

**MODIFIKASI KOMPOSISI DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN
PLASMA NITRIDASI UNTUK MENINGKATKAN KEKERASAN DAN
KETAHANAN AUS TITANIUM MURNI KOMERSIAL**



**Disusun Sebagai Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata Satu
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh :

HANDIKA PRADANA

D 200 130 212

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**MODIFIKASI KOMPOSISI DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN PLASMA
NITRIDASI UNTUK MENINGKATKAN KEKERASAN DAN KETAHANAN
AUS TITANIUM MURNI KOMERSIAL**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

HANDIKA PRADANA

D 200 130 212

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen
Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, sweeping loop followed by several sharp, angular strokes.

Agung Setyo Darmawan, ST, MT

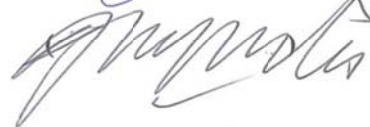
HALAMAN PENGESAHAN
MODIFIKASI KOMPOSISI DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN PLASMA
NITRIDASI UNTUK MENINGKATKAN KEKERASAN DAN KETAHANAN
AUS TITANIUM MURNI KOMERSIAL

Oleh:
HANDIKA PRADANA
D 200 130 212

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Jum'at, 28 Desember 2018

Dewan Penguji:

1. Agung Setyo Darmawan, ST, MT.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Tri Tjahjono, MT.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Bibit Sugito, MT
(Anggota II Dewan Penguji)

()
()


Dekan,

Ir. Sri Sunaryono, MT, Ph.D.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diberikan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 31 Juli 2018

Penulis



Handika Pradana

D 200 130 212

MODIFIKASI KOMPOSISI DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN PLASMA NITRIDASI UNTUK MENINGKATKAN KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS TITANIUM MURNI KOMERSIAL

Abstrak

Perkembangan teknologi yang maju pada saat ini, membutuhkan material-material berkualitas baik, khususnya yang berbahan dasar logam. Sifat-sifat mekanik material logam seperti : kekerasan, kekuatan, keliatan, dan keausan yang selalu berhubungan dengan komposisi dan struktur mikro pada material tersebut. Hal ini mendorong perlunya penelitian serta pengembangan teknologi, akan perubahan komposisi dan struktur mikro logam, pada material logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu proses terhadap komposisi, struktur mikro, kekerasan dan laju keausan dari material titanium murni komersial sebelum dan setelah proses plasma nitridasi. Pada penelitian ini digunakan variasi waktu 2, 3, 4, dan 5 jam serta variasi temperatur 350 °C dan 450 °C dengan tekanan nitrogen tetap yaitu 1,6 mbar. Dari hasil pengujian didapat nilai kekerasan yang awalnya (raw material) 105,75 VHN, dengan proses plasma nitridasi optimum selama 4 jam dengan suhu 450 °C dan tekanan 1,6 bar naik menjadi 227,46 VHN, atau mengalami peningkatan 115%. Pada pengujian keausan yang awalnya $4,0148 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{kg}$ mengalami penurunan menjadi $7,87 \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Perubahan sifat mekanik tersebut terjadi karena berubahnya komposisi dan struktur mikro pada titanium murni komersial.

Kata Kunci : Plasma, Nitridasi, Titanium , komposisi,

Abstract

The development of advanced technology at this time requires good quality materials, especially those made from metal. Mechanical properties of metal materials such as: hardness, strength, ductility, and wear resistance which always relates to the composition and microstructure of the material. This development encourages the need of the metal composition and microstructure in research and technology. This study is purposed to determine the effect of process duration in to composition, microstructure, hardness and wear rate of commercially pure titanium material before and after the plasma nitriding process. The various duration process of 2, 3, 4, and 5 hours and temperature of 350 °C and 450 °C with a fixed nitrogen pressure of 1.6 mBar are applicated. From the test result, it was obtained that the value of the initial hardness (raw material) was 105,75 VHN. The hardness was optimally increased to 227,46 VHN (115 %) by duration process of 4 hours at temperature of 450 °C and pressure of 1,6 mBar. In the wear test, commercially pure titanium has decreased wear rate from $4,0148 \times 10^{-8}$ to $7,87 \times 10^{-9}$.

