

Peningkatan Kualitas Bahan *Cylinder Liner* Produk Lokal pada Sepeda Motor Empat Langkah Melalui Proses *Nitriding*

Adi Ganda Putra, Toto Triantoro, Maman Suparman

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jenderal Achmad Yani

adigandaputra@yahoo.com, trians65@yahoo.co.id, m2n_engineering@yahoo.com

Abstrak

Cylinder liner merupakan komponen penting dari suatu mesin kendaraan bermotor, di mana komponen tersebut akan menentukan besarnya volume silinder dan unjuk kerja. Komposisi kimia material *cylinder liner* lokal, original dan spesial kompetisi (*racing*), mengacu berdasarkan standar ASTM A 159 yaitu spesifikasi standar untuk aplikasi besi cor kelabu pada automotif, tergolong grade 2500.

Proses pengerasan permukaan *liquid nitriding* pada permukaan material dasar komponen *cylinder liner* ini pada prinsipnya adalah dengan teknik yang sederhana yaitu dengan mencelupkan substrat ke dalam lelehan garam cair pada temperatur 580°C dengan variasi waktu selama 3 dan 9.

Lapisan nitrida dengan waktu proses *liquid nitriding* 3 jam menghasilkan kekerasan permukaan sebesar 825 VHN, sedangkan waktu proses 9 menghasilkan kekerasan permukaan sebesar 733 VHN. Ketebalan optimum lapisan nitrida diperoleh dari hasil proses *liquid nitriding* dengan waktu 9 jam yaitu rata-rata 77 µm atau 0,077 mm (pengukuran berdasarkan struktur) atau sebesar 60 µm atau 0,06 mm (pengukuran berdasarkan DIN 50 190-3).

Kata kunci: Besi cor kelabu, *cylinder liner*, *liquid nitriding*, kekerasan, lapisan nitrida.

1. Pendahuluan

Sepeda motor merupakan salah satu kendaraan bermotor yang memiliki potensi cukup tinggi di bidang industri angkutan dan cukup ekonomis. Pada dekade ini, sepeda motor banyak digunakan selain sebagai alat angkutan, juga digunakan sebagai alat olah raga otomotif khususnya balap/kompetisi motor yang memberikan kecenderungan baru untuk tujuan kemajuan teknologi pada kendaraan roda dua.



Gambar 1. Keausan pada permukaan *cylinder liner* (Hiroshi Yamagata, 2005).

Cylinder liner adalah komponen yang merupakan satu kesatuan dari *cylinder block*. *Cylinder liner* dibagi menjadi 2 yaitu tipe: a). *dry type* dan b). *wet type*. *Dry type* mempunyai keuntungan efisiensi panas lebih baik, tetapi pendinginan pada liner kurang baik. *Wet type* mempunyai keuntungan pendinginan pada liner baik tetapi efisiensi panas berkurang.

Persyaratan utama dari material komponen *cylinder liner* adalah harus memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Memiliki ketahanan pada temperatur tinggi.
2. Memiliki sifat tahan aus.
3. Memiliki kekuatan yang cukup tinggi pada temperatur tinggi.
4. Memiliki koefisien pemuaian yang rendah.
5. Memiliki koefisien gesekan yang rendah.

Temperatur ruang bakar yang relatif sangat tinggi dapat menyebabkan *cylinder liner* mengalami *over heat* yang dapat menimbulkan permukaan *cylinder liner* tergores (aus), Gambar 1. memperlihatkan permukaan *cylinder liner* yang mengalami aus (adanya goresan)

Info Makalah:

Dikirim : 05-04-2017;

Revisi : 12-17-2017;

Diterima : 02-07-2018.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-8522-1648-765

e-mail : adigandaputra@yahoo.com

2. Prosedur Percobaan

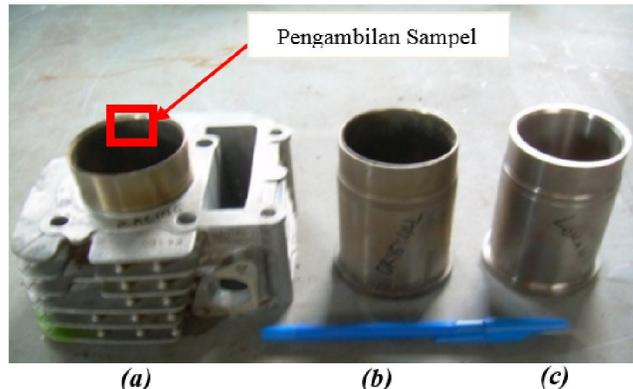
Tahapan dalam prosedur percobaan secara garis besar meliputi:

1. Pemeriksaan visual yang meliputi pengukuran geometri komponen *cylinder liner* produk lokal, original dan spesial *racing*.

