

**PENINGKATAN KEKERASAN PERMUKAAN FERRO CASTING
DUCTILE (FCD) 700 MELALUI PROSES NITRIDASI DENGAN MEDIA
UREA
INCREASING OF SURFACE HARDNESS OF FERRO CASTING DUCTILE
(FCD) 700 THROUGH NITRIDING IN UREA MEDIUM**

Wiwik Purwadi¹, Dewi Idamayanti² dan Firman³

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jl. Kanayakan 21 Dago Bandung – Jawa Barat

Telp : +62 22 250 0241 ^{1,2)}, Fax : +62 22 250 2649

E-mail : wiwik@polman-bandung.ac.id¹ idamayanti79@gmail.com² zuhenx@gmail.com³

ABSTRACT

Ferro Casting Ductile (FCD) 700 is widely used for products requiring strength, ductility and impact resistance such as crank shaft. Surface hardening can be applied to improve the performance of this material which can be accomplished through nitriding process. This research deals with nitriding process by using urea as the nitrogen source to achieve the surface hardness of 700 HV(600 HRC). Nitriding has been accomplished by varying the temperature (530 °C, 550 °C, 580 °C, 600 °C, dan 620 °C) and holding time (1-2hrs). The ratio between the amount of urea and surface area is constantly maintained at 0,25 g/mm², while the room pressure in the nitriding tube was 0,3 Mpa. The hardness value and the microstructure are used to analyse the result. 1 hr of holding time with at the temperature of 580 °C, 600 °C, 620 °C and 2 hrs holding time at 530 °C, 550 °C, 580 °C, 600 °C, 620 °C has resulted white layer on the surface of the material. The maximum depth of white layer (4,83 µm) has been achieved at 2 hrs holding time and temperature of 620 °C. The maximum hardness of 733 HV is resulted after holding the temperature at 580 °C for 2 hrs.

Keywords : white layer, nitriding, Urea, FCD 700

ABSTRAK

Ferro Casting Ductile (FCD) 700 digunakan untuk produk yang memerlukan kekuatan, duktilitas dan ketahanan impak, misalnya pada poros engkol. Untuk meningkatkan kinerja material dapat dilakukan pengerasan permukaan antara lain dengan proses nitridasi. Proses nitridasi dengan menggunakan urea sebagai sumber nitrogen dilakukan untuk meningkatkan kekerasan permukaan hingga 700 HV (60 HRC). Pada penelitian ini proses nitridasi dilakukan berdasarkan rasio urea per luas permukaan nitridasi. Variabel parameter yang diaplikasikan adalah temperatur (530 °C, 550 °C, 580 °C, 600 °C, dan 620 °C) dan waktu proses (1 jam dan 2 jam). Parameter yang digunakan secara konstan adalah rasio ketersediaan urea per luas permukaan sebesar 0,25 g/mm² dan tekanan ruangan nitridasi 0,3 Mpa. Verifikasi hasil dilakukan dengan pengujian kekerasan dan struktur mikro. Berdasarkan analisa struktur mikro yang didapat, pada variasi temperatur dan waktu nitridasi (580 °C, 600 °C, dan 620 °C dengan waktu proses nitridasi 1 jam dan 530 °C, 550 °C, 580 °C, 600 °C, dan 620 °C dengan waktu proses 2 jam) dihasilkan white layer pada permukaan FCD 700. Kedalaman white layer maksimum terjadi pada temperatur nitridasi 620 °C dengan waktu nitridasi 2 jam sebesar 4,83 µm. Kekerasan permukaan tertinggi sebesar 733 HV dihasilkan pada temperatur 580 °C dengan waktu proses 2 jam.

Kata Kunci : white layer, nitridasi, Urea, FCD 700

PENDAHULUAN

Produk poros engkol ini digunakan untuk keperluan otomotif sebagai bagian utama dari mesin dan pada peralatan teknik lain sebagai pengubah gerakan translasi menjadi gerakan rotasi atau sebaliknya. Industri otomotif dan manufaktur berkembang dengan pesat khususnya di Jawa Barat. Tahun 2011 Apindo melansir Jawa Barat merupakan provinsi yang menjadi barometer industri bagi wilayah lain di Indonesia. Apalagi, hampir 90% manufaktur otomotif dan elektronik berada di Jawa Barat (Apindo, 2015). Hal ini menunjukkan perlunya dukungan industri yang mampu melakukan

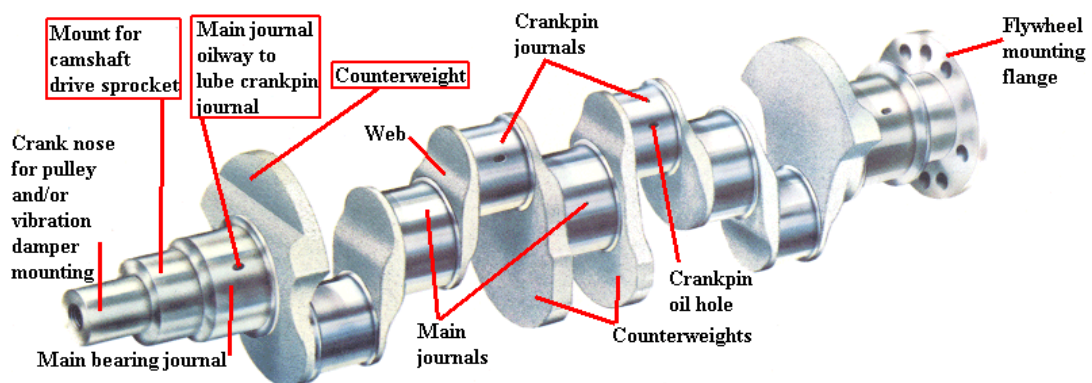
rancang bangun serta membuat suku cadang, tentunya berimbas pada peningkatan jumlah industri yang bergerak dalam bidang manufaktur. Disisi lain diperlukan pula peningkatan efisiensi dalam proses pemakaian yang antara lain ditunjukkan dengan peningkatan umur pakai dan kehandalan produk yang diproduksi. Dengan berkembangnya industri manufaktur, khususnya industri otomotif maka pembuatan poros engkol yang mempunyai kinerja lebih tinggi menjadi suatu kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi dan kehandalan. Dalam hal ini Politeknik Manufaktur Bandung mempunyai kemampuan untuk mendukung perkembangan industri otomotif di

Jawa Barat melalui beragam penelitian, salah satunya adalah peningkatan sifat mekanik *Ferro Casting Ductile (FCD) 700* yang digunakan untuk poros engkol (lihat pada gambar 1).

Ferro Casting Ductile (FCD) 700 merupakan besi cor bergrafit bulat yang dibuat dengan jalan mencampurkan magnesium, kalsium atau serium kedalam cairan logam sehingga grafit bulat akan terbentuk. Besi cor jenis ini mempunyai kekuatan, keuletan, ketahanan aus dan ketahanan panas yang cukup baik jika dibandingkan dengan besi cor kelabu (Surdia, 1996). FCD 700 memiliki kekerasan sekitar 302 HB (~ 284 HV) (JIS, 1984).

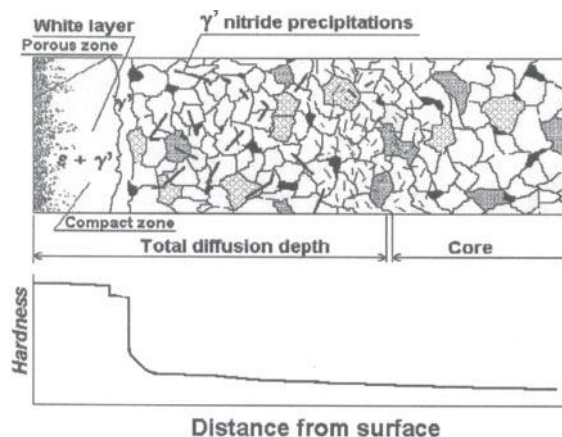
Untuk meningkatkan ketahanan gesek permukaan material *Ferro Casting Ductile (FCD) 700* salah satu metodenya dapat dilakukan pengerasan permukaan menggunakan nitridasi. Nitridasi adalah metode mendifusikan atom nitrogen pada permukaan *Ferro Casting Ductile (FCD)* sehingga terbentuk lapisan senyawa intermetalik (besi nitrida) pada permukaan *Ferro Casting Ductile (FCD)* yang memiliki kekerasan

jauh lebih tinggi dibandingkan substratnya. Sumber nitrogen dapat berasal dari gas, padatan atau cairan yang mengandung nitrogen seperti amoniak atau gas nitrogen. Metode yang tersedia berupa *gas nitriding*, *powder nitriding*, *plasma nitriding* dan *salt bath nitriding*. Pada penelitian poros engkol berbahan *Ferro Casting Ductile (FCD) 700* dilakukan pengerasan permukaan dengan nitridasi menggunakan sumber nitrogen berasal dari urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dengan metode *powder nitriding*. Urea terdekomposisi menghasilkan gas amonia yang terurai kembali menjadi atom nitrogen yang berdifusi ke permukaan besi menghasilkan senyawa nitrida yang keras. Gambar 2 menunjukkan kaitan proses nitridasi dengan peningkatan kekerasan permukaan besi cor atau besi bukan paduan. Pemilihan urea sebagai media nitridasi didasarkan pada ketersediaan urea yang cukup tinggi di Indonesia sebagai negara yang memproduksi sendiri urea yaitu dari tiga pabrik pupuk kumpang, PKT dan Pusri, mampu menghasilkan 7,173 ton pada tahun 2011.



