

# **KARAKTERISASI LAPISAN HASIL PROSES NITRIDISASI PADA BESI TUANG KELABU DENGAN MENGGUNAKAN TEMPERATUR 550°C DAN WAKTU PENAHANAN SELAMA 2 JAM, 4 JAM, 6 JAM**

I Putu Pande Adinanta Putra, I Wayan Sujana

Jurusan Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri, ITN Malang

e-mail: [pandeputu101@gmail.com](mailto:pandeputu101@gmail.com)

## **ABSTRAK**

Besi tuang kelabu merupakan paduan eutektik dari besi dan karbon. Dengan memiliki temperatur leleh relative rendah yaitu sekitar 1200°C. Besi cor kelabu sangat rendah keuletannya karena adanya serpihan karbon, namun besi cor murah harganya. Selain itu, dengan adanya serpih-serpih ini, besi cor kelabu merupakan peredam getar yang sangat baik. Oleh karenanya, jenis logam ini banyak digunakan sebagai landasan mesin dan alat-alat berat. Setelah dilakukan proses nitridisasi pada besi tuang kelabu dengan temperatur 550°C dengan holding 2 jam, 4 jam, 6 jam maka dapat diperoleh kekerasan tertinggi yaitu : 208,3 HV, 231,8 HV, 227,5 HV. Selain dilakukan uji kekerasan menggunakan micro vickers, besi tuang kelabu juga dilakukan uji SEM-EDS. Adapun yang terlihat berupa bagian inti pada besi tuang kelabu, dan lapisan nitrida setelah dilakukan proses nitridisasi pada waktu 2 jam, 4 jam, dan 6 jam. Dari proses tersebut terbentuk kulit keras berupa endapan paduan nitrida (*compound layer*) yang mengandung Fe<sub>4</sub>N pada permukaan spesimen sebagai hasil dari ikatan unsur kimia antara atom nitrogen dan unsur paduan yang ada pada spesimen besi tuang kelabu.

Kata kunci : besi tuang kelabu, nitridisasi, uji kekerasan, uji SEM-EDS.

## **PENDAHULUAN**

Besi tuang kelabu pada dasarnya merupakan perpaduan eutektik dari besi dan karbon. Dengan memiliki temperatur leleh relative rendah yaitu sekitar 1200°C. Besi cor kelabu sangat rendah keuletannya karena adanya serpihan karbon, namun besi cor murah harganya. Selain itu, dengan adanya serpih-serpih ini, besi cor kelabu merupakan peredam getar yang sangat baik. Istilah tekniknya kapasitas peredamnya tinggi. Oleh karenanya, jenis logam ini banyak digunakan sebagai landasan mesin dan alat-alat berat. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh proses nitridisasi

terhadap nilai kekerasan pada permukaan besi tuang kelabu serta mengetahui struktur mikro pada permukaan besi tuang kelabu setelah dilakukan proses nitridisasi.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Perlakuan Panas**

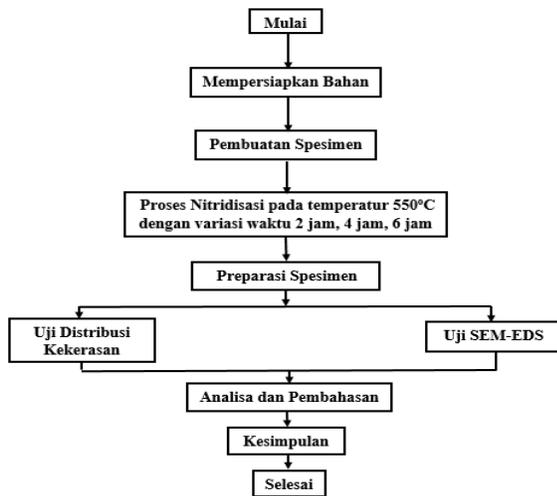
Perlakuan panas (Heat Treatment) adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam kepadatan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu.

## Tujuan Nitriding

Mendapatkan kekerasan permukaan yang tinggi, meningkatkan ketahanan pakai, meningkatkan ketahanan terhadap umur kelelahan, meningkatkan ketahanan terhadap korosi, meningkatkan ketahanan kekerasan permukaan terhadap kenaikan temperatur sampai temperatur nitriding.