2. Pelaksanaan proses *liquid nitriding* komponen *cylinder liner* produk lokal.
3. Pengujian laboratorium yang meliputi pengujian komposisi material, pengujian kekerasan, ketebalan lapisan dan struktur material.

2.1. Bahan Substrat / Material Dasar *Cylinder Liner*

Bahan substrat atau material dasar yang digunakan pada percobaan penelitian ini adalah dari komponen *cylinder liner* produk lokal yang akan ditingkatkan kualitasnya melalui proses *salt bath nitriding*. *Cylinder liner* original dan *racing* di lakukan pengujian untuk dianalisa sebagai pembandingan. Spesimen dari komponen ini dipotong untuk mendapatkan ukuran luas 10 mm x 20 mm sebanyak 3 spesimen. Gambar 2. memperlihatkan komponen *cylinder liner* bahan lokal, original dan bahan spesial kompetisi (*racing*).



Gambar 2. (a) *cylinder block (racing)*, (b) *cylinder liner original*, (c) *cylinder liner lokal*.

2.2. Proses *Salt Bath Nitriding*

Proses pengerasan permukaan *nitriding* pada permukaan substrat/material dasar komponen *cylinder liner* ini pada prinsipnya adalah dengan teknik yang sederhana yaitu dengan mencelupkan substrat ke dalam lelehan garam cair, sehingga unsur nitrogen dari garam cair sianida tersebut akan berdifusi pada permukaan substrat dan terbentuk lapisan senyawa nitrida (Fe-N) yang bersifat keras.

Peralatan utama yang digunakan untuk proses *salt bath nitriding* adalah tungku (*furnace*) untuk melebur yang temperturnya dapat dikendalikan serta peralatan pendukung lainnya. Campuran serbuk garam dilebur didalam wadah pada tungku yang telah di atur temperturnya hingga mencapai 580°C selama ± 3 jam. Setelah campuran serbuk garam mencair, kemudian temperatur tungku di pertahankan dalam temperatur yang diinginkan (500°C - 600°C) dan dilakukan pencelupan substrat kedalam cairan garam selama 3 jam dan 9 jam. Sebelum pencelupan dan pada waktu mengangkat substrat, terak atau *slag* yang berada dipermukaan cairan garam di bersihkan agar tidak menempel pada substrat.

Prosedur pembuatan sumber unsur dalam proses *salt bath nitriding*, yaitu sebagai berikut :

1. Penimbangan komposisi larutan dalam persen berat diantaranya serbuk garam sianida 80%, kalium klorida 10%, kalium karbonat 5% dan natrium karbonat 5%.
2. Pengadukan semua serbuk garam dalam wadah yang tahan terhadap garam hingga tercampur merata dengan sempurna.
3. Wadah ditutup agar tidak bereaksi dengan udara hingga proses *nitriding* siap dilakukan.

3. Data dan Pembahasan

3.1 Komposisi Material *Cylinder Liner*

Hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan Spektrometer (*Optical Emission Spectroscopy*) didapat komposisi kimia *cylinder liner* seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil pemeriksaan komposisi kimia material *cylinder liner* lokal, original dan spesial kompetisi (*racing*), maka diketahui bahwa komponen tersebut adalah material jenis besi cor kelabu yang mengacu berdasarkan standar ASTM A 159 yaitu spesifikasi standar untuk aplikasi besi cor kelabu padaomotif. Berdasarkan acuan standar tersebut, maka ketiga jenis material *cylinder liner* tergolong *grade 2500* yang memiliki *range* kekerasan 170-229 HB (ASTM A159-83, 2001). Dari Tabel 1. terlihat komposisi material baik produk lokal, original maupun spesial *racing*, telah mengalami modifikasi komposisi terutama unsur pembentuk karbida (Cr) dan unsur Mo sebagai penyetabil struktur pada kondisi temperatur tinggi, disamping itu unsur Cu sebagai peningkat ketahanan korosi (Butterworth Heinemann, 2000). Dengan demikian berdasarkan komposisi materialnya maka komponen *cylinder liner* spesial *racing* memiliki kualitas bahan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan produk original maupun lokal, sehingga harganya pun akan relatif lebih mahal.