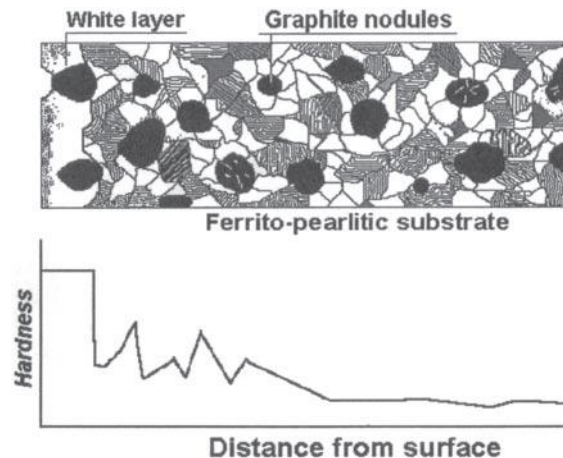
Gambar 1. Poros Engkol

Sumber : Sankar's, 2015



Gambar 2. Pengaruh lapisan nitrida pada besi atau non-alloyed steels

Sumber : Totten, 2004.



Gambar 3. Pengaruh lapisan nitrida pada besi cor nodular
 Sumber : Totten, 2004.

Sedangkan lapisan nitrida pada substrat besi cor dapat dilihat pada gambar 3

Kekerasan *Ferro Casting Ductile (FCD) 700* dianggap masih rendah untuk bahan material tahan gesek dan diperlukan adanya penelitian untuk meningkatkan kualitas bahan yang salah satunya adalah dengan cara pengerasan permukaan atau *surface hardening* dengan metoda nitridasi. Peningkatan kekerasan permukaan ini diperlukan untuk memperpanjang umur pakai poros engkol yang berbahan dasar *Ferro Casting Ductile (FCD) 700* melalui perbaikan ketahanan geseknya. Urea dipilih sebagai media nitridasi untuk memasok nitrogen karena ketersediaan urea yang baik (Grace, 2004) dan (Kemenperin, 2015).

Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada bahan *Ferro Casting Ductile (FCD) 700* dengan menggunakan metoda nitridasi dan memanfaatkan urea sebagai media nitridasi hingga mencapai kekerasan 700 HV (60 HRC). Teknologi nitridasi dengan urea ini dapat diaplikasikan pada bahan *Ferro Casting Ductile (FCD)* dan mampu meningkatkan umur pakai produk, sehingga efisiensi pemakaian dan nilai ekonomis produk akan meningkat (Suratman, 1994).

METODE

1. Tinjauan Proses

a) Nitridasi

Proses nitridasi merupakan salah satu proses perlakuan panas kimia (*thermo chemical treatment*) yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan pada permukaan. Pengerasan permukaan

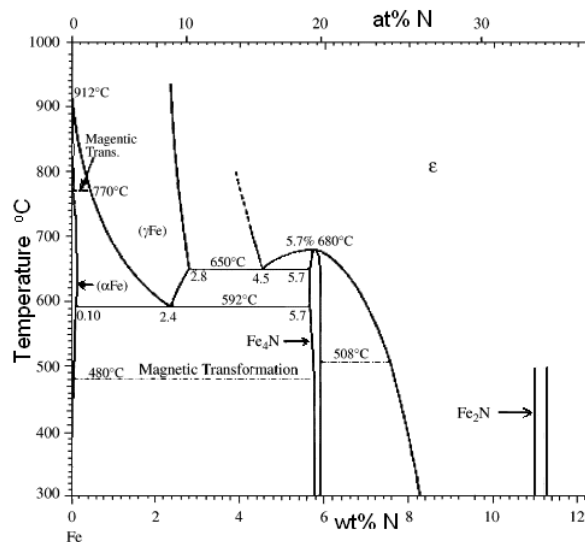
tersebut dilakukan dengan jalan mendifusikan atom nitrogen ke permukaan baja yang berada dalam fasa ferrit pada temperatur 500°C -590 °C. Pada temperatur ini tidak terjadi perubahan fasa selama pendinginan, sehingga dapat menghindari terjadinya distorsi dan memberikan kontrol dimensi yang lebih baik. Reaksi antara nitrogen dan besi menyebabkan pembentukan nitrida pada permukaan sehingga mengakibatkan kekerasan pada permukaan meningkat (Suratman, 1994)

Nitridasi bertujuan untuk:

- Memperoleh kekerasan yang tinggi pada permukaan saja.
- Meningkatkan ketahanan aus.
- Meningkatkan *fatigue life*.

b) Diagram Fasa Fe-N

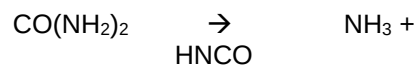
Diagram fasa Fe-N dapat digunakan sebagai dasar untuk memahami proses nitridasi guna mendapatkan struktur dan sifat yang diinginkan. Didalam besi, atom nitrogen larut sebagai larutan padat interstisi. Kelarutan maksimum nitrogen dalam besi pada temperatur nitridasi 500-590 °C adalah 0,1 %, lebih besar dari 0,1 % maka akan membentuk nitrida γ' (Fe_4N). Jika kelarutan nitrogen pada besi melebihi 6 %, nitrida γ' (Fe_4N) akan berubah menjadi ϵ (Fe_{2-3}N). Pada temperatur dibawah 500 °C dengan kadar nitrogen lebih dari 11 % maka nitrida ξ (Fe_2N) akan segera terbentuk dan diatas 650 °C Fe_4N akan terurai. Nitrida γ' dan ϵ secara fisik pada permukaan baja terlihat sebagai lapisan putih (*white layer*) atau *compound layer*.



Gambar 4. Diagram fasa Fe-N
Sumber : Startseite, 2008

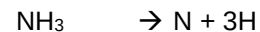
c) Powder Nitriding

Pelaksanaan proses *powder nitriding* mirip seperti pada proses *packed carburizing*. Benda kerja yang akan dinitridasi diletakkan dalam kotak proses yang berisi serbuk nitrida. Jumlah serbuk nitrida yang diberikan bergantung pada luas permukaan benda kerja yang dinitridasi. Serbuk nitrida yang dapat digunakan adalah Urea, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ "Karl-Eric Thelning, 1967" Serbuk nitridasi yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Urea mampu menyediakan nitrogen untuk didifusikan ke permukaan baja. Pada temperatur nitridasi, urea akan terurai sehingga dapat menghasilkan atom nitrogen yang berdifusi ke dalam permukaan besi, menurut reaksi :

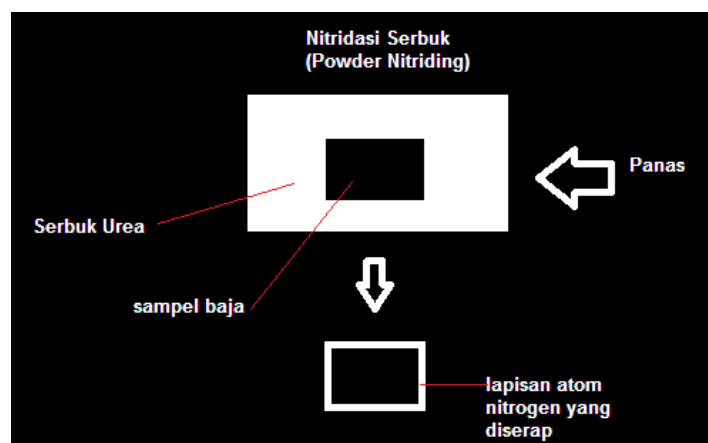


Proses ini menghasilkan residu *cyanic acid* (HNCO).

