

Manufacturing of duplex stainless steel using local material, ferronickel, on a laboratory scale

Riyan Marlina^{a,1}, Ade Bagdja^a, Djoko Hadi Prajitno^a, Farid Rizayana^a,
Endang Ahdi^a, Dedi Lazuardi^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung, 40153

¹Email korespondensi: riyanmarlina76@gmail.com

Abstract. The study aims to produce a duplex stainless steel at the laboratory scale using local ferronickel as the main alloying material. The melting process was carried out using the Electric Arc Furnace (EAF) method using three variations of material composition: (1) Fe-Ni 40%, Fe 35%, Cr 25%; (2) Fe-Ni 42%, Fe 33%, Cr 25%; (3) Fe-Ni 38%, Fe 33%, Cr 25%. Tests carried out included microstructure, Vickers hardness, and chemical composition. Microstructural testing showed that all specimens consisted of two main phases: ferrite and austenite. Hardness testing of the three specimens: (1) 217.70 HV; (2) 239.22 HV; (3) 221.52 HV. Chemical composition testing showed that all specimens had Cr content of 19.7% - 22.3% and Ni content of 8.52% - 9.75%. Mapping the chemical composition of each test specimen on the Schaeffler diagram shows that all specimens fall within the duplex stainless steel region. Furthermore, specimen 2 shows the best phase balance with the highest hardness value of 239.22 HV. This study proves that local ferronickel can be used as an alternative alloying material in the production of duplex stainless steel.

Keywords: duplex stainless steel, ferronickel, Electric Arc Furnace, hardness, microstructure

Received: September 30, 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/n80ed832>

PENDAHULUAN

Baja tahan karat dupleks merupakan material logam yang banyak digunakan dalam berbagai industri seperti kimia, petrokimia dan perkapalan. Dikarenakan memiliki kekuatan mekanik tinggi dan ketahanan korosi yang baik. Keunggulan ini berasal dari struktur mikronya yang terdiri dari dua fasa utama, yaitu 50% ferit dan 50% austenite. Kombinasi dua fasa tersebut memberikan sifat tarik tinggi, ketangguhan, serta ketahanan terhadap korosi.

Produksi baja tahan karat dupleks di Indonesia masih terbatas karena ketergantungan terhadap bahan paduan nikel murni yang sebagian besar masih diimpor. Hal ini menyebabkan biaya produksi menjadi tinggi dan menghambat. Pengembangan industri baja tahan karat secara mandiri di dalam negeri. Sementara itu Indonesia memiliki potensi besar dalam sumber daya mineral lokal. Salah satunya adalah feronikel. Feronikel merupakan paduan logam yang mengandung nikel dan besi, dan tersedia melimpah di Indonesia. Penggunaan feronikel sebagai bahan paduan dalam baja tahan karat dapat menjadi solusi alternatif yang lebih ekonomis dan mendukung pemanfaatan sumber daya lokal.

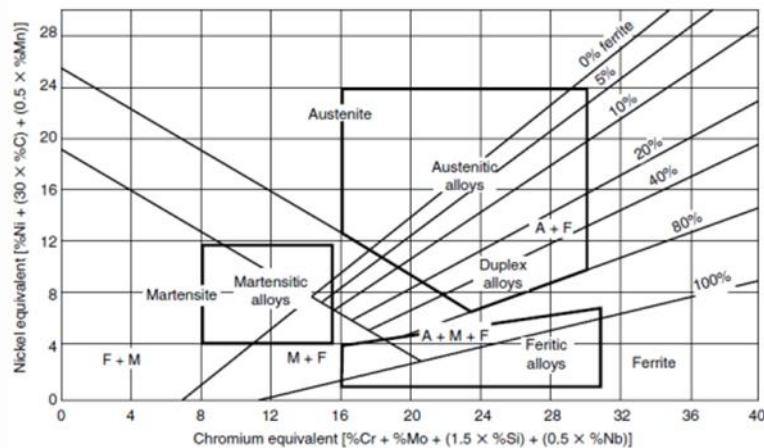
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi feronikel lokal dalam produksi baja tahan karat dupleks. Proses peleburan dilakukan menggunakan metode Electric Arc Furnace (EAF) [1]. Pengujian dilakukan terhadap struktur mikro, kekerasan, dan komposisi kimia dari spesimen baja yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis apakah baja hasil peleburan memenuhi kriteria sebagai

baja tahan karat dupleks baik dari segi mikrostruktur maupun sifat mekaniknya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan bahwa feronikel lokal dapat digunakan sebagai bahan paduan dalam produksi baja tahan karat dupleks. Serta menjadi dasar untuk penelitian lanjutan dan pengembangan material di skala industri.

