90 minutes

2.3 Road Map Penelitian

Diagram dan analisis tulang ikan biasanya mengevaluasi penyebab dan sub-penyebab dari satu masalah tertentu dan oleh karena itu membantu dalam memprediksi masalah dengan berfokus pada akar penyebab [21]. Selain itu diagram tulang ikan juga dapat menggambarkan proses atau jalannya penelitian dari awal hingga akhir. *Cause and effect* diagram tersebut di bawah ini yang menganalisis akar penyebab masalah pin reclaimer chain conveyor yang sering rusak dan diganti membutuhkan suku cadang yang banyak. Ada dua proses penting dari penelitian adalah proses *case hardening* dan *Annealing* yang berpengaruh pada respon kekerasan[20][17]. Dua proses tersebut menjadi kunci keberhasilan rekayasa material spare part reclaimer chain. Pengujian-pengujian yang dilakukan akan memberikan informasi kekuatan atau kualitas material diukur dari kekuatan tarik dan kekerasan material sedangkan pengujian EDX dan metalografi [6] sebagai variabel kontrol. Analisa itu mencoba menjawab dengan merekayasa sendiri pin yang berkualitas dengan proses pengerjaan, treatment dan pengujian digambarkan dalam proses penelitian seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Cause and Effect Diagram pin chain reclaimer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) dalam DOE adalah teknik statistik yang digunakan untuk mengidentifikasi apakah ada perbedaan signifikan antara rata-rata kelompok atau perlakuan yang berbeda dalam sebuah eksperimen. Fungsi utama ANOVA adalah untuk menguji apakah faktor-faktor tertentu memiliki pengaruh nyata terhadap hasil atau variabel yang sedang diamati. Pada intinya, DOE terdiri dari menginduksi variabilitas kesalahan pengukuran dan, dalam hal ini, tepatnya analisis statistik varians (ANOVA) yang biasanya direkomendasikan dan digunakan untuk pemrosesan dan mencapai interpretasi hasil yang lebih baik [22].

Tabel 2 menunjukkan pengujian dalam eksperimen faktorial 2 faktor dengan pengulangan adalah alat yang digunakan untuk merencanakan, mengatur, dan menganalisis uji kekerasan dengan metode *Design of Experiments* (DOE) yang melibatkan dua faktor, yaitu *Heat treatment* (Q1 dan Q2) dan Waktu (t_1 , t_2 , t_3), dengan respon berupa tingkat kekerasan (HRC) dan Tegangan Tarik *Yield Point* (N/mm²), serta pengulangan sebanyak lima kali. Tabel hasil percobaan di bawah ini mencatat hasilnya, dan menganalisis dampak faktor-faktor tersebut pada respons yang diamati.

Jika faktor-faktor tersebut di atas berpengaruh nyata, ANOVA akan membantu dalam:

1. Mendeteksi perbedaan antara kelompok: ANOVA memungkinkan Anda untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara kelompok perlakuan atau faktor yang berbeda dalam eksperimen. Ini dapat mengidentifikasi pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap hasil yang diamati.
2. Mengukur seberapa besar pengaruh: ANOVA juga memberikan informasi tentang seberapa besar pengaruh faktor-faktor tersebut. Ini memungkinkan Anda untuk menentukan apakah perbedaan yang diamati cukup besar untuk dianggap signifikan secara statistik.
3. Menghindari kesalahan tipe I: Dengan melakukan pengujian statistik yang sesuai, ANOVA membantu dalam menghindari kesalahan tipe I, yaitu kesalahan yang terjadi ketika kita salah menyimpulkan bahwa ada perbedaan signifikan ketika sebenarnya tidak ada.
4. Membantu dalam pengambilan keputusan: Hasil dari analisis ANOVA dapat digunakan untuk membuat keputusan yang relevan dalam penelitian atau eksperimen, seperti menentukan perlakuan atau faktor mana yang paling efektif.

Fungsi utama ANOVA adalah untuk menguji dan mengukur pengaruh faktor-faktor yang berbeda terhadap variabel yang diamati dan membantu dalam membuat kesimpulan yang kuat berdasarkan data statistik.

