

## STUDI SIMULASI OPTIMASI PARAMETER PROSES IMPLANTASI ION NITROGEN MULTI ENERGI KE DALAM PERMUKAAN SS 316L MENGGUNAKAN PROGRAM SRIM

Haerul Ahmadi<sup>1\*</sup>, B. A. Tjipto Sujitno<sup>2</sup>, Yudithia Balo Tarigas<sup>3</sup>, Andi Rosman N.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo 96211 Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Riset Teknologi Akselerator, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Yogyakarta 6101 Indonesia

<sup>3</sup>Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Yogyakarta 6101 Indonesia

<sup>4</sup>Prodi Pendidikan Fisika, Universitas Sulawesi Barat, Majene 9412 Indonesia

\*Email: haerulahmadi@ung.ac.id

### Abstract

*Nitrogen ion implantation at 50 keV of energy on the surface of SS 316 stainless steel, by calculation will only be able to reach a depth of 561 Å and the ions will be distributed Gaussian effectively at a depth of 561 Å ± 339 Å, so that from the surface to a depth of 222 Å is not filled by ions (empty) which of course will affect the properties of the implanted surface. The solution to the problem is to implant the target several times at <50 keV of energy. To minimize the un-filled volume, the study of simulation and calculation has been conducted. In this study a simulation using TRIM program to know how many times the target should be implanted at different energies and also the calculation of the amount of nitrogen ions that should be implanted, so that the distribution of nitrogen ions can be evenly distributed from the surface to 561 Å. From the results of simulations and calculations the results show that the target must be implanted at least 6 times implantation at energy 50 keV, 40 keV, 30 keV, 20 keV and 10 keV. Under these conditions the dose that must be implanted are  $7,4 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $6,44 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $4,6 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $3 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> and  $1,6 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>. The total doses and amount of nitrogen filling the implanted volume are 7,32%.*

**Keywords:** *Stainless steel 316L, Ion implantation, optimization of parameters.*

### Abstrak

Implantasi ion nitrogen pada energi 50 keV pada permukaan baja tahan karat SS 316L, secara perhitungan hanya akan mampu mencapai kedalaman 561 Å dan ion ionnya akan terdistribusi efektif secara gaussian pada kedalaman 561 Å ± 339 Å, dengan demikian ruangan dari permukaan hingga kedalaman 222 Å tidak terisi oleh ion (kosong muatan) yang hal ini tentunya akan mempengaruhi sifat permukaan yang diimplantasi. Solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan cara mengimplantasi beberapa kali pada energi <50 keV. Untuk meminimiliasi ruang kosong tersebut, dalam penelitian ini telah dilakukan simulasi berapa kali pada target diimplantasi dengan energi yang berbeda dan juga dilakukan perhitungan tentang jumlah ion nitrogen yang harus diimplantasikan, sehingga distribusi ion nitrogen dapat merata dari permukaan hingga pada kedalam 561 Å. Dari hasil simulasi dan perhitungan diperoleh hasil bahwa target harus diimplantasi minimal 6 kali implantasi pada energi 50 keV, 40 keV, 30 keV, 20 keV dan 10 keV. Pada kondisi tersebut dosis yang harus diimplantasikan berturut turut adalah  $7,4 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $6,44 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $4,6 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $3 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> dan  $1,6 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>. Dari hasil perhitungan diperoleh hasil, bahwa jumlah keseluruhan presentase nitrogen yang mengisi volume terimplantasi adalah sebesar 7,32%.

**Kata-kata kunci:** *Stainless steel 316L, implantasi ion, optimasi parameter*

## 1. Pendahuluan

Biomaterial adalah material yang dapat berinteraksi dengan sistem biologi manusia (organ dan sel)[1]. Biomaterial banyak digunakan untuk penggantian dan perbaikan tulang, gigi dan sendi [2]. Syarat utama dalam memilih biomaterial adalah sifat biokompatibilitas [3], sifat tribology [4] dan ketahanan korosi [5] karena tubuh manusia mengandung ion, protein, kimia senyawa dan enzim [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Feng tahun 2012 menyatakan bahwa metode implantasi ion dalam perlakuan permukaan memiliki produktivitasnya tinggi, reproduktivitas tinggi dan dapat dilakukan pada temperatur kamar, semakin besar energi yang diimplantasikan akan menyebabkan meningkatnya kekasaran dan ketahanan korosi pada *stainless steel 316L* dikarenakan penambahan atom yang terpenetrasi pada

