

**SIMULASI PLASMA NITRIDASI MELALUI *COMPUTATIONAL
FLUID DYNAMICS ANSYS FLUENT* DENGAN MENGAMATI
PENGARUH TEKANAN DAN TEMPERATUR
TERHADAP KARAKTERISTIK
ALIRAN GAS**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Andhika Pramudya Rahmawan
3334200003

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

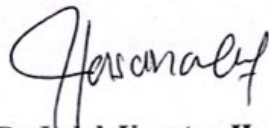
**SIMULASI PLASMA NITRIDASI MELALUI *COMPUTATIONAL*
FLUID DYNAMICS ANSYS FLUENT DENGAN MENGAMATI
PENGARUH TEKANAN DAN TEMPERATUR
TERHADAP KARAKTERISTIK
ALIRAN GAS**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.
NIP. 199012142019032022

Pembimbing II



Anistasia Milandia, ST., MT.
NIP. 198203222006042002

LEMBAR PERSUTUJUAN

**SIMULASI PLASMA NITRIDASI MELALUI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANSYS FLUENT* DENGAN MENGAMATI
PENGARUH TEKANAN DAN TEMPERATUR
TERHADAP KARAKTERISTIK
ALIRAN GAS**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Andhika Pramudya Rahmawan

3334200003

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal **13 Januari 2025**

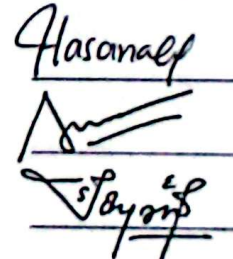
Susunan Dewan Penguji

Penguji I : Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.

Penguji II : Anistasia Milandia, S.T., M.T.

Penguji III : Suryana, S.T., M.Si.

Tanda Tangan



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan sebagai penulis skripsi berikut:

Judul : Simulasi Plasma Nitridasi Melalui *Computational Fluid Dynamics Ansys Fluent* Dengan Mengamati Pengaruh Tekanan dan Temperatur Terhadap Karakteristik Aliran Gas

Nama Mahasiswa : Andhika Pramudya Rahmawan

NIM : 3334200003

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 20 Januari 2025



Andhika Pramudya Rahmawan
NIM. 3334200003

ABSTRAK

Thermochemical treatments merupakan proses modifikasi permukaan material dengan menggunakan perlakuan panas dan rekasi kimia tanpa megubah sifat material tersebut. Salah satu metode *thermochemical treatments* yaitu nitridasi. Metode nitridasi gas memiliki kekurangan yaitu membutuhkan temperatur yang tinggi untuk memanaskan logam. Penggunaan temperatur tinggi, dapat menimbulkan resiko seperti merusak baja yang akan diproses. Berdasarkan kekurangan tersebut, metode ini dikembangkan menjadi plasma nitridasi. Plasma nitridasi ialah pengembangan dari nitridasi gas yang memanfaatkan plasma untuk meningkatkan efektivitas proses penyerapan nitrogen pada permukaan logam. Metode ini memiliki beberapa risiko dengan menggunakan plasma yaitu terbentuknya gas yang dipanaskan hingga temperatur tinggi sehingga dilakukan simulasi untuk melakukan uji eksperimen. Simulasi yang digunakan yaitu *computational fluid dynamics* (CFD) dengan *software* ANSYS 2024 untuk mempelajari sifat fluida berupa gas dan karakteristik gas pada baja yang disimulasikan. Pada simulasi kali ini menggunakan variabel berupa temperatur dan tekanan gas yang berbeda. Temperatur yang digunakan yaitu 400 °C, 425 °C dan 450 °C sedangkan tekanan yang digunakan yaitu 1,5 mbar, 1,75 mbar dan 2,0 mbar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan temperatur 450 °C menghasilkan panas yang optimal pada baja dibandingkan dengan menggunakan temperatur 400 °C dan 425 °C. Temperatur tinggi ini mempengaruhi karakteristik aliran gas seperti densitas gas. Penggunaan tekanan 2,0 mbar menghasilkan penyebaran panas pada sampel lebih merata yang ditandai dengan kontur dengan dominasi warna merah pada permukaan sampel hingga dinding sampel dibandingkan dengan menggunakan tekanan 1,5 mbar dan 1,75 mbar.