Tabel 2. Tabel hasil uji kekerasan dengan Spheroidized Annealing

Resposns	Heat treatment with quenching	Spesimen	Case Hardening 900°C	Spheroidized Annealing temperature 400°C with holding time (minute)			Average
				30 minutes	60 minutes	90 minutes	
				(t1)	(t2)	(t3)	
Hardness (HRC)	diesel oil (Q1)	1	48,00	46,78	43,88	35,98	42,21
		2	46,00	44,13	47,34	40,12	43,86
		3	51,00	45,45	46,27	38,74	43,49
		4	45,00	44,67	43,48	42,91	43,69
		5	43,00	47,24	41,99	36,52	41,92
	Average		46,60	45,65	44,59	38,85	43,03
	oil SAE 30 (Q2)	1	50,66	44,74	43,82	42,00	43,52
		2	49,77	45,00	49,65	38,00	44,22
		3	48,45	49,12	47,97	45,00	47,36
		4	52,88	44,64	46,78	43,00	44,81
		5	44,00	43,39	44,88	37,81	42,03
	Average		49,15	45,38	46,62	41,16	44,39

Analisa faktor, juga dikenal sebagai analisis faktor atau analisis komponen utama, adalah suatu metode statistik yang digunakan untuk mengidentifikasi pola dan hubungan antara berbagai variabel yang mungkin berkorelasi dalam satu set data. Tujuan utama dari analisis faktor adalah untuk mengurangi kompleksitas data dengan mengidentifikasi faktor-faktor atau dimensi-dimensi utama yang mendasari variasi dalam data tersebut. Dengan kata lain, analisis faktor membantu mengidentifikasi variabel-variabel yang saling terkait dan menjelaskannya dengan lebih sedikit faktor atau dimensi yang lebih sederhana. Dalam tabel di atas, terdapat 30 percobaan yang terdiri dari kombinasi antara dua faktor Treatmen (Q1 dan Q2) dan tiga faktor Waktu (t1, t2, t3). Respon berupa tingkat kekerasan (HRC) yang dicatat dalam kolom "Kekerasan (HRC)" setelah setiap percobaan selesai. Setelah mengisi tabel dengan data hasil uji kekerasan, Anda dapat menganalisis dampak Treatmen dan Waktu terhadap respon kekerasan menggunakan berbagai metode statistik, seperti analisis variansi (ANOVA), untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan antara kelompok-kelompok tersebut sebagai berikut:

Tabel 3. Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	F Table		Explanation
						0,05	0,01	
Q faktor	1	13,74	13,736	2,38	0,136	4,26	7,82	TN
t faktor	2	205,61	102,806	17,78	0,000	3,40	5,61	**
Q faktor*t faktor	2	10,05	5,027	0,87	0,432	3,40	5,61	TN
Error	24	138,76	5,782					
Total	29	368,16						

Keterangan: * berpengaruh nyata, ** berpengaruh sangat nyata, TN berpengaruh tidak nyata

Tabel 4. Fisher Pairwise Comparisons: Q faktor
Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Q faktor	N	Mean	Grouping
Q2	15	44,3867	A
Q1	15	43,0333	A

Tabel 5. Fisher Pairwise Comparisons: t faktor
Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

t faktor	N	Mean	Grouping
t2	10	45,606	A

t1	10	45,516	A
t3	10	40,008	B

Tabel 6. Tukey Pairwise Comparisons: Q faktor*t faktor
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

<i>Q faktor*t faktor</i>	<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>Grouping</i>
Q2 t2	5	46,620	A
Q1 t1	5	45,654	A B
Q2 t1	5	45,378	A B
Q1 t2	5	44,592	A B
Q2 t3	5	41,162	B C
Q1 t3	5	38,854	C

Interpretasi dari hasil pengujian kekerasan dengan analisa faktor tersebut di atas adalah:

1. Pada Tabel 3. Analysis of Variance dinyatakan F value lebih besar daripada nilai kritis dari F table, baik pada probabilita 0,01 maupun 0,05 terlihat pada t faktor atau faktor temperature (t) berpengaruh sangat nyata terhadap respons hardness (HRC). Sedangkan faktor Q dan interaksi keduanya (Q faktor*t faktor) gagal menolak hipotesis nol disebut berpengaruh tidak nyata (TN).
2. Pada Tabel 4 dan Tabel 5. Terlihat Q faktor (Q2 kemudian Q1) merupakan faktor terbaik berdasarkan rata-rata kekerasan dengan keterangan A. Pada t faktor (t2 kemudian t1) merupakan faktor terbaik dengan keterangan A dan t3 faktor terbaik kedua dengan keterangan B.
3. Pada Tabel 6, kombinasi Q faktor dan t faktor, terbaik pada faktor Q2 t2 dan selanjutnya secara berurutan Q1t1, Q2 t1, Q1t2, Q2t3 dan faktor kombinasi terakhir pada kombinasi Q1t3 dengan keterangan C. Keterangan C menunjukan faktor terbaik ketiga.

Tabel 7. Tabel hasil uji Tarik Yielding Point dengan Spheroidized Annealing

	<i>Heat treatment with quenching</i>	<i>Spesimen</i>	<i>Case Hardening</i>	<i>Spheroidized Annealing temperature 400°C with holding time (minute)</i>			<i>Average</i>
			<i>900°C</i>	<i>30 (t1)</i>	<i>60 (t2)</i>	<i>90 (t3)</i>	
<i>Yielding point (N/mm²)</i>	<i>diesel oil (Q1)</i>	1	577,13	532,20	539,51	528,34	533,35
		2	561,54	541,37	540,39	519,46	533,74
		3	535,69	539,00	538,14	526,78	534,64
		4	543,06	543,01	542,87	533,62	539,83
		5	585,34	530,23	534,66	532,00	532,30
		<i>Average</i>	560,55	537,16	539,11	528,04	534,77
	<i>oil SAE 30 (Q2)</i>	1	532,11	532,46	533,45	509,00	524,97
		2	530,55	527,38	525,63	516,00	523,00
		3	550,69	520,00	523,98	520,00	521,33
		4	537,90	515,00	513,99	530,00	519,66
		5	539,58	521,21	519,77	509,00	516,66
		<i>Average</i>	538,17	523,21	523,36	516,80	521,12

Tabel 8. Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>	<i>F Table</i>		<i>Explanation</i>
						<i>0,05</i>	<i>0,01</i>	
Q Faktor	1	1396,87	1396,87	33,99	0,000	4,26	7,82	**
t Faktor	2	463,98	231,99	5,65	0,010	3,40	5,61	**
Q Faktor*t Faktor	2	25,77	12,89	0,31	0,734	3,40	5,61	TN

Error	24	986,24	41,09
Total	29	2872,87	

Keterangan: * berpengaruh nyata, ** berpengaruh sangat nyata, TN berpengaruh tidak nyata

Tabel 9. Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Q Faktor	N	Mean	Grouping
Q1	15	534,772	A
Q2	15	521,125	B

Tabel 10. Tukey Pairwise Comparisons: t Faktor
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

t Faktor	N	Mean	Grouping
t2	10	531,239	A
t1	10	530,186	A
t3	10	522,420	B

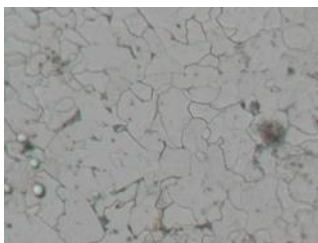
Tabel 11. Tukey Pairwise Comparisons: Q Faktor*t Faktor
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Q Faktor*t Faktor	N	Mean	Grouping
Q1 t2	5	539,114	A
Q1 t1	5	537,162	A
Q1 t3	5	528,040	A B
Q2 t2	5	523,364	B
Q2 t1	5	523,210	B
Q2 t3	5	516,800	B

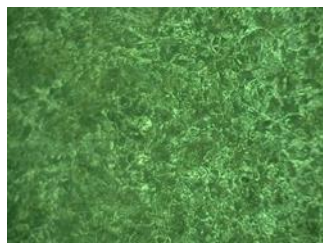
Interpretasi dari hasil pengujian tegangan yielding point (σ_{yp}) dengan analisa faktor tersebut di atas adalah:

1. Pada Tabel 8. *Analysis of Variance* dinyatakan F value lebih besar daripada nilai kritis dari F table, baik pada probabilita 0,01 maupun 0,05 terlihat pada Q faktor dan t faktor berpengaruh sangat nyata terhadap respons tegangan yielding point σ_{yp} (N/mm²). Sedangkan interaksi keduanya (Q faktor*t faktor) gagal menolak hipotesis nol disebut berpengaruh tidak nyata (TN).
2. Pada Tabel 9 dan Tabel 10. Terlihat Q faktor (Q1 kemudian Q2) merupakan faktor terbaik berdasarkan rata-rata kekerasan dengan keterangan A. Pada t faktor (t2 kemudian t1) merupakan faktor terbaik dengan keterangan A dan t3 faktor terbaik kedua dengan keterangan B.
3. Pada Tabel 11, kombinasi Q faktor dan t faktor, disajikan faktor terbaik pada faktor Q1t2 dan Q1t1 kemudian secara berurutan Q1t3 dengan keterangan terbaik A dan B, Q2 t2, Q2t1, dan Q2t3 dengan keterangan B.

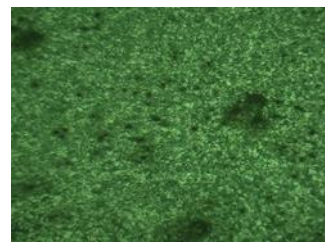
3.2 Metalografi



a



b

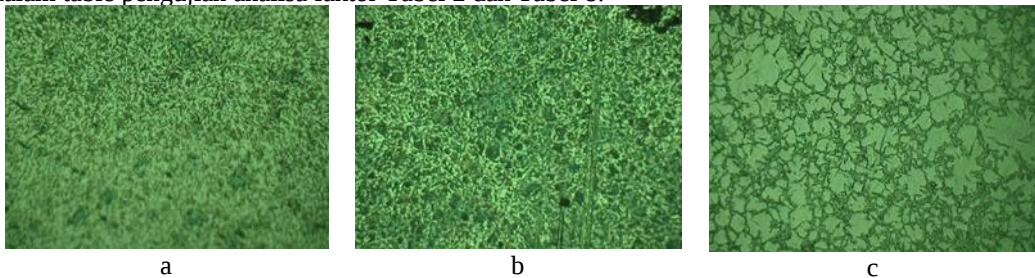


c

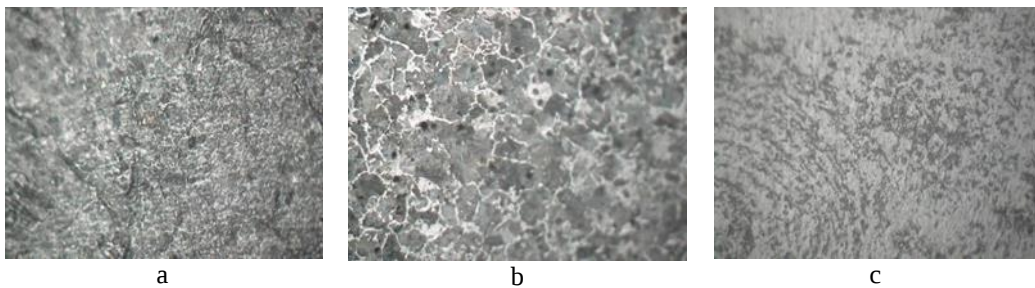
Gambar 3. Mikro Struktur Plain Bar JIS 3112 sebelum dan setelah *case hardening* (a) Mikrostruktur tanpa perlakuan (b) dan (c) Mikrostruktur *case hardening*

Tanpa perlakuan baja karbon rendah Plain Bar JIS 3112, Gambar 3 bagian a, kristal pada yang terbentuk adalah ferit dan perlit, yaitu ferit atau disebut juga besi alfa adalah istilah material untuk besi murni dengan struktur kristal *body centered cubic* (BCC). Perlit merupakan suatu fasa yang mengandung 0,83 % karbon yang terdiri dari campuran ferit dan sementit. Dalam hal karakteristik, perlit memiliki struktur yang lebih keras dibanding ferit, disebabkan adanya fasa sementit dalam bentuk lamelar, dimana sementit memiliki sifat yang keras sedangkan ferit sifatnya lunak dan ulet.