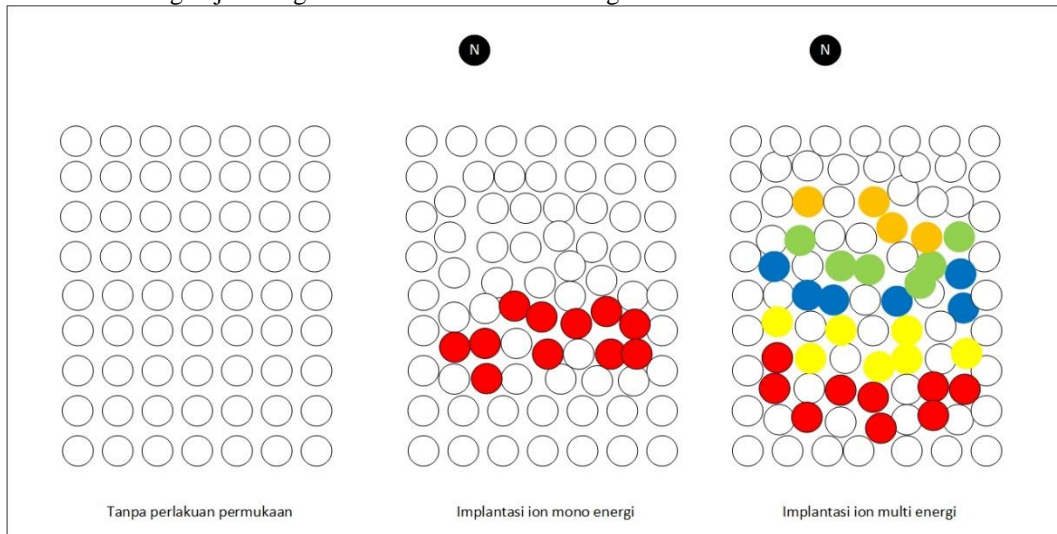
volume yang kosong. Oleh karena itu, dilakukan optimasi parameter nomor atom ion, massa ion dan energi kinetik [7] saat dilakukan implantasi ion dengan variasi multi energi pada *stainless steel 316L* untuk mengisi pada kedalaman terdistribusi secara merata.

Aplikasi *software Stopping and Range of Ions in Matter* atau *SRIM* untuk mengetahui penyebaran dan jangkauan ion nitrogen pada *stainless steel 316L* [8]. *SRIM* dan *TRIM* dalam melakukan simulasi menggunakan metode *Monte Carlo* memiliki tingkat akurasi penghentian ion sangat baik dengan optimasi parameter menyesuaikan ion yang akan diimplantasikan [7].

Optimasi parameter dengan metode implantasi ion nitrogen pada *stainless steel 316L* diharapkan meningkatkan sifat biomaterial mekaniknya, seperti: ketahanan korosi, sifat tribologi kekerasan dan keausan dan memenuhi struktur kristal yang kosong dengan meningkatnya jumlah atom sebelum dan sesudah diimplantasikan dikarenakan penambahan ion nitrogen untuk aplikasi biomaterial.

**2. Metode**

Penelitian dilakukan dengan optimasi parameter implantasi ion nitrogen dengan anggapan dimensi berbentuk *disc* dengan jenis logam *stainless steel 316L*. dengan diameter 14 mm dan tebal 3mm.



**Gambar. 1. Schematically illustration proses Implantasi Ion Nitrogen.**

Parameter pada implantasi ion tergantung pada jenis ion dimana nomor ion nitrogen ( $Z_z$ ) adalah 7 dan massa ion nitrogen ( $m_z$ ) adalah 14, jenis material *stainless steel 316L* dimana nomor atom ( $Z_i$ ) adalah 26,17924306 u dan massa atom ( $m_i$ ) adalah 56,679 u, energi ion yang digunakan 5,10, 20, 30, 40 dan 50 keV, Arus ( $I$ ) pada alat implantor 75  $\mu A$  dibuat tetap, luas permukaan material *stainless steel* ( $A$ ) adalah 1,538  $cm^2$  dan konstanta elektron ( $e$ ) adalah  $1,602 \times 10 C$ .