Keyword : Plasma, Nitriding, Titanium, composition,

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi terutama dalam bidang peningkatan efisiensi produksi akan mendorong perkembangan yang pesat dalam industri logam dan mesin. Perkembangan tersebut secara tak langsung menuntut tersedianya bahan untuk komponen-komponen mesin yang memiliki sifat mekanik tertentu sesuai dengan penggunaannya. Salah satunya adalah tingkat keausan suatu komponen.

Bahan titanium memiliki sifat ketahanan korosi dan rasio kekuatan terhadap densitasnya yang paling tinggi di antara semua logam lain, tetapi di dalam pemakaian titanium dapat bergesekan dengan bahan yang lain. Apabila itu terjadi, maka akan terjadi keausan. Gesekan biasanya didefinisikan sebagai gaya lawan (*opposing force*) yang terjadi bilamana dua permukaan saling bergerak relatif antara satu dengan yang lainnya. Gesekan yang terjadi ini bisa menimbulkan rusak atau hilangnya partikel dari suatu material yang dinamakan dengan keausan. Keausan terjadi apabila terdapat dua buah benda saling menekan dan saling bergesekan. Keausan yang lebih besar terjadi pada bahan yang lebih lunak (Ningsih & Kaelani, 2016)

Beberapa jenis perlakuan permukaan secara konvensional untuk meningkatkan sifat mekanik permukaan logam antara lain cara karburasi, nitridasi, karbonitridasi, nyala api, maupun induksi listrik. Dengan adanya kemajuan teknologi untuk memperbaiki sifat mekanik permukaan logam, saat ini mulai dikembangkan cara lain untuk membentuk lapisan tipis dan memperbaiki sifat-sifat pada permukaannya. Cara tersebut meliputi metode evaporasi, implantasi ion, plasma lucutan pijar RF (Radio Frekuensi), dan plasma lucutan pijar DC (*Direct Current*/Arus searah) (Suprpto dkk, 2010)

Salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan (*hardness*) dari bahan titanium adalah dengan teknik perlakuan permukaan (*surface treatment*) menggunakan plasma nitridasi. Menurut Sujitno (2003), *surface treatment* dapat didefinisikan sebagai suatu usaha dalam upaya meningkatkan kualitas/mutu permukaan suatu material/komponen. Dengan perlakuan permukaan, yang berubah sifat hanya pada permukaannya saja, sedangkan pada bagian dalam sifatnya tidak berubah. Hal tersebut dapat dilakukan dengan pertimbangan bahwa

dari bahan dengan kualitas sedang dapat diperoleh kualitas yang lebih baik dari bahan dasarnya.

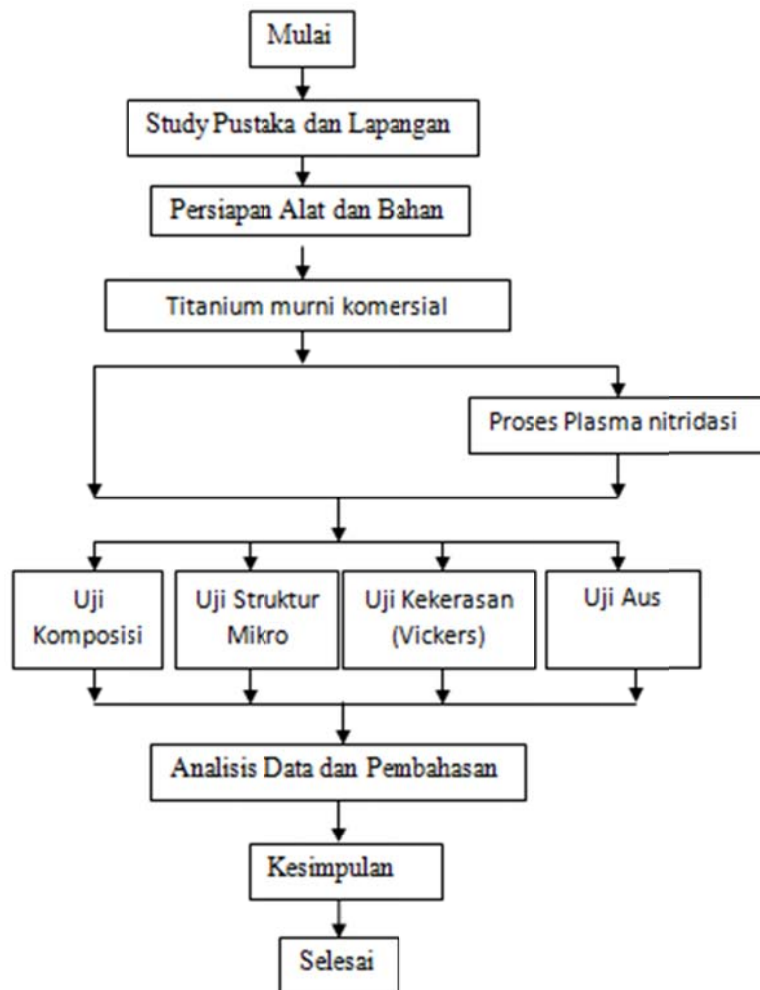
Dalam bidang rekayasa permukaan bahan, cara mengubah sifat permukaan suatu komponen pada dasarnya dapat ditempuh melalui dua cara yaitu pertama dengan menambahkan unsur lain/mengubah komposisi kimia, sedangkan yang kedua adalah dengan cara perlakuan panas. Dengan penambahan unsur lain/mengubah komposisi kimia dapat dilakukan dengan cara nitridasi, karburisasi dan cara nitrokarburisasi. Sedangkan apabila diinginkan dengan perlakuan panas, dapat dilakukan dengan cara induksi listrik maupun dengan cara nyala api, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan(Malau, 2003).

