Penentuan *Breakdown Voltage* Nitridasi Plasma dan Pemanfaatannya untuk Meningkatkan Kekerasan Aluminium AA 7075

Triyana Mayasari^{a*}, Tjipto Sujitno^b, Boni P. Lapanporo^a

^aProdi Fisika, FMIPA Universitas Tanjungpura, ^bPSTA BATAN Yogyakarta

*Email : triyanamayasari@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai penentuan nilai *breakdown voltage* pada nitridasi plasma dan aplikasinya pada *surface treatment*. *Surface treatment* dilakukan menggunakan metode nitridasi ion, agar terbentuk lapisan tipis di permukaan aluminium AA 7075 untuk meningkatkan sifat kekerasan. Perubahan sifat kekerasan sebelum maupun sesudah proses nitridasi diuji dengan menggunakan metode *vickers*. Penentuan nilai *breakdown voltage* bertujuan untuk mengetahui besar tegangan yang diperlukan untuk membangkitkan nitridasi plasma (*breakdown voltage*) dengan variasi tekanan gas nitrogen sebesar 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; dan 2,0 mbar. Sedangkan pada proses *surface treatment* untuk meningkatkan kekerasan aluminium AA 7075 dilakukan dengan variasi tekanan gas nitrogen sebesar 0,8; 1,0; 1,2; dan 1,4 mbar. Dari hasil eksperimen, didapatkan nilai *breakdown voltage* sebesar 529; 562,7; 588,3; 629,3; 664,3 dan 683 volt. Pada nilai tegangan tersebut, arus yang dihasilkan sebesar 171,3; 186; 332; 402,6; 635; dan 689,7 mA. Dari proses *surface treatment* diketahui bahwa peningkatan kekerasan optimum terjadi pada tekanan 1,2 mbar dengan nilai kekerasan 112,8 VHN atau meningkat sebanyak 131,62%.

Kata Kunci : *Breakdown Voltage*, Nitridasi Plasma, *Surface Treatment*, Aluminium AA 7075, *Vickers*

1. Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan akan material logam dengan kualitas yang baik untuk industri material semakin meningkat [1]. Dalam tiga sampai lima dekade ini, aluminium dan paduannya yang merupakan bahan logam bukan besi (*non ferro*) sudah banyak digunakan sebagai konduktor (kabel) listrik dan alat-alat transportasi (komponen mesin dan *body*) [2]. Aluminium AA 7075 merupakan perpaduan antara aluminium (Al) dengan seng (Zn), magnesium (Mg), tembaga (Cu), kromium (Cr), dan mangan (Mn) [3]. Paduan ini digunakan sebagai bahan konstruksi pesawat terbang [4]. Walaupun material ini sudah diaplikasikan secara meluas namun aluminium AA 7075 memiliki kekurangan pada sifat kekerasan dan ketahanan aus yang kurang baik. Hal ini dapat membatasi penggunaan aluminium AA 7075 dalam aplikasi praktis pada komponen permesinan, khususnya komponen-komponen yang bergesekan [5]. Salah satu metode untuk mendapatkan nilai kekerasan yang tinggi pada komponen bahan logam sehingga bahan tersebut tidak mudah aus dan tahan gores serta tahan korosi adalah dengan menggunakan metode nitridasi plasma [1].

Awal dari kerusakan suatu material biasanya disebabkan karena adanya kerusakan pada permukaan material yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti korosi dan keausan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perlakuan permukaan (*surface treatment*) [6]. *Surface treatment* merupakan suatu upaya untuk meningkatkan kualitas permukaan suatu

material sesuai yang diinginkan [7]. *Surface treatment* dapat mengubah struktur atom dan sifat-sifat mekanik (kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan korosi) yang dapat meningkatkan kualitas dan umur pakai yang lama pada material [6]. *Surface treatment* dibagi beberapa jenis, yaitu: nitridasi, karburasi, karbonitridasi, dan oksidasi [8].

