

Pengaruh Degree of Availability (DOA) Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) Sebagai Sumber Nitrogen pada Proses Pack Nitriding terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Sprocket Non Pabrik Resmi

Yustiasih Purwaningrum^{1*}, M. Riza Yudhawan², A. Rahman³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Ngemplak, Sleman, Yogyakarta

^{2,3}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Ngemplak, Sleman, Yogyakarta

*Corresponding author: yustiasih.purwaningrum@uui.ac.id

Abstract

The aimed of this experimen is to determine the effect of degree of availability (DOA) variation of urea as a source of nitrogen in the pack nitriding process on the physical and mechanical properties of sprockets that manufactured from non-official motorcycle manufacturer. The DOA variation used is 0.1 gr/mm²; 0.15 gr/mm²; and 0.2 gr/mm². The pack nitriding process is carried out using a temperature of 550°C, a holding time of 2.5 hours and a cooling process with water medium. The testing process carried out is chemical composition, wear, hardness, observation of microstructure and corrosion rate. The results of the chemical composition test showed that the nitrogen content of all DOA variations of the nitriding pack increased compared to before the pack nitriding process. The amount of nitrogen from pack nitriding with DOA variation were 0.1336 % for 0.1 gr/mm²; 0.1938 % to 0.15 gr/mm²; and 0.1996 % for 0.2 gr/mm². While non-official manufacturer sprockets have a nitrogen content of 0.0004%. The wear value of the nitriding pack is smaller than before the nitriding pack. The lowest wear value was found in the nitriding pack result with a DOA of 0.2 gr/mm², which was 0.00011 mm³/kg.m. This value shows that the nitriding pack has more wear resistance compared to the initial material which has a value of 0.00059 mm³/kg.m. The pack nitriding process can also increase the hardness value. The hardness value of the sprocket before the nitriding process is 266.67 VHN. The results of pack nitriding showed that the highest hardness value was found in the DOA variation of 0.2 gr/mm² with a value of 356.18 VHN, followed by DOA 0.15 gr/mm² with a value of 315.11 VHN and the lowest value was found in DOA 0.1 gr/mm² with a value of 267.67 VHN. The results of corrosion testing show that all specimens before and after the nitriding process can be categorized as having excellent corrosion resistance.

Keywords: pack nitriding, DOA (degree of availability), wear, hardness, corrosion

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *degree of availability (DOA)* atau derajat ketersediaan urea sebagai sumber nitrogen dalam proses *pack nitriding* terhadap sifat fisik dan mekanik dari *sprocket* non – pabrik resmi sepeda motor. Variasi DOA yang digunakan adalah 0,1 gr/mm²; 0,15 gr/mm²; dan 0,2 gr/mm². Proses *pack nitriding* dilakukan dengan menggunakan temperatur 550°C, waktu penahanan 2,5 jam dan proses pendinginan dengan media air. Proses pengujian yang dilakukan adalah komposisi kimia, keausan, kekerasan, , pengamatan struktur mikro dan laju korosi. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa kandungan nitrogen hasil *pack nitriding* semua variasi DOA nilainya meningkat dibandingkan sebelum proses *pack nitriding*. Jumlah nitrogen hasil *pack nitriding* dengan variasi DOA adalah 0,1336 % untuk 0,1 gr/mm²; 0,1938 % untuk 0,15 gr/mm²; dan 0,1996 % untuk 0,2 gr/mm². Sedangkan *sprocket* non pabrik resmi mempunyai kadar nitrogen 0,0004 %. Nilai keausan hasil *pack nitriding* lebih kecil dibandingkan sebelum *pack nitriding*. Nilai keausan terendah terdapat pada hasil *pack nitriding* dengan DOA 0,2 gr/mm² yaitu 0,00011 mm³/kg.m. Nilai tersebut menunjukkan hasil *pack nitriding* mempunyai ketahanan aus lebih dibandingkan dengan material awal yang mempunyai nilai 0,00059 mm³/kg.m. Proses *pack nitriding* juga dapat meningkatkan nilai kekerasan. Nilai kekerasan *sprocket* sebelum proses nitriding adalah 266,67 VHN. Hasil *pack nitriding* menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi DOA 0,2 gr/mm² dengan nilai 356,18 VHN, diikuti oleh DOA 0,15 gr/mm² dengan nilai 315,11 VHN dan nilai terendah terdapat pada DOA 0,1 gr/mm² dengan nilai 267,67 VHN. Hasil pengujian korosi menunjukkan semua spesimen sebelum dan sesudah proses nitriding dapat dikategorikan mempunyai ketahanan korosi sangat baik.