Dengan kemajuan iptek khususnya teknologi plasma, cara-cara konvensional seperti di atas mulai ditinggalkan dengan berbagai alasan seperti mengganggu lingkungan, prosesnya lama, pengontrolan sulit dan pemborosan. Untuk itu dikembangkanlah teknologi di bidang plasma untuk menyelesaikan berbagai persoalan yang berhubungan dengan bahan termasuk perlakuan permukaan (*surface treatment*) diantaranya plasma nitridasi. Plasma secara garis besar adalah gas terionisasi. Suatu gas dikatakan terionisasi jika terdiri dari atom-atom yang terionisasi bermuatan positif (ion) dan elektron yang bermuatan negatif.

Teknik plasma nitridasi merupakan teknik nitridasi yang baru dan ramah lingkungan. Prosesnya dilakukan pada kondisi vakum dengan diisi gas nitrogen dan kemudian diberi beda potensial diantara dua elektroda yang mengakibatkan terbentuknya ion nitrogen yang menuju ke benda kerja sehingga terjadi proses deposisi dan difusi ion nitrogen ke dalam permukaan benda kerja. Proses nitridasi plasma/ion merupakan salah satu proses perlakuan permukaan (*surface treatment*) yang dapat meningkatkan kualitas permukaan bahan baja dengan biaya yang lebih efisien (Sunarto, 2010).

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mesin CNC milling.
- b. Mesin bubut.
- c. Mesin plasma lucutan pijar DC milik PSTA Yogyakarta.
- d. Alat pencuci ultrasonik.

- e. Alat uji kekerasan menggunakan metode *Vickers* di PSTA Yogyakarta.
- f. Alat uji keausan *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine* di UGM (Universitas Gajah Mada).
- g. Alat uji SEM dan EDS di Politeknik ATMI Surakarta.
- h. Mesin poles.

2.2.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Material titanium murni komersial.
- b. Gas Nitrogen.
- c. Kertas *abrasive* (amplas) dari mulai tipe yang paling kasar hingga sampai yang paling halus, yaitu 150, 220, 400, 800, 1000, 1200, 1500, 3000, 5000 mesh.
- d. Alkohol sebagai bahan pembebas kotoran yang ada pada permukaan.
- e. Resin.
- f. Kain halus.
- g. Plastik klip.
- h. Kertas tissue untuk membungkus substrat.
- i. Autosol sebagai penghalus substrat.