Penelitian terkait dengan peningkatan kekerasan bahan dengan memanfaatkan perkembangan plasma telah dilakukan oleh Suprpto dan kawan-kawan pada tahun 2016. Penelitian ini menggunakan teknik nitridasi ion dengan variasi tekanan gas nitrogen, suhu, dan waktu. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kondisi optimum terjadi pada tekanan gas 1,2 mbar, suhu 150°C dengan waktu proses selama 3 jam. Pada kondisi ini terjadi peningkatan kekerasan sebesar 2,01 kali.

Berdasarkan pemaparan uraian tersebut maka dilakukan penelitian mengenai penentuan *breakdown voltage* (tegangan yang dibutuhkan untuk membangkitkan plasma di dalam tabung) dan pemanfaatannya untuk meningkatkan kekerasan permukaan aluminium paduan AA 7075 dengan menggunakan gas nitrogen (N_2). Penentuan *breakdown voltage* dilakukan dengan variasi nilai tekanan gas nitrogen dari 1 hingga 2 mbar. Sedangkan untuk meningkatkan kekerasan permukaan material aluminium paduan AA 7075 dilakukan dengan variasi tekanan gas nitrogen sebesar 0,8 hingga 1,4 mbar dan diharapkan akan membentuk senyawa aluminium nitride (Al-N) pada permukaan benda kerja. Efek dari nitridasi plasma terhadap

permukaan aluminium paduan tipe AA 7075 akan diuji perubahan kekerasannya dengan menggunakan *microhardness tester* MMT-X7.

2. Metodologi

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta, Bidang Fisika Partikel, Kelompok Teknologi dan Aplikasi Akselerator pada bulan Maret – September 2019.

2.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: mesin plasma lucutan pijar DC, alat pencuci ultrasonik, alat uji kekerasan *Vickers*, dan mesin penghalus. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: material aluminium AA 7075, gas nitrogen (N_2), kertas abrasive, alkohol, autosol, deterjen, kain halus, kertas tisu dan plastik klip.

2.3 Cara Kerja

Persiapan Material

Permukaan aluminium AA 7075 dihaluskan menggunakan kertas *abrasive* yang berputar pada mesin poles hingga permukaan material mengkilat seperti cermin. Setelah proses pemolesan selesai, material dicuci dengan mesin pencuci ultrasonik.

Penentuan Breakdown Voltage

Gas nitrogen (N_2) dialirkan ke dalam tabung nitridasi plasma yang telah vakum dengan variasi tekanan gas sebesar 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; dan 2,0 mbar. Kemudian tegangan yang diberikan pada tabung reaktor plasma diatur hingga plasma muncul. Kemunculan plasma ditandai dengan terjadinya lucutan pijar.

Metode Pembentukan Lapisan Tipis

Aluminium AA 7075 yang telah siap diletakkan di dalam tabung nitridasi plasma. Selanjutnya dilakukan proses pemvakuman tabung. Gas nitrogen dialirkan ke dalam tabung nitridasi plasma dengan variasi tekanan gas sebesar 0,8; 1,0; 1,2; dan 1,4. Tegangan yang diberikan diatur hingga plasma muncul dan mencapai kondisi optimum dengan suhu 150°C dan waktu 4 jam.

Proses Uji Vickers

Uji vickers dilakukan pada aluminium AA 7075 sebelum dan sesudah proses nitridasi. Pada tiap sampel dilakukan penindikan di 5 tempat yang berbeda dengan menggunakan beban uji 5 g dan waktu penindikan 10 s.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Breakdown Voltage

Nilai tekanan gas nitrogen (N_2) yang dialirkan ke dalam tabung nitridasi plasma divariasikan. Hal tersebut bertujuan untuk melihat pengaruh dari nilai tekanan gas terhadap tegangan yang diperlukan (*breakdown voltage*) agar gas nitrogen yang bersifat isolator menjadi konduktor. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Grafik hubungan tekanan dan *breakdown voltage*

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai *breakdown voltage* akan berubah seiring dengan perubahan nilai tekanan gas. Apabila nilai tekanan gas yang dialirkan ke dalam tabung nitridasi plasma bertambah, maka akan berpengaruh pada peningkatan jumlah atom-atom gas yang masuk ke dalam tabung. Jumlah atom-atom gas yang semakin banyak menyebabkan terjadinya peningkatan tegangan yang dibutuhkan untuk membuat *discharge* di dalam tabung. Hal ini terjadi karena peningkatan jumlah atom gas di dalam tabung menyebabkan lintasan gerak elektron menjadi semakin berkurang sehingga elektron akan lebih sering bertumbukan dengan atom gas. Fenomena tumbukan antar elektron yang semakin sering terjadi mengakibatkan banyaknya energi yang hilang, sehingga diperlukan penyediaan energi yang lebih besar untuk memicu proses ionisasi.