Kata kunci: *pack nitriding*, DOA (*degree of availability*), keausan, kekerasan, korosi

1. Pendahuluan

Menurut data BPS (Biro Pusat Statistik) jumlah sepeda motor di Indonesia pada tahun 2023 adalah 132,43 juta belum termasuk beberapa provinsi di Papua (Papua Barat Daya, Papua Tengah, Papua Selatan dan Papua Pegunungan) [1]. Sehingga kebutuhan *spare part* sepeda motor sangat besar, salah satunya adalah *sprocket*. *Sprocket* dalam pemakaiannya mengalami pengurangan masa karena keausan sehingga harus diganti setelah pemakaian 154 ribu siklus [2]. Karena keterbatasan kemampuan ekonomi, maka banyak pemakai sepeda motor menggunakan *spare part* yang diproduksi oleh pabrikan non resmi. *Spare part* tersebut mempunyai harga lebih murah tetapi lebih cepat rusak karena sifat mekanik dan fisiknya lebih rendah dibandingkan dengan *spare part* produksi dari pabrikan resmi sepeda motor.

Beberapa metode dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik khususnya kekerasan dan keausan yang disebabkan karena bentuk karbida yang tidak teratur (*irregular*). Metode tersebut antara lain adalah metode pengerasan permukaan sebagai contoh adalah *plasma nitriding* dan *ion nitriding* [3,4].

Nitriding merupakan proses perlakuan permukaan secara *thermochemical* yaitu penambahan unsur nitrogen yang dilakukan pada temperatur 500-550°C [5] yang bertujuan meningkatkan sifat dari material khususnya ketahanan terhadap *fatigue*, keausan dan korosi [6,7,8]. Pada proses *nitriding* terdapat dua proses yang berlangsung yaitu pembentukan lapisan dan difusi nitrogen pada logam [9]. Pengaruh proses *nitriding* pada baja tergantung pada komposisi kimia hasil *nitriding* dan ketebalan lapisan nitrida. Hasil proses *nitriding* tergantung dari beberapa variabel yaitu sifat material induk, temperatur *nitriding*, sumber nitrogen dan waktu *nitriding* [10,11]. Proses *nitriding* dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain *plasma nitriding*, *liquid nitriding* dan *pack nitriding*.

Proses *nitriding* pada *bearing* meningkatkan kekerasan karena adanya presipitasi nitrogen di dalam *bearing* [11] tetapi proses *nitriding* menghasilkan lapisan nitrida yang menyebabkan material rentan menjadi getas [12] karena sifatnya yang keras. Peningkatan ketahanan aus dan korosi sebesar 80,3 % terjadi pada paduan Inconel 718 yang dilakukan proses *liquid nitriding* [13]. Proses *nitriding* dengan media urea pada baja ST 40 dengan variasi waktu 3 jam, 4 jam dan 5 jam menunjukkan bahwa waktu 5 jam menghasilkan nilai kekerasan tertinggi yaitu 116,51 HB [14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh DOA (*Degree of Availability*) urea pada proses *pack nitriding* terhadap sifat fisik dan mekanik *sprocket* dari pabrikan non resmi sepeda motor.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Tabel 1. Komposisi Kimia *Sprocket*

Unsur	Pabrikan Resmi	Pabrikan Non-Resmi
Fe	98,7296	97,9580
S	0,0102	0,0107
Al	0,0330	0,0194
C	0,6893	0,5290
Ni	0,0053	0,0090
Si	0,0074	0,1044
Cr	0,0323	0,0110
V	0,0004	0,0005
Mn	0,2998	1,1952
W	0,0001	0,0125
P	0,0217	0,0117
Cu	0,0077	0,0094
Ti	0,0011	0,1044
N	0,1639	0,0004
Pb	0,0001	0,0025
Mg	0,0001	0,0011
Zn	0,0007	0,0042
Co	0,0018	0,0125

Bahan yang digunakan adalah *sprocket* tipe 93822 - 15069 dari pabrikan resmi yang digunakan sebagai pembanding dan *sprocket* tipe 428 – 15T dari pabrikan non resmi sepeda motor. Tabel 1

menunjukkan komposisi kimia *sprocket* yang digunakan.

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung nitridasi dan *furnace*.

