

Pengujian *Positive Material Identification X-Ray Fluorescence* pada Hasil Pengelasan Inconel UNS N06625

Swandi Kenny Parlindungan L. Toruan^{*1}, Hendra Butar Butar, S.Pd., M.T.* dan Veryawan Nanda Perkasa, S.T., M.Han.*

*** Politeknik Negeri Batam**

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

E-mail: swandikenny@gmail.com

Abstrak

Proyek NFXP bertujuan untuk meningkatkan produksi LNG Qatar yang diproduksi di PT. XYZ. Pengembangan mencakup pekerjaan rekayasa, pengadaan, konstruksi, dan instalasi yang menambah sumur lepas pantai dan infrastruktur baru termasuk platform sumur, jaringan pipa bawah laut dan fasilitas darat untuk meningkatkan produksi LNG untuk ekspor. WHP adalah jenis platform yang dibuat untuk mengekstraksi minyak dan gas alam melalui sumur di dasar laut dimana semua perpipaan, peralatan, instrumen, hingga peralatan listrik ditempatkan di dalamnya. Perpipaan proses melibatkan sistem kompleks saling terhubung untuk mengangkut minyak dan gas dengan aman dan efisien pada lingkungan kimia korosif ke fasilitas pemrosesan lain dalam platform, platform lain, dan fasilitas penyimpanan. Inconel UNS N06625 digunakan dalam industri minyak dan gas karena ketahanan tinggi terhadap cairan korosif. Ketahanannya terhadap unsur korosif seperti H₂S dan klorida menjamin keamanan dan keandalan dalam lingkungan ekstraksi dan pemurnian yang berat. Pengujian *positive material identification XRF* (PMI XRF) memastikan bahwa hasil pengelasan sesuai dengan bahan yang dilas dan memenuhi persyaratan yang berlaku. Pengujian ini mengikuti standar ASME II Bagian C, ASTM B366, ASTM B444, ASTM B564 dan prosedur. Penelitian ini dilakukan pengamatan langsung selama proses pengujian PMI, mencakup kalibrasi, pengumpulan data dan penafsiran data. Proses pengumpulan data melalui pengujian dan kemudian penafsiran menunjukkan kromium tertinggi 22,15%wt pada *tee* dan terendah 20,59%wt pada pipa-1. Nikel tertinggi 63,58%wt pada sambungan 4 dan terendah 58,88%wt pada reduser. Molibdenum tertinggi 9,26%wt pada pipa-2 dan terendah 8,45%wt pada sambungan 6. Niobium tertinggi 3,71%wt pada pipa-2 dan terendah 3,31%wt pada *tee*. Semua komposisi unsur masih dalam rentang kelayakan.

Kata kunci: PMI XRF, Inconel, Komposisi Unsur

Abstract

NFXP Project aims to increase Qatar LNG production fabricated in PT. XYZ. Development includes engineering, procurement, construction, and installation that add new offshore wells and infrastructure including wellhead platforms, subsea pipelines and onshore facilities to boost exported LNG production. WHP is type of platform created to extract oil and natural gas through wells on the seabed where all piping, equipment, instruments, and electrical equipment are placed inside. Process piping involves interconnected complex systems to safely and efficiently transport oil and gas at corrosive chemical environments to other processing within platform, other platform and storage facilities. Inconel UNS N06625 is used in oil and gas industry for its high resistance to corrosive fluids. Its resistance to corrosive elements such as H₂S and chlorides ensures safety and reliability in harsh extraction and refining environments. Positive material identification XRF (PMI XRF) ensures that welding is in accordance with the materials being welded and meets applicable requirements. This test follows ASME II Part C, ASTM B366, ASTM B444, ASTM B564 and procedures. This research conducted through direct observation during the PMI testing process, including calibration, data collection and data interpretation. The data collection process, through testing and subsequent interpretation, showed highest chromium at 22.15%wt in tee and lowest at 20.59%wt in pipe1. Highest nickel is 63.58%wt in joint 4, lowest is 58.88%wt in reducer. Highest molybdenum is 9.26%wt in pipe-2, lowest is 8.45%wt in joint 6. Highest niobium is 3.71%wt in pipe-2 and lowest is 3.31%wt in tee. All elemental composition within acceptable range.

Keywords: PMI XRF, Inconel, Elemental Composition

1. Pendahuluan

Paduan Inconel merupakan kelas paduan super berbasis nikel yang direkayasa untuk berfungsi di lingkungan ekstrem yang ditandai dengan suhu panas, tekanan tinggi dan paparan bahan kimia agresif. Tidak dapat dipungkiri paduan Inconel adalah material penting untuk pekerjaan dengan kinerja tinggi karena ketahanannya yang luar biasa terhadap degradasi panas, korosi dan kelelahan mekanis. Peranan penting dari unsur-unsur paduan utama seperti 3,15-4,15% Niobium dan Tantalum, 8,0-10,0% Molibdenum, 20,0-23,0% Kromium, dan minimum 58% Nikel dalam persentase berat (%wt) dalam mendorong penguatan larutan padat, pengerasan presipitasi dan ketahanan oksidasi. Paduan Inconel 625 mempunyai fitur utama yaitu kekuatan tinggi, ketahanan lelah dan ketahanan korosi yang sangat baik di berbagai media, [1,8,9].