Untuk dapat digunakan dalam proses nitridasi, nitrogen harus dalam keadaan monoatomik. Dalam prakteknya, gas N yang monoatomik dapat diperoleh dari pemanasan gas amoniak, NH_3 , yang akan mengurai pada temperatur proses nitridasi menurut reaksi :

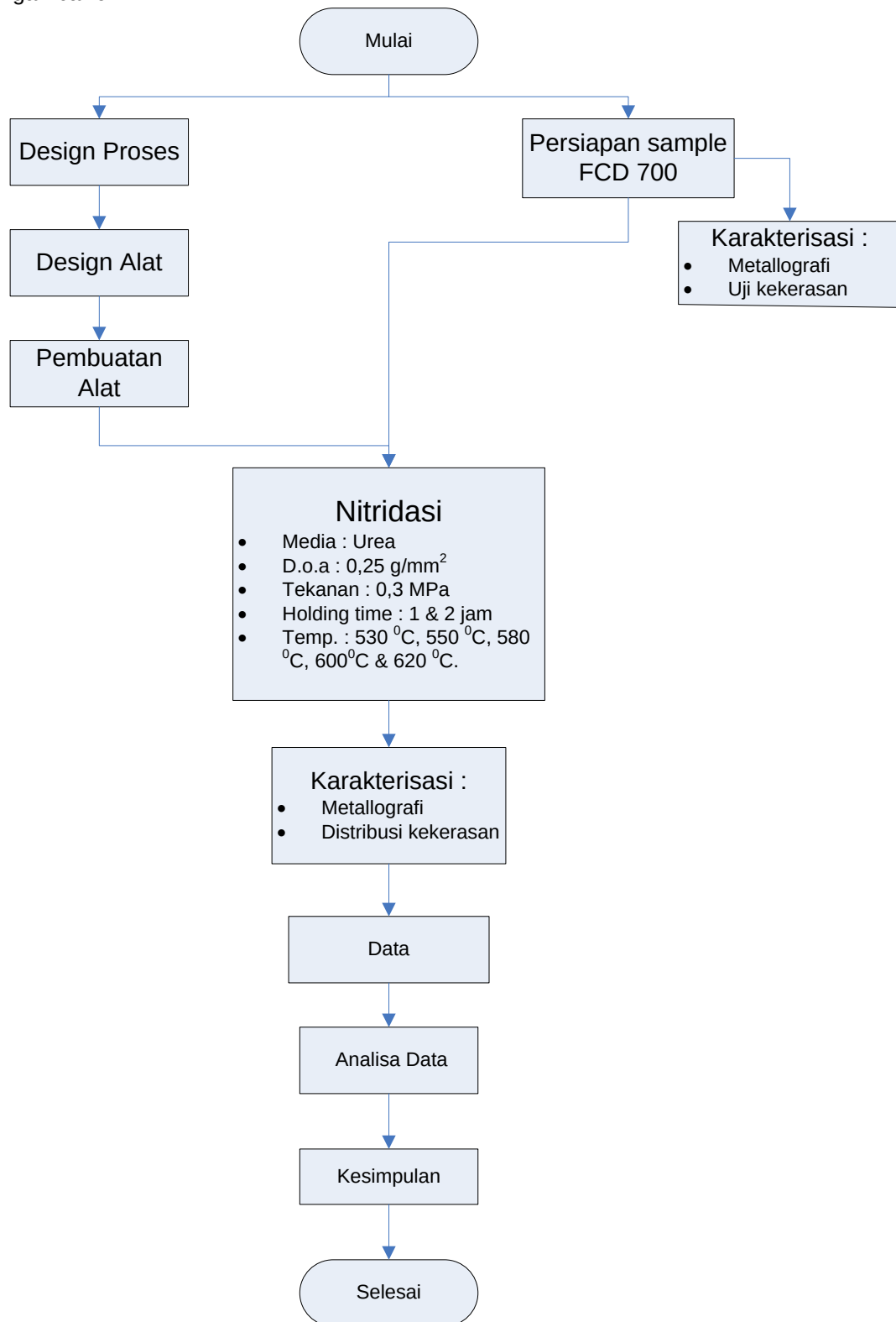


Nitrogen yang terbentuk akan bereaksi dengan Fe membentuk nitrida besi yang keras. Karena sifat nitrida yang keras, lapisan nitridasi yang terbentuk tidak boleh terlalu tebal (sangat getas). Skema proses *powder nitriding* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Skema proses powder nitriding
Sumber : Penulis

2. Diagram Alir Penelitian
Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Diagram alir penelitian

Sumber : penulis

3. Perancangan Percobaan

Parameter yang sangat berpengaruh pada proses nitridasi salah satunya adalah temperatur dan waktu penahanan proses nitridasi "George Totten, 2004", maka dalam pada penelitian ini proses nitridasi dilaksanakan dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses nitridasi yang terdiri dari parameter konstan dan parameter bervariasi. Parameter konstan terdiri dari jumlah ketersediaan urea per luas permukaan yang akan dinitridasi 0,25 g/mm² dan tekanan tabung nitridasi 0,3 Mpa, Parameter konstan mengacu pada "Intan, 2004", sedangkan parameter yang bervariasi terdiri waktu proses nitridasi yang digunakan 1 jam dan 2 jam serta temperatur nitridasi 530 °C, 550 °C, 580 °C, 600 °C, dan 620 °C.

3.1 Persiapan Sampel

Sample yang digunakan adalah FCD 700.

3.2 Persiapan Media Nitridasi

Pemilihan derajat ketersediaan urea didasarkan pada penelitian sebelumnya.

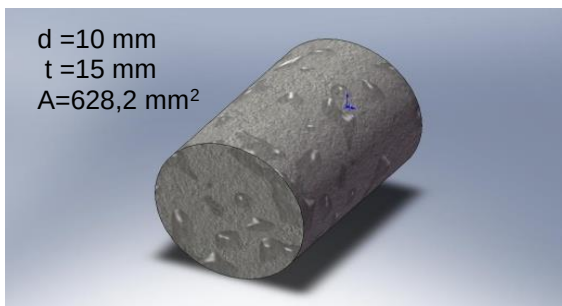
Pada penelitian sebelumnya harga derajat ketersediaan urea adalah 0,005 dan 0,009 g/mm², untuk derajat ketersediaan urea sebesar 0,005 g/mm² lapisan senyawa nitrida tidak terbentuk sedangkan untuk harga ketersediaan urea sebesar 0,009 g/mm² lapisan senyawa nitrida sudah terbentuk "Fermadi, 2004"

Perlu diketahui bahwa derajat ketersediaan urea dirumuskan sebagai berikut "Intan, 2004" :

3.3 Proses Nitridasi

Benda kerja yang akan dinitridasi diletakkan pada tabung proses yang berisi serbuk urea. Rancangan tabung dapat dilihat pada lampiran 2.

Disekeliling bagian dalam tabung dilapisi Aluminium Foil sebanyak 2 lapis untuk menghindari ternitridasinya tabung proses. Aluminium dipilih sebagai material pelapis bagian dalam tabung karena pada temperatur 500 °C nitrida Al sudah terbentuk, nitrida ini stabil sampai temperatur 900 °C dan akan menghalangi difusi nitrogen lebih jauh. Hasil dari



(b)

Gambar 7. Sample Ferro Casting Ductile (FCD) 700

Sumber : penulis



$$\text{Derajat ketersediaan urea} = \frac{\text{Berat Urea(g)}}{\text{Luas permukaan yang dinitridasi (mm}^2\text{)}}$$

Tabel 1. Jumlah urea

Keterangan	jumlah
Luas Permukaan sample *A) mm ²	628.2
Degree Of Availability (DOA) g/mm ²	0.25
Jumlah Urea g	157.5

Sumber : penulis

penelitian sebelumnya juga menyimpulkan bahwa tembaga dan aluminum tidak dipengaruhi proses nitridasi. Sehingga dengan alasan tersebut aluminum dipilih sebagai material pelapis bagian dalam tabung, disamping itu juga karena harganya yang relatif murah (Grace, 2004). Skema proses nitridasi yang dilakukan sesuai gambar 8

4. Metode Analisis Data

4.1 Pengujian

4.1.1 Pengujian Metallografi

Pengujian metallografi dilakukan untuk melihat struktur mikro dari FCD 700 pada karakterisasi awal dan struktur mikro hasil nitridasi.