Case hardening Mikrostruktur metalografi dari baja karbon rendah JIS 3112 Gambar 3 bahagian b dan c menunjukkan mikrostruktur metalografi yang telah mengalami perlakuan *case hardening* (carburizing padat) temperatur pada 900°C. Gambar b menggunakan arang dan serbuk batu mangan dengan holding time 3 jam dan pendingin solar menunjukkan perubahan kearah struktur martensit, perlit dan stabil pada fasa austenit. Demikian juga pada pendingin oil SAE 30 gambar c, walaupun sedikit lebih lambat dari pada solar tetapi tetap menghasilkan butiran struktur perlit yang lebih banyak diselingi struur martensit yang tajam dan keras. Dengan hasil pengujian tersebut dapat menunjukkan perubahan kenaikan kekerasan dan kenaikan tegangan Tarik seperti dalam table pengujian analisa faktor Tabel 2 dan Tabel 8.



Gambar 4. Mikro Struktur Mikro Struktur Plain Bar JIS 3112 setelah *case hardening* pendingin diesel oil dan mendapat perlakuan *annealing*



Gambar 5. Mikro Struktur Mikro Struktur Plain Bar JIS 3112 setelah *case hardening* pendingin oli SAE 30 dan mendapat perlakuan *annealing*

Annealing pada 400 °C selama 30 menit , 60 menit dan 90 Menit seperti terlihat pada gambar 11 a,b dan c dan gambar 12 a, b dan c:

1. *Annealing* adalah proses perlakuan panas yang bertujuan untuk mengurangi kekerasan dan meningkatkan ketahanan baja. Ini dilakukan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan proses carburizing.
2. *Annealing* pada 400 °C selama 90 menit akan meratakan struktur mikro dari lapisan keras dan inti baja, sehingga mengurangi perbedaan kekerasan antara permukaan dan inti.
3. Pada fasa *austenite* dan dilanjutkan proses *annealing* membentuk fasa *austenite* yang lebih stabil.

Dengan demikian, hasil mikrostruktur metalografi dari baja tersebut setelah perlakuan ini kemungkinan besar akan menunjukkan dua lapisan yang berbeda secara mikrostruktural yaitu lapisan permukaan (*case*):

1. Lapisan ini akan memiliki struktur yang sangat keras dan mungkin kaya akan fase seperti karbida dan ausenit dengan penambahan beberapa unsur terutama mangan (Mn) pada lapisan permukaan baja.
2. Mikrostrukturnya mungkin akan menunjukkan butiran-butiran yang halus dan padat.
Lapisan selanjutnya adalah lapisan inti baja:
 1. Inti baja akan memiliki struktur yang lebih lembut dibandingkan dengan lapisan permukaan.
 2. Mikrostruktur inti akan mencerminkan baja karbon rendah, dengan butiran-butiran yang lebih besar dan lebih kasar.

Spheroidized annealing adalah proses perlakuan panas yang digunakan pada baja setelah mereka telah mengalami proses pengerasan permukaan (*case hardening*) seperti *carburizing*. Tujuan dari *spheroidized annealing* adalah untuk mengubah struktur mikro baja yang keras dan rapuh hasil dari *carburizing* menjadi lebih lunak dan lebih tahan terhadap retak. Proses ini umumnya diterapkan pada baja mangan atau baja karbon yang telah mengalami *carburizing* untuk meningkatkan kekuatan permukaan mereka, tetapi pada saat yang sama membuatnya lebih mudah untuk diolah. Perubahan Struktur Mikro: Proses *spheroidized annealing* akan merubah struktur mikro baja dari martensit yang keras menjadi struktur yang lebih lembut yang disebut *perlite* atau *spheroidite*. Martensit adalah struktur yang sangat keras dan rapuh, sedangkan *perlite* atau *spheroidite* adalah lebih lunak dan tahan terhadap retak.

Kekuatan tegangan yielding point (σ_y) dan kekerasan (HRC): Setelah proses *spheroidized annealing*, kekuatan dan kekerasan permukaan baja akan menurun. Namun, baja akan menjadi lebih tahan terhadap dampak dan retakan, sehingga lebih cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap deformasi dan getaran.