2.3 Langkah Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian sebagai berikut :

- 1) Memotong dan memoles titanium murni komersial sesuai standar ukuran.
- 2) Melakukan pengujian kekerasan, laju keausan, struktur mikro dan komposisi titanium murni komersial.
- 3) Melakukan proses plasma nitridasi dengan parameter yang telah ditentukan.
- 4) Mempersiapkan benda uji yang sudah melalui proses plasma nitridasi untuk dilakukan pengujian.
- 5) Melakukan pengujian kekerasan, laju keausan struktur mikro dan komposisi titanium yang telah diproses plasma nitridasi.
- 6) Menyiapkan data dan melakukan analisis data.
- 7) Kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai Kekerasan Titanium Murni Komersial Hasil Proses Plasma Nitridasi

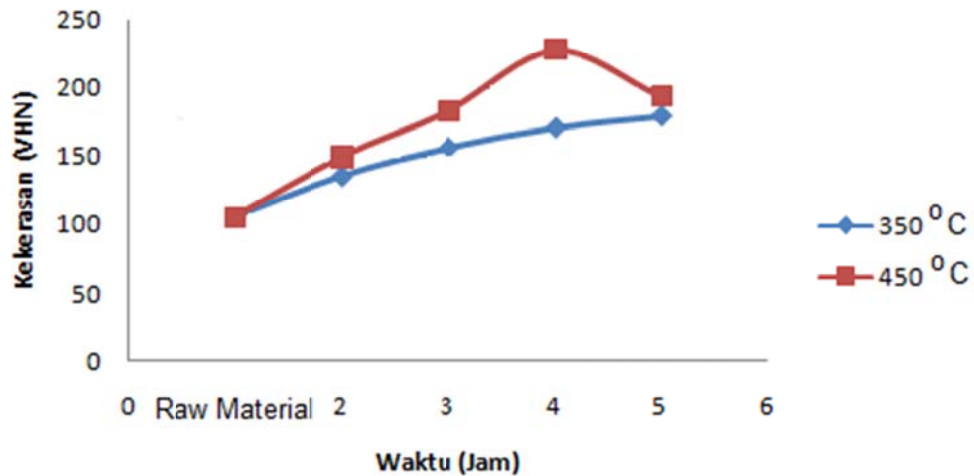
Nilai kekerasan titanium murni komersial sebelum proses plasma nitridasi adalah 105,75 VHN. Hasil pengujian kekerasan pada produk plasma nitridasi titanium murni komersial dengan variasi temperatur 350 °C dan 450 °C dengan variasi waktu 2, 3, 4, dan 5 jam serta tekanan gas nitrogen konstan 1,6 mbar dapat dilihat pada tabel 1 & 2 dibawah. Serta untuk grafik hubungan antara variasi temperatur dan waktu proses nitridasi terhadap kekerasan diperlihatkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Pengaruh Variasi Waktu Pada Proses Plasma Nitridasi Dengan Temperatur 350 °C Terhadap Kekerasan.

No	Waktu (Jam)	Temperatur (°C)	Kekerasan Vickers (VHN)
1	2	350	135,84
2	3	350	156,54
3	4	350	171,34
4	5	350	179,86

Tabel 2. Pengaruh Variasi Waktu Pada Proses Plasma Nitridasi dengan Temperatur 450 °C Terhadap Kekerasan.

No	Waktu (Jam)	Temperatur (°C)	Kekerasan Vickers (VHN)
1	2	450	149,52
2	3	450	183,16
3	4	450	227,46
4	5	450	193,64



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur dan Waktu Proses Plasma Nitridasi Terhadap Kekerasan

Dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi dicapai pada parameter proses plasma nitridasi dengan temperatur 450 °C. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa untuk temperatur optimum pada proses plasma nitridasi pada titanium murni komersial dapat dihasilkan dengan menggunakan temperatur 450 °C. Hal ini dimungkinkan karena atom-atom nitrogen yang terdeposisi pada permukaan masih sedikit dan substrat belum jenuh sehingga substrat masih bisa menerima atom-atom nitrogen untuk membentuk senyawa titanium nitrida. Jika waktu proses plasma nitridasi ditambah sampai pada temperature 500 °C atau lebih maka kekerasan akan bisa meningkat bahkan bisa menurun. Apabila menurun hal ini disebabkan karena adanya penambahan atom-atom nitrogen maka fasa keras bergeser menjadi fasa lunak atau atom-atom tersebut hanya menumbuk pada permukaan yang tidak sempat berdifusi dengan substrat. Sehingga pada proses ini dapat dikatakan bahwa semakin lama waktu proses plasma nitridasi maka tidak memperoleh hasil kekerasan yang maksimal melainkan kekerasan akan menurun.