Baja tahan karat merupakan paduan baja yang mencakup setidaknya 12% kromium. Kandungan kromium ini secara alami menghasilkan lapisan perlindungan yang mencegah korosi melalui proses oksidasi oleh krom yang terjadi secara alami [2]. Berdasarkan struktur mikro serta komposisi elemen paduannya, baja tahan karat dapat diklasifikasikan menjadi: austenitik, ferritik, martensitik, dupleks, dan precipitation hardening [3].

Baja tahan karat dupleks memiliki dua fasa mikrostruktur, austenit dan ferrit, dan memiliki beberapa kelebihan, terutama kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi terhadap korosi intergranular dan biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan stainless steel austenitik. Berdasarkan kapasitasnya menahan korosi, baja tahan karat dupleks dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori.

Komposisi kimia dari baja tahan karat menjadi penentu kualitas sifat mekaniknya. Diagram *Schaeffler* digunakan untuk memperkirakan fase stabil komposisi baja tahan karat pada suhu ruangan, berdasarkan pada susunan kimianya, setelah proses pemanasan dan pendinginan. Gambar 1 menunjukkan rentang komposisi kimia dari baja tahan karat: austenitik, ferritik, martensitik, dan dupleks.



Gambar 1 Diagram Scheffler dari baja tahan karat [4]



Gambar 2. Setup Peleburan EAF

Feronikel dibuat melalui proses peleburan reduksi bijih nikel oksida atau silikat yang mengandung besi (Fe). Pengolahan bijih nikel laterit menjadi feronikel merupakan teknik yang paling sering digunakan dalam sektor ekonomi saat ini. Umumnya diterapkan pada bijih saprolit yang kaya magnesium 15-28% dan memiliki kadar besi yang relatif rendah 13-20%. Feronikel yang terdiri dari sekitar 20% nikel dan 80% besi, dihasilkan melalui peleburan bijih nikel berkadar tinggi. Fungsi utama nikel dalam feronikel adalah meningkatkan ketahanan korosi dan kekuatan mekanis baja tahan karat. Nikel umumnya digunakan sebagai bahan paduan dalam produksi baja dan juga dapat dimanfaatkan sebagai komponen utama dalam pembuatan baja tahan karat [5].

METODOLOGI

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan baja tahan karat dupleks dengan menggunakan feronikel lokal sebagai bahan paduan utama. Proses pembuatan dilakukan di laboratorium dengan menggunakan metode peleburan Electric Arc Furnace (EAF). Tiga variasi komposisi bahan digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

- Spesimen 1: Fe-Ni 40%, Fe 35%, Cr 25%,
- Spesimen 2: Fe-Ni 42%, Fe 33%, Cr 25%,

- Spesimen 3: Fe-Ni 38%, Fe 37%, Cr 25%.

Pemilihan bahan dilakukan dengan menggunakan feronikel lokal berbentuk *granul*, besi murni (Fe) dalam bentuk *chunk*, dan kromium (Cr) berbentuk serbuk. Perhitungan komposisi dilakukan berdasarkan target kadar Cr dan Ni khas baja dupleks. Peleburan dilakukan menggunakan tungku Electric Arc Furnace skala laboratorium yang dilengkapi pendingin air dan pelindung gas argon untuk mencegah oksidasi selama proses berlangsung, seperti Gambar 2. Setiap batch dilebur hingga tiga kali untuk memastikan homogenitas. Proses dimulai dari arus 20 A hingga bertahap dinaikkan sampai 100 A, dengan tegangan mencapai 230 V. Setelah proses peleburan selesai logam cair dicetak dan didinginkan menjadi ingot.

Ingot yang telah terbentuk kemudian diproses menjadi spesimen uji. Tahapan preparasi dimulai dari pemotongan, dilanjutkan dengan grinding menggunakan mesin gerinda, kemudian diampelas secara bertahap dengan kertas amplas bergrit 80 hingga 2000. Setelah itu dilakukan pemolesan (*polishing*) menggunakan pasta abrasif hingga permukaan mengilap, lalu spesimen dilakukan *etching* menggunakan larutan campuran HNO_3 , HF, H_2SO_4 , dan air.