3.2 Hubungan antara *Breakdown Voltage* dan Arus

Gambar 2. Grafik hubungan *breakdown voltage* dan arus

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan nilai *breakdown voltage* menyebabkan peningkatan nilai arus yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena penambahan tegangan yang diberikan akan mengakibatkan elektron di dalam tabung bergerak semakin cepat. Pergerakan elektron yang semakin cepat mengakibatkan tumbukan antara elektron dan atom nitrogen yang terjadi di dalam tabung semakin sering, sehingga mengakibatkan terjadinya proses ionisasi berantai. Proses ionisasi berantai akan menghasilkan ion-ion dan elektron sekunder yang menyebabkan semakin besar muatan yang terbentuk di dalam tabung, sehingga nilai arus yang terukur akan semakin besar.

3.3 Pembentukan Lapisan Tipis

Ikatan yang terjadi antara logam dan *non* logam adalah ikatan ion [9]. Aluminium (logam) akan menyerahkan 3 elektronnya kepada nitrogen (*non* logam) agar mencapai kestabilan suatu unsur yang ditandai dengan jumlah elektron valensi sebanyak 8 (oktet) atau 2 (duplet). Karakter senyawa yang terbentuk dari reaksi ikatan ion adalah memiliki titik didih dan titik leleh yang tinggi, daya hantar panas yang baik, lelehan atau larutannya dapat menghantarkan listrik, dan bersifat keras [9]. Ikatan ion yang terjadi antara aluminium (Al) dengan nitrogen (N) dituliskan pada persamaan 1 hingga 3

Senyawa AlN (aluminium nitrida) akan membentuk lapisan tipis pada permukaan aluminium sehingga kekerasan aluminium akan meningkat. Pembentukan lapisan tipis pada permukaan material, dipengaruhi oleh besar tekanan gas nitrogen yang dialirkan kedalam tabung. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi tekanan gas nitrogen sebesar 0,8; 1,0; 1,2; dan 1,4 mbar. Aluminium AA 7075 sebelum terbentuk lapisan AlN pada permukaannya (*raw material*) dan aluminium AA 7075 setelah terbentuk lapisan AlN pada permukaannya untuk setiap variasi tekanan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Permukaan aluminium AA 7075 sebelum dan sesudah pembentukan lapisan tipis

Tekanan (mbar)	Gambar Permukaan Material
0	
0,8	
1,0	
1,2	
1,4	

Mekanisme pembentukan lapisan tipis pada permukaan aluminium dibagi menjadi 4 tahap yaitu proses ionisasi atom nitrogen, proses *sputter* (penguapan atom), proses pembentukan senyawa AlN, dan proses difusi [8]. Mekanisme tersebut disajikan pada Gambar 3

Gambar 3. Mekanisme Pembentukan Lapisan Tipis [8].

