

**PENGARUH PERUBAHAN SUHU NITRIDASI  
PLASMA LUCUTAN PIJAR DC TERHADAP KEKERASAN  
BAJA AISI 4140**

**TESIS**

**Diajukan Kepada  
Program Studi Magister Teknik Mesin  
Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta  
untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh  
Gelar Magister dalam Ilmu Teknik Mesin**



**Oleh**

**Abdul Azis  
NIM. U 100160025**

**MEGISTER TEKNIK MESIN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2018**

## NOTA PEMBIMBING I

**Tri Widodo Besar Riyadi, M.Sc, Ph.D**

Dosen Magister Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Nota Dinas

Subjek: Tesis Saudara Abdul Azis

Kepada Yth.

**Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin**

**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

*Assalamu 'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, mengkaji, mengoreksi dan membuat koreksi yang diperlukan untuk tesis saudara:

Nama : Abdul Azis

NIM : U 100 160 025

Program Studi : Manufakturing Otomotif

Judul : **Pengaruh Perubahan Suhu Nitridasi  
Plasma Lucutan Pijar DC Terhadap  
Kekerasan Baja AISI 4140**

Dengan ini kami menilai tesis tersebut dapat disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian tesis pada Program Studi Magister Teknik Mesin Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.

*Wassalamu 'alaikum wr. wb.*

Surakarta, 17 Oktober 2018

Pembimbing I



Tri Widodo Besar Riyadi, ST, M.Sc, Ph.D

## NOTA PEMBIMBING II

**Agus Dwi Anggono, M.Eng, Ph.D**

Dosen Magister Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Nota Dinas  
Subjek: Tesis Saudara Abdul Azis

Kepada Yth.  
**Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin**  
**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

*Assalamu 'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, mengkaji, mengoreksi dan membuat koreksi yang diperlukan untuk tesis saudara:

Nama : Abdul Azis  
NIM : U 100 160 025  
Program Studi : Manufakturing Otomotif  
Judul : **Pengaruh Perubahan Suhu Nitridasi  
Plasma Lucutan Pijar DC Terhadap  
Kekerasan Baja AISI 4140**

Dengan ini kami menilai tesis tersebut dapat disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian tesis pada Program Studi Magister Teknik Mesin Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.

*Wassalamu 'alaikum wr. wb.*

Surakarta, 17 Oktober 2018  
Pembimbing II



**Agus Dwi Anggono, M.Eng, Ph.D**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGARUH PERUBAHAN SUHU NITRIDASI  
PLASMA LUCUTAN PIJAR DC TERHADAP KEKERASAN  
BAJA AISI 4140**

**TESIS**

**OLEH**

**ABDUL AZIS**  
**U.100.160.025**

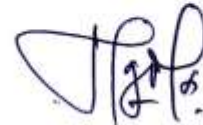
Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Pembimbing I



**Tri Widodo Besar Riyadi, M.Sc, Ph.D**

Pembimbing II



**Agus Dwi Anggono, M.Eng, Ph.D**

TESIS BERJUDUL

**PENGARUH PERUBAHAN SUHU NITRIDASI  
PLASMA LUCUTAN PIJAR DC TERHADAP  
KEKERASAN BAJA AISI 4140**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

**ABDUL AZIS**

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal 22 Oktober 2018  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

**SUSUNAN DEWAN PENGUJI**

Pembimbing I



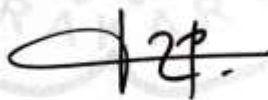
**Tri Widodo Besar Rivadi, M.Sc., Ph.D**

Pembimbing II



**Agus Dwi Anggono, M.Eng., Ph.D.**

Penguji

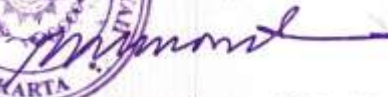


**Dr. Supriyono**



Surakarta, 8 Nopember 2018

Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Sekolah Pascasarjana  
Direktur,