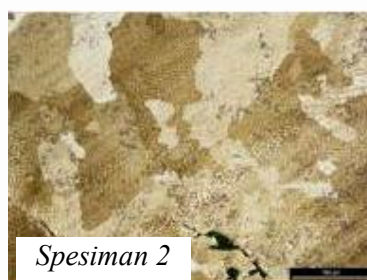
Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk mengamati distribusi fasa ferrit dan austenit. Pengujian dilakukan di laboratorium teknik material Fakultas Teknik Mesin Dirgantara (FTMD) ITB. Spektrofotometri menggunakan standar ASTM 1086 di Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung. Sedangkan uji kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers dengan beban 3 kgf selama 15 detik di PSTNT BATAN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik pada tiga spesimen dengan komposisi

berbeda. Hasil pengujian pada Gambar 3 menunjukkan bahwa seluruh spesimen memiliki dua fasa utama, yaitu ferit (terang) dan austenit (gelap), yang merupakan ciri khas baja dupleks. Spesimen 2 menunjukkan distribusi fasa yang lebih seimbang dan homogen, sedangkan Spesimen 3 memiliki proporsi austenit yang lebih dominan. Distribusi fasa dipengaruhi oleh komposisi kimia serta kondisi peleburan. Kandungan unsur Ni dan Cr mempengaruhi stabilitas dan pembentukan fasa, sedangkan kecepatan pendinginan dapat memicu pembentukan struktur dendritik pada beberapa area.



Gambar 3. Struktur Mikro Spesimen Uji

Tabel 1. Nilai Kekerasan (HV) Spesimen Uji

Spes.	Komposisi (%)	Kekerasan (HV)					
		HV1	HV2	HV3	HV4	HV5	HV Rata2
1	Fe-Ni 40% Fe 35% Cr 25%	224,6	252,2	228,6	184,7	198,2	217,70
2	Fe-Ni 42% Fe 33% Cr 25%	250,58	224,26	231,56	268,29	221,45	239,22
3	Fe-Ni 38% Fe 37% Cr 25%	209,38	247,25	224,26	209,38	221,52	221,52

Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik baja dupleks yang dihasilkan. Metode yang digunakan adalah ZWICK Hardness Tester 3212 dengan beban 3 kgf selama 15 detik pada 5 (lima) titik pengujian tiap spesimen. Pengujian keras Vickers dilakukan di Laboratorium PSTNT di Batan Bandung. Hasil uji kekerasan dapat dilihat pada Tabel 1.

Dalam sebuah spesimen, kekerasan dari ke-lima titik menunjukkan harga yang bervariasi. Hal ini terkait dengan distribusi dari fase ferrit dan austenit yang dikaitkan dengan titik sentuh indenter piramida segi empat uji kekerasan Vickers. Hal ini dikaitkan dengan struktur kristal dari ferrit (BCC) dan austenit (FCC). Sehingga secara umum, fase ferrit mempunyai sifat yang lebih keras dan lebih kuat. Di sisi lain, fase austenit memiliki sifat lebih ulet dan lebih lunak.

Hasil uji kekerasan rata-rata menunjukkan bahwa nilai tertinggi terdapat pada Spesimen 2 sebesar 239,22

HV, diikuti oleh Spesimen 3 sebesar 221,52 HV, dan Spesimen 1 sebesar 217,70 HV. Sedangkan perbedaan kekerasan maksimum dan minimum, yang paling kecil adalah spesimen 3 sebesar 37,87 HV, spesimen 2 sebesar 46,84 HV, dan spesimen 1 sebesar 67,50 HV. Nilai kekerasan rata-rata yang lebih tinggi menunjukkan gabungan dari struktur mikro yang lebih padat dan seimbang, serta tingkat homogenitas yang lebih baik.

Uji Komposisi Kimia

Hasil uji spektrofotometri, lihat Tabel 2, menunjukkan bahwa semua spesimen memiliki kandungan Cr dan Ni dalam rentang standar baja tahan karat dupleks, yaitu Cr antara 19,7–22,3% dan Ni antara 8,52–9,75%. Nilai Cr equivalent dan Ni equivalent menunjukkan posisi struktur mikro berada dalam daerah fasa dupleks berdasarkan diagram Schaeffler. Kehadiran unsur tambahan seperti Mo, Mn, dan Si juga turut mempengaruhi kestabilan fasa dan ketahanan korosi.