Berdasarkan ASME Section II Part C, ERNiCrMo-3 merupakan logam pengisi untuk Paduan Inconel 625 yang memiliki komposisi nominal logam pengisi klasifikasi ini adalah 61% Nikel, 22% Kromium, 9% Molibdenum, dan 3,5% Niobium dan Tantalum. Logam pengisi klasifikasi ini digunakan untuk pengelasan paduan nikel-kromium-molibdenum (ASTM B443, B444, dan B446 dengan nomor UNS N06625) ke dirinya sendiri, ke baja, ke paduan berbasis nikel lainnya. Logam pengisi klasifikasi ini juga digunakan untuk melapisi baja dengan logam las nikel-kromium molibdenum, dan untuk pengelasan sisi berlapis sambungan baja dengan paduan nikel-kromium-molibdenum. Proses pengelasan yang digunakan adalah GTAW, GMAW, SAW, dan PAW. Logam pengisi ini direkomendasikan untuk aplikasi dengan rentang suhu operasi dari kriogenik (-150°C) hingga 540°C, [7].

Identifikasi kepositifan material (*positive material identification* - PMI) adalah teknik uji tak merusak (*non-destructive test* - NDT) yang digunakan dalam industri seperti manufaktur, konstruksi serta sektor minyak dan gas untuk memastikan kualitas dan integritas material. PMI dilakukan menggunakan berbagai alat, seperti fluoresensi sinar-X (XRF) portabel atau spektrometer emisi optik. PMI sangat penting dalam menentukan komposisi paduan logam, terutama dalam kasus dimana paduan yang berbeda mungkin memiliki tampilan yang serupa. Informasi ini penting untuk memilih material yang tepat dengan sifat mekanis yang diinginkan untuk aplikasi spesifik, [2].

PMI mengarahkan sinar-X ke bahan uji dan radiasi ini menginduksi karakteristik sinar-X yang dihasilkan di dalam material bahan uji. Foton insiden berinteraksi dengan elektron yang mengorbit atom-atom dari bahan uji, dan ketika elektron dikeluarkan dari orbitnya, bahan uji memancarkan energi radiasi. Energi yang dipancarkan memiliki panjang gelombang karakteristik yang bervariasi tergantung pada elemen yang diinterogasi. Energi ini dideteksi oleh unit penguji. Produksi spontan sinar-X yang berkarakteristik fluoresensi ini disebut fluoresensi sinar-X (XRF). Setelah memproses energi yang terdeteksi secara matematis, unit ini memberikan interpretasinya terhadap sampel kimia, [3].

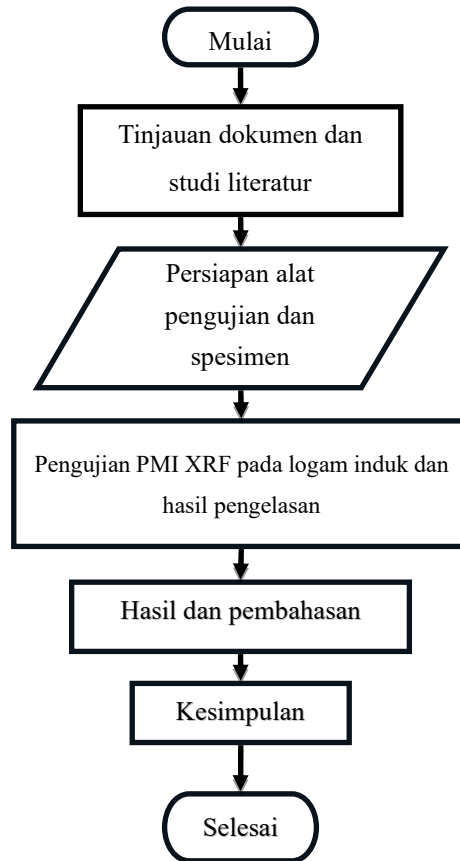
Spesifikasi mensyaratkan perlakuan pengujian 100% terhadap hasil pengelasan dan logam induk di dekat pengelasan perpipaan, [5].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jumlah unsur menggunakan PMI XRF pada perpipaan proses berbahan logam induk Inconel UNS N06625 yang disambungkan dengan proses las menggunakan logam pengisi ERNiCrMo-3 serta membandingkan hasil pengujian PMI XRF dengan kriteria penerimaan berdasarkan ASME Section II Part C, ASTM B366, ASTM B444, ASTM B564.