## RANCANGAN PENELITIAN

### Diagram Alir Penelitian



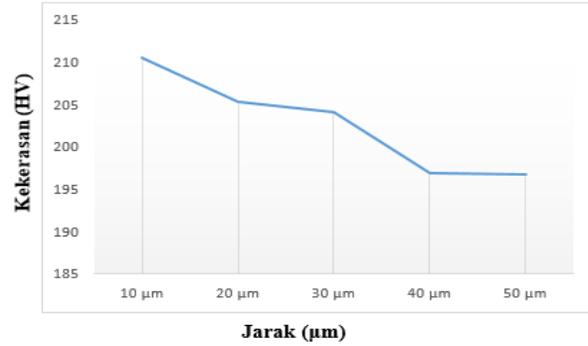
## DATA HASIL PROSES PENGUJIAN

### a. Pengujian Distribusi Kekerasan

#### Tabel Sebelum Proses

Kode Spesimen	Kedalaman (µm)	Kekerasan (HV)
FC	10 µm	210,6
	20 µm	205,3
	30 µm	204,1
	40 µm	197,0
	50 µm	196,8

#### Grafik Sebelum Proses

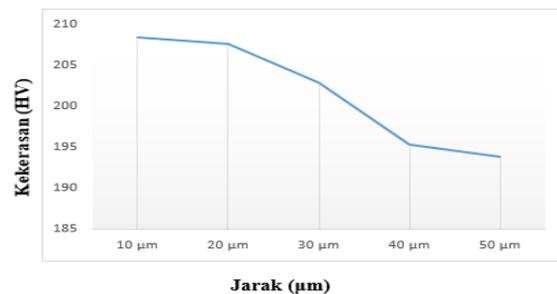


Dari tabel dan grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak pada data diatas diketahui bahwa kekerasan tertinggi 210,6 HV berada pada jarak 10 µm sedangkan kekerasan terendah 196,8 HV berada pada jarak 50 µm.

#### Tabel Sesudah Proses 2 Jam

Kode Spesimen	Kedalaman (µm)	Kekerasan (HV)
FC 550°C 2 Jam	10 µm	208,3
	20 µm	207,5
	30 µm	202,8
	40 µm	195,3
	50 µm	193,8

#### Grafik Sesudah Proses 2 Jam

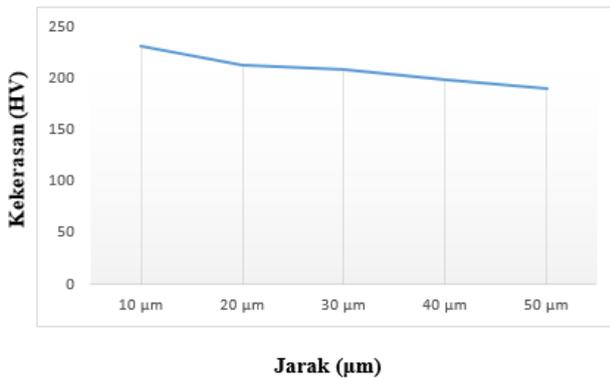


Dari tabel dan grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak pada data diatas diketahui bahwa kekerasan tertinggi 208,3 HV berada pada jarak 10 µm sedangkan kekerasan terendah 193,8 HV berada pada jarak 50 µm.

**Tabel Sesudah Proses 4 Jam**

Kode Spesimen	Kedalaman (μm)	Kekerasan (HV)
FC 550°C 4 Jam	10 μm	231,8
	20 μm	212,6
	30 μm	208,4
	40 μm	198,9
	50 μm	189,4

**Grafik Sesudah Proses 4 Jam**

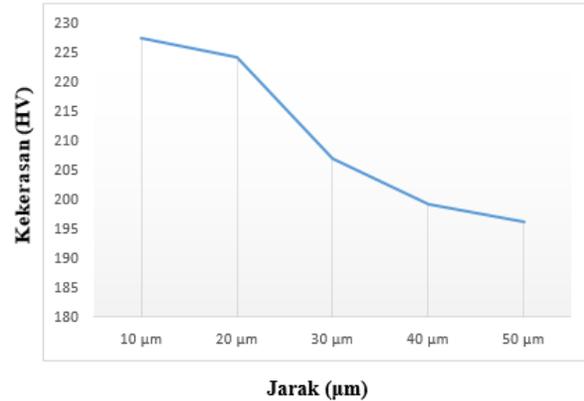


Dari tabel dan grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak pada data diatas diketahui bahwa kekerasan tertinggi 231,8 HV berada pada jarak 10 μm sedangkan kekerasan terendah 189,4 HV berada pada jarak 50 μm.