Kata kunci: *Thermochemical Treatments, Computational Fluid Dynamics, Nitridasi*

ABSTRACT

Thermochemical treatments are a process of modifying the surface of a material by using heat treatment and chemical reactions without changing the properties of the material. One method of thermochemical treatments is nitriding. The gas nitriding method has the disadvantage of requiring high temperatures to heat the metal. The use of high temperatures can pose risks such as damaging the steel to be processed. Based on these shortcomings, this method was developed into plasma nitriding. Plasma nitriding is a development of gas nitriding that utilizes plasma to increase the effectiveness of the nitrogen absorption process on the metal surface. This method has several risks by using plasma, namely the formation of gas heated to high temperatures so that simulations are carried out to conduct experimental tests. The simulation used is computational fluid dynamics (CFD) with ANSYS 2024 software to study fluid properties in the form of gas and gas characteristics in simulated steel. This simulation uses variables in the form of different gas temperatures and pressures. The temperatures used are 400°C, 425°C and 450°C while the pressures used are 1.5 mbar, 1.75 mbar and 2.0 mbar. The simulation results show that using a temperature of 450 °C produces optimal heat in steel compared to using temperatures of 400 °C and 425 °C. This high temperature affects gas flow characteristics such as gas density. The use of a pressure of 2.0 mbar produces a more even distribution of heat in the sample which is characterized by contours with a predominance of red on the surface of the sample to the sample wall compared to using pressures of 1.5 mbar and 1.75 mbar.

Keywords: Thermochemical Treatments, Computational Fluid Dynamics, Nitriding

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul " Simulasi Plasma Nitridasi Melalui *Computational Fluid Dynamics Ansys Fluent* Dengan Mengamati Pengaruh Tekanan dan Temperatur Terhadap Karakteristik Aliran Gas" Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan pada program sarjana di Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari proses pengerjaan skripsi ini banyak dibantu oleh beberapa pihak, maka dari itu penulis mengucapkan rasa terima kasih dengan tulus kepada:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Didi Rachmawan dan Ibu Eha Muslihah. Terima kasih atas segala doa, pengorbanan, dukungan, motivasi, serta kasih sayang yang tiada henti-hentinya diberikan hingga penulis mampu menyelesaikan studi hingga akhir.
2. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Ibu Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. selaku pembimbing I dan Ibu Anistasia Milandia, S.T., M.T. selaku pembimbing II sekaligus pembimbing akademik yang dengan sabar, tulus, ikhlas meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran yang berharga kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
4. Keluarga besar penulis yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi ini.
5. Sahabat-sahabat yang tergabung dalam Rumah Ardo yang memberikan hiburan dan dukungan selama menjalani perkuliahan.
6. Teman-teman Dul Bedul, Rumah Arga, Puri Ungu, Kost Nana, Palm Flamboyan Atas, Damkar Oranye, Keserangan Biru, serta golongan yang tergabung dalam Teknik Metalurgi Angkatan 2020 yang telah memberikan dukungan dan semangat selama menjalani perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran akan penulis nantikan. Besar harapan penulis dengan menyusun skripsi ini dapat membantu penulis menjadi sebuah acuan penelitian dan bermanfaat bagi pembacanya. Atas perhatiannya, penulis ucapkan terima kasih.

Cilegon, Januari 2025

Andhika Pramudya Rahmawan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Nitridasi	6
2.2 Plasma Nitridasi	8
2.3 Mekanisme dan Pramater Proses Plasma Nitridasi	10
2.4 Mekanisme Difusi	12

2.5	Definisi Diagram Fasa Fe-N.....	14
2.6	Gas Nitrogen.....	15
2.7	Definisi Baja dan Klasifikasinya	16
2.7.1	Macam-Macam Baja Karbon.....	17
2.7.2	Macam-Macam Baja Paduan.....	18
2.7.3	Unsur Baja Paduan	19
2.8	Spesifikasi Baja AISI D2.....	22
2.9	Pengaplikasian <i>Software</i> ANSYS.....	22
2.10	Metode <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....	24

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	28
3.1.1	Diagram Alir Simulasi Proses.....	28
3.2.1	Algoritma Simulasi CFD	29
3.2	Alat yang digunakan.....	30
3.3	Model Matematika Simulasi.....	31
3.4	Prosedur Penelitian.....	32
3.4.1	Pembuatan Geometri <i>Substrat</i>	32
3.4.2	Parameter Simulasi <i>Computational Fluida Dynamics</i>	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Hasil Penelitian	36
4.2	Pengaruh Temperatur terhadap Distribusi Gas	41
4.3	Pengaruh Temperatur terhadap Laju Alir Gas	45
4.4	Pengaruh Temperatur terhadap Densitas Gas	48