Dilakukan perhitungan dosis banyaknya ion total ( $Q$ ) memenuhi Persamaan (2). [9]:

$$Q = \int Idt = It \tag{1}$$

$$D = \frac{It}{eA} \tag{2}$$

Terjadi kehilangan energi karena interaksi elektron dan energi dengan Persamaan (3)[10]:

$$\frac{dE}{dx} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_e + \left(\frac{dE}{dx}\right)_n = N(S_e + S_n) \tag{3}$$

Jangkau ion yang didapat dengan aplikasi *SRIM* (*stopping ranges/ tables*) dalam suatu bahan dalam bentuk Persamaan (4) :

$$R_t = \frac{60(m_i+m_s)(Z_i^{2/3} + Z_s^{2/3})^{1/2}}{\rho m_i+m_s} E_0 \tag{4}$$

Terjadi jumlah tumbukan dan perpindahan energi untuk setiap kali tumbukan adalah bersifat acak, sehingga suatu ion dopan dengan energi awal sama akan mempunyai jangkauan yang berbeda. Perbedaan jangkauan ini mengakibatkan adanya simpangan baku distribusi ion terproyeksi ( $\sigma_{Rp}$ ) disimulasikan dengan aplikasi *TRIM calculation* [11][12]. Besarnya simpangan baku tersebut disajikan dalam Persamaan (5) [10]:

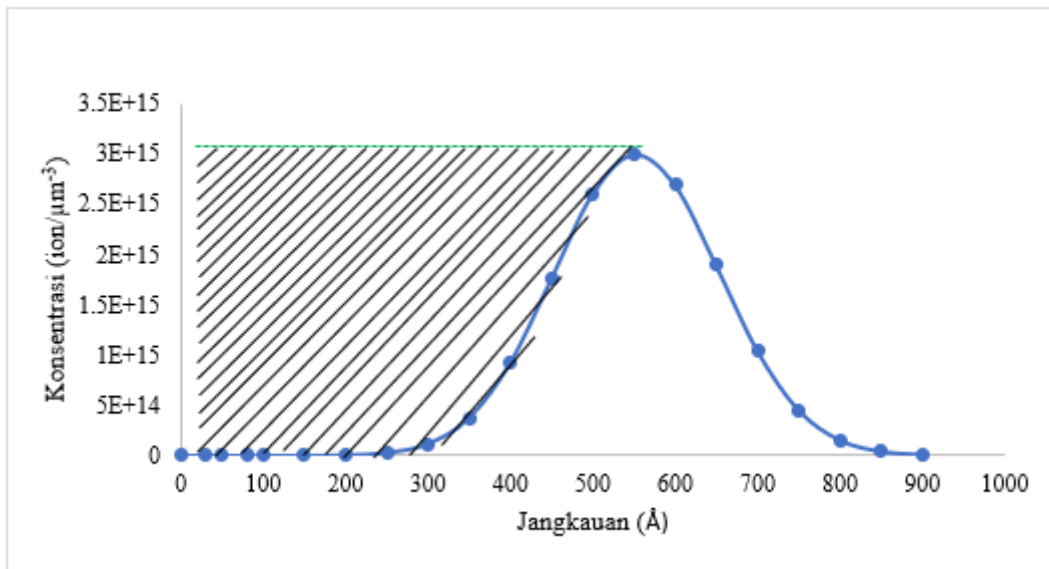
$$\sigma_{Rp} = 1 + \frac{3m_i + m_s}{4(m_i + m_s)} \left[ \frac{m_i}{m_s} \right]^{1/2} R_p \tag{5}$$

Perlambatan ion-ion yang bergerak dalam padatan merupakan proses statistik, oleh karena itu lokasi ion-ion yang terimplantasi bentuknya juga statistik dan profil distribusi ion pada kedalaman x memenuhi persamaan *Gaussian*. Konsentrasi ionnya memenuhi Persamaan (6) [10]:

$$N_x = \frac{D}{\sqrt{2\pi}\sigma_{Rp}} \exp\left(-\frac{(x-Rp)^2}{2\sigma_{Rp}^2}\right) \tag{6}$$

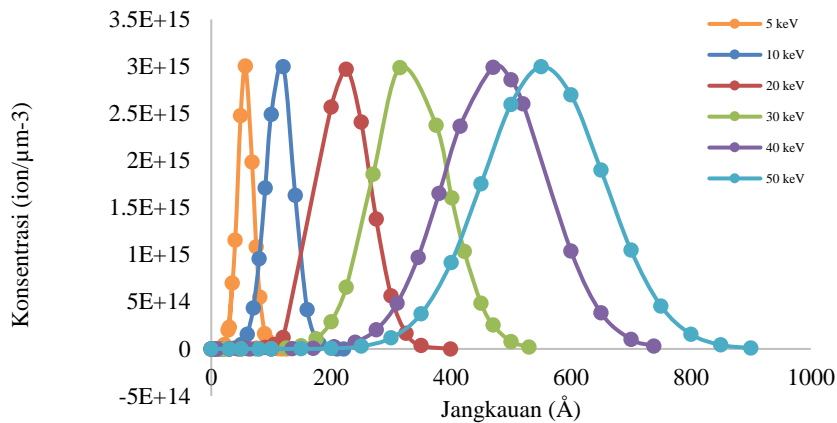
### 3. Hasil dan Pembahasan

Konsentrasi distribusi ion nitrogen mono energi pada 50 keV dengan dosis  $9,96 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> waktu (t) yang dibutuhkan 41 menit maka didapatlah grafik seperti Gambar 2.