Tahap pertama, terjadi proses disosiasi molekul nitrogen dan ionisasi atom nitrogen akibat dari tumbukan antara molekul nitrogen dengan elektron. Pada tahap kedua, ion yang terbentuk akibat dari proses ionisasi akan bergerak menuju katoda dan menumbuk aluminium yang berada di katoda. Tumbukan antara ion nitrogen dengan aluminium akan menyebabkan atom-atom pada permukaan aluminium terpercik (*ter-sputter*). Tumbukan yang terjadi juga dapat membersihkan permukaan aluminium secara atomik sehingga memudahkan proses difusi yang akan terjadi pada tahap selanjutnya. Pada tahap ketiga, atom-atom aluminium yang terpercik akan bertemu dengan unsur N hasil dari proses disosiasi molekul nitrogen. Atom-atom aluminium akan membentuk senyawa baru dengan unsur N menjadi senyawa AlN. Pada tahap keempat, senyawa AlN akan mengalami peristiwa adsorpsi [8]. Adsorpsi merupakan proses yang terjadi ketika fluida (cairan atau gas) terikat dengan suatu padatan dan membentuk lapisan tipis (*film*) pada permukaan padatan tersebut [10]. Peristiwa ini dapat terjadi karena panas yang dihasilkan akibat tumbukan ion-ion nitrogen dengan permukaan aluminium, menyebabkan atom-atom pada permukaan tersebut bergetar dan memberi jarak antara masing-masing atom. Hal tersebut memungkinkan senyawa AlN dapat masuk secara interstisi (terdesak ke antara atom-atom pada kisi permukaan logam induk) dan membentuk lapisan tipis pada permukaan aluminium. Lapisan tipis yang terbentuk akan meningkatkan sifat kekerasan permukaan aluminium.

3.4 Hasil Uji Keras Vickers

AlN memiliki sifat kekerasan yang lebih tinggi dibanding logam induknya. Untuk mengetahui perubahan kekerasan maka dilakukan pengujian kekerasan menggunakan *microhardness tester* MMT-X7. Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan aluminium AA 7075 tanpa nitridasi

(*raw material*) maupun AA 7075 yang telah dinitridasi selama 4 jam dengan suhu 150°C. Pemberian beban terhadap material (*indentasi*) dilakukan dengan menggunakan beban *indenter* 5 g dan waktu *indentasi* selama 10 detik pada 5 titik yang berbeda dengan variasi tekanan 0,8; 1,0; 1,2; dan 1,4 mbar. Hasil yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.

Gambar 4. Grafik Peningkatan kekerasan pada permukaan aluminium AA 7075.

Dari hasil pengujian ditunjukkan bahwa nilai kekerasan substrat sebelum dinitridasi (*raw material*) adalah 48,7 VHN (*vickers hardness number*). Proses nitridasi dilakukan dengan beberapa variasi tekanan gas nitrogen dalam tabung reaktor plasma agar didapatkan kondisi optimum tekanan gas untuk pengerasan permukaan. Makin tinggi tekanan gas nitrogen yang diberikan, maka makin banyak atom-atom yang terdepositasi pada waktu yang sama. Persentase kenaikan kekerasan aluminium AA 7075 dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Persentase peningkatan kekerasan aluminium AA 7075 hasil perlakuan plasma nitridasi

Perlakuan	Peningkatan kekerasan %
<i>Raw material</i>	0
0,8 mbar	12,77
1,0 mbar	95,33
1,2 mbar	131,62
1,4 mbar	27,43

Data yang dihasilkan menunjukkan bahwa pada tekanan 0,8 mbar sampai 1,2 mbar, peningkatan tekanan yang diberikan akan mengakibatkan peningkatan pada nilai kekerasan yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena besar tekanan mempengaruhi rapat molekul/atom nitrogen yang ada di dalam bejana

plasma, akibatnya makin banyak molekul/atom nitrogen yang diplasmakan dan dideposisikan ke permukaan aluminium membentuk fase AlN. Peningkatan kekerasan tersebut selaras dengan jumlah atom nitrogen yang terdepositasi pada permukaan maupun yang berdifusi ke tempat yang lebih dalam pada aluminium AA 7075 (cuplikan). Atom-atom nitrogen yang berdifusi akan terlarut dalam atom cuplikan secara sisipan (*interstition*). Terlarutnya atom-atom nitrogen dalam atom cuplikan memungkinkan terbentuknya senyawa aluminium nitrida (AlN). Senyawa AlN akan memberikan kontribusi pada peningkatan kekerasan permukaan aluminium AA 7075.