Tabel 1. Komposisi material *cylinder liner*.

Unsur	Komposisi (%)			
	Lokal	Original	Racing	Standar ASTM A 159
C	3.702	3.150	3.583	3.40 (min)
Si	1.650	1.953	1.763	1.60-2.10
P	0.388	0.217	0.108	0.15 (max)
S	0.113	0.151	0.101	0.12 (max)
Mn	0.383	0.855	0.717	0.60-0,90
Ni	0.057	0.547	0.269	*)
Cr	0.047	0.225	1.348	*)
Cu	0.136	0.032	0.116	*)
Mo	0.018	-	0.035	*)
Fe	Sisa	Sisa	Sisa	Sisa

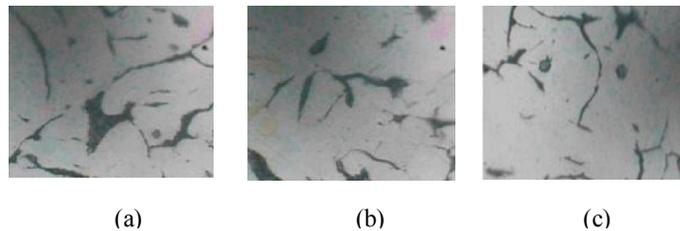
*) as required (tergantung kebutuhan)

3.2 Struktur Awal Material *Cylinder Liner*

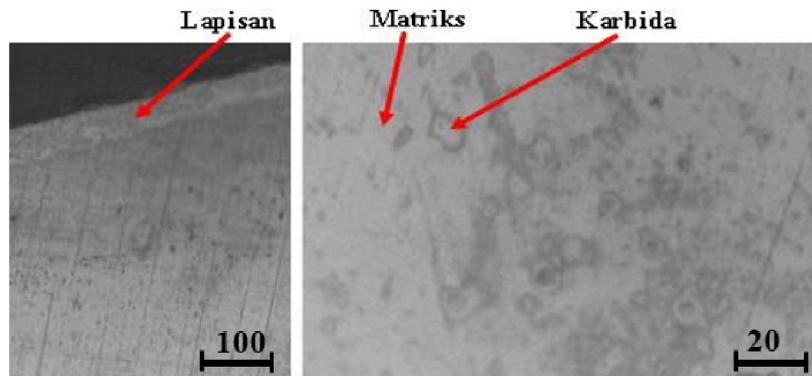
Hasil pemeriksaan struktur bahan *cylinder liner* lokal, original dan spesial kompetisi (*racing*), maka diketahui bahwa komponen tersebut adalah material besi cor kelabu (memiliki grafit berbentuk serpih), hal ini dapat dilihat pada Gambar. 3. Berdasarkan ASM-Metal Handbook Volume 9 maka dapat diketahui bahwa jenis besi cor untuk material *cylinder liner* lokal, original dan spesial kompetisi (*racing*) adalah besi cor kelabu hipoeutektik (kadar karbon dibawah 4,3%) (ASTM A247-67, 1998), dan bahan *cylinder liner* lokal memiliki grafit tipe A (terdistribusi secara merata, orientasi acak, memiliki panjang maksimum 320 mikron sesuai klasifikasi standar ASTM. A 247 (ASM International Handbook, 1993). Sedangkan material *cylinder liner* original dan spesial kompetisi (*racing*), memiliki jenis grafit tipe V (*star-like graphite*), yang dapat disebabkan oleh karena adanya unsur-unsur pembentuk karbida (Cr, Mn, V) (ASTM A247-67, 1998).

Fasa yang terbentuk pada material *cylinder liner* lokal memiliki fasa ferit, sedangkan produk original dan spesial kompetisi (*racing*) memiliki matriks perlit dan terdapat fasa karbida. Hal ini dapat menyebabkan kekerasan material *cylinder liner* original dan spesial kompetisi (*racing*) akan lebih tinggi dibandingkan dengan produk lokal, karena sifat dari fasa ke-2 (karbida, nitrida, oksida) relatif lebih keras dari larutan padat (ferit, perlit, martensit).