**Gambar. 2. Konsentrasi distribusi ion nitrogen mono energi (50 keV).**

Daerah yang diarsir merupakan volume kosong yang tidak terimplantasi ion nitrogen untuk itu. Untuk itu dilakukan implantasi multi energi agar volume kosong bisa terisi pada konsentrasi distribusi ion nitrogen multi energi didapatlah grafik seperti Gambar. 3.:



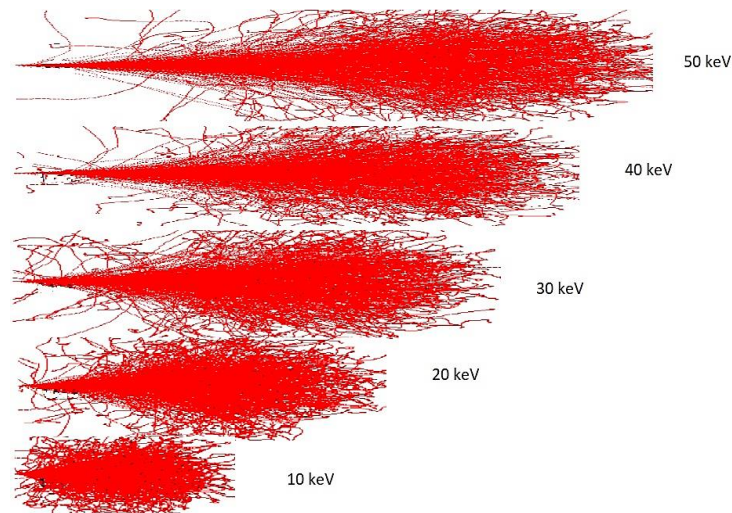
**Gambar. 3. Grafik Konsentrasi distribusi ion nitrogen multi energi.**

Fenomena fisis yang dihasilkan adalah ion nitrogen begitu diimplantasikan ke permukaan *stainless steel 316L* akan menelusup dengan lintasan acak. Incidence angle tidak divariasikan dalam proses simulasi atau dokenal dengan metode normally-incident karena hasil sputter SRIM sangat menyimpang khususnya pada sudut datang yang besar[13]. Metode Sputtering oleh ion dengan normally-incident dipelajari secara rinci oleh Wittmaack [14], yang menganalisis hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan kode SRIM-2000 dan SRIM-2003. Selama menempuh lintasan tersebut, ion nitrogen akan bertumbukan dengan elektron atau inti-inti atom *stainless steel 316L*. Akibatnya, energi implantasi akan terus berkurang dan terhenti di kedalaman penelusuran tertentu.

**Tabel. 1. Jumlah atom.**

Energi (keV)	Kedalaman Implantasi Ion (Å)	Kedalaman Permukaan Tidak Terimplantasi Ion (Å)	Banyak Atom
50	561±339	222	1,26×10 <sup>18</sup>
40	450±288	162	1,03×10 <sup>18</sup>
30	339±232	107	7,93×10 <sup>17</sup>
20	229±170	59	5,51×10 <sup>17</sup>
10	120±101	19	3,06×10 <sup>17</sup>
5	66±60	6	1,73×10 <sup>17</sup>
	total		4,11×10 <sup>18</sup>

Tetapi bila peningkatan energi pada dosis yang tetap konsentrasi ion yang terimplantasikan disekitar jangkauan maksimum semakin berkurang seperti pada Tabel. 1. diakibatkan jumlahnya menjadi lebih kecil menurut persamaan (6) apabila dibandingkan dengan Gambar. 4. yang didapat, sesuai dengan teori yang ada.