4.1.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini diukur dengan menggunakan

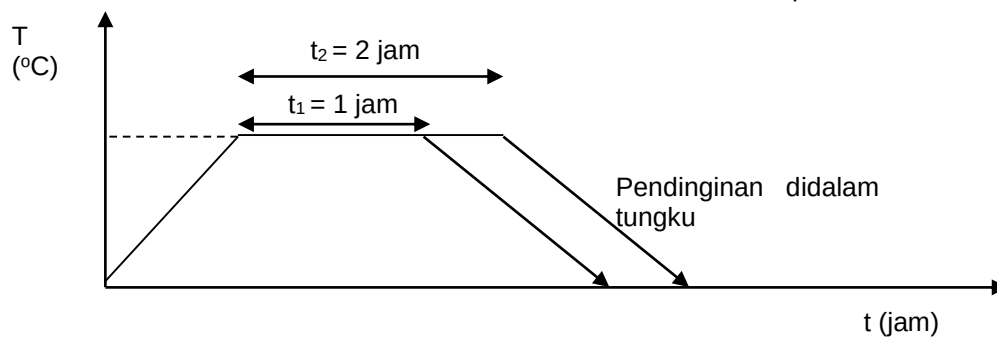
metoda MicroVickers dengan beban 200 gr dan 500 gr (JIS Z 2251). Pada pengujian kekerasan harus ditempatkan pada tempat yang sesuai dikarenakan keberadaan grafit yang dapat mengganggu proses pengujian kekerasan.

4.1.3 Analisis Struktur Mikro

Analisis struktur mikro untuk mengamati dan mengukur lapisan senyawa nitrida serta perubahan struktur mikro pada logam dasar dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan sinar refleksi.

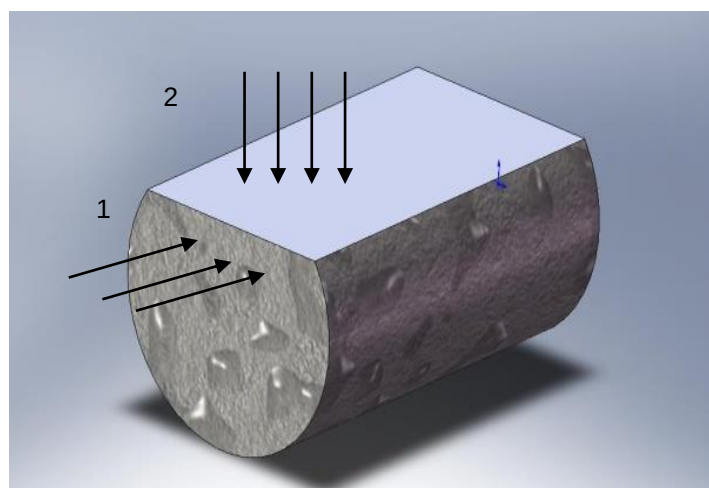
5. Pengolahan data

Hasil analisis kekerasan dan ketebalan lapisan senyawa nitrida dianalisis secara statistik untuk menentukan nilai maksimum. Pengaruh waktu dan temperatur proses nitridasi dianalisis berdasarkan tendensi kurva data hasil percobaan



Gambar 8. Skema proses Nitridasi

Sumber : penulis



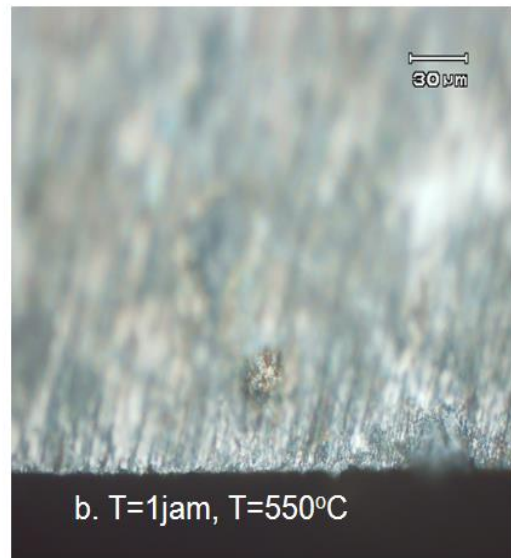
Gambar 9. Sampel hasil nitridasi hasil pemotongan melintang

Sumber : penulis

HASIL DAN PEMBAHASAN

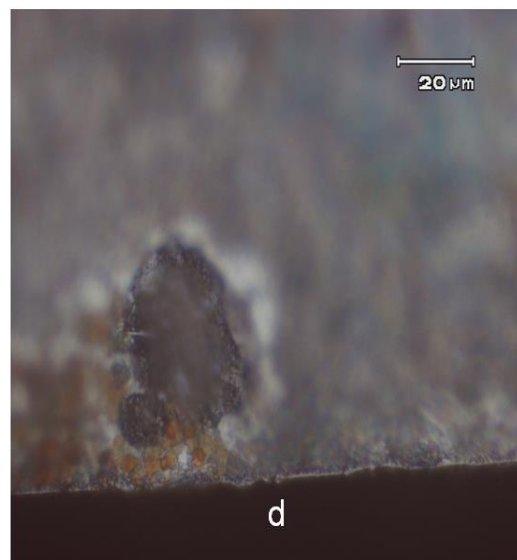
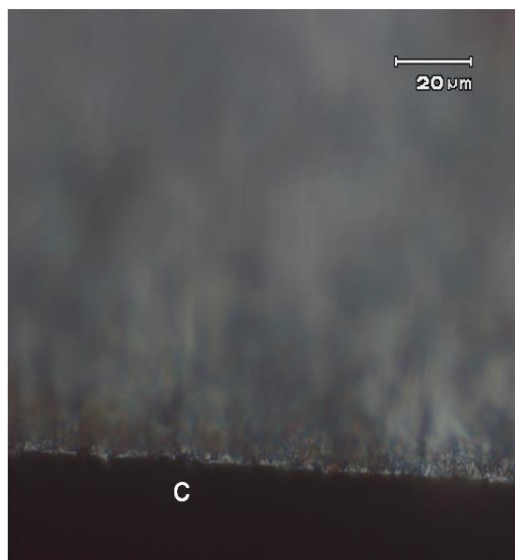
a) Analisa Struktur Mikro Hasil Nitridasi
Gambar 10 adalah struktur mikro yang telah dinitridasi dengan derajat ketersediaan urea 0,25 g/mm², t = 1 jam, dengan T = 530 °C dan T = 550 °C, tidak memperlihatkan adanya lapisan putih (lapisan senyawa nitrida) pada permukaan

FCD 700, artinya lapisan nitrida yang berupa senyawa nitrida γ' (Fe_4N) ataupun ϵ (Fe_{2-3}N) tidak terbentuk. Kadar nitrogen yang berdifusi pada permukaan kurang dari 6 %, sehingga lapisan putih (lapisan senyawa nitrida) tidak terbentuk. Beberapa faktor penghambat difusi nitrogen diantaranya yaitu waktu pemanasan (*holding time*) yang kurang.