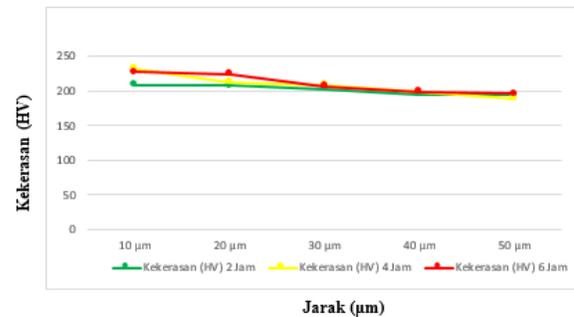
**Tabel Sesudah Proses 6 Jam**

Kode Spesimen	Kedalaman (μm)	Kekerasan (HV)
FC 550°C 6 Jam	10 μm	227,5
	20 μm	224,3
	30 μm	206,9
	40 μm	199,1
	50 μm	196,2

**Grafik Sesudah Proses 6 Jam**



**Grafik 4.5 Hubungan Antara Kekerasan Dengan Jarak Sesudah Proses Nitridisasi Pada Temperatur 550°C 2 Jam, 4 Jam, 6 Jam**



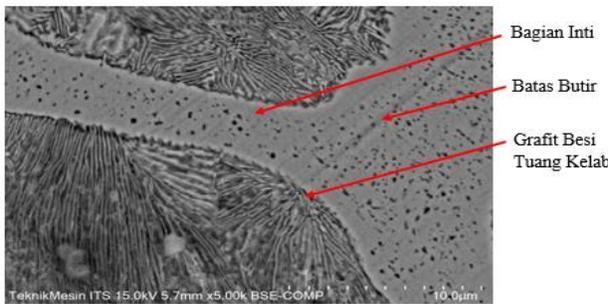
Dari grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak pada data diatas selama proses nitridisasi yang dilakukan selama 2 jam, 4 jam, dan 6 jam diketahui bahwa kekerasan tertinggi berada pada waktu proses 4 jam yaitu 231,8 HV dengan kedalaman 10 μm sedangkan kekerasan terendah berada pada waktu proses 4 jam yaitu 189,4 HV dengan kedalaman 50 μm

Dari tabel dan grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak pada data diatas diketahui bahwa kekerasan tertinggi 227,5 HV berada pada jarak 10 μm sedangkan kekerasan terendah 196,2 HV berada pada jarak 50 μm.

## b. Pengujian foto SEM-EDS

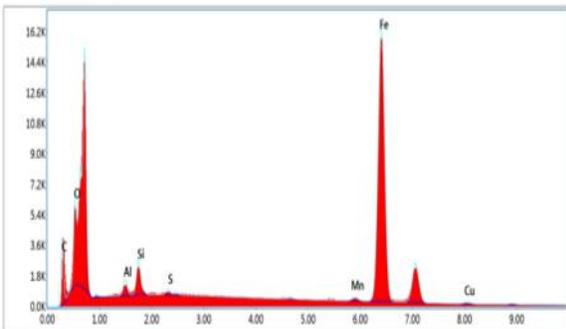


**Pembesaran 1000x Tampak Depan Sebelum Proses**



**Pembesaran 5000x Tampak Depan Sebelum Proses**

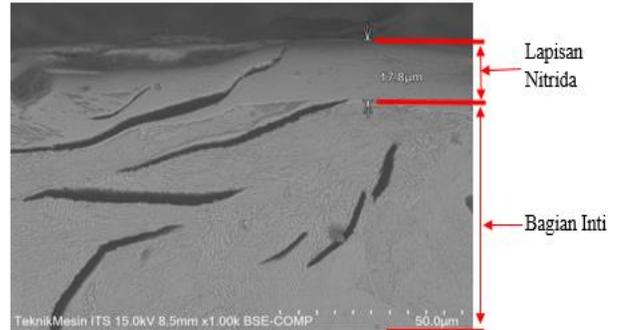
### Grafik Komposisi Kandungan Sebelum Proses



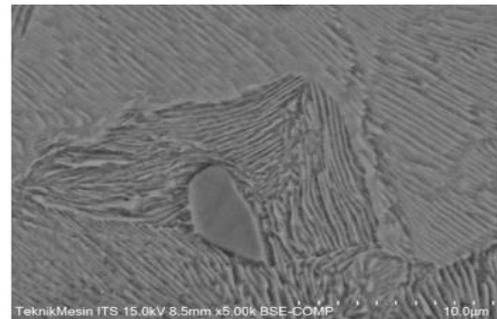
### Tabel Komposisi Kandungan Sebelum Proses

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	8.50	27.25	252.34	9.85	0.0254	1.2928	0.2311	1.0000
O K	4.52	10.87	388.16	7.58	0.0245	1.2371	0.4375	1.0000
Al K	0.04	1.35	80.78	9.47	0.0047	1.1004	0.4530	1.0017
Si K	1.72	2.98	188.98	8.91	0.0112	1.1248	0.5775	1.0028
S K	0.30	0.37	32.13	12.74	0.0026	1.1015	0.7730	1.0075
Mn K	0.70	0.49	27.57	13.28	0.0074	0.8925	0.9998	1.1382
Fe K	82.26	58.89	2428.17	2.43	0.7821	0.9487	1.0020	1.0022
Cu K	1.04	0.83	14.84	20.03	0.0090	0.9045	0.9522	1.0112

Dari hasil uji foto SEM-EDS sebelum melakukan proses nitridisasi dapat dilihat struktur grafit dari besi tuang kelabu, inti besi dan juga batas butir yang ada pada daerah inti spesimen. Dan diketahui juga bahwa spesimen memiliki kandungan berat karbon sebesar 8,50% dan 27,25% atom karbon.