Gambar 4. memperlihatkan struktur dari bahan ring piston, yang ditunjukkan bahwa bagian permukaan ring terdapat adanya lapisan. Berdasarkan referensi standart, bahan dari ring piston tersebut adalah baja paduan yang dilapis *hard chrom* (www.wiseco.com).



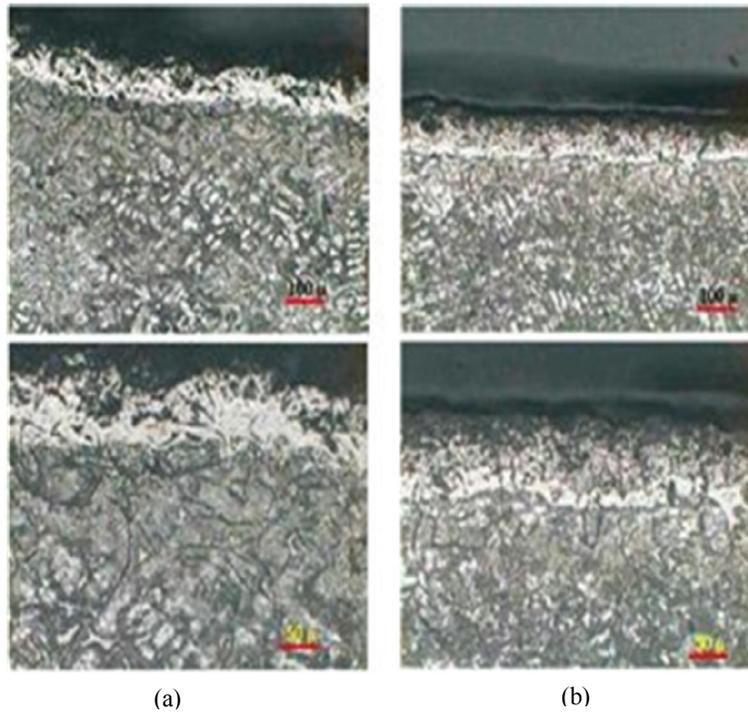
Gambar 3. Struktur mikro *cylinder liner*, (a) lokal, (b) *original*, (c) *racing*, fasa ferit (berwarna terang) dan grafit serpih (berwarna hitam memanjang) (pembesaran 400x ; etsa Nital 2%)



Gambar 4. Struktur bahan ring piston (etsa: Nital 2%).

3.3 Struktur Mikro dan Tebal Lapisan Hasil *Liquid Nitriding*

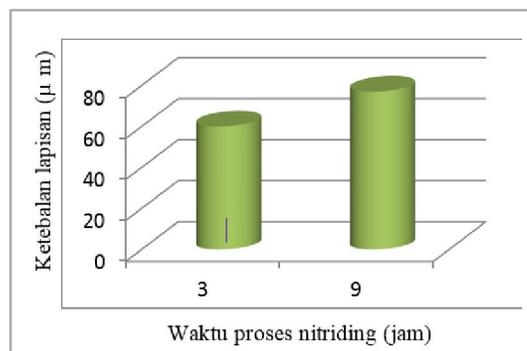
Pemeriksaan struktur mikro dan ketebalan lapisan hasil proses *salt bath nitriding* dengan memvariasikan waktu penahanan 3 dan 9 jam, diperoleh lapisan dan fasa yang terbentuk seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Lapisan *Nitriding* pada material *cylinder liner* produk lokal dengan waktu proses: (a) 3 jam dan (b) 9 jam (pembesaran 100x)

Struktur mikro material *cylinder liner* produk lokal setelah proses *liquid nitriding* yaitu fasa ferit (berwarna putih/terang) dan grafit serpih (berwarna hitam memanjang). Lapisan *nitriding* yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh lamanya waktu penahanan proses yang dilakukan. Material *cylinder liner* produk lokal yang telah dilakukan peningkatan kualitas permukaannya melalui metoda nitriding, memiliki struktur dengan fasa senyawa nitrida pada permukaannya sedangkan fasa bagian dalam (tengah) materialnya adalah tetap yaitu matriks *feritik* (Gambar 5).