2.2 Proses Nitriding

Proses nitriding dilakukan dengan menggunakan metode *pack nitriding* dengan menggunakan temperatur 550°C waktu penahanan 2,5 jam dan pendinginan udara. Sumber nitrogen yang digunakan adalah urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ dengan variasi DOA (*Degree Of Availability*) 0,1 : 0,15; dan 0,2 gr/mm^2 . Jumlah urea yang digunakan untuk tiap variasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Urea

DOA (gr/mm^2)	Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (gr)
0,1	92,2
0,15	138,3
0,2	184,4

2.3 Proses Pengujian

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan, pengamatan struktur mikro pengujian keausan dan pengujian korosi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia yang dilakukan pada *sprocket* non pabrikan resmi setelah dilakukan proses *pack nitriding* adalah seperti terlihat pada tabel 3.

Kadar nitrogen hasil *pack nitriding* dengan variasi DOA mengalami peningkatan. Kadar nitrogen sebelum proses *pack nitriding* adalah 0,0004 % (tabel 2), dan adalah hasil *pack nitriding* nilainya 0,1336 %, 0,1938% dan 0,1996% untuk variasi DOA 0,1 gr/mm^2 , 0,15 gr/mm^2 ; dan 0,2 gr/mm^2 . Hal ini disebabkan karena pada proses pemanasan media senyawa (Urea) bereaksi stabil dan terdifusi ke dalam logam pada suhu sampai 570°C dalam waktu 2-16 jam [14]. Untuk variasi DOA 0,15 gr/mm^2 dan 0,2 gr/mm^2 nilainya lebih tinggi

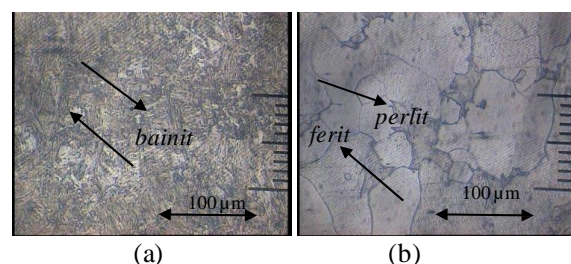
dibandingkan *sprocket* dari pabrikan resmi yang memiliki kadar nitrogen 0,1639 %.

Tabel 3. Komposisi Kimia

Unsur (%)	DOA Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (gr/mm^2)		
	0,1	0,15	0,2
Fe	97,7923	97,6270	97,6852
S	0,0126	0,0125	0,0126
Al	0,0492	0,0484	0,0495
C	0,3885	0,4893	0,4251
Ni	0,0737	0,0735	0,0737
Nb	0,0171	0,0169	0,0175
Si	0,1047	0,1040	0,1054
Cr	0,1323	0,1319	0,1322
V	0,0010	0,0009	0,0011
Mn	1,2535	1,2489	1,2555
W	0,0001	0,0001	0,0001
P	0,0244	0,0227	0,0223
Cu	0,0102	0,0095	0,0101
Ti	0,0022	0,0022	0,0023
N	0,1336	0,1938	0,1996
B	0,0002	0,0002	0,0002
Pb	0,0001	0,0001	0,0001
Sb	0,0016	0,0014	0,0020
Ca	0,0012	0,0016	0,0016
Mg	0,0001	0,0001	0,0001
Zn	0,0006	0,0006	0,0006
Co	0,0041	0,0041	0,0042

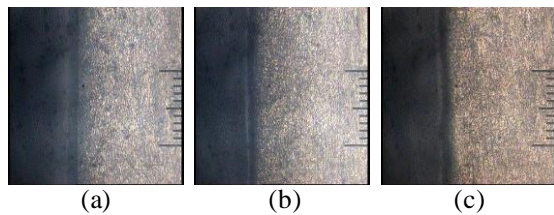
3.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100 kali. 10 strip pada gambar struktur mikro menunjukkan nilai 100 μm . Struktur mikro *sprocket* sebelum proses *pack nitriding* dapat terlihat pada gambar 1. Struktur mikro *sprocket* dari pabrikan resmi berupa bainit sedangkan produk keluaran pabrikan non resmi berupa ferit dan perlit



Gambar 1. Struktur mikro *sprocket* (a) Pabrikan resmi (b) Pabrikan non resmi

Gambar 2 menunjukkan pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik yang menunjukkan lapisan nitrida yang terbentuk setelah proses *pack nitriding* dengan variasi DOA.