**Prof. Dr. Bambang Sumardjoko, M.Pd.**

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Abdul Azis

NIM : U 100 160 025

Program Studi : Magister Teknik Mesin

Konsentrasi : Otomotif & Manufaktur

Judul : Pengaruh Perubahan Suhu Nitridasi Plasma

Lucutan Pijar DC Terhadap Kekerasan Baja AISI 4140

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

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

Surakarta, 22 Oktober 2018

METERAI  
TEMPEL  
008F7AFF344320079  
6000  
RUPIAH  
Penulis,  
  
Abdul Azis  
NIM U.100.160.025



# Pengaruh Perubahan Suhu Nitridasi Plasma Lucutan Pijar DC Terhadap Kekerasan Baja AISI 4140

Abdul Azis<sup>1</sup>, Tri Widodo<sup>2</sup>, Agus Dwi Anggono<sup>3</sup>

Magister Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A, Yani, Pabelan, Kartasura, Tromol Pos 1, Surakarta, Indonesia

## ABSTRAK

Dalam makalah ini, material baja banyak digunakan pada industri. Menurut David Pye dkk, material baja masih mempunyai kekurangan yaitu rentan terhadap lingkungan yang korosif seperti pada aplikasi industri batu bara sehingga cepat mengalami aus. Maka perlu dilakukan peningkatan sifat mekaniknya. Permasalahan yang akan diteliti dan dibahas pada penelitian ini adalah pengaruh perubahan suhu nitridasi plasma lucutan pijar DC terhadap kekerasan baja AISI 4140. Pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian kekerasan bahan, pengujian struktur mikro sesudah proses nitridasi plasma. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu nitridasi dengan variasi 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C pada tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam terhadap sifat mekanik khususnya nilai kekerasan dari baja AISI 4140 setelah mengalami proses nitridasi dan juga untuk mengetahui pengaruh suhu nitridasi terhadap struktur mikro baja setelah mengalami proses nitridasi. Metode *treatment* material dalam penelitian ini adalah metode pengerasan permukaan melalui *nitriding* yaitu dengan menambahkan nitrogen ke permukaan material. Prinsip kerja proses *nitriding* adalah penambahan nitrogen pada permukaan material sehingga menjadi sangat keras. Nitridasi plasma pada permukaan baja dengan variasi suhu terbukti dapat menghasilkan kekerasan yang meningkat dibandingkan dengan sebelum nitridasi, meningkatnya kekerasan permukaan bahan sebesar 51,5% dari kekerasan material dasar sebesar 97,8 VHN menjadi 189.975 VHN. Tetapi kondisi kekerasan ini diperoleh pada suhu 450 °C. Pengujian terhadap struktur mikro menggunakan SEM/EDX terlihat lapisan tipis di bagian luar permukaan. Namun demikian unsur nitrogen tidak dapat diidentifikasi dengan jelas karena sangat sedikit.

**Kata Kunci:** Baja AISI 4140, Kekerasan Permukaan, Nitridasi Plasma, Plasma Lucutan Pijar DC, Struktur Mikro.

## Abstract

In this paper, steel material is widely used in industry. According to David Pye et al, steel material still has deficiencies, which are susceptible to corrosive environments such as in the coal industry application so that it quickly wears out. So it is necessary to improve the mechanical properties. The problem to be examined and discussed in this study is the effect of the nitriding of DC incandescent plasma temperature changes on the hardness of AISI 4140 steel. The tests to be carried out are the hardness testing of materials, microstructure testing after the plasma nitriding process. The purpose of this study was to determine the effect of nitriding temperature with variations of 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C at a pressure of 1.6 mbar and 3 hours for mechanical properties especially the hardness of AISI 4140 steel after undergoing nitriding process and also to determine the effect nitriding temperature of the microstructure of steel after undergoing a nitriding process. The material treatment method in this study is the method of surface hardening through nitriding by adding nitrogen to the surface of the material. The working principle of the nitriding process is the addition of nitrogen to the surface of the material so that it becomes very hard. Plasma nitriding on steel surfaces with temperature variations proved to produce increased hardness compared to before nitriding, increasing material surface hardness by 51.5% from the base material hardness of 97.8 VHN to 189,975 VHN. But this condition of violence was obtained at a temperature of 450°C. Testing of microstructure using SEM / EDX shows a thin layer on the outside of the surface. However, the nitrogen element cannot be clearly identified because it is very small.