2. Metodologi Penelitian

2.0 Metode

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan observasi langsung selama proses pengujian PMI XRF. Langkah-langkah penelitian seperti dapat dilihat di gambar 1.



Gambar 1: Diagram alir penelitian

2.1 Alat Pengujian

Pengujian ini menggunakan satu unit alat genggam analisis unsur PMI XRF (*x-ray fluorescence*) portabel dengan model VANTA XRF *analyzer* dalam keadaan laik pakai yang sudah terkalibrasi.



Gambar 2: PMI XRF portabel model VANTA

2.2 Tindakan Pencegahan Keselamatan

Dikarenakan menggunakan sinar-X, ada kemungkinan teknisi dan orang sekitar terpapar oleh radiasi. Untuk mencegah paparan radiasi, langkah-langkah di bawah ini harus diikuti:

- 1) Jangan mengarahkan alat PMI XRF kepada teknisi atau orang lain selama proses pengujian
- 2) Jangan pernah menggunakan jari atau telapak tangan untuk memegang bahan uji saat pengujian
- 3) Pastikan jendela ukur diletakkan tepat di atas lokasi bahan uji, jendela ukur harus tertutupi sepenuhnya oleh bahan uji supaya paparan radiasi bisa sekecil mungkin
- 4) Jangan menguji/memeriksa ketika Anda duduk di kursi dan sampel kalibrasi tepat di atas meja kayu atau non logam, karena paparan radiasi bisa menembus meja dan mengenai kaki, [4].

2.3 Prosedur Pengujian

Penelitian ini menggunakan prosedur dan spesifikasi yang bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi nominal dari bahan paduan induk dan hasil pengelasan dan untuk memverifikasi komposisi nominalnya sesuai dengan spesifikasi persyaratan minimal untuk bahan.

Komponen seperti pipa, fitting seperti sambungan pipa siku (*elbow*), sambungan *tee*, sambungan reduser dan komponen pipa khusus seperti fitting silinder *thermowells* dan instrumen *manifold* mensyaratkan 100% pengujian PMI kecuali dibebaskan atau dikecualikan oleh klien, verifikasi paduan yang diperiksa harus sesuai dengan tabel 1.

PMI di lapangan atau ruang kerja fabrikasi untuk hasil pengelasan harus dilakukan seperti bahan induk terdekat, misalnya: jika sistem perpipaan, bejana tekan dan lainnya mensyaratkan cakupan 100% atau acak maka hasil pengelasan juga harus 100% atau acak.[5].

Pada pengujian PMI disyaratkan untuk mengambil 4 jenis unsur yang tertera di tabel 1.

Tabel 1
Unsur Paduan pada Inconel 625

Tipe	Penamaan	Nomor UNS	Lainnya			
			Kromium	Nikel	Molibdenum	Niobium
Nickel-Alloys	Alloy 625	N06625	✓	✓	✓	✓

2.4 Kriteria Kelaikan

Kriteria kelaikan untuk hasil pengelasan mengacu pada elektroda dan kawat las yang masih dalam rentang nilai dari jumlah setiap elemen paduan yang ditentukan pada ASME II bagian C (tabel 2 di bawah). Begitu juga dengan logam induk paduan akan laik jika tiap elemen paduan masih di dalam rentang yang diperbolehkan oleh spesifikasi bahan induk yaitu ASTM B366 untuk fitting, ASTM B444 untuk pipa dan ASTM B564 untuk flens.

Tabel 2
Kriteria kelaikan

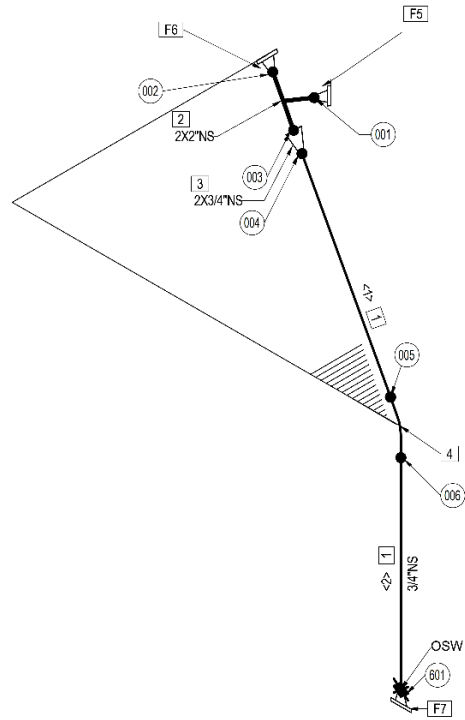
Nama bagian	Referensi	Kromium %wt		Nikel %wt		Molibdenum %wt		Niobium %wt	
		Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Kawat las	ASME II-C	20	23	58	-	8	10	3,15	4,15
Pipa	ASTM B444	20	23	58	-	8	10	3,15	4,15
Fitting / Flens	ASTM B366 / ASTM B564	20	23	58	-	8	10	3,15	4,15