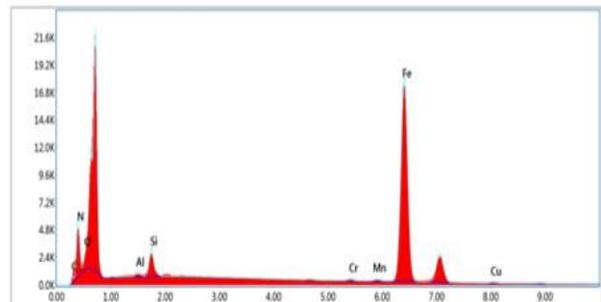


**Pembesaran 1000x Tampak Depan Sesudah Proses 2 Jam**



**Pembesaran 5000x Tampak Depan Sesudah Proses 2 Jam**

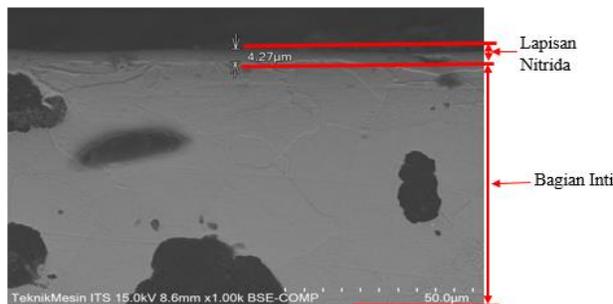
### Grafik Komposisi Kandungan Sesudah Proses 2 Jam



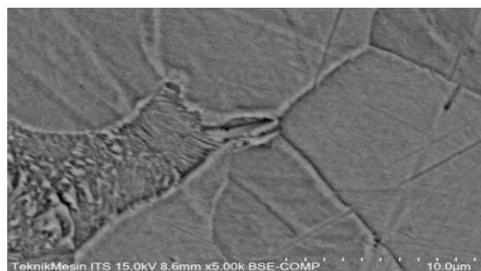
### Tabel Komposisi Kandungan Sesudah Proses 2 Jam

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	1.47	5.15	44.88	11.51	0.0044	1.3082	0.2279	1.0000
N K	7.31	21.98	358.85	8.61	0.0313	1.2783	0.3353	1.0000
O K	1.17	3.07	95.87	13.38	0.0059	1.2520	0.4025	1.0000
AlK	0.53	0.82	45.70	12.12	0.0026	1.1139	0.4429	1.0017
SiK	2.00	3.00	224.49	6.75	0.0130	1.1365	0.5893	1.0028
CrK	0.39	0.31	19.10	17.80	0.0043	0.9853	0.9947	1.1491
MnK	0.44	0.33	17.82	19.33	0.0047	0.9448	0.9989	1.1349
FeK	85.91	84.80	2833.87	2.40	0.8284	0.9593	1.0010	1.0017
CuK	0.79	0.53	11.75	21.98	0.0070	0.9172	0.9491	1.0108

Dari hasil uji foto SEM-EDS sesudah melakukan proses nitridisasi dengan temperatur 550°C selama 2 jam dapat dilihat struktur inti besi, dan lapisan nitrida. Diketahui juga bahwa spesimen memiliki kandungan berat karbon sebesar 1,47% dan 5,51% atom karbon. Sedangkan kandungan berat nitrogen sebesar 7,31% dan 21,98% atom dengan lapisan nitrogen sebesar 17,8µm. Menurunnya kadar karbon dibandingkan dengan spesimen sebelum mengalami proses diakibatkan oleh atom nitrogen yang berdifusi pada inti besi.