Hasil dari pengujian kekerasan dengan variasi waktu menunjukkan bahwa nilai kekerasan produk hasil plasma nitridasi dari waktu 2 jam sampai 4 jam mengalami kenaikan. Hal ini mungkin disebabkan karena apabila waktu makin lama maka kerapatan atom-atom nitrogen yang terionisasi dan terdeposisi pada permukaan material makin banyak. Sedangkan pada waktu 5 jam hasil kekerasannya menurun. Hal ini dapat dimungkinkan karena permukaan material titanium mengalami fase jenuh yang disebabkan laju deposisi menjadi lebih besar sehingga tidak terjadi kesetimbangan antara laju deposisi dan difusi atom nitrogen pada titanium murni komersial. Penumpukan atom nitrogen pada permukaan menyebabkan laju deposisi lebih besar dari pada laju difusi.

Penelitian dengan variasi waktu digunakan untuk mencari waktu yang optimal pada proses nitridasi sehingga dihasilkan kekerasan maksimal pada permukaan substrat yang diplasma nitridasi. Semakin tinggi waktu operasi, maka gas yang dimasukkan kedalam ruangan reaktor plasma makin banyak sehingga atom-atom nitrogen yang terionisasi dan terdeposisi banyak.

Tekanan gas nitrogen yang digunakan adalah 1,6 mbar dikarenakan dari hasil penelitian sebelumnya dengan mesin dan variasi waktu yang sama diperoleh hasil optimum dengan tekanan tersebut. Karena hasil kekerasan permukaan titanium yang mengalami proses plasma nitridasi dengan tekanan ini dipengaruhi oleh perbedaan tingkat banyaknya molekul gas yang dimasukkan dalam tabung reaktor. Makin tercapainya tingkat keidealan jumlah molekul gas yang dimasukkan kedalam tabung reaktor maka kekerasan yang diperoleh makin meningkat. Dengan penambahan tekanan pada proses plasma nitridasi maka dapat menambah jumlah atom-atom nitrogen yang terdeposisi dan berdifusi semakin banyak. Apabila tekanan nitrogen dinaikkan, maka kekerasan akan semakin berkurang, hal ini dimungkinkan karena material titanium tersebut mengalami fase jenuh yang disebabkan oleh laju deposisi menjadi lebih besar sehingga berakibat tidak terjadi kesetimbangan antara laju deposisi dan difusi atom nitrogen pada titanium. Kondisi ini disebabkan karena terjadi penumpukan atom nitrogen pada permukaan karena laju deposisi lebih besar dari pada laju difusi.

3. 2 Perbandingan Kekerasan Sebelum dan Sesudah Proses Plasma Nitridasi

Dari hasil pengujian kekerasan pada Tabel 1 dan Tabel 2 yang menggunakan proses plasma nitridasi dengan variasi parameter temperatur dan waktu maka dapat dinyatakan bahwa proses pembentukan lapisan keras pada material titanium murni komersial memberikan kenaikan kekerasan *Vickers* tertinggi (optimum) pada temperature 450 °C dan waktu 4 jam, dan tekanan 1,6 mbar sebesar 227,46 VHN dari kekerasan awal 105,75 VHN.

Perbandingan hasil nilai kekerasan dari permukaan titanium murni komersial sebelum plasma nitridasi (*raw material*), dengan titanium murni komersial sesudah plasma nitridasi, ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan kekerasan antara titanium sebelum diplasma nitridasi (*raw material*) dengan kekerasan sesudah diplasma nitridasi. Kekerasan sebelum diplasma nitridasi adalah 105,75 VHN sedangkan kekerasan sesudah diplasma nitridasi adalah 227,46VHN. Hasil ini membuktikan adanya kenaikan kekerasan sebesar 121,71 VHN atau meningkat 115% dari kekerasan sebelum diplasma nitridasi.

Tabel 3. Hasil kekerasan sebelum diplasma nitridasi dan sesudah diplasma nitridasi optimum.

No.	Material Titanium Murni Komersial	Kekerasan Vickers (VHN)
1.	Sebelum diplasma nitridasi	105,75
2.	Setelah proses plasma nitridasi optimum	227,46

3.3 Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan pada spesimen titanium murni komersial yang belum diplasma nitridasi (*raw material*) dan spesimen yang telah diplasma nitridasi selama 4 jam, temperatur 450 °C dan tekanan 1,6 mbar.