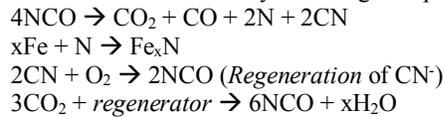
Hasil pengukuran lapisan *nitriding* dengan waktu 9 jam menghasilkan lapisan yang optimum (ketebalan dan kehomogenan lapisan). Proses *nitriding* dengan waktu 3 jam menghasilkan lapisan yang kurang merata, maka oksida besi akan terbentuk dan besarnya hanya beberapa persen dari ketebalan lapisan *nitriding*. Gambar 6 memperlihatkan hasil pengukuran ketebalan lapisan rata-rata pada *cylinder liner* produk lokal setelah dilakukan *liquid nitriding*.



Gambar 6. Ketebalan rata-rata lapisan *nitriding* pada material *cylinder liner* lokal dengan variasi waktu proses: 3 dan 9 jam.

Proses pembentukan lapisan nitrida pada proses *liquid nitriding* terdiri dari beberapa tahap yaitu aksi pembentukan senyawa nitrida (FeN , Fe_2N dan Fe_4N) adalah terjadi sebagai reaksi dari adanya difusi monoatomik unsur N (Nitrogen)

kedalam permukaan logam *ferrous* (baja atau besi cor), hal ini terjadi sebagai akibat reaksi penguraian sianat yang terbentuk dari garam sianida dan aktivator yaitu mengikuti persamaan reaksi (ISIJ International, 2006):

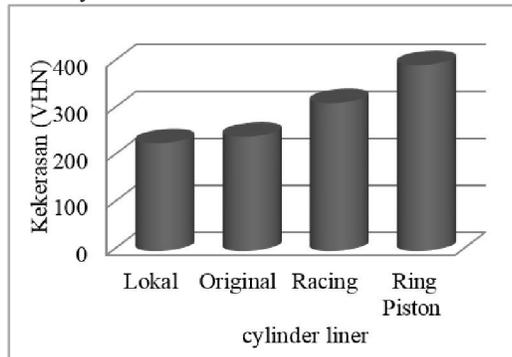


Pada proses *salt bath nitriding*, sumber unsur nitrogen (N) merupakan larutan garam sianida cair yang pada saat pemanasan terjadi reaksi dengan garam aktivator. Bila proses *nitriding* berlangsung pada temperatur tinggi ($> 640^\circ\text{C}$), akan menyebabkan senyawa nitrida (Fe_4N dan Fe_2N) lebih fokus terbentuk pada batas butir

3.4 Kekerasan Awal Material *Cylinder Liner*

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan metoda mikro vikers specimen awal diperoleh nilai kekerasan material *cylinder liner* lokal adalah rata-rata sebesar 229,12 VHN, sedangkan produk original sebesar 243,04 VHN dan spesial kompetisi (*racing*) memiliki kekerasan rata-rata 314,45 VHN, serta ring piston memiliki kekerasan yang lebih tinggi yaitu rata-rata sebesar 395,36 VHN. Dengan demikian kekerasan *cylinder liner* spesial kompetisi (*racing*), 27% lebih tinggi dibandingkan kekerasan bahan lokal dan kekerasan ring piston 42% lebih tinggi dibandingkan kekerasan *cylinder liner* bahan lokal. Gambar 7. Memperlihatkan nilai kekerasan berbagai jenis *cylinder liner*.

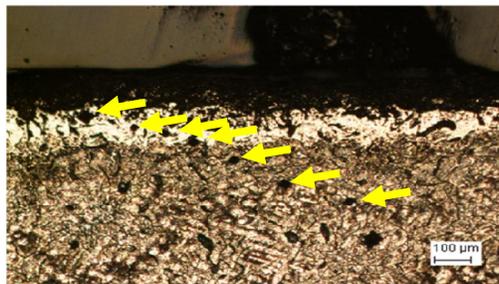
Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan tersebut maka dapat dinyatakan bahwa material *cylinder liner* spesial kompetisi memiliki ketahanan terhadap keausan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan material original dan lokal. Kekerasan material ring piston dibandingkan dengan kekerasan semua material *cylinder liner* lebih tinggi sehingga pada aplikasi dilapangan material *cylinder liner* yang harus diganti walaupun pada kenyataannya penggantian dilakukan terhadap keduanya.