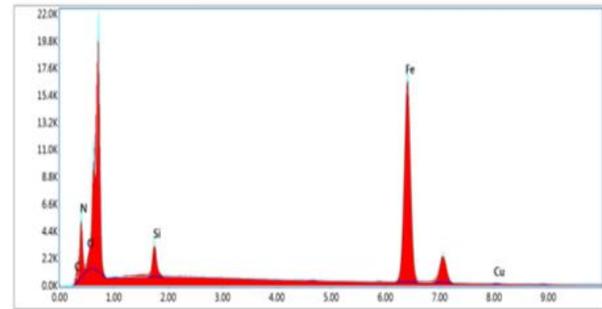


**Pembesaran 1000x Tampak Depan Sesudah Proses 4 Jam**



**Pembesaran 5000x Tampak Depan Sessudah Proses 4 Jam**

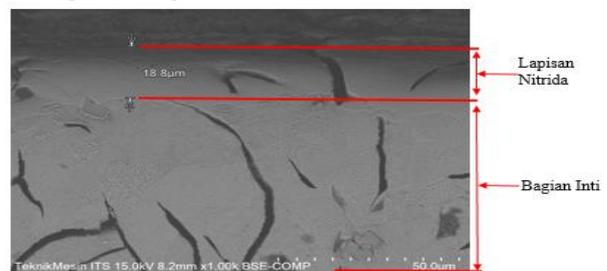
### Grafik Komposisi Kandungan Sesudah Proses 4 Jam



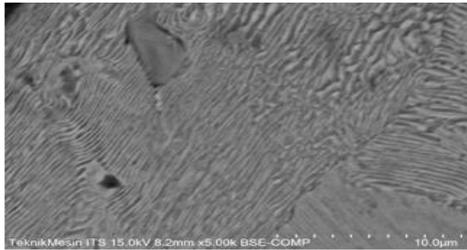
### Tabel Komposisi Kandungan Sesudah Proses 4 Jam

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	1.45	4.97	42.19	11.58	0.0043	1.3037	0.2281	1.0000
N K	8.13	23.95	394.19	8.58	0.0348	1.2739	0.3383	1.0000
O K	1.34	3.47	103.48	9.95	0.0088	1.2478	0.3933	1.0000
SiK	2.81	3.83	282.55	6.58	0.0170	1.1344	0.5740	1.0027
FeK	85.81	83.37	2523.24	2.41	0.8228	0.9588	1.0017	1.0016
CuK	0.88	0.43	9.38	29.49	0.0058	0.9135	0.9498	1.0109

Dari hasil uji foto SEM-EDS sesudah melakukan proses nitridisasi dengan temperatur 550°C selama 4 jam dapat dilihat struktur inti besi, dan lapisan nitrida. Diketahui juga bahwa spesimen memiliki kandungan berat karbon sebesar 1,45% dan 4,97% atom karbon. Sedangkan kandungan berat nitrogen sebesar 8,13% dan 23,95% atom. Menurunnya kadar karbon dan meningkatnya kadar nitrogen dibandingkan dengan spesimen pada pengujian selama 2 jam dengan temperatur 550°C disebabkan oleh pengaruh waktu nitridisasi yaitu sekitar 4 jam, sehingga atom nitrogen dapat berdifusi lebih besar dan jauh kedalam hingga ke bagian inti besi sehingga membuat kadar nitrogen menjadi semakin naik.

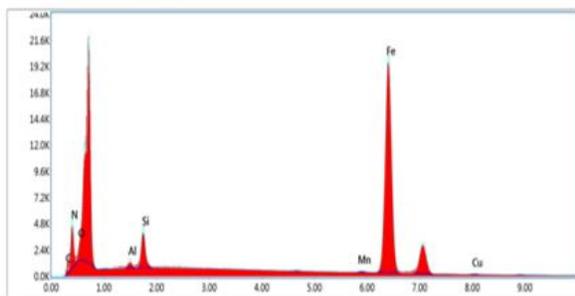


**Pembesaran 1000x Tampak Depan Sesudah Proses 6 Jam**



**Pembesaran 5000x Tampak Depan Sesudah Proses 6 Jam**

**Grafik Komposisi Kandungan Sesudah Proses 6 Jam**



**Tabel Komposisi Kandungan Sesudah Proses 6 Jam**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	1.33	4.78	43.89	11.80	0.0039	1.3118	0.2215	1.0000
N K	6.00	18.46	322.84	8.70	0.0263	1.2818	0.3295	1.0000
O K	1.31	3.54	124.12	10.38	0.0089	1.2554	0.4151	1.0000
Al K	0.71	1.14	88.84	10.23	0.0035	1.1170	0.4428	1.0017
Si K	2.77	4.28	345.51	8.57	0.0180	1.1416	0.5881	1.0027
Mn K	0.32	0.25	14.38	22.18	0.0034	0.9475	0.9885	1.1381
Fe K	88.90	87.12	2989.71	2.39	0.8384	0.9822	1.0012	1.0015
Cu K	0.66	0.45	10.92	28.09	0.0058	0.9201	0.9488	1.0108

Dari hasil uji foto SEM-EDS sesudah melakukan proses nitridisasi dengan temperatur 550°C selama 6 jam dapat dilihat struktur inti besi, dan lapisan nitrida. Diketahui juga bahwa spesimen memiliki kandungan berat karbon sebesar 1,33% dan 4,78% atom karbon. Sedangkan kandungan berat nitrogen sebesar 6,00% dan 18,46% atom. Menurunnya kadar karbon dibandingkan dengan specimen pada pengujian selama 2 jam dengan temperatur 550°C dan pengujian selama 4 jam dengan temperature 550°C, disebabkan oleh

pengaruh waktu nitridisasi yaitu selama 6 jam, sehingga atom nitrogen dapat berdifusi. Namun menurunnya kadar nitrogen disebabkan oleh waktu nitridisasi yang terlalu lama yaitu sekitar 6 jam, sehingga membuat struktur atom nitrogen yang ada pada inti tidak bisa berdifusi jauh kedalam hingga ke bagian inti besi.

