

**ANALISIS KEKERASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 304  
TERNITRIDASI PADAT SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL  
SENDI TULANG PANGGUL TIRUAN**

**SKRIPSI**

**diajukan sebagai salah satu syarat**

**untuk memperoleh gelar**

**Sarjana Teknik**



**Oleh:**

**RAIHAN RAHAJENG**

**NIM. I0414041**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

**SURAKARTA**

**2020**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
FAKULTAS TEKNIK  
**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

Jl Ir Sutami No. 36A Ketingan Surakarta Telp. 0271 632163 web: mesin.ft.uns.ac.id

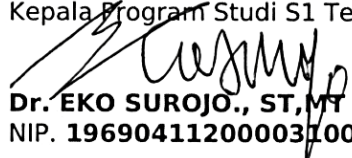
**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR**  
**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**  
Program Studi : **S1 Teknik Mesin**  
Nomor : **0922/TA/S1/07/2019**

Nama : **RAIHAN RAHAJENG**  
NIM : **I0414041**  
Bidang : **Ilmu Bahan**  
Pembimbing 1 : **DR. JOKO TRIYONO, ST, MT/196906251997021001**  
Pembimbing 2 : **Dr. EKO SUROJO., ST, MT/196904112000031006**  
  
Penguji : **1. BAMBANG KUSHARJANTA, ST, MT/196911161997021001**  
**2. Dr. Ir. WIJANG WISNU RAHARJO, MT/196810041999031002**  
  
Mata Kuliah Pendukung  
**1. Teknologi Pengecoran (MS04013-15)**  
**2. Teknologi dan Proses Permesinan (MS73033-15)**  
**3. Perancangan dan Pengembangan Produk (MS05043-15)**

Judul Tugas Akhir

**"Analisis Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 304  
Ternitridasi Padat Sebagai Alternatif Material Sendi  
Tulang Panggul Tiruan"**

Surakarta, **2019-07-30 15:19:07**  
Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin,

  
**Dr. EKO SUROJO., ST, MT**  
NIP. 196904112000031006

Tembusan :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA ybs.
3. Koordinator TA.
4. Arsip.

**Analisis Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 304 Ternitridasi Padat  
Sebagai Alternatif Material Sendi Tulang Panggul Tiruan**

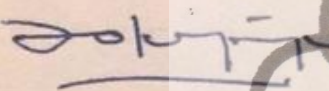
Disusun Oleh

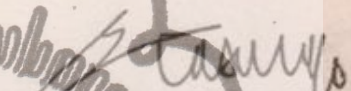
**RAIHAN RAHAJENG**

NIM : 10414041

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

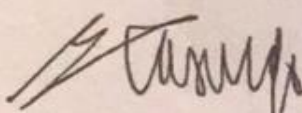
  
**DR. JOKO TRIYONO, ST, MT**  
NIP. 196906251997021001

  
**Dr. EKO SUROJO., ST, MT**  
NIP. 196904112000031006

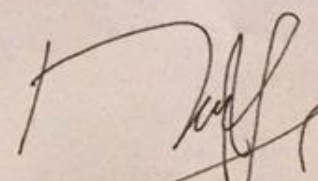
Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada tanggal 22-10-2020, pukul 08:00:00, bertempat di on line.

1. BAMBANG KUSHARIANTA, ST, MT  
196911161997021001
2. Dr. Ir. WIJANG WISNU RAHARJO, MT  
196810041999031002

Kepala Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret  
Surakarta

  
**Dr. EKO SUROJO., ST, MT**  
NIP. 196904112000031006

Koordinator Tugas Akhir

  
**DR. NURUL MUHAYAT, ST, MT**  
NIP. 197003231998021001

**PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS**

Saya selaku mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Raihan Rahajeng

NIM : I0414041

Judul Tugas Akhir : Analisis Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 304  
Ternitridasi Padat Sebagai Alternatif Material Sendi  
Tulang Panggul Tiruan

menyatakan bahwa tugas akhir/skripsi yang telah saya susun bebas plagiasi dan tidak dibuat dengan cara menjiplak karya orang lain. Apabila di kemudian hari tugas akhir/skripsi ini terbukti mengandung unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Surakarta, 22 Oktober 2020



Raihan Rahajeng

NIM. I0414041

## MOTTO

“Larapun pergi menjauh, sepiku bagaikan debu  
Hatipun tenang dekat-Mu, di setiap langkahku ‘kan selalu percaya  
Kau bersamaku, Kau bersamaku selalu”

-“Saat Teduh”, Monita Tahalea

---  
” Dan jangan takut, jangan layu  
pada semua cobaan yang menerpamu, jangan layu  
Kami selalu bersamamu  
dalam derap, dalam lelap mimpi indah bersamamu”

-“Perhatikan, Rani!”, Sheila on 7

---  
“Berjalan tak seperti rencana  
adalah jalan yang sudah biasa

Dan jalan satu-satunya,  
jalani sebaik kau bisa.”