Hasil pengujian keausan pada material sebelum diplasma nitridasi (*raw material*) menunjukkan nilai keausan sebesar $4,0148 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Sedangkan pada spesimen yang telah diplasma nitridasi dengan temperatur 350 °C, selama 4 jam dan tekanan 1,6 mbar menunjukkan nilai keausan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan *raw material*, yakni sebesar $7,89 \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Hal ini dapat dimungkinkan karena senyawa titanium nitrida sudah terbentuk dan senyawa-senyawa tersebut terdeposisi kedalam permukaan secara optimum sehingga lebih sulit mengalami keausan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sifat material titanium yang semakin keras dan lebih tahan aus. Perbedaan nilai laju keausan disajikan pada tabel 4.

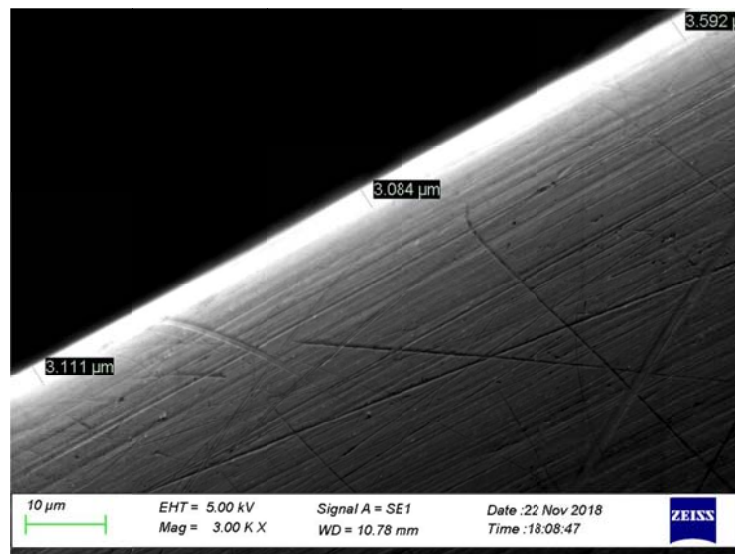
Tabel 4. Hasil laju keausan sebelum diplasma nitridasi dan sesudah diplasma nitridasi optimum

No.	Material	Hasil Keausan (mm ² /kg)
1	<i>Raw Material</i>	$4,0148 \times 10^{-8}$
2	Setelah treatmen	$7,87 \times 10^{-9}$

4.3 Analisa Struktur Mikro dan Komposisi

Berdasarkan pengujian komposisi diketahui bahwa titanium murni komersial dan titanium murni komersial setelah proses plasma nitridasi memiliki komposisi yang berbeda. Perbedaan tersebut menyebabkan perbedaan sifat-sifat baik sifat mekanik maupun kimia. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan titanium murni komersial dan titanium murni komersial setelah proses plasma nitridasi, titanium murni komersial setelah proses plasma nitridasi memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan titanium murni komersial sebelum proses plasma nitridasi. Dengan

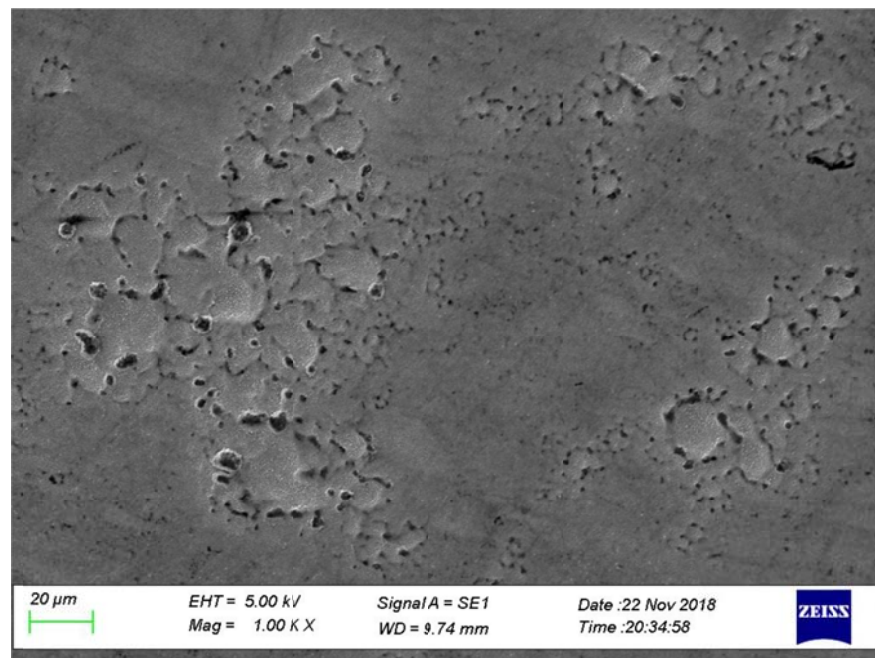
demikian treatment yang dilakukan berhasil meningkatkan kekerasan titanium murni komersial. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Windjanti dkk (2017), dimana plasma nitridasi dapat meningkatkan sifat mekanik (kekerasan) material dibanding material sebelumnya (*raw material*). Berdasarkan teori, peningkatan tersebut dikarenakan terbentuknya lapisan putih atau compound layer yang bersifat keras akibat terbentuknya titanium nitrida (TiN). Pengamatan cross section sampel menggunakan SEM menunjukkan adanya lapisan pada permukaan sampel hasil treatment yang ditunjukkan pada gambar 3.