**Keywords:** Steel AISI 4140, Surface Hardness, Plasma Nitriding, DC Glow Discharge Plasma, Micro Structure.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada Penulis, sehingga dapat menyelesaikan masa studi dan Tesis untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin di Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Penulis menyadari bahwa selesainya Tesis ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak dalam memberikan bimbingan dan dukungan baik moral maupun material. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tri Widodo Besar Riyadi, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing tesis.
2. Dr. Supriyono dan Agus Dwi Anggono, M.Eng, Ph.D selaku dosen penguji tesis.
3. Kedua orang tua, istri dan anak yang selalu memberikan doa dan motivasi serta semangat.
4. Seluruh staf pengajar MTM Universitas Muhammadiyah Surakarta atas segala bimbingannya.
5. Seluruh mahasiswa MTM Universitas Muhammadiyah Surakarta atas segala dukungan, perjuangan dan kebersamaannya.
6. Irianto dan staf karyawan BATAN Yogyakarta yang telah memberikan bantuannya dalam menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan dan kemajuan penulis sangat kami harapkan. Harapan penulis semoga tesis ini bias bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Surakarta, .....

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
NOTA PEMBIMBING I .....	ii
NOTA PEMBIMBING II .....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iv
HALAMAN PENGESAHAN .....	v
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL DAN GAMBAR .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
1.5. Struktur Tesis .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Kajian Pustaka .....	5
2.2 Landasan Teori .....	10
2.2.1 Konsep Dasar Plasma .....	10
2.2.2 Pembentukan Plasma .....	15
2.2.3 Pengerasan logam dengan sistem plasma .....	15
2.2.4 Plasma lucutan pijar DC .....	17

2.2.5 Nitridasi Plasma .....	19
2.2.6 Mesin Nitridasi Plasma .....	24
2.2.7 Karakteristik Lucutan Plasma .....	27
2.2.8 Teknik Deposisi .....	29
2.2.9 Proses Pembentukan Lapisan Tipis Pada Substrat .....	31
2.2.10 Baja Tipe AISI 4140 .....	35
2.2.11 Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	36
2.2.12 Uji SEM/EDX .....	37

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	41
3.2. Alat dan Bahan .....	41
3.2.1. Alat Penelitian .....	41
3.2.2. Bahan Penelitian .....	42
3.3. Prosedur Penelitian .....	43
3.3.1. Preparasi Substrat Baja AISI 4140 .....	44
3.3.1.1. Hasil bubut dan potong menjadi bentuk substrat ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4 cm .....	45
3.3.1.2. Hasil Proses Pemolesan Substrat Material Baja AISI 4140 .....	45
3.3.1.3. Hasil Proses Pencucian Substrat Material Baja AISI 4140 .....	46
3.3.2. Preparasi Alat Nitridasi Plasma .....	47
3.3.2.1. Hasil Proses Pengerasan Permukaan Teknik Plasma .....	47
3.3.3. Metode Pembentukan Lapisan Tipis .....	48
3.3.4. Proses Pengujian <i>Vickers</i> .....	48
3.3.5. Proses Pengujian SEM/EDX .....	49

3.3.6. Analisa Data .....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Pengujian Kekerasan Mikro <i>Vickers</i> .....	50
4.2. Pengujian Struktur Mikro .....	54
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan .....	60
5.2. Saran .....	60
DAFTAR PUSTAKA .....	61
LAMPIRAN .....	66