**Gambar. 4. Jangkauan ion nitrogen dengan program simulasi TRIM calculation multi energi.**

Sepanjang simulasi, target dianggap sebagai permukaan datar dimana setiap ion masuk pada posisi yang sama[15]. Hasil optimasi parameter yang telah dilakukan, jumlah atom dari ion yang terimplantasi yang menutupi volume kosong mengakibatkan semakin rapat jarak antar atom dikarenakan telah terisinya volume oleh ion nitrogen kosong sehingga sifat karakterisasi biomaterial semakin lebih baik dimana akan menambah daya lekat pelindung yang melindungi logam, meningkatkan ketahanan korosi pada materia karena struktur kristal pada material semakin rapat, kekerasan dan keausan juga bertambah disebabkan jumlah atom yang semakin bertambah apabila dibandingkan dengan tanpa perlakuan permukaan dan mono energi.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh dari hasil optimasi parameter bahwa untuk meminimalisasi volume yang kosong maka target harus diimplantasi minimal 6 kali implantasi pada energi 50 keV, 40 keV, 30 keV, 20 keV, 10 keV dan 5 keV. Pada kondisi tersebut dosis yang harus diimplantasikan berturut turut adalah  $7,4 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $6,44 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $4,6 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $3 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>,  $1,6 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup> dan  $8,3 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>. Jumlah seluruh atom pada variasi multi energi *stainless steel 316L* adalah  $4,11 \times 10^{18}$  atom. Keseluruhan Jumlah presentase nitrogen yang mengisi volume terimplantasi adalah sebesar 7,32%.

#### Referensi

- [1] U. Kamachimudali, T. M. Sridhar, and B. Raj, "Corrosion of bio implants," *Sadhana*, vol. 28, no. 3–4, pp. 601–637, Jun. 2003, doi: 10.1007/BF02706450.
- [2] B. D. Ratner, "New ideas in biomaterials science—a path to engineered biomaterials," *J. Biomed. Mater. Res.*, vol. 27, no. 7, pp. 837–850, Jul. 1993, doi: 10.1002/jbm.820270702.
- [3] I. Gurappa, "Characterization of different materials for corrosion resistance under simulated body fluid conditions," *Mater. Charact.*, vol. 49, no. 1, pp. 73–79, Aug. 2002, doi: 10.1016/S1044-5803(02)00320-0.
- [4] B.-K. Kim, H. E.-K. Bae, J.-S. Shim, and K.-W. Lee, "The influence of ceramic surface treatments on the tensile bond strength of composite resin to all-ceramic coping materials," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 94, no. 4, pp. 357–362, Oct. 2005, doi: 10.1016/j.prosdent.2005.08.012.
- [5] C. Valero Vidal and A. Igual Muñoz, "Electrochemical characterisation of biomedical alloys for surgical implants in simulated body fluids," *Corros. Sci.*, vol. 50, no. 7, pp. 1954–1961, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.corsci.2008.04.002.
- [6] D. J. Blackwood and B. P. Pereira, "No corrosion of 304 stainless steel implant after 40 years of service," *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 15, no. 7, pp. 755–758, Jul. 2004, doi: 10.1023/B:JMSM.0000032814.20695.3c.

- [7] S. Martinie, T. Saad-Saoud, S. Moindjie, D. Munteanu, and J. L. Autran, "Behavioral modeling of SRIM tables for numerical simulation," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At.*, vol. 322, pp. 2–6, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.nimb.2013.12.023.
- [8] J. F. Ziegler, M. D. Ziegler, and J. P. Biersack, "SRIM – The stopping and range of ions in matter (2010)," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At.*, vol. 268, no. 11–12, pp. 1818–1823, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.nimb.2010.02.091.
- [9] D. Haliday and R. Resnick, *Physics*, Third. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- [10] H. Ryssel and L. Ruge, *ion implantation*. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [11] G. Dearnaley, J. H. Freeman, R. S. Nelson, and J. Stephen, *Ion Implantation*. New York: North-Holland Publishing Company Inc., 1973.
- [12] T. Sujitno, "PEMANFAATAN IMPLANTOR ION 150 keV/2mA UNTUK," p. 8, 2006.
- [13] H. Hofsäss, K. Zhang, and A. Mutzke, "Simulation of ion beam sputtering with SDTrimSP, TRIDYN and SRIM," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 310, pp. 134–141, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.apsusc.2014.03.152.
- [14] K. Wittmaack, "Reliability of a popular simulation code for predicting sputtering yields of solids and ranges of low-energy ions," *J. Appl. Phys.*, vol. 96, no. 5, pp. 2632–2637, Sep. 2004, doi: 10.1063/1.1776318.
- [15] S. Singh and B. Rout, "Simulation study of surface sputtering and distribution of ions in silicon due to low-energy high-fluence cobalt irradiation," *Surf. Interfaces*, vol. 24, p. 101035, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.surfin.2021.101035.