## PEMBAHASAN

### a. Distribusi Kekerasan

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap besi tuang kelabu setelah proses perlakuan permukaan dengan proses nitridisasi maka dapat diperoleh data-data dan kesimpulan untuk menunjang pada proses penelitian ini.

Spesimen yang belum diproses didapat kekerasan tertinggi yaitu 210,6 HV berada pada jarak 10 µm sedangkan kekerasan terendah 196,8 HV berada pada jarak 50 µm. Pada holding 2 jam dimana kekerasan tertinggi 208,3 HV berada pada jarak 10 µm sedangkan kekerasan terendah 193,8 HV berada pada jarak 50 µm, kekerasan ini disebabkan karena reaksi kimia antara nitrogen terhadap spesimen, sehingga konsentrasi nitrogen terhadap permukaan specimen yang berasal dari difusi nitrogen akan lebih banyak membentuk lapisan nitrida.

Dilihat bahwa waktu holding 4 jam menurut tabel dan grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak pada data diatas diketahui bahwa kekerasan tertinggi 231,8 HV berada pada jarak 10 µm sedangkan kekerasan terendah 189,4 HV berada pada jarak 50 µm. Dan dari tabel dan grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak pada data diatas dengan holding 6 jam bahwa kekerasan tertinggi 227,5 HV berada pada jarak 10 µm sedangkan kekerasan terendah 196,2 HV berada pada jarak 50 µm. Kekerasan pada daerah ini lebih rendah dibandingkan dengan daerah awal proses selama 4 jam. Ini disebabkan oleh tidak terjadinya reaksi atau

kurang sempurna reaksi antara atom nitrogen dengan atom besi tuang kelabu pada proses nitridisasi sehingga pada daerah inti terjadi proses annealing saja dan juga dipengaruhi oleh proses nitridisasi yang terlalu lama sekitar 6 jam yang dimana semakin lama waktu penahanan dan waktu proses nitridisasi membuat nitrogen yang berdifusi semakin terurai. Sehingga membuat kekerasan pada spesimen semakin menurun.

*Setiawan Budi Albertus, dan Purwadi Wiwik<sup>15)</sup>*, menjelaskan bahwa penahanan holding time yang lama, mengakibatkan kekerasan permukaan yang dihasilkan akan lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena reaksi kimia antara besi dan nitrogen berlangsung lebih lama, sehingga konsentrasi nitrogen pada permukaan sampel yang berasal dari difusi nitrogen akan lebih banyak, oleh karena itu dengan waktu difusi yang lebih lama akan mengakibatkan kekerasan permukaan yang lebih tinggi.

Dari hasil proses pengujian distribusi kekerasan menggunakan micro vickers yang telah dilakukan dari beberapa sampel dan variasi waktu ataupun temperatur yang diberikan bahwa penelitian yang saya lakukan berbanding terbalik, dikarenakan dengan penahanan holding time dan waktu proses nitridisasi yang lama maka kekerasan pada benda uji mengalami penurunan pada permukaan yang lebih tinggi.

#### **b. Struktur Mikro dan SEM-EDS**

Struktur mikro diperoleh dari hasil metalografi row material (sebelum dilakukan proses nitridisasi) dan spesimen yang sudah mengalami proses nitridisasi. Hasil dari struktur mikro sudah ditunjukkan pada gambar diatas. Pada gambar sebelum dilakukan proses terlihat grafit berbentuk serpih kelabu, dan batas butir dikarenakan hanya melakukan etsa pada spesimen besi tuang kelabu.

Setelah dilakukan proses nitridisasi selama 2 jam dengan temperature 550°C terlihat

adanya lapisan nitrida. Pada permukaan spesimen. Lapisan nitrida terbentuk karena atom nitrogen berdifusi dengan atom besi yang berada pada spesimen, dari hasil penelitian diperoleh senyawa FeN dari kandungan nitrogen yang jumlahnya mencapai 7,31% berat atau 21,98% atom, maka proses nitridisasi sudah mencapai kondisi optimal, karena untuk mencapai optimal unsur kandungan nitrogen yang larut dalam kandungan besi sekitar 20% atom sehingga dapat memperoleh senyawa Fe<sub>4</sub>N yang mempunyai sifat sangat keras.