-“GAS!”, Fstvlst



# **ANALISIS KEKERASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 304 TERNITRIDASI PADAT SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL SENDI TULANG PANGGUL TIRUAN**

**Raihan Rahajeng**

Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret  
Surakarta

Alamat surel: raihanrhjg@student.uns.ac.id

## **ABSTRAK**

Implan sendi tulang panggul berbahan *metal-on-metal* rentan mengalami keausan dan korosi. Kekerasan dan ketahanan aus baja tahan karat austenitik sebagai material implan kurang bagus dalam penggunaan jangka panjang. Perlakuan termokemikal berbasis difusi cocok untuk mengeraskan permukaan baja. Metode nitridasi padat diharapkan mampu membentuk lapisan keras yang mengandung fase  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N dan krom nitrida. Nitridasi padat dilakukan dengan media serbuk urea dan cangkang kerang simping dengan perbandingan 2:3. Variasi suhu yang digunakan adalah 500°, 550°, dan 600°C. Proses nitridasi berlangsung selama 3, 5, dan 7 jam. Spesimen AISI 304 berbentuk silinder pejal dimasukkan ke dalam wadah berisi media, kemudian ditutup dan dipanaskan dalam tungku. Setelahnya, spesimen diteliti kekerasan permukaan, profil kekerasan, dan komposisinya sebelum dibandingkan dengan kekerasan material implan umum dan tulang manusia. Kekerasan permukaan spesimen variasi suhu 550°C dan waktu penahanan 5 jam mampu menyamai material implan pada umumnya. Spesimen variasi suhu 600°C dan waktu 7 jam memiliki nilai kekerasan tertinggi, yaitu 1246,3 HVN dengan kandungan nitrogen sebesar 15,35 at.% dan kedalaman lapisan ternitridasi 121,64  $\mu\text{m}$ . Menurut diagram fase Fe-N, fase  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N sudah terbentuk, namun belum maksimal. Peningkatan suhu dan waktu nitridasi meningkatkan jumlah atom nitrogen yang berdifusi ke dalam spesimen, sehingga kekerasan permukaan dan kedalaman penetrasi nitrogen akan semakin besar.

**Kata kunci:** baja tahan karat austenitik, AISI 304, nitridasi padat, urea, sendi tulang panggul tiruan, suhu, waktu

# ***HARDNESS ANALYSIS OF PACK-NITRIDED AISI 304 STAINLESS STEEL AS AN ALTERNATIVE MATERIAL FOR HIP JOINT PROSTHESIS***

**Raihan Rahajeng**

*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Sebelas Maret University*

*E-mail: raihanrhjg@student.uns.ac.id*

## ***ABSTRACT***

*Metal-on-metal hip joint implants are prone to wear and corrosion. As an implant material, the austenitic stainless steel's hardness and wear resistance isn't good enough in long-term use. Diffusion-based thermochemical treatment is suitable for hardening steel surfaces. Pack nitriding method is expected to form a hard layer containing  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N and chrome nitride phases. Solid nitriding was carried out with ammonia powder and scallop shells media in a ratio of 2:3. The temperature variations used are 500°, 550° and 600°C. The nitriding process lasts for 3, 5, and 7 hours. Solid cylinders AISI 304 specimens are put into a container filled with media, then closed and heated in a furnace. After that, the specimens were examined for their hardness and composition before being compared to the hardness of common materials and human bone. The hardness of the specimen surface with 550°C temperature and 5 hours holding time is included in the general implant materials' hardness range. Specimen that undergoes 600°C and 7 hours of pack nitriding has the highest hardness value, which is 1246,3 HVN with 15,35 at.% nitrogen content and 121,64 µm nitride layer depth. According to the Fe-N phase diagram, the  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N phase has been formed, but not yet maximized. Increasing the temperature and nitriding time increases the number of nitrogen atoms that diffuse into the specimen, so that the surface hardness and depth of nitrogen penetration will be even greater.*