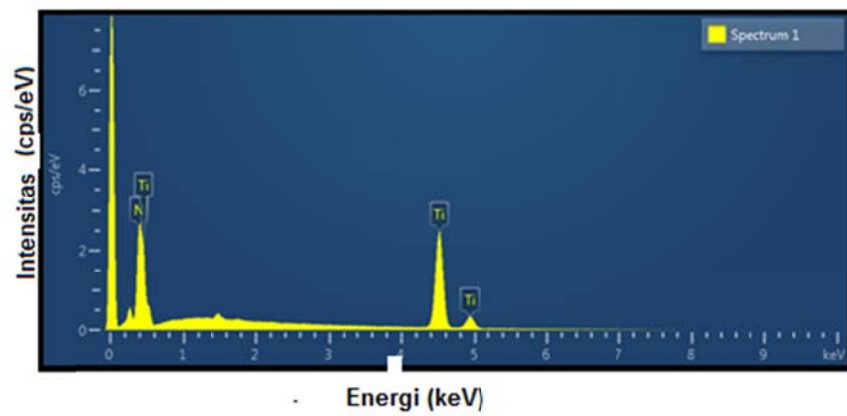
Gambar 3. Foto SEM cross section optimum plasma nitridasi

Perbedaan morfologi permukaan material titanium murni sesudah proses nitriding dapat dilihat pada gambar 4 yang merupakan hasil observasi SEM dengan perbesaran 1000 kali. Tampak bahwa terjadi perubahan pada morfologi permukaan dari struktur bergaris-garis menjadi struktur granular yang menunjukkan terjadinya perubahan struktur selama proses plasma nitridasi. Terjadinya perubahan morfologi permukaan menunjukkan kemungkinan terjadinya perubahan mikrostruktur pada titanium murni setelah mengalami proses plasma nitridasi selama 4 jam dengan suhu 450°C dan tekanan 1,6 mBar.

Windajanti (2017) menyatakan Terbentuknya presipitat TiN sekaligus larutan padat nitrogen menyebabkan tingkat kekerasan permukaan titanium murni komersial mengalami peningkatan yang signifikan. Hal tersebut dipengaruhi oleh nitrogen yang dideposisikan. Nitrogen yang dideposisi dapat diketahui dengan pengujian EDS. Pada gambar 5 menunjukkan hasil EDS sebelum proses plasma nitridasi yang menunjukkan tidak ada kadar nitrogen. Kemudian pada gambar 6 menunjukkan hasil EDS setelah proses plasma nitridasi optimal selama 4 jam dengan suhu 450 °C dan tekanan 1,6 mbar.