4.5	Pengaruh Tekanan Gas terhadap Distribusi Temperatur	50
4.6	Pengaruh Tekanan Gas terhadap Laju Alir Gas.....	54
4.7	Pengaruh Tekanan Gas terhadap Desnitas Gas.....	56
4.8	Profil Temperatur Hubungan Temperatur dengan Tekanan.....	58

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA	63
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	69
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Sifat Kimia Nitrogen	16
2.2 Komposisi Kimia Baja AISI D2.....	22
3.1 Data Parameter Simulasi CFD	34
3.2 Data Parameter Model Gas Nitrogen.....	35
4.1 Data Hasil Simulasi Pengaruh Temperatur Terhadap Kecepatan Aliran dan Densitas.....	38
4.2 Data Hasil Simulasi Pengaruh Tekanan Terhadap Kecepatan Aliran dan Densitas.....	39
4.3 Data Hasil Simulasi Pengaruh Tekanan Terhadap Temperatur.....	40
4.4 Data Hasil Simulasi Temperatur Profil	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Skema Proses <i>Nitriding</i>	6
2.2 Skema Reaktor Plasma.....	8
2.3 Penyisipan Ion ke Benda Kerja.....	9
2.4 Tahap Perlakuan Panas Plasma Nitridasi.....	10
2.5 Proses Difusi <i>Vacancy</i>	13
2.6 Proses Difusi <i>Intersisi</i>	13
2.7 Diagram Fasa Fe-N.....	14
2.8 Skematik Simulasi Gas Masuk.....	27
2.9 Vektor Kecepatan Distribusi Gas di Sekitar Substrat.....	27
3.1 Diagram Alir Simulasi Proses.....	28
3.2 Algoritma Simulasi.....	30
3.3 Dimensi Geometri Sampel.....	33
4.1 Geometri Baja AISI D2.....	36
4.2 Hasil <i>Mehsing</i> Baja AISI D2.....	37
4.3 Hasil Distribusi Gas Nitrogen Pada Temperatur (a) 400 °C, (b) 425 °C dan (b) 450 °C.....	43
4.4 Kontur Kecepatan Alir Gas Nitrogen Pada Temperatur (a) 400 °C, (b) 425 °C dan (b) 450 °C.....	46
4.5 Kurva Kecepatan Alir Gas Nitrogen Pada Temperatur 400 °C, 425 °C dan 450 °C.....	47
4.6 Kontur Perubahan Densitas Gas Nitrogen Pada Temperatur (a) 400 °C, (b) 425 °C dan (c) 450 °C.....	49

4.7	Kurva Perubahan Densitas Gas Nitrogen Pada Temperatur 400 °C, 425 °C dan 450 °C	50
4.8	Hasil Distribusi Temperatur dengan Tekanan (a) 1,5 mbar, (b) 1,75 mbar dan (c) 2,0 mbar	52
4.9	Kurva Distribusi Temperatur dengan Tekanan 1,5 mbar, 1,75 mbar, dan 2,0 mbar 450 °C	53
4.10	Kontur Laju Aliran Gas dengan Tekanan (a) 1,5 mbar, (b) 1,75 mbar dan (c) 2,0 mbar	55
4.11	Kurva Laju Aliran Gas dengan Tekanan 1,5 mbar, 1,75 mbar dan 2,0 mbar	56
4.12	Kontur Densitas Gas dengan Tekanan (a) 1,5 mbar dan (b) 1,75 mbar, dan (c) 2,0 mbar	57
4.13	Kurva Densitas Gas dengan Tekanan 1,5 mbar, 1,75 mbar, dan 2,0 mbar	58
4.14	Profil Temperatur Sepanjang <i>Inlet</i> ke <i>Outlet</i>	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang menduduki posisi strategis sebagai penghasil gas alam di dunia dengan potensi cadangan sebesar 75 miliar m³ dan menempatkannya pada peringkat ke-10 secara global. Selain penghasil gas terbesar, Indonesia juga menjadi negara konsumen gas alam dengan total konsumsi sebesar 39,7 miliar berdasarkan data statistik energi dunia [1]. Berdasarkan data Kementrian ESDM proyeksi pemanfaatan gas bumi domestik Indonesia naik dengan rata-rata 7,8% pertahun [2]. Salah satu masalah besar yang dihadapi Indonesia dalam pemanfaatan gas alam yaitu kurangnya insfrakstruktur pipa gas alam, yang akan digunakan untuk mendistribusikan gas tersebut.