***Keyword: austenitic stainless steel, AISI 304, pack nitriding, ammonia, hip joint prosthesis, temperature, time***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Mahaesa atas terselesaikannya tugas akhir berjudul “**Analisis Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 304 Ternitridasi Padat Sebagai Alternatif Material Sendi Tulang Panggul Tiruan**”. Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Dr. Joko Triyono, S.T., M.T. dan Dr. Eko Surojo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas ilmu yang bermanfaat dan kemudahan yang diberikan, terlebih di masa pandemi COVID-19.
2. Bambang Kusharjanta, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Wijang Wisnu Raharjo, M.T. selaku dosen penguji.
3. Bapak, Ibu, dan Adik atas pengasuhan dan welas asih yang tiada terbatas.
4. Kakak tingkat, rekan, dan adik tingkat sebagai teman seperjuangan di Laboratorium Material FT UNS beserta laboran atas semangat dan bimbingan selama masa pengerjaan tugas akhir/skripsi.
5. MEXIV 2014 selaku keluarga inti, teman menjalani hari-hari selama berkuliah di Surakarta.
6. Raihan Rahajeng, selaku penulis sendiri yang tidak memilih untuk menyerah bagaimanapun keadaannya untuk menyelesaikan skripsinya.

Penyusunan tugas akhir ini tentu masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu, kritik dan saran konstruktif amat penulis harapkan bagi pembaca maupun peneliti yang hendak melanjutkan topik ini di masa mendatang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis, pembaca, dan industri biomaterial Indonesia.

Surakarta, Oktober 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR RUMUS</b> .....	xiv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 Implan Sendi Panggul ( <i>Hip Joint Prosthesis</i> ) .....	6
2.2.2 Baja Tahan Karat AISI 304 .....	7
2.2.3 Sifat Fisik dan Mekanik Tulang .....	8
2.2.4 Nitridasi Padat .....	10
2.2.5 Uji Kekerasan <i>Microvickers</i> (HVN) .....	15
2.2.6 Pengamatan Struktur Mikro .....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	18
3.1 Diagram Alir .....	18
3.2 Tempat Penelitian .....	19
3.3 Alat dan Bahan .....	19
3.3.1 Alat .....	19

3.3.2	Bahan.....	19
3.4	Prosedur Penelitian .....	20
3.4.1	Persiapan .....	20
3.4.2	Variabel Penelitian .....	21
3.4.3	Tahap Pengujian .....	21
3.4.4	Tahap Analisis .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>24</b>
4.1	Hasil Pengamatan Struktur Mikro (SEM).....	24
4.2	Hasil Pengujian Komposisi (EDS).....	26
4.3	Hasil Pengujian Kekerasan <i>Microvickers</i> .....	30
4.4	Perbandingan Hasil Pengujian dengan Karakteristik Material Umum Implan dan Tulang Manusia Sehat .....	41
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>43</b>
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>45</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