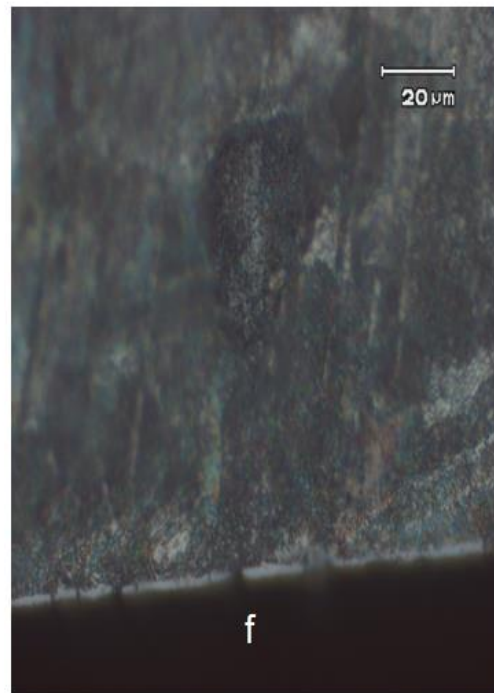
Gambar 10. Gambar struktur mikro yang telah dinitridasi dengan derajat ketersediaan urea 0,25 g/mm², t = 1 jam, dengan T = 530 °C dan T = 550 °C,

Sumber : penulis



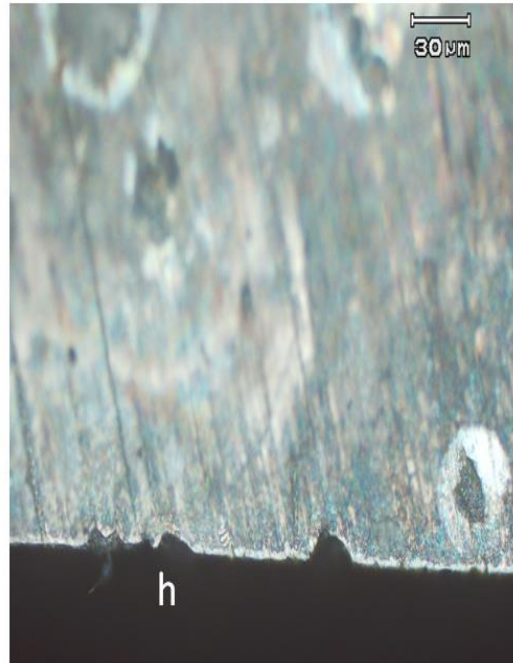
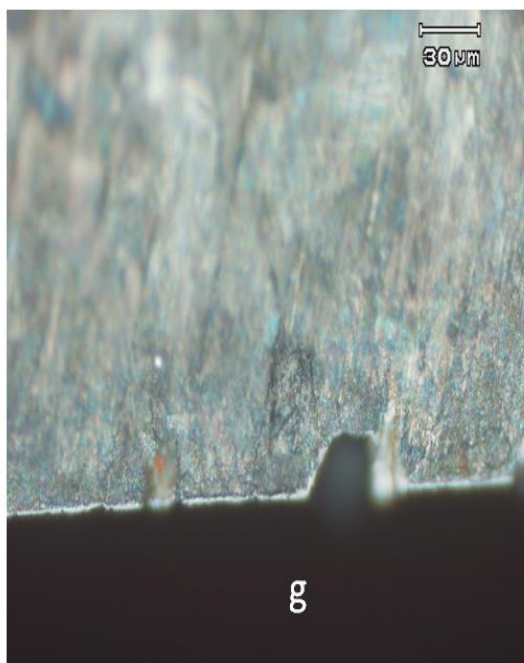
Gambar 11. Gambar struktur mikro yang telah dinitridasi dengan derajat ketersediaan urea 0,25 g/mm².
(c) t = 1 jam, T = 580 °C, lapisan senyawa nitrida = 0,7 μm, (d) t = 1 jam, T = 600 °C, lapisan Senyawa nitrida = 0,7 μm

Sumber : penulis



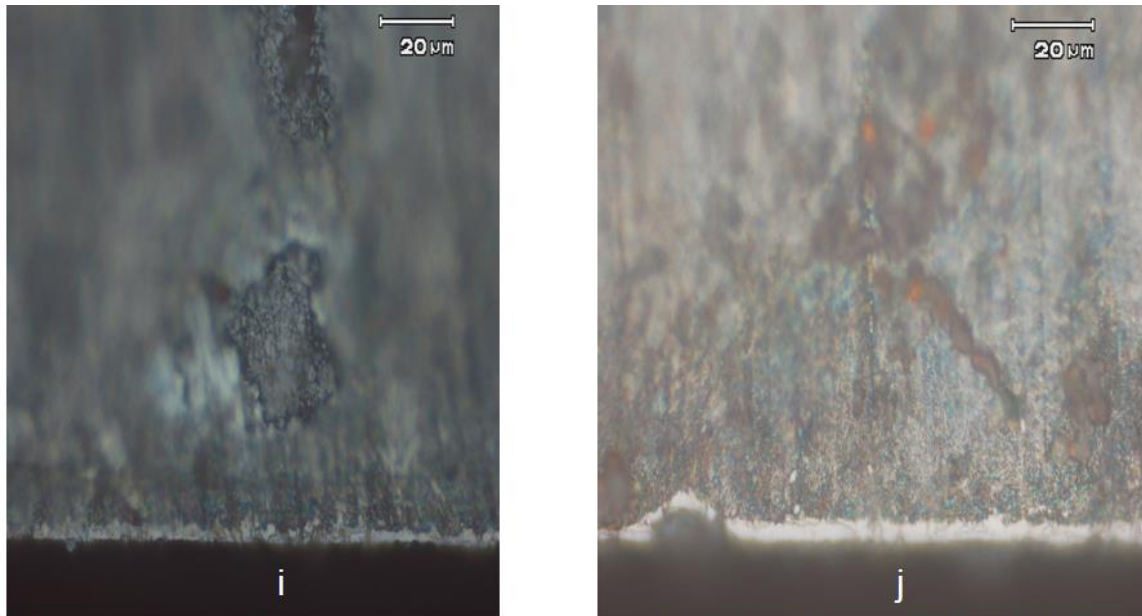
Gambar 12. Gambar struktur mikro yang telah dinitridasi dengan derajat ketersediaan urea 0,25 g/mm². (e) t = 1 jam, T = 620 °C, lapisan senyawa nitrida = 1,38 μm. (f) t = 2 jam, T = 530 °C, Lapisan senyawa nitrida

Sumber : penulis



Gambar 13. Gambar struktur mikro yang telah dinitridasi dengan derajat ketersediaan urea 0,25 g/mm². (g) t = 2 jam, T = 550 °C, lapisan senyawa nitrida = 2,1 μm. h) t = 2 jam, T = 580 °C, lapisan senyawa nitrida = 2,76 μm

Sumber : penulis



Gambar 14. Gambar struktur mikro yang telah dinitridasi dengan derajat ketersediaan urea 0,25 g/mm². (i) $t = 2$ jam, $T = 600$ °C, lapisan senyawa nitrida = 3,44 µm. (j) $t = 2$ jam, $T = 620$ °C, lapisan senyawa nitrida = 4,83 µm.

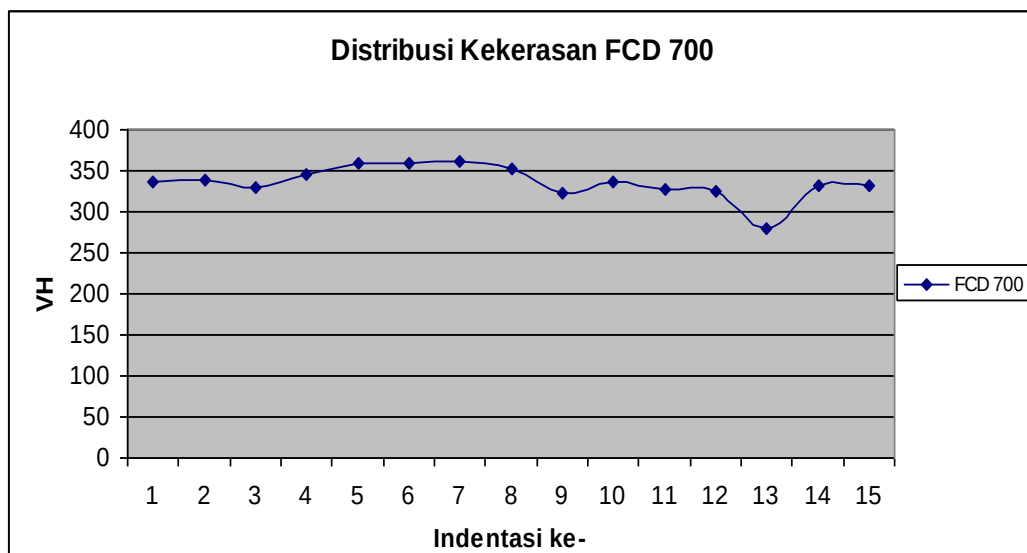
Sumber : penulis

Gambar 10 - 14, struktur mikro yang telah dinitridasi dengan derajat ketersediaan urea 0,25 g/mm², $t = 1$ jam, dengan $T = 580$ °C, $T = 600$ °C, dan $T = 620$ °C, serta dengan derajat ketersediaan urea 0,25 g/mm², $t = 2$ jam, dengan $T = 530$ °C, $T = 550$ °C, $T = 580$ °C, $T = 600$ °C, dan $T = 620$ °C memperlihatkan adanya lapisan putih (lapisan senyawa nitrida) pada permukaan FCD 700, artinya lapisan nitrida yang berupa senyawa nitrida γ' (Fe_4N) atau ϵ (Fe_{2-3}N) telah terbentuk. Kadar nitrogen yang berdifusi pada

permukaan lebih dari 6 %, sehingga terbentuk lapisan putih (lapisan senyawa nitrida).