Pipa gas memiliki ukuran dan spesifikasi yang berbeda-beda yang disesuaikan dengan kondisi yang terjadi di lapangan dan hal yang paling sering terjadi yaitu kebocoran yang diakibatkan oleh korosi. Korosi memberikan dampak buruk berupa kerugian langsung seperti kerusakan pada material yang digunakan [3]. Salah satu cara pencegahan korosi yaitu dengan melakukan *thermochemical treatments* [4].

Thermochemical treatments merupakan proses modifikasi permukaan material dengan menggunakan perlakuan panas dan reaksi kimia tanpa megubah sifat material tersebut. Proses ini memiliki beberapa kelebihan seperti meningkatkan kekerasan pada permukaan material secara signifikan, ketahanan aus

yang tinggi, dan ketahanan terhadap korosi. *Thermochemical treatments* memiliki beberapa metode seperti karburisasi, karbonitridasi, dan nitridasi [5].

Metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekerasan material adalah metode nitridasi. Pada prosesnya, nitridasi salah satu proses perlakuan panas *thermochemical treatment* dengan tujuan nitrida dimasukkan ke dalam permukaan baja pada temperatur 400 hingga 600 °C. Nitridasi memiliki dua metode dalam prosesnya seperti nitridasi gas dan nitridasi cairan [6].

Metode nitridasi gas memiliki kekurangan yaitu membutuhkan temperatur yang tinggi untuk memanaskan logam. Penggunaan temperatur tinggi, dapat menimbulkan resiko seperti merusak baja yang akan diproses. Berdasarkan kekurangan tersebut, metode ini dikembangkan menjadi plasma nitridasi. Proses plasma nitridasi memiliki kelebihan yaitu menggunakan plasma untuk menghasilkan temperatur lebih rendah sekitar 400 °C hingga 500 °C dibandingkan dengan nitridasi gas konvensional yang menggunakan temperatur mencapai 600 °C [7]. Mekanisme dari proses plasma nitridasi yaitu melibatkan penggunaan plasma membantu memasukan nitrogen ke dalam permukaan baja. Plasma merupakan gas yang terionisasi. Ion-ion nitrogen yang dihasilkan dari plasma akan berdifusi pada permukaan yang dikeraskan, sehingga terjadi membentuk lapisan nitrida yang bersifat keras pada permukaan [8].

Simulasi merupakan suatu metode permodelan serta analisis yang digunakan untuk memprediksi perilaku suatu proses dengan menggunakan model matematika dan komputer. Metode ini digunakan untuk menganalisis proses sebelum dilakukan secara langsung agar mengurangi resiko-resiko yang akan terjadi seperti biaya

produksi yang mahal dan bahaya yang dapat terjadi di lapangan seperti ledakan. Metode plasma nitridasi dengan menggunakan reaktor memiliki kendala salah satunya adalah biayanya yang tinggi untuk melakukan proses ini secara langsung. Untuk mengamati bagaimana gas dapat membentuk lapisan nitrida pada baja, perlu diamati proses difusi yang mendasarinya. *Computational fluid dynamics* (CFD) merupakan metode yang dapat digunakan untuk mensimulasikan proses plasma nitridasi dengan parameter proses yaitu laju kecepatan aliran gas, densitas, dan distribusi gas. Pada metode CFD analisis sistem dengan memperhatikan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena lainnya, termasuk reaksi kimia, melalui simulasi berbasis komputer yang menggunakan pendekatan numerik [9].