Kekerasan optimum terjadi pada tekanan 1,2 mbar. Hal ini disebabkan karena pada tekanan 1,2 mbar terjadi keseimbangan antara atom nitrogen yang terdepositasi ke permukaan dan selanjutnya berdifusi serta larut secara interstisi (terdesak ke antara atom-atom pada kisi permukaan logam induk) dengan atom Al dari aluminium AA 7075 untuk membentuk fase AlN. Pada tekanan 1,4 mbar terjadi penurunan nilai kekerasan. Hal ini terjadi karena laju deposisi menjadi lebih besar, akibatnya tidak terjadi keseimbangan antara laju deposisi, difusi, dan kelarutan secara interstisi nitrogen pada permukaan aluminium AA 7075, sehingga mengakibatkan terjadinya penumpukan atom nitrogen pada permukaan aluminium AA 7075. Penumpukan atom-atom nitrogen menyebabkan ukuran butir atom-atom yang berada di permukaan aluminium membesar (*growth*). Menurut hukum Hall Petch, kekerasan bahan berbanding terbalik dengan ukuran butir atom [8]. Oleh sebab itu, kekerasan permukaan aluminium tidak meningkat melainkan menurun sebagai akibat dari menumpuknya atom nitrogen pada permukaan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pada tekanan gas nitrogen sebesar 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; dan 2,0 mbar, didapatkan nilai *breakdown voltage* sebesar 529; 562,7; 588,3; 629,3; 664,3; dan 683 volt. Pada nilai tegangan tersebut, arus yang dihasilkan sebesar 171,3; 186; 332; 402,6; 635; dan 689,7 mA. Sedangkan kondisi optimum dari variasi tekanan gas nitrogen untuk meningkatkan kekerasan permukaan aluminium AA 7075 terjadi pada tekanan gas sebesar 1,2 mbar dengan nilai kekerasan 112,8 VHN atau meningkat sebanyak 131,62%.

5. Pengakuan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh karyawan dan karyawan di PSTA BATAN Yogyakarta khususnya laboratorium fisika partikel bagian kelompok teknologi dan aplikasi akselerator yang telah memberikan motivasi, serta bantuan tenaga dalam pelaksanaan penelitian ini, sehingga terlaksana dengan baik, lancar dan sukses.

Daftar Pustaka

- [1] Margono, "Pembentukan Lapisan Nitride pada Aluminium T2025 serta Uji Keras, Aus, dan Korosi," 2016, 2016.
- [2] Suprpto, T. Sujitno, Taufik, A. Abdussalam and D. Priyantoro, "Analisis Permukaan Aluminium Paduan (AlSiCu) Hasil Nitridasi Ion," *Iptek Nuklir Ganendra*, vol. 19, no. 2, pp. 65-74, 2016.
- [3] Franky, "Bidang Teknik Produksi dan Pembentukan Material Pengaruh Penambahan Larutan MnCl₂.H₂O terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium AA 7075," Padang, 2011.
- [4] A. Rohimat, "Kumpulan Materi Training Shot Peening PT Garuda Indonesia," in *Diklat IPTN*, Bandung, 1993.
- [5] H. Sukma and W. A. Abbas, "Peningkatan Kekerasan Material Komposit Matrik Aluminium melalui Metode Nitridasi Plasma," in *Seminar Rekayasa Teknologi*, Jakarta, 2018.
- [6] Suprpto, S. E. Priyono and T. Sujitno, "Kinerja Perangkat Nitridasi Plasma/Ion Bejana Ganda untuk Perlakuan Permukaan Bahan Logam," in *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, Yogyakarta, 2013.
- [7] A. Haryono, "Pengaruh Proses Nitriding dan Nitrocarburizing terhadap Kualitas Permukaan Silinder Liner," *Politeknosains*, vol. 8, no. 1, pp. 1-13, 2014.
- [8] Suprpto, Pengembangan Teknologi Plasma untuk Nitridasi, Sudjatmoko, T. Sujitno and V. Malau, Eds., Yogyakarta: Pustaka Pelajar (Anggota IKAPI No. 028/DIY/95), 2018.
- [9] A. Harnanto and R. , Kimia 1, E. S. W, Ed., Jakarta: SETI-AJI, 2009.
- [10] F. D. Ginting, "Pengujian Alat Pendingin Dua Adsorber dengan menggunakan Methanol 1000 ml sebagai Refrigeran," Jakarta, 2008.