3.3 Pengujian komposisi kimia material dengan Energy Dispersive X-Ray (EDX)

Secara umum Baja JIS Plain Bar 3112 mempunyai kekuatan tarik *yield point* sekitar 280 N/mm² [23] dengan data spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 12. Komposisi kimia Baja Plain Bar JIS 3112

JIS	Komposisi kimia(%)					
	C	M N	Si	S	P	B
Plain Bar 3112	0,03 ~ 0.07	≤0.32	≤0.30	≤0.045	≤0.040	> 0,0008
	Peralatan mekanis					
	Kekuatan luluh (N/mm2)		Kekuatan tarik (N/mm2)		Pemanjangan (%)	
	250-280		350-380		≥ 32	

Hasil pengujian dengan komposisi kimia dengan Energy Dispersive X-Ray (EDX) setelah mengalami *case hardening* dimana sampel uji masih dalam keadaan utuh dan belum dipolish sebagai berikut:

Tabel 13. Komposisi kimia Baja Plain Bar JIS 3112 *case hardening* dengan pendingin *diesel oil*

E1	AN	Series	unn	C. nor	C.Atom	C.Error
			(wt.%)	(wt.%)	at.%	%
Mn	25	K. Series	10,00	11,59	5,99	0,50
Fe	26	K. Series	47,88	52,68	26,77	2,20
O	8	K. Series	21,70	23,87	42,35	2,60
C	6	K. Series	8,93	9,83	23,23	1,20
Si	14	K. Series	0,62	0,68	0,69	0,10
Al	13	K. Series	0,06	0,06	0,07	0,00

Total	96,83	100,00	100,00
-------	-------	--------	--------

Tabel 14. Komposisi kimia Baja Plain Bar JIS 3112 case hardening dengan pendingin oil SAE 30

E1	AN	Series	unn (wt.%)	C. nor (wt.%)	C.Atom at. %	C.Error %
Mn	25	K. Series	12,18	13,66	4,90	0,60
Fe	26	K. Series	51,84	52,33	27,26	1,90
O	8	K. Series	24,55	25,34	47,48	2,30
C	6	K. Series	7,78	7,99	19,67	1,10
Si	14	K. Series	0,58	0,64	0,64	0,10
Al	13	K. Series	0,04	0,04	0,04	0,00
Total			96,83	100,00	100,00	

Beberapa hal menarik dari *Design of Experiments* (DOE) seperti tersebut di atas sebagai berikut:

1. Dua faktor Q (*Heat treatment with quenching*) dan t (*Spheroidized Annealing temperature 400°C with holding time*) dalam *Design of Experiments* (DOE) berpengaruh nyata terhadap respon kekerasan (HRC) dan Tegangan *yielding point* σ_y (N/mm²). Treatment yang dilakukan menyebabkan terjadinya proses difusi Carbon (C) dan Mangan (Mn) pada permukaan baja plain bar. Pengaruhnya pada peningkatan kekerasan dan tegangan tarik. Disebutkan di atas bahwa faktor t berpengaruh sangat nyata terhadap kekerasan dan faktor Q dan t berpengaruh sangat nyata terhadap tegangan *yielding point*.
2. Pengamatan metalografi dari hasil DOE tersebut menunjukkan kedua faktor menghasilkan bentuk kearah struktur martensit, perlit dan stabil pada fasa austenit. Dengan proses difusi maka carbon bertambah dan fase seperti karbida dan ausenit dengan penambahan beberapa unsur terutama mangan (Mn) pada lapisan permukaan baja.
3. Tabel 2 dan Tabel 8, Pengujian Kekerasan dan Pengujian Tegangan *yielding point* menunjukkan penurunan kekerasan dan tegangan dari proses case hardening ke proses annealing tetapi tidak merubah substansi meningkatnya kekuatan material tersebut. Perubahan yang terjadi dari pengamatan metalografi adalah meningkatkan ketahanan baja, meratakan struktur mikro dari lapisan keras dan inti baja, sehingga mengurangi perbedaan kekerasan antara permukaan dan inti dan juga membentuk fasa austenite yang lebih stabil.
4. Tabel 14 merupakan pengujian kontrol dari pengujian utama tersebut sebelumnya dimana ingin membuktikan apakah ada pengaruh lain dari pengaruh faktor Q dan t terhadap respon. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan peningkatan unsur karbon (C), unsur Mangan (Mn) unsur Si dan Al dalam jumlah sangat sedikit. Pengaruh C membentuk karbida, menurunkan ketahanan koros tetapi menaikkan kekerasan. Pengaruh Mn menstabilkan fasa austenite, menaikkan kekerasan dan ketangguhan dan tahan gesekan. Nikel (Ni) membentuk austenite dan menaikkan keuletan, Silikon (Si) juga menaikkan kekuatan luluh.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan pembahasan menghasilkan beberapa hal penting sebagai kesimpulan, yaitu:

- a. Faktor media pendingin Q *diesel oil* dan *oil SAE 30* faktor waktu t dalam *Design of Experiments* (DOE) berpengaruh sangat nyata terhadap respon kekerasan (HRC) dan Tegangan *yielding point* σ_y (N/mm²). Faktor waktu t berpengaruh sangat nyata terhadap respon kekerasan (HRC) dan faktor media pending Q dan faktor waktu t berpengaruh sangat nyata terhadap respon tegangan *yielding point* σ_y (N/mm²).

- b. Pengamatan metalografi dari hasil DOE tersebut menunjukkan kedua faktor menghasilkan bentuk kearah struktur martensit, perlit dan stabil pada fasa austenit. Dengan proses difusi maka carbon bertambah dan fase seperti karbida dan ausenit dengan penambahan beberapa unsur terutama mangan (Mn) pada lapisan permukaan baja.
- c. Pengujian Kekerasan dan Pengujian Tegangan yielding point menunjukkan penurunan kekerasan dan tegangan dari proses case hardening ke proses annealing tetapi tidak merubah substansi meningkatnya kekuatan material tersebut. Perubahan yang terjadi dari pengamatan metalografi adalah meningkatkan ketahanan baja, meratakan struktur mikro dari lapisan keras dan inti baja, sehingga mengurangi perbedaan kekerasan antara permukaan dan inti dan juga membentuk fasa austenite yang lebih stabil.
- d. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan pengingkatan unsur karbon (C), unsur Mangan (Mn) unsur Si dan Al dalam jumlah sangat sedikit. Pengaruh C membentuk karbida, menurunkan ketahanan koros tetapi menaikkan kekerasan. Pengaruh Mn menstabilkan fasa austenite, menaikkan kekerasan dan ketangguhan dan tahan gesekan. Nikel (Ni) membentuk austenite dan menaikkan keuletan, Silikon (Si) juga menaikkan kekuatan luluh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Prasetyo and W. Sutopo, "Industri 4.0: Telaah Klasifikasi Aspek Dan Arah Perkembangan Riset," *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 13, no. 1, p. 17, 2018, doi: <https://dx.doi.org/10.14710/jati.13.1.17-26>
- [2] I. O. Rim, "Power and Performance for The Cement Industry," 2016.
- [3] S. Jiang et al., "Dynamic Analysis of the Scraper Conveyor under Abnormal Speed Characteristics," vol. 2021, 2021.
- [4] B. Setiyana, "Optimasi Jarak Adjustment Tensioning Device Pada Drag Chain Conveyor," *Rotasi*, vol. 10, no. 1, pp. 37–42, 2008, doi: <https://dx.doi.org/10.14710/rotasi.10.1.37-42>
- [5] SNI 2052, "Baja tulangan beton," Badan Standarisasi Nas., p. 15, 2017.
- [6] G. Winiarski and T. Bulzak, "Parameters on the Microstructure Hardness, and," pp. 6–8, 2022.
- [7] R. E. Izzaty, B. Astuti, and N. Cholimah, "CAKAR TAMBAHAN PADA FLIGHT BAR UNTUK PENCEGAH PULGGING CASE CONVEYOR SISTEM RECLAMING PLTU TARAHAH," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 5–24, 1967.
- [8] U. N. Gatade, "Design Analysis and Optimization of Drag Chain Conveyor System for Coal Application," vol. 9, no. 05, pp. 1196–1199, 2020.
- [9] W. Bleck and C. Haase, Physical metallurgy of high manganese steels, Special Is., vol. 9, no. 10. MDPI•Basel•Beijing•Wuhan•Barcelona•Belgrade: MDPI St. Alban-Anlage 66 4052 Basel, Switzerland, 2019. doi: <https://dx.doi.org/10.3390/met9101053>
- [10] O. D. Rerung, F. Sapar, and R. J. Dimu, "Study About Normalizing of AISI 1010 Steel Result Hardened by Manganese Stone Powder Using True Experimental Method," vol. 208, no. Icist 2020, pp. 422–427, 2021.
- [11] A. Jaedun, "Oleh : Amat Jaedun," *Metodol. Penelit. Eksperimen*, pp. 0–12, 2011.
- [12] M. de Oliveira, V. M. Lima, S. M. A. Yamashita, P. S. Alves, and A. C. Portella, "Experimental Planning Factorial: A brief Review," *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.*, vol. 5, no. 6, pp. 166–177, 2018, doi: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.5.6.28>