Spesimen pada proses nitridisasi dengan waktu 4 jam dan temperatur 550°C memiliki kadar nitrogen sebesar 8,13% berat atau 23,95% atom lebih besar dibandingkan spesimen dari pengujian 2 jam dan 6 jam dengan temperature 550°C. Naiknya kadar nitrogen dikarenakan kemampuan atom nitrogen berdifusi lebih besar, karena unsur perlit yang mulai mengendap, sehingga atom nitrogen yang berdifusi ke permukaan spesimen akan bergerak lebih jauh dan cepat kedalam permukaan sehingga kadar atom nitrogen menjadi naik.

Sedangkan pada proses nitridisasi selama 6 jam dengan temperatur 550°C, memiliki kadar nitrogen sebesar 6,00% berat dan 18,46% atom. Proses nitridisasi ini sudah memasuki optimal dikarenakan melebihi 13% dan memiliki kadar karbon sebesar 1,33% berat dan 4,78% atom. Dibandingkan dengan pengujian 2 jam didapatkan kadar karbon 1,47% berat dan 5,15% atom, dan pada pengujian 4 jam didapatkan kadar karbon 1,45% berat dan 4,97% atom. Penurunan kadar karbon pada spesimen yang telah diproses disebabkan oleh pengaruh proses nitridisasi yang dilakukan berjam-jam dimana kadar nitrogen berdifusi ke permukaan spesimen besi tuang kelabu.

*Rahayu sri, Setiawan ngainun, Virdhian shinta, Suhendi Endi<sup>14)</sup>*, menjelaskan bahwa hal ini disebabkan karena kandungan

nitrogen sudah masuk ke inti logam pada spesimen sehingga spesimen yang diproses dengan suhu nitridisasi yang tinggi maka memiliki kadar nitrogen yang lebih tinggi.

*Setiawan Budi Albertus, dan purwadi wiwik<sup>15)</sup>*, menjelaskan bahwa kelarutan maksimum nitrogen dalam besi pada temperatur nitridisasi 500-590°C adalah 0,1%, jika lebih besar dari 0,1% maka akan membentuk nitrida  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ). Jika kelarutan nitrogen pada besi melebihi 6%, nitrida  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ) akan merubah menjadi  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ). Pada temperatur dibawah 500°C dengan kadar nitrogen lebih dari 11% maka nitrida  $\xi$  ( $\text{Fe}_2\text{N}$ ) akan segera terbentuk dan diatas 650°C  $\text{Fe}_4\text{N}$  akan terurai. Nitrida  $\gamma'$  dan  $\epsilon$  secara fisik pada permukaan besi terlihat sebagai lapisan putih (*white layer*) atau *compound layer*.

Dari data hasil foto uji SEM-EDS yang dilakukan struktur mikro spesimen sesudah ataupun sebelum diproses nitridisasi yang terlihat berupa grafit serpih pada besi tuang kelabu, batas butir, dan lapisan nitrida. Pada spesimen yang sudah proses nitridisasi terbentuk kulit keras berupa endapan paduan nitrida (*compound layer*) yang mengandung  $\text{Fe}_4\text{N}$  pada permukaan specimen sebagai hasil dari ikatan unsur kimia antara atom nitrogen dan unsur paduan yang ada pada spesimen besi tuang kelabu.

Jadi dari proses nitridisasi pada besi tuang kelabu baik dilakukan pada temperatur 550°C dengan waktu nitridisasi selama 4 jam karena kandungan atom nitrogen pada waktu ini akan berdifusi besar dan jauh masuk kedalam inti besi, sehingga membuat kadar atom nitrogen menjadi naik. Namun jika proses nitridisasi dilakukan lebih dari 4 jam, maka nitrogen tidak dapat berdifusi besar dan jauh masuk kedalam inti besi dikarenakan waktu proses yang terlalu lama.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil proses pengujian distribusi kekerasan menggunakan micro vickers yang telah dilakukan dari sampel dengan temperatur 550°C dan variasi waktu selama 2 jam, 4 jam, dan 6 jam yang diberikan bahwa penelitian dengan waktu proses nitridisasi diketahui kekerasan tertinggi berada pada proses selama 4 jam. Sedangkan pada hasil proses nitridisasi selama 6 jam mengalami penurunan kekerasan dikarenakan semakin lama waktu penahanan membuat nitrogen yang berdifusi semakin terurai sehingga membuat kekerasan semakin menurun.