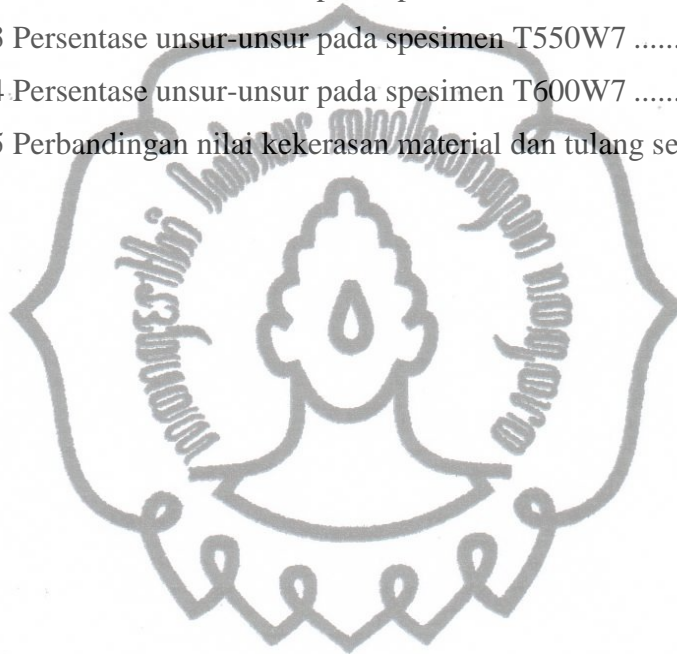
Gambar 2.1 Komponen implan sendi panggul secara terpisah (kiri), apabila sudah dirangkai menjadi satu (tengah), dan setelah dipasang pada tulang panggul [26] .....	7
Gambar 2.2 Penampang sisi koronal bagian atas tulang femur (kiri) dan sebaran garis-garis tekanan maupun kompresi (kanan), berdasarkan analisis secara matematis pada tulang femur kanan manusia [30] .....	9
Gambar 2.3 (a) Skema nitridasi padat [21] (b) Skema difusi atom-atom nitrogen monoatomik ke dalam spesimen [13] .....	11
Gambar 2.4 Posisi spesimen di dalam wadah nitridasi padat [13] .....	12
Gambar 2.5 Profil kekerasan logam ternitridasi [40] .....	13
Gambar 2.6 Diagram fase Fe-N [43] .....	14
Gambar 2.7 Morfologi bakteri yang hidup pada spesimen baja tahan karat 304 tanpa perlakuan (A) dan 303 dengan nitridasi (B), diambil dengan SEM [45].....	14
Gambar 2.8 Prinsip pengujian kekerasan <i>Microvickers</i> [51].....	16
Gambar 2.9 Skema perbedaan mekanisme mikroskop elektron dan optik [55] ..	17
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	18
Gambar 3.2 Dimensi awal spesimen uji keras .....	20
Gambar 3.3 Mesin uji kekerasan <i>Microvickers</i> .....	22
Gambar 3.4 Mesin SEM-EDS .....	22
Gambar 4.1 Hasil pengamatan SEM spesimen T500W3 (variasi temperatur 500°C, waktu penahanan 3 jam) .....	24
Gambar 4.2 Hasil pengamatan SEM spesimen T550W7 (variasi temperatur 550°C, waktu penahanan 7 jam) .....	25
Gambar 4.3 Hasil pengamatan SEM spesimen T600W7 (variasi temperatur 600°C, waktu penahanan 7 jam) .....	26
Gambar 4.4 Hasil EDS spesimen uji .....	27
Gambar 4.5 Perbesaran diagram fase pada temperatur 850-1100 K dan fraksi molar 0,01-0,18 [60] .....	30
Gambar 4.6 Pengaruh waktu penahanan terhadap kekerasan permukaan baja AISI 304.....	31
Gambar 4.7 Grafik pengaruh temperatur nitridasi terhadap kekerasan permukaan AISI 304.....	32

Gambar 4.8 Dimensi akhir spesimen untuk pengamatan SEM dan pembuatan kurva profil kekerasan .....	34
Gambar 4.9 Pengaruh waktu nitridasi terhadap kurva profil kekerasan.....	34
Gambar 4.10 Pengaruh suhu nitridasi terhadap kurva profil kekerasan .....	36
Gambar 4.11 Skema nitridasi gas dan difusi nitrogen secara interstisi [67].....	38
Gambar 4.12 Pengaruh waktu nitridasi terhadap kedalaman lapisan ternitridasi	39
Gambar 4.13 Pengaruh suhu nitridasi terhadap kedalaman lapisan ternitridasi ..	40
Gambar 4.14 Perbandingan kekerasan spesimen dengan material umum implan dan tulang manusia .....	41



## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Sifat mekanik baja tahan karat AISI 304 [29] .....	8
Tabel II.2 Komposisi kimiawi baja tahan karat AISI 304 [29] .....	8
Tabel II. 3 Sifat mekanik tulang femur (kompak) manusia usia 20-39 tahun [30]9	
Tabel III.1 Penamaan spesimen berdasarkan variasi suhu dan waktu nitridasi...21	
Tabel IV.1 Persentase unsur-unsur pada spesimen tanpa perlakuan .....	28
Tabel IV.2 Persentase unsur-unsur pada spesimen T500W3 .....	28
Tabel IV.3 Persentase unsur-unsur pada spesimen T550W7 .....	29
Tabel IV.4.Persentase unsur-unsur pada spesimen T600W7 .....	29
Tabel IV.5 Perbandingan nilai kekerasan material dan tulang sehat [31,75–77] 41	





## DAFTAR RUMUS

Persamaan 2.1 .....	16
---------------------	----



## DAFTAR NOTASI

Notasi		Satuan
D	= rerata diagonal hasil indentasi	$[\mu\text{m}^2]$
P	= gaya pembebanan	[gf]



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil EDS .....	52
Lampiran 2 Hasil uji kekerasan <i>microvickers</i> .....	56
Lampiran 3 Data kurva profil kekerasan .....	60
Lampiran 4 Perhitungan <i>nitriding hard depth</i> .....	65