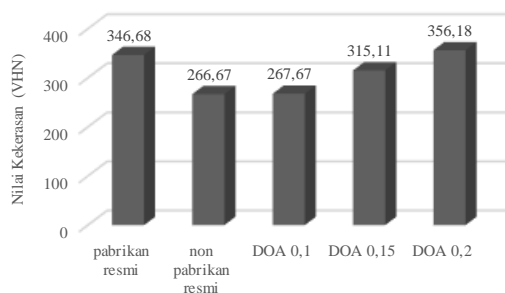


Gambar 2. Struktur mikro *sprocket* dengan variasi DOA (a) 0,1 gr/mm² (b) 0,15 gr/mm² (c) 0,15 gr/mm²

Dari gambar 2 terlihat adanya lapisan putih (*white layer*) yang merupakan senyawa nitrida (Fe₄N) pada hasil *pack nitriding* dengan semua variasi DOA. Ketebalan lapisan nitrida untuk hasil *pack nitriding* dengan variasi DOA adalah 2,5 μm, 5 μm dan 7,5 μm untuk DOA 0,1 gr/mm², 0,15 gr/mm² dan 0,2 gr/mm². Lapisan ini membentuk ikatan logam dan non logam dengan besi seperti ikatan keramik.

3.3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers microhardness* dengan beban 200 gr. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap variasi. Gambar 3 menunjukkan nilai rata-rata kekerasan *sprocket*.



Gambar 3. Nilai kekerasan *sprocket*

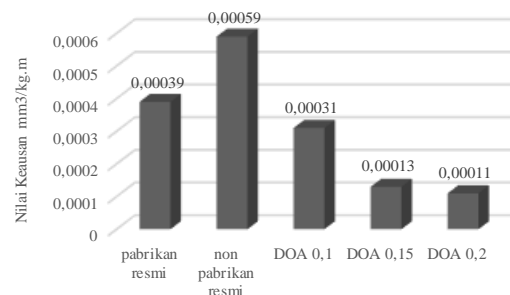
Nilai kekerasan sprocket non pabrik resmi setelah proses *pack nitriding* mengalami peningkatan dibandingkan

dengan sebelum proses *pack nitriding*. Semakin tinggi nilai DOA maka semakin tinggi nilai kekerasan dari *sprocket*. Hal tersebut dapat dihubungkan dengan hasil pengamatan struktur mikro yang menunjukkan tebal lapisan nitrida terbesar terdapat pada variasi DOA 0,2 gr/mm². Lapisan nitrida berupa keramik ini mempunyai nilai kekerasan yang tinggi [11]. Lapisan nitrida terbentuk karena adanya difusi atom nitrogen yang berada pada fase ferit pada temperatur (500-590) °C [15] dan mempunyai kekerasan lebih stabil pada pemanasan dengan temperatur 600 °C [16].

3.3 Pengujian Keausan

Hasil pengujian keausan dapat dilihat pada gambar 4. Hasil pengujian menunjukkan nilai keausan untuk *sprocket* produksi pabrik resmi dan non resmi adalah 0,00039 mm³/kg.m dan 0,00059 mm³/kg.m. Untuk *sprocket* produksi non pabrik resmi yang telah dilakukan proses *pack nitriding* nilainya turun cukup signifikan antara 47,45 % sampai 81,35 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai ketahanan terhadap aus atau gesekan meningkat. Nilai keausan tersebut juga lebih baik jika dibandingkan dengan *sprocket* produksi pabrik resmi.

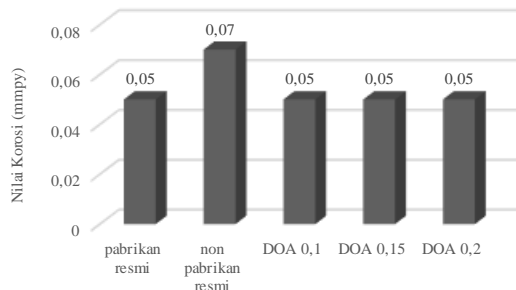
Nilai keausan material dengan variasi DOA berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan nitrida yang terbentuk (Gambar 2). Semakin tebal lapisan nitrida maka material akan mempunyai ketahanan aus lebih tinggi [17].



Gambar 4. Nilai keausan *sprocket*

3.4 Pengujian Korosi

Gambar 4 menunjukkan nilai keausan dari *sprocket*. Nilai laju korosi *sprocket* hasil pack nitriding dengan variasi DOA mempunyai nilai sama dengan *sprocket* produksi pabrikan resmi yaitu 0,05 mmpy. Sedangkan *sprocket* produksi pabrikan non resmi nilainya 0,07 mmpy.



Gambar 4. Nilai korosi *sprocket*

Nilai laju korosi tersebut jika dibandingkan dengan standar korosi pada tabel 4 maka dapat dikategorikan sebagai *excellent* atau sangat baik.