Hasil foto uji SEM-EDS yang dilakukan struktur mikro spesimen sesudah ataupun sebelum diproses nitridisasi yang terlihat berupa grafit serpih pada besi tuang kelabu, lapisan nitridisasi. Pada spesimen yang sudah di proses nitridisasi terbentuk kulit keras berupa endapan paduan nitrida (*compound layer*) yang mengandung  $\text{Fe}_4\text{N}$  pada permukaan spesimen sebagai hasil dari ikatan unsur kimia antara atom nitrogen dan unsur paduan yang ada pada spesimen besi tuang kelabu.

### Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisa pada struktur untuk membedakan antara lapisan white layer dengan compound layer, perlu diperhatikan lapisan pada spesimen agar lapisan pada specimen menjadi rata dan tidak bergelombang, dan perlu juga dilakukannya pengujian untuk jenis besi tuang yang lainnya.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Aziz Muslim Muhammad, 2017. *Analisis Pengaruh Perlakuan Normalizing Sebelum Proses Nitridasi Pada Baja Paduan P20 dan Besi Tuang Nodular A536*. Skripsi. FTI.

2. Arthur G, Birch D, Dkk. 1986. *Wear Resistant Surfaces in Engineering*. London :Crown Copyright.
3. Deny Ilham Setiyawan. 2017. *Analisa Tahap Temperatur Proses Nitridasi Pada Baja Tahan Karat*. Skripsi. FTI.
4. <http://blog.ub.ac.id/rickyseptian07/2012/04/23/thermochemical-baja/>
5. <https://id.scribd.com/doc/144369239/makalah-nitriding>
6. <https://ttp.zcu.cz/en/laboratories/laser-surfacetreatment/technologies/laser-surface-hardening> diakses pada tanggal 7 november 2019.
7. <http://safronline.blogspot.com/2014/08/heat-treatment-annealing.html?m=1>
8. <http://www.engineeringenotes.com/metallurgy/steel/thermo-mechanical-treatment-of-steels-metallurgy/26476>
9. [https://www.researchgate.net/figure/Laser-surface-hardening-28\\_fig4\\_324702702](https://www.researchgate.net/figure/Laser-surface-hardening-28_fig4_324702702)
10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359646218302653>
11. Labeebmlp.(2014). *Elektron Laser Hardening*. [online]. Tersedia : <https://www.slideshare.net/labeebmlp/electron-and-laser-beam-hardening>. diakses pada tanggal 7 November 2019.
12. Lawrence H. Van Vlack. 1983. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta Pusat : Penerbit Erlangga.
13. Rahardjo Teguh. 2008. *Proses Nitriding Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Permukaan Material Dies*. Jurnal Flywheel. Volume 1, Nomor 2.
14. Rahayu Sri, Setiawan Ngainum, Virhdhian Shinta, Suhendi Endi (2017). *Pengaruh Proses Powder Nitriding Terhadap Perubahan Kekerasan Dan Ketebalan Lapisan Difusi Pada Pahat Bubut High Speed Steel*. JML Vol. 39 No. 1 Juni 2017.
15. Setiawan, Budi Albertus, Purwadi Wiwik. (2009). *Pengaruh Temperatur Dan Waktu Proses Nitridasi Terhadap Kekerasan Permukaan FCD 700 Dengan Media Nitridasi Urea*. Seminar Nasional Kluster Riset Teknik Mesin 2009.
16. Smallman.R.E, Bishop.R.J. 1995. *Moderen Physical Metallurgy and Materials Engineering 6<sup>th</sup> Edition*. Jakarta:Penerbit Erlangga.
17. Surdia, Tata,. Saito, Shinroku. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Pradnya Paramita.
18. Sujana I Wayan. 1996. *Karakterisasi Lapisan Kompon Hasil Proses Nitrokarburisasi Dengan Menggunakan Reaktor Fluidised Bed*. Tesis. UI.
19. Sujana, I Wayan.Astana Widi, I Komang. *Diktat Metalurgi Fisik*. Institut Teknologi Nasional Malang.

20. Welding Engineering. (2015). *Perlakuan Panas (Heat Treatment)*. [Online]. Tersedia : <http://hima-tl.ppns.ac.id/perlakuan-panas-heat-treatment/>. [November 2019].
21. W.Sujana, K. A. Widi. 2016. *Serbuk Alumina Sebagai Katalis Didalam Reaktor Fluidised Bed*. Jurnal Flywheel. Volume 7, Nomor 1.
22. [www.ist.fraunhofer.de/.../plasma\\_diffusion\\_treatment.html](http://www.ist.fraunhofer.de/.../plasma_diffusion_treatment.html). Diakses pada tanggal 7 November 1997
23. Zamzami Putrayogi. 2017. *Pengaruh Peran Gas Nitrogen Pada Proses Nitridasi Gas Menggunakan Dapur Fluized Bed Pada Baja Karbon Rendah*. Skripsi. FTI.