Kandungan yang sesuai dengan rentang baja dupleks menunjukkan bahwa feronikel lokal dapat menjadi sumber paduan yang layak.

Tabel 2. Komposisi Kimia dari Spesimen Uji

Unsur Kimia	Komposisi (%)		
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
Fe	70,7	66,3	67,6
C	0,0776	0,0704	0,112
Si	0,119	0,171	0,264
Mn	0,0153	0,0125	0,0256
Cr	19,7	21,8	22,3
Mo	0,009	0,202	0,0172
Ni	8,52	9,75	9,18

Perbedaan komposisi kimia (Tabel 2) menyebabkan perbedaan dari kekerasan spesimen (Tabel 1). Perbedaan nilai kekerasan ini berkaitan erat dengan distribusi fasa dan kandungan unsur paduan (Gambar 3). Komposisi dengan keseimbangan fasa ferit dan austenit yang optimal akan memberikan kekerasan dan sifat mekanik yang lebih baik.

Lebih jauh, hasil uji komposisi kimia dari spesimen diplot didalam diagram Schaeffler. Apabila dibandingkan dengan batasan material baja tahan karat dupleks pada Diagram Schaeffler, maka semua spesimen berada dalam batasan baja tahan karat dupleks tersebut, seperti pada Gambar 4.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa feronikel lokal dapat digunakan sebagai bahan paduan dalam pembuatan baja tahan karat dupleks. Hasil struktur mikro menunjukkan pembentukan dua fasa utama, yaitu ferit dan austenit. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada Spesimen 2, yang memiliki komposisi paling seimbang dan distribusi fasa homogen. Komposisi kimia dari seluruh spesimen memenuhi standar baja tahan karat dupleks berdasarkan kadar Cr dan Ni. Feronikel lokal terbukti memiliki potensi sebagai bahan baku alternatif dalam produksi baja tahan karat dupleks.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan berbagai pengujian seperti uji korosi, uji XRD, dan pengujian lainnya untuk memastikan kestabilan fasa