Tabel 4. Standar Korosi [18]

Relative Corrosion Resistance	Standar (mmpy)
<i>Outstanding</i>	< 0,02
<i>Excellent</i>	0,02 – 0,1
<i>Good</i>	0,1 – 0,5
<i>Fair</i>	0,5 – 1
<i>Poor</i>	1 - 5
<i>Unacceptable</i>	> 0,5

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian proses *pack nitriding* dengan variasi DOA Urea (0,1 gr/mm², 0,15 gr/mm² dan 0,2 gr/mm²) dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik pada *sprocket* produksi pabrik non resmi sepeda motor.

Kandungan nitrogen pada hasil *pack nitriding* dengan variasi DOA mempunyai nilai 0,1336 %; 0,1938 % dan 0,1996 %.

Referensi

[1] www.bps.go.id/id/statistics-table/3 (diakses 11 November 2024)

[2] Tentua, B.G., Tupamahu, C.S.E., 2023, Evaluasi umur pakai sprocket roda belakang sepeda motor jupiter Z1, Prosiding Semnas Archipelago Engineering, hal 98-101

[3] Yao J.W., et al., 2021. Dual-strengthening of steel surface and bulk via synergistic effect of plasma nitriding: a case study of M50 steel[J]. *Surf Coat Technol* 2021;409:126910.

[4] Niu J.B., et al., 2023. Effect of nitriding on the transformation of alloy carbides (VC and Mo₂C) in 8Cr4Mo4V steel[J]. *Appl Surf Sci* 610:155561.

[5] Zeghni, A.E. and Hashmi, M.S.J., 2005. The Effect of Coating and Nitriding on the Wear Behaviour of Tool Steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 155- 156, 1918-1922.

[6] Straffelini, G., Avi, G. and Pellizzari, M., 2002. Trento: Effect of Three Nitriding Treatments on Tribological Performance of 42CrAlMo7 Steel in Boundary Lubrication. *Wear*, 252, 870-879.

[7] Yang, J., et.al., 2011. Microstructural and Tribological Characterization of Plasma- and Gas-Nitrided 2Cr13 Steel in Vacuum. *Materials & Design*, 32, 808-814.

[8] Terres M.A., and Ammari L., 2017, Study of the Effect of Gas Nitriding Time on Microstructure and Wear Resistance of 42CrMo4 Steel Abdelkarim Chérif *Materials Sciences and Applications*, 8, 493-507

[9] Solgi, PP., et. Al., 2023, Heat checking as a failure mechanism of dies exposed to thermal cycles: A review, *Journal of Materials Research and Technology Vol 26* Pages 865-895

[10] Baranowska, J., et.al., 2007. Wear Behaviour of Low- Temperature Gas Nitrided Austenitic Stainless Steel in

- a Corrosive Liquid Environment. *Wear*, 263, 669-673.
- [11] Yan M.F., Chen B.F., Li B. 2018. Microstructure and mechanical properties from an attractive combination of plasma nitriding and secondary hardening of M50 steel [J]. *Appl Surf Sci* 2018;455:1–7.
- [12] Gathmann M., Tönnißen N., Baron C., Kostka A., Steinbacher M., 2024. Surface hardening of high modulus steels through carburizing and nitriding: First insights into microstructure property relationships, *Surface & Coatings Technology* 494
- [13] Xue, L et al. 2020. Enhancement of wear and erosion – corrosion resistance of Inconel 718 alloy by liquid nitriding. *Journal: Material Research Express*
- [14] Rumendi, U., dan Hermawan, H., 2014. Analisis Pengerasan Permukaan dan Struktur Mikro Baja AISI 1045 Melalui Proses Nitridasi Menggunakan Media Urea. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*. Edisi II, pp 104-109[15]
- Setiawan, A. B., dan Purwadi, W., 2009. Pengaruh Temperatur dan Waktu Proses Nitridasi Terhadap Kekerasan Permukaan FCD 700 Dengan Media Nitridasi Urea. *Seminar Nasional Kluster Riset Teknik Mesin*. Politeknik Manufaktur Negeri Bandung. Bandung.
- [16] Intan, M.G., 2004. Pengaruh Jumlah Urea dan Waktu Proses Pada Powder Nitriding Baja Karbon Rendah. *Skripsi. Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung*. Bandung.
- [17] Arif, A., Rupajati, P., dan Suastiyanti, D., 2020. Analisis Variasi Temperatur Nitridasi Plasma terhadap Kekerasan, Keausan dan Struktur Mikro Baja AISI 4340 pada Poros Transmisi. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, Vol 4. No.2 pp. 46-51
- [18] Trisbenheiser. 2020. Pengaruh Proses *Nitriding* Terhadap

Perubahan Kekerasan dan Keausan Permukaan Baja ST 40 Dengan Variasi Suhu Dan Waktu. *Jurnal Sinergi*. Vol. 18, No.2.