Gambar 7. Kekerasan *cylinder liner* lokal, original, racing dan ring piston.

3.5 Kekerasan *Cylinder Liner* Lokal Hasil Liquid Nitriding

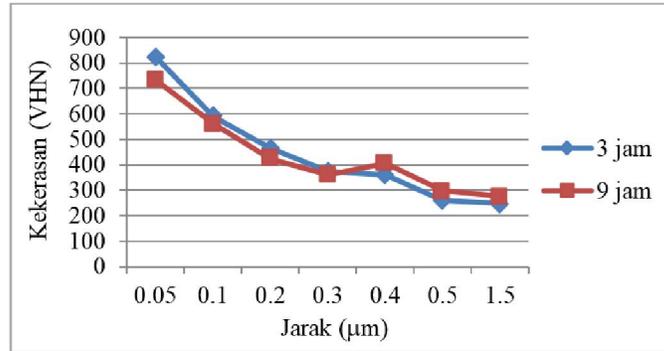
Lokasi dan bekas pengujian kekerasan hasil proses *salt bath nitriding* yang dilakukan pada specimen *cylinder liner* produk lokal diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Photo hasil kekerasan mikro (Hv) lapisan *nitriding* pada material *cylinder liner* lokal.

Senyawa nitrida dari hasil proses *nitriding*, memiliki harga kekerasan yang relatif tinggi yaitu antara: 500-1000 VHN sehingga permukaan material akan memiliki ketahanan aus yang tinggi pula, disamping itu proses *nitriding* ini akan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) sebesar 20-80%⁹⁾.

Hasil pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan specimen sampai ke substrat (Gambar 8), nilainya dapat diplot dalam grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 9.

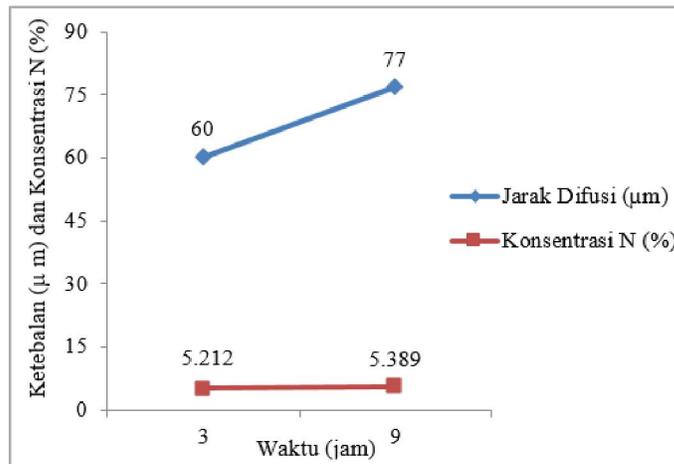


Gambar 9. Distribusi nilai kekerasan lapisan nitriding pada material *Cylinder liner* lokal Hasil Proses Nitriding.

Dari hasil pengujian kekerasan, dapat dinyatakan bahwa semakin lama waktu penahanan, nilai kekerasan semakin besar, karena semakin besar konsentrasi Nitrogen yang berdifusi kedalam spesimen sehingga kekerasannya bertambah besar (karena pembentukan senyawa nitrida).

Lapisan hasil proses *salt bath nitriding* pada besi cor kelabu dari komponen *cylinder liner* dengan variasi waktu 3 dan 9 jam, menghasilkan karakteristik yang relatif berbeda. Lapisan nitrida dengan waktu proses nitriding 3 jam menghasilkan kekerasan permukaan sebesar 825 VHN, sedangkan waktu proses 9 jam menghasilkan kekerasan permukaan sebesar 733 VHN. Dengan demikian maka dapat diketahui bahwa proses nitriding metoda *salt bath* dengan waktu 3 dapat meningkatkan kualitas bahan *cylinder liner* produk lokal sebesar 260%.