-
- [13] O. D. Rerung, J. T. Mesin, P. N. Kupang, D. N. Ully, J. T. Mesin, and P. N. Kupang, "Perancangan pack carburizing dengan metoda eksperimen sungguhan menggunakan arang lamtoro lokal pulau timor," vol. 10, no. 2, pp. 553–564, 2019.
- [14] O. Rerung, F. Sapar, and R. Dimu, "Experimental Design of Manganese Stone Minerals On Carbon Steel With Pack Carburizing Approach Using Factorial Methods," ICESC 2019, proceeding, 2019, doi: <https://dx.doi.org/10.4108/eai.18-10-2019.2289977o>
- [15] O. Rerung, F. Sapar, and R. Dimu, "Factorial Identification on Surface Hardness of Cut Low Carbonsteel with Hardening Process using Manganese Minerals Powder," pp. 167–173, 2023, doi: <https://dx.doi.org/10.5220/0010941700003260>
- [16] M. Tolouei-Rad and E. Lichter, "The heat treatment analysis of E110 case hardening steel," J. Eng. Sci. Technol., vol. 11, no. 3, pp. 407–415, 2016.
- [17] M. Sui, M. Li, S. Kunwar, P. Pandey, Q. Zhang, and J. Lee, "Effects of annealing temperature and duration on the morphological and optical evolution of self-assembled Pt nanostructures on c-plane sapphire," pp. 1–18, 2017.
- [18] W. Gulo, "Metodologi Penelitian," 2546.
- [19] M. et all Prof. EL-Hebeary, "EFFECT OF CASE HARDENING PROCESS PARAMETERS OF ALLOY STEELS ON THEIR," vol. 62, no. 2, pp. 59–62, 2018.
- [20] P. Trihutomo, D. Teknik, M. Fakultas, T. Universitas, and N. Malang, "PENGARUH PROSES ANNEALING PADA HASIL PENGELASAN," no. 1, pp. 81–88, 2014.
- [21] M. P. Kumar, M. Krishna, N. V. S. Raju, and M. V. S. Kumar, "FAILURE CRITICALITY ANALYSIS USING FISHIKAWA DIAGRAM (A CASE STUDY OF DUMPERS AT OCP RAMAGUNDAM)," pp. 378–384, 2018.
- [22] M. Kritikos, L. C. Maure, A. A. L. Céspedes, D. R. D. Sobrino, and R. Hrušecký, "A random factorial design of experiments study on the influence of key factors and their interactions on the measurement uncertainty: A case study using the ZEISS centermax," Appl. Sci., vol. 10, no. 1, 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.3390/app10010037>
- [23] D. Dewi and S. Sriyana, "Spesifikasi, Kode dan Standar Baja Nasional dan Potensinya untuk Mendukung Program PLTN Tipe LWR di Indonesia," J. Pengemb. Energi Nukl., vol. 20, no. 2, p. 111, 2019, doi: <https://dx.doi.org/10.17146/jpen.2018.20.2.4516>