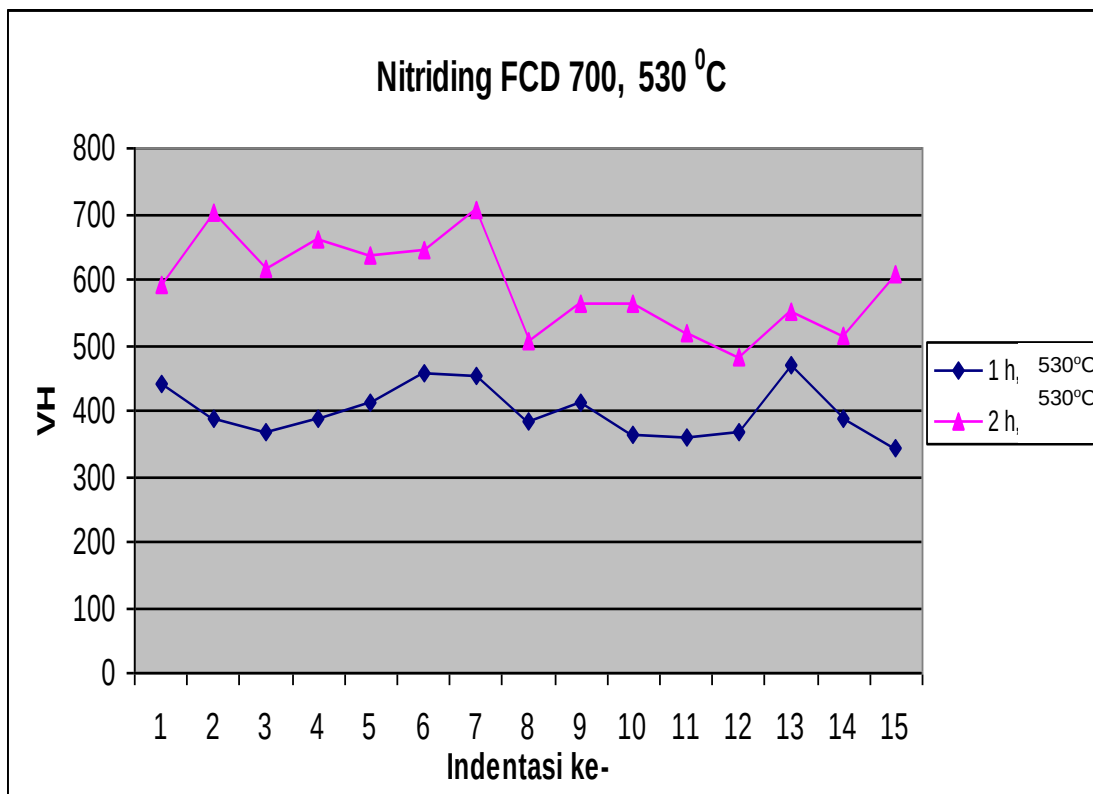
Data dan Analisa Distribusi Kekerasan

Pengukuran kekerasan dengan metoda microVickers dengan menggunakan beban 200 gram (JIS Z 2251) . Hasil pengukuran distribusi kekerasan FCD 700 hasil nitridasi dapat dilihat pada kurva-kurva dibawah.



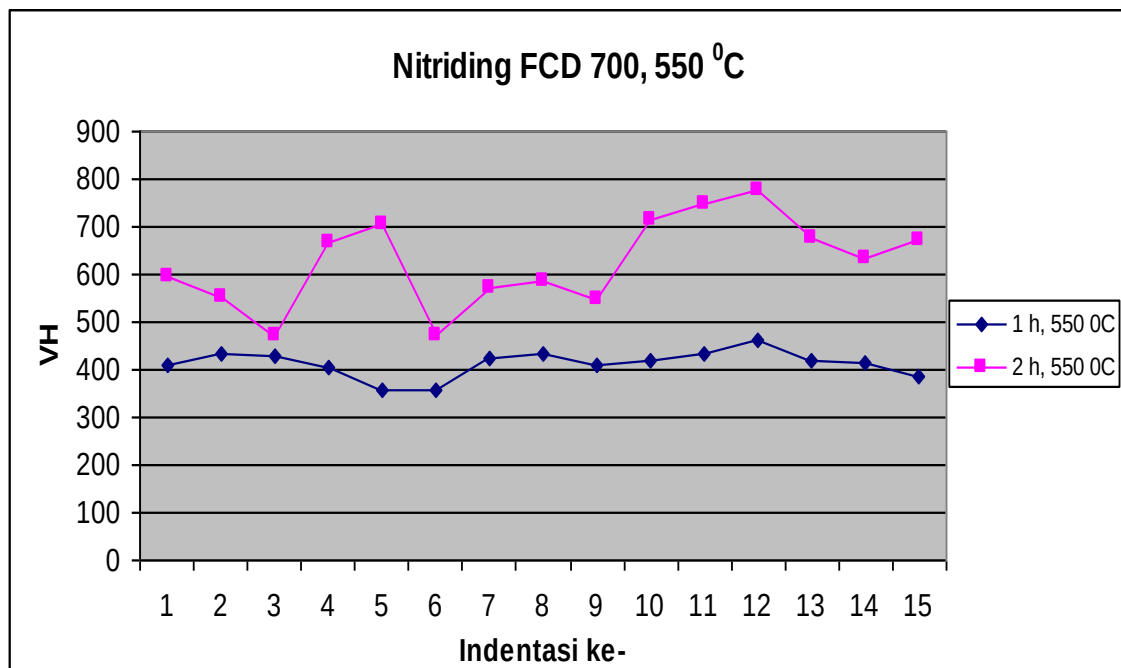
Gambar 15. Distribusi kekerasan Ferro casting ductile (FCD) 700

Sumber : penulis



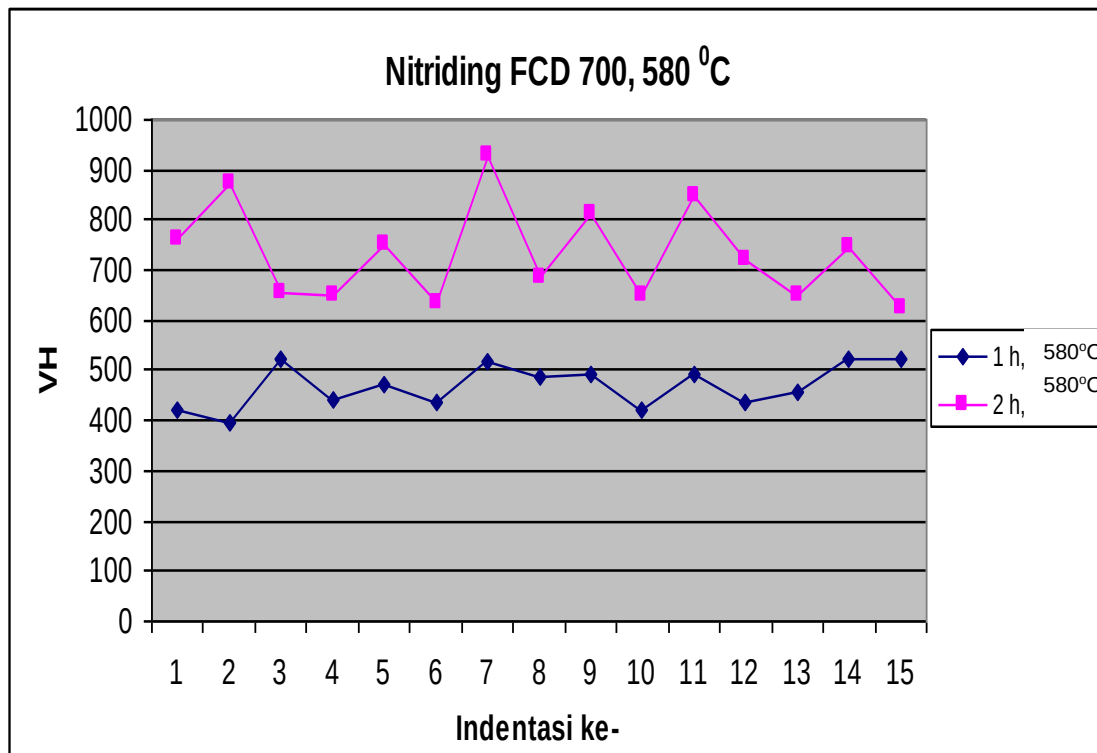
Gambar 16. Analisa distribusi kekerasan FCD 700 dengan temperatur yang sama dan waktu yang berbeda, T = 530 °C.