## DAFTAR TABEL

2.1. Perbedaan uji karakteristik.....	10
2.2. Perbedaaan fasa padat, cair, gas dan plasma.....	11
2.3. Beberapa energi eksitasi dan ionisasi dari bentuk atomik atau molekul dari beberapa gas.....	13
2.4. Energi dalam lucutan pijar dan ikatan.....	14
2.5. Jenis reaksi plasma lucutan pijar.....	17
2.6. Komposisi kimia AISI 4140.....	35
4.1. Hasil uji kekerasan permukaan sebelum nitridasi.....	52
4.2. Hasil uji kekerasan permukaan setelah nitridasi dengan suhu 300 °C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	52
4.3. Hasil uji kekerasan permukaan setelah nitridasi dengan suhu 350 °C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	52
4.4. Hasil uji kekerasan permukaan setelah nitridasi dengan suhu 400 °C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	53
4.5. Hasil uji kekerasan permukaan setelah nitridasi dengan suhu 450 °C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	53
4.6. Hasil uji kekerasan permukaan setelah nitridasi dengan suhu 500 °C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	53

## DAFTAR GAMBAR

2.1. Plasma sebagai keadaan fisis ke empat dari wujud zat.....	11
2.2. Berbagai jenis partikel dan tumbukan pada ruang plasma.....	13
2.3. Reaktor plasma dengan sumber DC.....	15
2.4. Plasma Lucutan Pijar.....	16
2.5. (a) plasma dan (b) discharge .....	17
2.6. Diagram fase Besi-Nitrogen .....	20
2.7. Bagian diagram fase Besi-nitrogen .....	21
2.8. Foto SEM dari penampang spesimen baja.....	22
2.9. Skema permukaan nitrided dan profil kekerasannya .....	22
2.10. Skema plasma lucutan pijar DC.....	24
2.11. Plat Sejajar (a) dan Grafik variasi arus sebagai fungsi tegangan (b) .....	27
2.12. Paschen curve.....	28
2.13. Proses teknik pendeposisian ion pada nitridasi plasma .....	30
2.14a. Generasi elektron dalam medan listrik dan ionisasi oleh tabrakan atom Elektro. b. Ion bombardment, pembentukan elektron sekunder dan ionisasi atom gas .....	32
2.15. (a) Pengujian Vickers (b) Bentuk indenter Vickers.....	37
2.16. Komponen utama SEM.....	38
2.17. Interaksi berkas elektron dan spesimen.....	39
2.18. Skema dasar SEM .....	40
3.1. Skema Diagram Alir Penelitian .....	43
3.2. Material baja AISI 4140 No.1 dan No. 2 dengan ukuran diameter 3,4 cm dan panjang 19,1 cm .....	44
3.3. Proses bubut dan potong material baja AISI 4140.....	44
3.4. Bentuk sampel ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4 cm .....	45
3.5. Proses pemolesan sampel baja AISI 4140 dengan ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4cm .....	45

3.6. Hasil proses pemolesan sampel material baja AISI 4140 .....	46
3.7. Proses pencucian substrat AISI 4140 dengan mesin <i>ultrasonic cleaner</i> ....	46
3.8. Sistem plasma <i>nitriding</i> .....	47
3.9. Hasil proses pengerasan permukaan teknik nitridasi plasma dengan Variasi Suhu 300 <sup>0</sup> C, 350 <sup>0</sup> C, 400 <sup>0</sup> C, 450 <sup>0</sup> C dan 500 <sup>0</sup> C .....	48
4.1. Hubungan nilai kekerasan terhadap perubahan suhu .....	54
4.2. Mikrograf SEM dari tampang-lintang substrat baja AISI 4140 setelah di nitridasi plasma pada tekanan gas nitrogen 1,6 mbar dan waktu nitridasi 3 jam, dengan variasi suhu:(a) 300 °C dan (b) 500 °C.....	57
4.3. Mikrograf SEM-EDX substrat baja tahan karat AISI 4140 hasil Nitridasi plasma untuk variasi suhu nitridasi, pada tekanan gas nitrogen 1,6 mbar dan waktu nitridasi 3 jam, (a) suhu 350 °C, (b) suhu 400 °C dan (c) suhu 450 °C.....	60



## **DAFTAR LAMPIRAN**

1. Surat Keterangan Uji Turnitin .....	66
2. Hasil Uji Turnitin.....	67