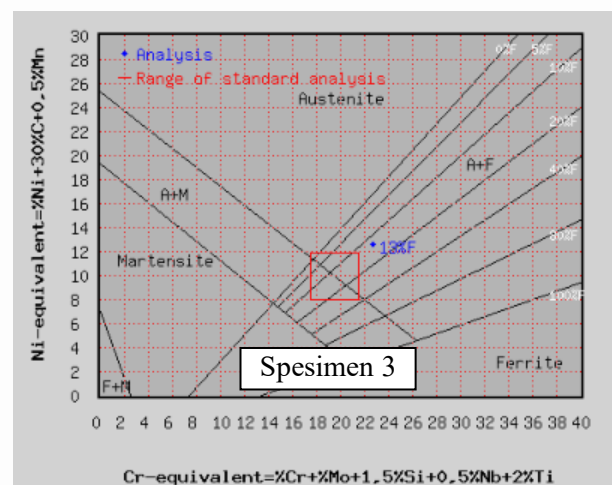
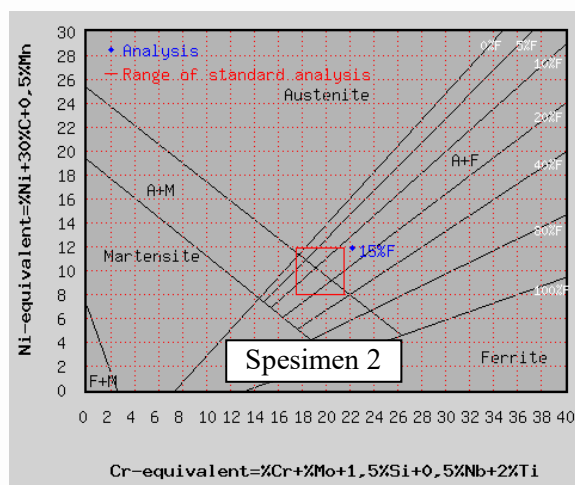
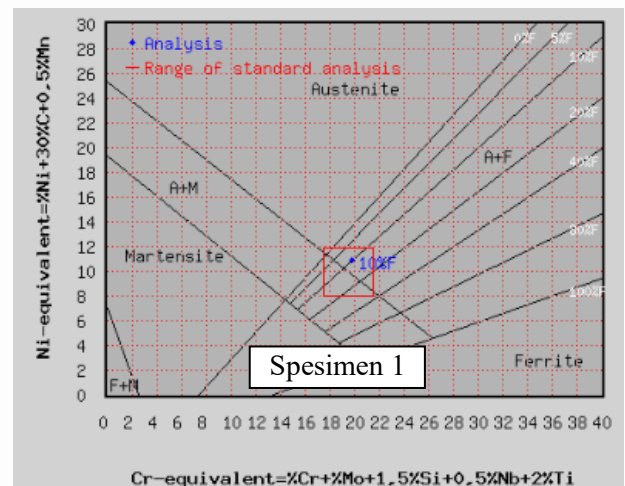
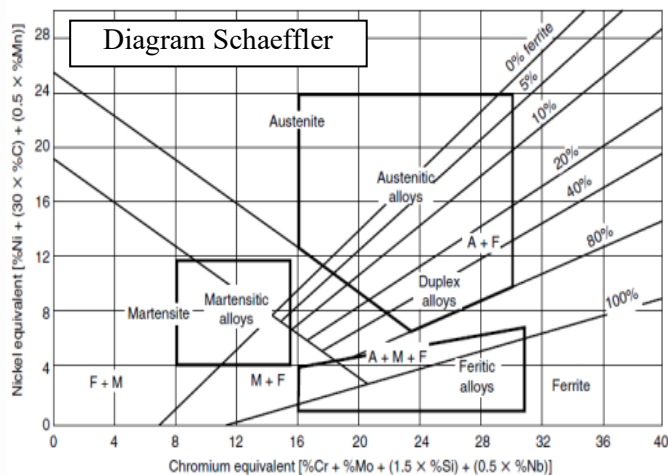
dan ketahanan terhadap lingkungan ekstrem. Sehingga akan diketahui kinerja dari baja tahan karat dupleks yang dikembangkan. Tentunya penelitian ini tidak akan berhenti sampai dengan dilakukannya manufaktur baja tahan karat dupleks untuk skala yang lebih besar. Dimana apabila dimungkinkan sampai memasuki skala produksi massal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains dan Teknologi Nuklir (PSTNT) Badan Tenaga Nuklir (BATAN) Bandung dengan dimungkinkannya menggunakan berbagai alat dan peralatan yang mendukung keberhasilan dan penyelesaian penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) serta Laboratorium Teknik Material Fakultas Teknik Mesin Dirgantara (FTMD) ITB yang secara penuh mendukung penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Penelitian ini merupakan skripsi dari Penulis 1 pada program S1 di Teknik Mesin Universitas Pasundan. Penulis 2 dan Penulis 3 merupakan pembimbing skripsi yang memungkinkan penelitian dapat selesai dengan baik. Sementara Penulis 4 sampai Penulis 6 merupakan pendukung yang tidak bisa dikesampingkan kontribusinya sebagai narasumber atau penguji skripsi yang memberikan masukan yang sangat berharga.



Gambar 4. Posisi Spesimen Uji dalam Diagram Schaeffler

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dynatech International, "Electric Arc Furnace (EAF) Laboratorium," <https://dynatechinternational.web.indotrading.com/product/pm2-p135064.aspx>,
- [2] British Stainless Steel Association (BSSA), Duplex stainless steels: A simplified guide, https://bssa.org.uk/bssa_articles/2-duplex-stainless-steels-a-simplified-guide/.
- [3] M. Firdausi, H. Y. Saputra, "Karakterisasi Stainless Steel Duplex 2205 Sebelum dan Sesudah Proses Hot Rolling," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 20, no. 1, pp. 38–47, 2020.
- [4] J. R. Davis, ASM Speciality Handbook: Stainless Steels, ASM International, Third Printing, 1999, ISBN: 0-87170-503-6.
- [5] Ningsih, S. A., Pengertian dan pengolahan feronikel, *Dictio Community* (28 Agustus 2020). Diakses dari <https://www.dictio.id/t/pengertian-dan-pengolahan-feronikel>.