Sumber : penulis



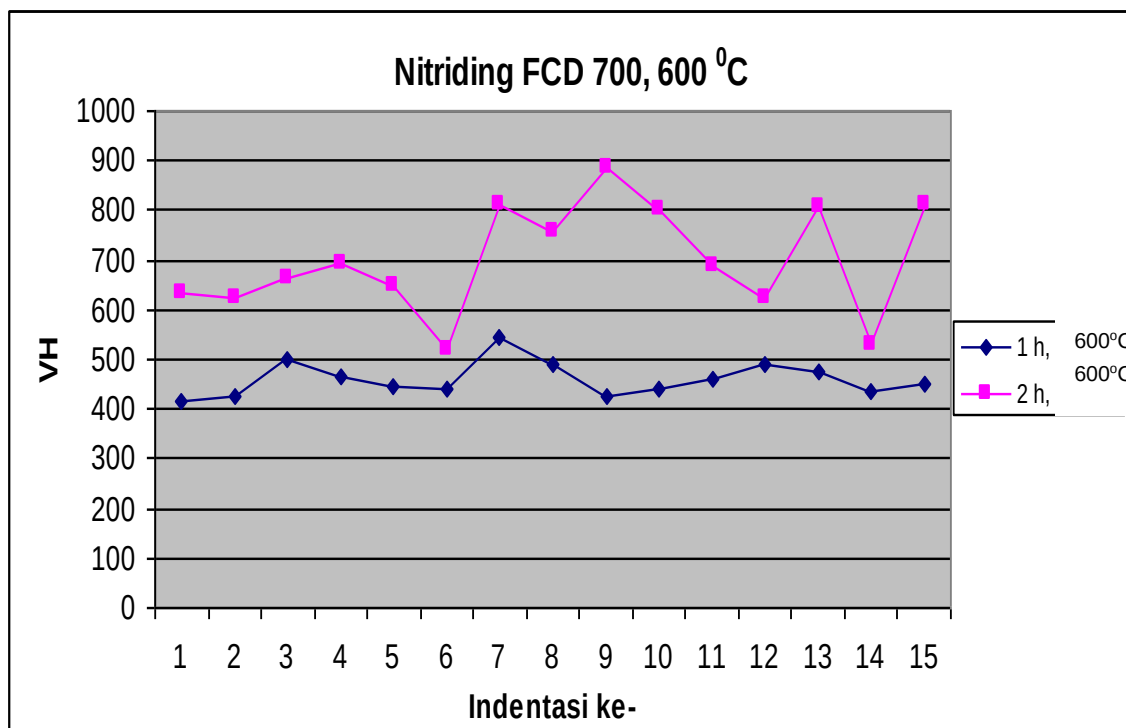
Gambar 17. Analisa distribusi kekerasan FCD 700 dengan temperatur yang sama dan waktu yang berbeda. (a) T = 550 °C

Sumber : penulis



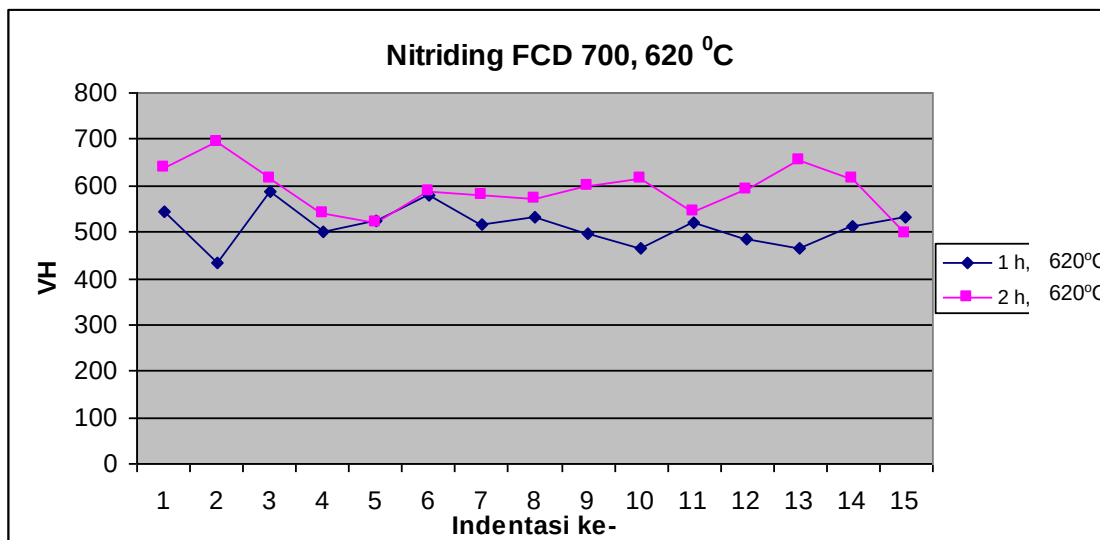
Gambar 18. Analisa distribusi kekerasan FCD 700 dengan temperatur yang sama dan waktu yang berbeda. (a) T = 580 °C

Sumber : penulis



Gambar 19. Analisa distribusi kekerasan FCD 700 dengan temperatur yang sama dan waktu yang berbeda. (a) T = 600 °C

Sumber : penulis



Gambar 20. Analisa distribusi kekerasan FCD 700 dengan temperatur yang sama dan waktu yang berbeda. (a) T = 620 °C

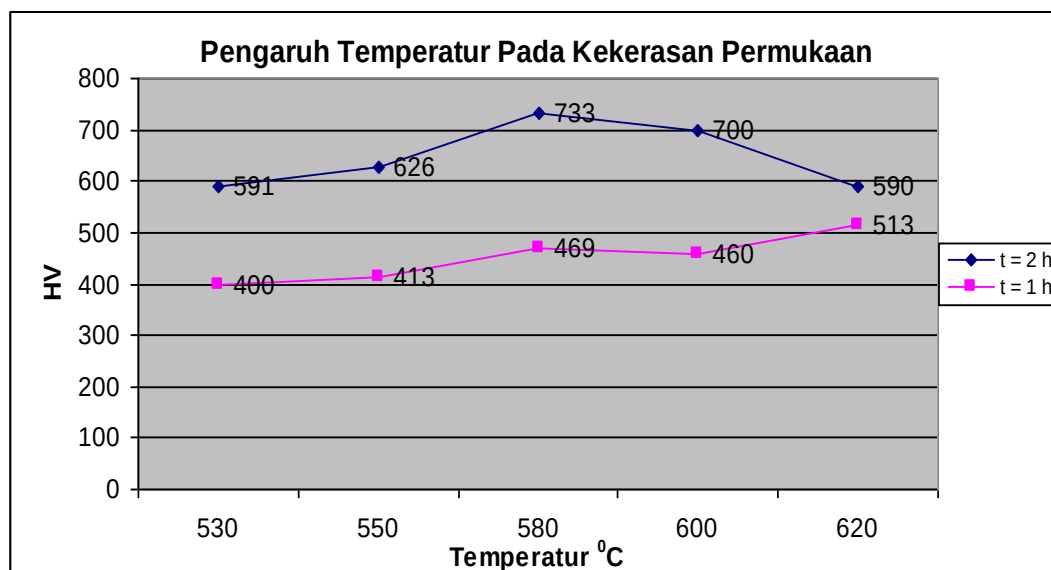
Sumber : penulis

Jika dilihat dari kurva diatas, dapat dilihat dengan jelas bahwa dengan waktu penahanan (*holding time*) yang lebih lama, maka, 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 dan membentuk besi nitrida. Oleh

karena itu dengan waktu difusi yang lebih lama akan mengakibatkan kekerasan permukaan yang lebih tinggi.