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode CFD dengan aplikasi ANSYS, sebuah perangkat lunak simulasi teknik dengan pengaplikasian *Computer Aided Engineering* (CAE). ANSYS dapat dilakukan permodelan dengan tujuan untuk menyelesaikan masalah mekanis secara numerik. Masalah-masalah tersebut dapat dikategorikan sebagai statis, dinamis, masalah fluida, dan perpindahan panas. *Software* ANSYS yang digunakan adalah ANSYS versi R2 2024 untuk melakukan simulasi CFD dengan menyelesaikan persamaan yang mengatur aliran fluida dan perpindahan panas.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian kali ini adalah bagaimana efektifitas laju alir dengan mengamati densitas, tekanan, dan distribusi ion pada proses plasma nitridasi ke baja AISI D2 yang dianalisis menggunakan simulasi berbasis ANSYS.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur pada proses plasma nitridasi terhadap densitas, laju alir, tekanan dan distribusi ion pada baja AISI D2.
2. Mengetahui pengaruh variasi tekanan pada proses plasma nitridasi terhadap terhadap densitas, laju alir, tekanan dan distribusi ion pada baja AISI D2.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan gas nitrogen yang berfokus baja sampel baja AISI D2 dan mendapatkan simulasi permodel yang sesuai dengan literatur yang tersedia agar mendapatkan hasil simulasi dengan perbedaan temperatur dan tekanan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Geometri sampel dibuat dengan software 3d *modelling* berupa Autodesk AutoCAD.
2. Simulasi *computanional fluid dynamics* (CFD) menggunakan *software* ANSYS *Fluent* 2024 R1.
3. Simulasi difokuskan pada logam dengan menggunakan baja AISI D2.
4. Variabel bebas:
 - a. Tekanan: 1,5 milibar, 1,75 milibar, dan 2,0 milibar
 - b. Temperatur proses: 450 °C, 425 °C dan 450 °C
5. Variabel terikat yaitu *output* hasil simulasi berupa laju alir, tekanan, densitas dan distribusi temperatur gas.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari bagian awal, bagian utama, dan bagian akhir skripsi. Bagian awal skripsi berisikan halaman judul, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran yang dimuat untuk mempermudah menemukan hal-hal yang yang diinformasikan. Bagian utama skripsi terbagi atas 5 bab dan sub bab yaitu yang membahas hal-hal mengenai penelitian. Bab I memuat latar belakang, identifikasi masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, dan sistematika penulisan skripsi. Latar belakang pada bab pertama menjelaskan tentang pemanfaatan gas alam di Indonesia, metode nitridasi, penggunaan plasma nitridasi, dan simulasi CFD sebagai komponen simulasi. Bab II memuat dan menjelaskan landasan teori, yang mendukung untuk memecahkan masalah penelitian. Adapun landasan teori yang dimuat membahas tentang dasar nitridasi, metode plasma nitridasi, gas nitrogen, simulasi proses berupa ANSYS. Bab III menjelaskan metode penelitian yang meliputi diagram alir penelitian, dan alat yang digunakan, serta prosedur penelitian. Bab IV memuat isi pembahasan mengenai data yang didapat dari hasil penelitian simulasi yang dilakukan. Bab V sebagai bab terakhir mengulas poin penting dari pembahasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan. Selain itu juga dituliskan saran untuk penelitian serupa selanjutnya. Bagian akhir skripsi memuat daftar pustaka dan lampiran yang berisi contoh perhitungan, data hasil penelitian berupa data, dan berupa gambar hasil simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. N. D. Yahya, D. I. Rudyardj, and J. Ady, "Diamond Like Carbon (Dlc) Coating on Carbon Steel With Plasma Techniques for Gas Pipes," *Indones. Appl. Phys. Lett.*, vol. 1, no. 2, p. 51, 2020, doi: 10.20473/iapl.v1i2.23446.
- [2] F. P. Fadli Hanafi Siregar, Mohamad Sofitra and Jurusan, "STUDI KELAYAKAN BISNIS PENDISTRIBUSIAN GAS MELALUI MODA TRANSPORTASI PIPA PADA KABUPATEN MEMPAWAH, KABUPATEN KUBU RAYA, DAN KOTA PONTIANAK," vol. 8, no. 1, pp. 8–20, 2024.
- [3] U. E. all Wahyuningsih, "Penanggulangan Korosi Pada Pipa Gas Dengan Metode Catodic Protection (Anoda Korban) Pt Pgn Solution Area Tangerang," *Power Plant*, vol. 5, no. 1, pp. 40–50, 1970, doi: 10.33322/powerplant.v5i1.109.
- [4] M. D. Manfrinato, M. R. Danelon, L. S. De Almeida, R. C. Cozza, and L. S. Rossino, "Plasma Nitriding Effect on Tribological Behavior of AISI D2 tool steel: Understanding of Wear Rate," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 22, no. 11, pp. 178–185, 2022, doi: 10.9790/9622-1211178185.
- [5] F. Czerwinski, *Heat Treatment - Conventional and Novel Applications*. 2012. doi: 10.5772/2798.
- [6] T. Rahardjo, "Proses Nitriding Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Permukaan Material Dies," *J. Flywheel*, vol. 1, no. 2, pp. 50–60, 2008.
- [7] S. Suprpto, B. Tenaga, and N. Nasional, *Buku Pengembangan Teknologi Plasma untuk Nitridasi Lengkap ISBN Barcode*, no. November. 2018.

[Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/337274853>

- [8] P. T. Akselerator, D. Proses, and B. Abstrak, "Suprpto, Lely Susita RM, Sukidi," *Ilm. Teknol. Akselerator dan Apl.*, vol. 9, pp. 234–240, 2007.
- [9] J. Jalaluddin, S. Akmal, N. ZA, and I. Ibrahim, "Analisa Laju Korosi Baja Karbon ST-37 dalam Larutan Asam Sulfat dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Tembakau," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 8, no. 2, p. 53, 2020, doi: 10.29103/jtku.v8i2.2682.
- [10] D. Pye, *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*. 2003.
- [11] A. B. Setiawan and W. Purwadi, "Pengaruh Temperatur Dan Waktu Proses Nitridasi Terhadap Kekerasan Permukaan Fcd 700 Dengan Media Nitridasi Urea," *Semin. Nas. Kluster Ris. Tek. Mesin 2009*, pp. 35–40, 2009.
- [12] T. Trisbenheiser, "Pengaruh Proses Nitriding Terhadap Perubahan Kekerasan Dan Keausan Permukaan Baja St 40 Dengan Variasi Waktu Dan Suhu," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 18, no. 2, pp. 182–188, 2020, doi: 10.31963/sinergi.v18i2.2310.
- [13] U. Rumendi and H. Hermawan, "Analisis Pengerasan Permukaan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 1045 Melalui Proses Nitridasi Menggunakan Media Urea," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 1, no. 2, pp. 104–109, 2014, doi: 10.21009/jkem.1.2.7.
- [14] M. KRBAŤA, P. MIKÚŠ, and O. PILCH, "Analysis of Processes and Properties of Plasma Nitriding.," *Univ. Rev.*, vol. 10, no. 4, pp. 1–3, 2016.
- [15] D. Priyantoto, B. Pribadi, S. Lutfi, and T. Sujitno, "Nitridasi Plasma Temperatur 423 K pada Permukaan AlMgSi sebagai Bahan Struktur Reaktor

Riset,” *Pros. SNFA (Seminar Nas. Fis. dan Apl.*, pp. 10–18, 2022.

- [16] A. L. S. & Mujiyono, “Meningkatkan Efektivitas Arang Bakau Pada Proses Karburising Padat Baja Karbon Rendah Menggunakan Barium Karbonat (Improving Bakau’s Charcoal Effectiveness on Pack Carburizing of Low-Carbon Steel Using Barium Carbonat),” *J. Ilm. Semester Tek.*, vol. 12, no. 2, pp. 123–131, 2009.
- [17] B. Waluyo Febriantoko, “Studi variasi suhu terhadap kuat mekanik sambungan antara baja dengan tembaga pada proses furnace brazing,” *Media Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 35–42, 2008.
- [18] J. William D. Callister, *Materials Science and Engineering An Introduction*, vol. 26, no. 14. 1991. doi: 10.1007/BF01184995.
- [19] L. S. R.M., B. Siswantor, I. Aziz, and Taufik, “Deposisi lapisan nitrida pada permukaan pin dan ring piston dengan metoda dc sputtering,” *Pros. Pertem. dan Present. Ilm. Teknol. Akselerator dan Apl.*, vol. 13, no. 1, pp. 70–78, 2012.
- [20] W. Purwadi, D. Idamayanti, P. Manufaktur, and N. Bandung, “Peningkatan Kekerasan Permukaan Ferro Casting Ductile (Fcd) 700 Melalui Proses Nitridasi Dengan Media Urea Increasing of Surface Hardness of Ferro Casting Ductile (Fcd) 700 Through Nitriding in Urea Medium,” vol. 1, no. 1, pp. 64–78, 2015.
- [21] L. Trisnaliani and A. Harianto, “Produksi Gas Nitrogen Dengan Metode Pressure Swing Adsorption (Psa) Menggunakan Carbon Molecular Sieve (Cms) Sebagai Penyerap Oksigen Nitrogen Gas Production By Pressure Swing Adsorption (Psa) Method Using Carbon Molecular Sieve (Cms) As Oxygen Adsorption,” *J. Kinet.*, vol. 9, no. 01, pp. 45–50, 2018, [Online].

Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>

- [22] M. Jordi, H. Yudo, and S. Jokosisworo, “Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 272–281, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [23] S. H. Sardjono, Eri, “Studi Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja Din 1 . 7223,” *Jur. Mesin, Univ. Muhammadiyah Jakarta*, pp. 42–50, 2009.
- [24] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, *Material Science and Engineering*. 2003.
- [25] J. Carvill, “Mechanical Engineer’s Data Handbook,” *Mech. Eng. Data Handb.*, pp. 1–342, 2012, doi: 10.1016/C2009-0-24207-3.
- [26] S. Ibrahim, “Kajian Perbandingan Komposisi Kimia, Sifat Mekanik dan Ketahanan Aus terhadap Baja Perkakas AISI D2 pada Aplikasi DIES,” *J. Vokasi Teknol. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 23–28, 2019, doi: 10.36870/jvti.v1i1.42.
- [27] ASTM International, “ASTM A 681-08 Standard Specification for Tool Steels Alloy,” *ASTM Int.*, vol. 94, no. Reapproved 2004, pp. 1–14, 2005.
- [28] T. E. R. Syahputra, S. A. Widyanto, and Sulardjaka, “Analisa Karakteristik Material Stempel Mesin Ekstruder Pada Proses Ekstrusi Collapsible Tube,” *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 11, no. 3, pp. 179–188, 2023.
- [29] M. Mačák, P. Vyroubal, T. Kazda, D. Capková, and J. Maxa, “Numerical Modelling of Discharging the Lithium-Sulphur Batteries in Ansys Fluent,” *Adv. Mil. Technol.*, vol. 17, no. 2, pp. 163–177, 2022, doi: 10.3849/aimt.01525.

- [30] ANSYS Inc., “ANSYS Manual,” *Theory Reference*, no. November. pp. 1–1286, 1999. [Online]. Available: <http://research.me.udel.edu/~lwang/teaching/MEx81/ansys56manual.pdf>
- [31] H K Versteeg and W Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*, vol. 10, no. 01. 2020. doi: 10.4236/ojfd.2020.101005.
- [32] M. Nawawi, *Analisa Computational Fluid Dynamics (Cfd) Terhadap Pengaruh Inclining Keel Pada Hambatan Dan Kecepatan Kapal Ikan*. 2015. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/59684/1/4110100702-Undergraduate Thesis.pdf>
- [33] S. Maulana, “Pemanfaatan Computational Fluid Dynamics (Cfd) Dalama Strategi Penelitian Simulasi Model Pada Teknologi Penghawaan Ruang,” *Educ. Build.*, vol. 2, no. 2, pp. 10–13, 2016, doi: 10.24114/eb.v2i2.4393.
- [34] J. H. Ferziger, M. Perić, and R. L. Street, “Introduction to Numerical Methods BT - Computational Methods for Fluid Dynamics.” pp. 23–40, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99693-6_2
- [35] I. Hinkov, K. Pashova, and S. Farhat, “Modeling of plasma-enhanced chemical vapor deposition growth of graphene on cobalt substrates,” *Diam. Relat. Mater.*, vol. 93, no. November 2018, pp. 84–95, 2019, doi: 10.1016/j.diamond.2019.02.001.
- [36] I. Hinkov *et al.*, “Microwave Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition of Carbon Nanotubes,” *J. Surf. Eng. Mater. Adv. Technol.*, vol. 04, no. 04, pp. 196–209, 2014, doi: 10.4236/jsemat.2014.44023.
- [37] S. A. Konakov and V. V. Krzhizhanovskaya, “A mathematical model and simulation results of plasma enhanced chemical vapor deposition of silicon

nitride films,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 574, no. 1, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1088/1742-6596/574/1/012144.

[38] G. Kim *et al.*, “Two dimensional radial gas flows in atmospheric pressure plasma-enhanced chemical vapor deposition,” *AIP Adv.*, vol. 7, no. 12, pp. 1–13, 2017, doi: 10.1063/1.4996797.

[39] F. F. Chen and S. E. Von Goeler, *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion Volume 1: Plasma Physics, Second Edition*, vol. 38, no. 5. 1985. doi: 10.1063/1.2814568.