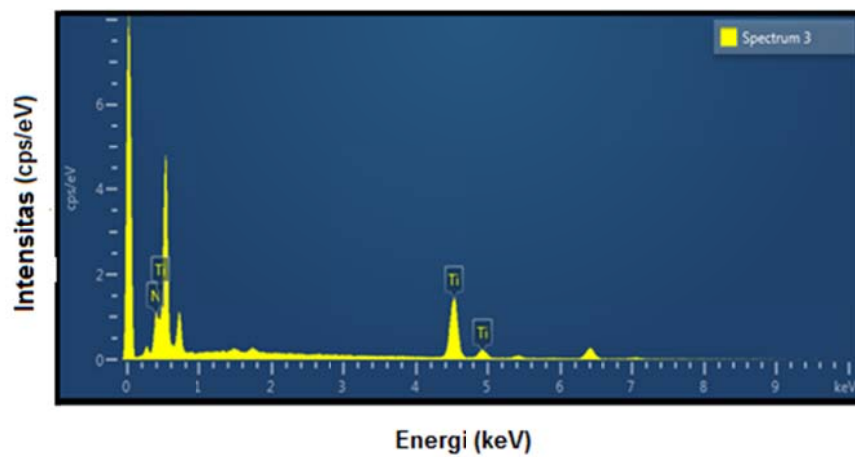


Gambar 4. Foto SEM pada area permukaan setelah proses plasma nitridasi.



Spectrum 1				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
Ti	L series	100.00	0.00	100.00
N	K series	0.00	0.21	0.00

Gambar 5. Hasil EDS sebelum proses plasma nitridasi.



Spectrum 3				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
Ti	K series	73.77	0.62	45.13
N	K series	26.23	0.62	54.87

Gambar 6. Hasil EDS setelah proses plasma nitridasi

Dari hasil EDS diatas dapat diliat kadar nitrogen yang masuk pada titanium murni komersial sebesar 26,23 % dari yang sebelumnya tidak ada kadar nitrogen pada titanium murni komersial sebelum proses plasma nitridasi (*raw material*).

4. PENUTUP

4. 1 Kesimpulan

Penelitian mengenai pengaruh parameter waktu dan temperatur dengan tekanan tetap pada proses plasma nitridasi terhadap kekerasan dan ketahanan aus permukaan titanium murni komersial telah berhasil dilaksanakan. Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan makadapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Komposisi yang terbentuk setelah proses plasma nitridasi mempunyai kandungan Ti (73,77 %) dan N (26,23 %) pada lapisan tipis di permukaan titanium murni komersial.
- 2) Tebal lapisan permukaan titanium murni komersial setelah proses plasma nitridasi sedalam 3,084 μm sampai 3,592 μm .
- 3) Plasma nitridasi dapat meningkatkan kekerasan dari titanium murni komersial dari 105,75 VHN setelah proses plasma nitridasi optimum selama 4 jam, temperatur 450 °C, dan tekanan 1,6 mbar menjadi 227,46 VHN.
- 4) Plasma nitridasi dapat meningkatkan ketahanan aus dari titanium murni komersial dari $4,0148 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{kg}$ menjadi $7,89 \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{kg}$ pada proses plasma nitridasi optimum.

4. 2 Saran

Pada penelitian ini telah dapat meningkatkan kekerasan pada material titanium murni komersial, akan tetapi masih banyak hal yang perlu untuk diuji. Oleh sebab itu, penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan lebih

memperbanyak variasi proses plasma nitridasi. Perlu ditambahkan pengujian korosi dan XRD agar dapat melihat hasil senyawa yang terbentuk.

PERSANTUNAN

Terimakasih kepada Bapak Agung Setyo Darmawan, ST, MT selaku Pembimbing Tugas Akhir dan Ikatan Alumni Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta (IKAMU) atas dukungan Penelitian Tugas Akhir.

DAFTAR PUSTAKA

Liu, D. Y, dan Han, D. (2007). *Improvement Of Mechanical Properties Of Martensitic Stainless Steel By Plasma Nitriding At Low Temperature*. Northwestern Polytechnical University.Cina.

Malau, Viktor. (2003), *Perlakuan Permukaan*. Diktat Kuliah. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Gadjah MadaYogyakarta, pp. 1-27.

Suprpto & Sujitno, Tjipto. (2005), *Pengerasan Permukaan Baja ST 42 Dengan Teknik Nitridasi Ion*. Puslitbang Teknologi Maju – BATAN: Yogyakarta.

Usada Widdi. (2011). *Perhitungan Kerapatan Ion Nitrogen Pada Pembentukan FeN Dalam Proses Nitridasi Plasma*. Jurnal Iptek Ganendra, Vol. 14 No. 1. pp. 41 – 46. Januari 2011.

Windajanti, J. M. (2017), *Pembentukan Titanium Nitrida(TiN) Dengan Proses Nitriding Pada Titanium Murni Menggunakan Plasma Densitas Tinggi*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.8, No.2, pp. 83 – 90.