Temperatur dan waktu penahanan (*holding time*) sangat berpengaruh dalam proses nitridasi, hal ini dapat dibuktikan dengan variasi distribusi kekerasan yang terjadi pada kurva

Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Kekerasan Permukaan



Gambar 21. Pengaruh temperatur pada kekerasan permukaan

Sumber : penulis

Tabel 2. Perbandingan Kedalaman Nitridasi Berdasarkan Perhitungan Matematis dengan Kedalaman lapisan senyawa nitrida

Kedalaman White Layer (mm)										
h, temp	1h, 530°C	2h, 530°C	1h, 550°C	2h, 550°C	1h, 580°C	2h, 580°C	1h, 600°C	2h, 600°C	1h, 620°C	2h, 620°C
(mm)	-	0.00172	-	0.0021	0.0007	0.00276	0.0007	0.00344	0.00138	0.00483
Kedalaman indentasi pada Nitridasi secara matematis load 0.5 (mm)										
Avr (d)	0.0074	0.0070	0.0073	0.0067	0.0072	0.0063	0.0071	0.0063	0.0071	0.0064
Kedalaman indentasi pada Nitridasi secara matematis load 0.2 (mm)										
Avr (d)	0.0044	0.0036	0.0043	0.0035	0.0040	0.0032	0.0041	0.0033	0.0040	0.0036

Sumber : penulis

diatas. Jika dilihat dari kurva diatas, pada waktu penahanan (*holding time*) 1 jam dan temperatur nitridasi 620 °C menghasilkan kekerasan permukaan paling tinggi dengan rata-rata 513 HV.

Pada kurva diatas pada temperatur 580 °C dan waktu nitridasi (*holding time*) 2 jam memiliki distribusi kekerasan permukaan paling tinggi yaitu dengan rata-rata 733 HV (~61 HRC). Semakin tinggi temperatur nitridasi, maka difusi nitrogen kedalam besi akan semakin cepat. Pada waktu nitridasi 2 jam, pada temperatur 600 °C dan 620 °C kekerasan permukaan menurun, karena temperatur semakin mendekati 680 °C, dimana pada suhu tersebut nitrida besi akan terurai yang mengakibatkan turunnya kekerasan permukaan. Pada temperatur 580 °C, difusi nitrogen kedalam besi berlangsung lebih baik daripada temperatur nitridasi yang lain, sehingga dapat disimpulkan bahwa dari beberapa penelitian dengan variasi suhu yang berbeda dan waktu penahanan nitridasi (*holding time*) yang berbeda, temperatur yang paling baik untuk proses nitridasi FCD 700 adalah pada temperatur 580 °C dengan waktu nitridasi (*holding time*) 2 jam.

Sebagai pendekatan untuk menentukan kedalaman nitridasi dapat dilakukan berdasarkan perhitungan matematis yang dapat diasumsikan sebagai kedalaman hasil proses nitridasi (lapisan lapisan senyawa nitrida dan *diffusion layer*). Pada kedalaman nitridasi mulai dari 0,1 mm dan seterusnya, kekerasan hasil proses nitridasi sudah mencapai kekerasan substrat (*base material*). Untuk menentukan kekerasan lapisan senyawa nitrida dapat juga ditentukan melalui pendekatan matematis seperti yang terlihat pada tabel 2.

KESIMPULAN

a) Kesimpulan

Kualitas FCD 700 dapat ditingkatkan dengan menerapkan proses *powder nitriding* dengan menggunakan urea sebagai sumber nitrogen. Pada waktu penahanan nitridasi 1 jam dengan temperatur nitridasi 530 °C dan 550 °C lapisan senyawa nitrida tidak terbentuk, sedangkan pada temperatur nitridasi 580 °C, 600°C, dan 620 °C lapisan putih (lapisan senyawa nitrida) telah terbentuk. Pada waktu penahanan nitridasi 2 jam dengan temperatur nitridasi 530 °C, 550 °C, 580 °C, 600 °C, dan 620 °C, lapisan putih (lapisan senyawa nitrida) telah terbentuk. Kekerasan permukaan tertinggi dicapai pada temperatur nitridasi 580 °C dan waktu penahanan nitridasi 2 jam, kekerasan permukaan pada FCD 700 mencapai 733 HV (~61 HRC). Kedalaman lapisan senyawa nitrida maksimum 4,83 µm didapatkan pada temperatur nitridasi 620 °C dengan waktu penahanan nitridasi 2 jam. Kedalaman nitridasi dan kekerasan lapisan senyawa nitrida dapat ditentukan melalui pendekatan matematis.

b) Saran

Perlu dilakukan analisa pada daerah diskontinuitas pada lapisan lapisan senyawa nitrida dan pengujian untuk membedakan antara lapisan lapisan senyawa nitrida dengan *compound layer*. Metode nitridasi ini perlu dilakukan pula untuk jenis besi cor yang lain.

DAFTAR PUSTAKA.

- APINDO: Jawa Barat Jadi 'Surga' Industri - Majalah SWA Online. (2015). APINDO: Jawa Barat Jadi 'Surga' Industri - Majalah SWA Online. [ONLINE] Available at: <http://swa.co.id/listed-articles/apindo-jawa-barat-jadi-surga-industri>. [Accessed 27 May 2015].
- ARAI, T., et al., (1991) ASM Handbook: Heat Treating, Volume 4. ASM International.
- CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL. (2015) *Phase Diagram of Fe-P and Fe-N*. [ONLINE] Available at: http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_8/illustr/i8_3_1.html. [Accessed 05 November 2015].
- FERMADI. (2004). *Powder Nitriding pada Baja Karbon Rendah dengan Menggunakan Urea*. Skripsi, Institut Teknologi Bandung
- GRACE, I. (2004) *Pengaruh Jumlah Urea dan Waktu Proses pada Powder Nitriding Baja Karbon Rendah*, Skripsi, Institut Teknologi Bandung.
- Home – Bodycote plc (2008) Home – Bodycote plc. [ONLINE] Available at: <http://www.nitron.com/html/kontakt/TB209.pdf>. [Accessed 20 April 2008].
- JAPANESE STANDARD ASSOCIATION, (1984) *JIS Handbook : Ferrous Materials and Metallurgy*, Japan Iron and Steel Exporters' Association.
- KEMENPERIN: Produksi Pupuk Urea Naik 6%. (2015) Kemenperin: Produksi Pupuk Urea Naik 6%. [ONLINE] Available at: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/1471/Produksi-Pupuk-Urea-Naik-6>. [Accessed 29 May 2015].
- PALIMBANI. (2008). *Mengenal Pupuk Urea* | Pustaka Negeri. [ONLINE] Available at: <http://pusri.wordpress.com/2007/09/22/mengenal-pupuk-urea/>. [Accessed 5 august 2008].
- SANKAR'S: CROSSPLANE CRANKSHAFT. (2015). Sankar's: Crossplane Crankshaft. [ONLINE] Available at: <http://fiftyfivenotion.blogspot.com/2012/08/crossplane-crankshaft.html>. [Accessed 30 July 2015].
- SCHÄRER, S., ROHNER, F. (2008). *Hardening Steel by Nitriding*. [ONLINE] Available at: http://www.seetobago.org/trinidad/pan/archive/r&d/panart/ir_archivecopy_hardenning_steel_by_nitriding.htm. [Accessed 30 July 2008].
- STICKELS, CHARLES, A. (1978). *Pack nitriding process for low alloy steel*. [ONLINE] Available at: <http://www.freepatentsonline.com/4119444.pdf>. [Accessed 30 July 2008].
- Startseite - Stahlschlüssel - Key to Steel | Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH. (2008). Startseite - Stahlschlüssel - Key to Steel | Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH. [ONLINE] Available at: <http://www.key-to-steel.com/Articles/Art117.htm>. [Accessed 20 April 2008].
- SUHENDAR, F. (2007). *Pengaruh Temperatur dan Waktu Proses Nitridasi Terhadap Kekerasan Permukaan FCD700 Dengan Media Nitridasi Urea*. Skripsi. POLMAN Bandung
- SURATMAN, R., (1994). *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Bandung : Lembaga Penelitian Institut Teknologi
- SURDIA, T. (1996). *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta : PT Pradya Pramita,.
- THELNING, K.E. (1984). *Steel and its Heat Treatment*, 2nd ed. Jordan Hill : Butterworth-Heinemann
- TOTTEN, G. (2004). *Handbook of Metallurgical Process Design (Materials Engineering)*. 1st ed. CRC Press