Ketebalan optimum lapisan nitrida diperoleh dari hasil proses nitriding dengan waktu 9 jam yaitu rata-rata 77 μm atau 0,077 mm (pengukuran berdasarkan struktur). Ketebalan lapisan berdasarkan standar pengukuran DIN 50 190-3 dimana ketebalan ditarik garis vertikal 50 VHN_{0,5} dari kekerasan inti (substrat/material dasar), maka diperoleh ketebalan optimum pada waktu proses nitriding 9 jam adalah sebesar 60 μm atau 0,06 mm (Gambar 10). Gambar 10 memperlihatkan pula bahwa semakin lama waktu penahanan proses *salt bath nitriding* yang dilakukan, menyebabkan konsentrasi Nitrogen yang berdifusi kedalam permukaan material bertambah. Konsentrasi nitrogen yang terdapat pada permukaan material besi cor akan menyebabkan terbentuknya senyawa nitrida pada permukaan material, dimana setiap jenis senyawa nitrida memiliki kekerasan yang berbeda pula. Senyawa nitrida Fe₂N dengan konsentrasi dibawah 11% memiliki kekerasan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan nitrida Fe₄N yang terbentuk dengan konsentrasi nitrogen dibawah 5,9%.



Gambar 10. Ketebalan lapisan nitriding rata-rata (μm) dan konsentrasi nitrogen (%) pada *cylinder liner* hasil nitriding dengan variasi waktu proses: 3 dan 9 jam.

Kesimpulan

1. Struktur bahan *cylinder liner* lokal, original dan spesial kompetisi (*racing*), adalah material besi cor kelabu dengan grafit berbentuk serpih.
2. Proses Nitriding dengan metoda *liquid salt bath* dengan waktu 3 jam dapat meningkatkan kualitas bahan *cylinder liner* produk lokal sebesar 260% dan memiliki struktur nitrida Fe₄N.
3. Lapisan nitrida dengan waktu proses nitriding 3 jam menghasilkan kekerasan permukaan sebesar 825 VHN, sedangkan waktu proses 9 jam menghasilkan kekerasan permukaan sebesar 733 VHN.

4. Ketebalan optimum lapisan nitrida diperoleh dari hasil proses nitriding dengan waktu 9 jam yaitu rata-rata 77 μm atau 0,077 mm (pengukuran berdasarkan struktur mikro) atau sebesar 60 μm atau 0,06 mm (pengukuran berdasarkan DIN 50 190-3).
5. Komposisi kimia material *cylinder liner* lokal, original dan spesial kompetisi (*racing*), mengacu berdasarkan standar ASTM A 159 yaitu spesifikasi standar untuk aplikasi besi cor kelabu pada automotif, tergolong grade 2500. Material komponen *cylinder liner* spesial *racing* memiliki kualitas bahan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan produk original maupun lokal.

Daftar Pustaka

- ASTM International A159-83. (2001). *Standard Specification for Automotive Gray Iron Castings*, ASTM International, United States.
- ASTM International A247-67. (1998). *Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings*, ASTM International, United States.
- ASM International Handbook (Volume 1). (1993). *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, ASM International, United States.
- Davis, J.R. (2002). Process Selection Guide. In *Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics*, ASTM International, United States.
- Heinemann, B. (2000). *Foseco Ferrous Foundryman's Handbook*, John R. Brown, Printed India.
- Yamagata, H. (2005). *The Science and Technology of Materials in Automotive Engines*. Woodhead Publishing, Cambridge, England.
- Shen, Y. Z., Oh, K. H., & Lee, D. N. (2006). Nitriding of Interstitial Free Steel in Potassium–Nitrate Salt Bath. *ISIJ international*, 46(1), 111-120.
- Leppanen, R., & Jonsson, H. (1999). Properties of nitrided components--a result of the material and the nitriding process. *Ovako Steel Technical Report(Sweden)*, 1, 14..
- Cain, T. (1984). *Hardening Tempering and Heat Treatment*, Argus Books Ltd., Wheatons Ltd Exxeter.
- Abdulhussain, U. S., Hassan, T. E., & Gasim, M. M. (2007). Cylinder Liner Wear Comparison Between Inline, Offset and Twin Crankshaft Internal Combustion Engines", *Sudan Engineering Society Journal*, 53(48), 41-50.
- Callister, W.D. (2007). *Materials Science and Engineering: An Introduction*, John Wiley & Sons, Inc, New York.