2.5 Kalibrasi

Pada pengujian ini alat PMI harus dikalibrasi dan disertifikasi oleh pabrik pembuat saat dibeli. Kalibrasi oleh pabrik pembuat akan sah dalam jangka waktu satu tahun. Alat PMI harus dikalibrasi satu tahun sekali atau jika ada kasus malfungsi ketika pemakaian harian. Alat yang dipakai telah dikalibrasi tanggal 29 Juli 2025 dan akan dikalibrasi ulang tanggal 29 Juli 2026. Teknisi akan melakukan pemeriksaan harian terhadap keakuratan alat menggunakan



Gambar 5a: Lokasi sampel pengujian



Gambar 5b: Gambar desain bahan uji

2.7 Pengujian

Pengujian dilakukan saat alat masih di dalam rentang masa kalibrasi. Pengujian dilakukan 3 kali di tiap sambungan pengelasan dan masing-masing logam induk. Jumlah sambungan pengelasan sebanyak 6 sambungan, terdiri dari sambungan 1 sampai 6, seperti di gambar 4 dan gambar 5b. Logam induk terdiri dari flens diameter 2 inci, sambungan *tee* diameter 2 inci, sambungan reduker 2x $\frac{3}{4}$ inci, sambungan pipa siku / *elbow* $\frac{3}{4}$ inci dan pipa $\frac{3}{4}$ inci, seperti di gambar 4. Setiap sambungan dilakukan pengujian di hasil pengelasan dan di bahan induk sedekat mungkin dengan pengelasan. Hasil pengujian dapat dilihat di layar alat PMI XRF untuk memverifikasi hasil pembacaan masih sesuai dengan kriteria kelaikan seperti pada gambar 6. Hasil pengujian akan langsung masuk ke penyimpanan memori untuk pengolahan data lebih lanjut jika diperlukan. Jika ditemukan hasil tidak sesuai dengan persyaratan maka *spool* tersebut harus dikarantina. Laporan harus dilaporkan ke insinyur pengelasan. Jika ketidaksesuaian ditemukan di logam induk, maka logam induk harus diganti, jika ketidaksesuaian ditemukan di sambungan las, maka hasil pengelasan harus dibuang dan diisi dengan logam pengisi yang sesuai yaitu ERNiCrMo-3.



Gambar 6a: Pengujian PMI XRF



Gambar 6b: Hasil pengujian lokasi 2

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian *Positive Material Identification X-Ray Fluorescence* di logam induk

Pengujian logam induk dilakukan sebanyak tiga kali di tiap flens (A dan C), tiga kali di tiga titik pada *tee* (B,D,E), tiga kali di dua titik pada reduser (F dan G), tiga kali di dua titik pada pipa (H dan I), tiga kali di dua titik pada *elbow* (J dan K) dan tiga kali di satu titik pada pipa kedua (L). Jumlah tiap unsur pada hasil pengujian logam induk dapat dilihat di tabel 3.

Tabel 3
Hasil pengujian PMI XRF pada logam induk

Lokasi	Jumlah unsur dalam (%wt) persentase berat			
	Kromium	Nikel	Molibdenum	Niobium
Flens-1 (A)	21,443	62,73667	8,80533	3,37033
<i>Tee</i> Lokasi 1 (B)	22,153	60,61667	8,61833	3,36433
Flens-2 (C)	21,36667	62,80333	8,90467	3,38933
<i>Tee</i> Lokasi 2 (D)	21,82667	60,98667	8,717	3,37667
<i>Tee</i> Lokasi 3 (E)	21,56	61,14333	8,73667	3,31233
Reduser Lokasi 1 (F)	22,04667	59,18333	8,62933	3,36067
Reduser Lokasi 2 (G)	21,57333	58,88333	8,64	3,357
Pipa-1 Lokasi 1 (H)	21,59667	59,28667	9,00867	3,654
Pipa-1 Lokasi 2 (I)	20,59	61,72000	9,177	3,61933
<i>Elbow</i> Lokasi 1 (J)	21,90667	60,30333	8,745	3,50933
<i>Elbow</i> Lokasi 2 (K)	21,94	60,38667	9,05	3,64633
Pipa-2 (L)	21,51667	60,30333	9,26333	3,71367

Nilai pada tabel 3 di atas adalah nilai rata-rata dari tiga kali repetisi pengujian PMI XRF di titik yang sama pada logam induk.

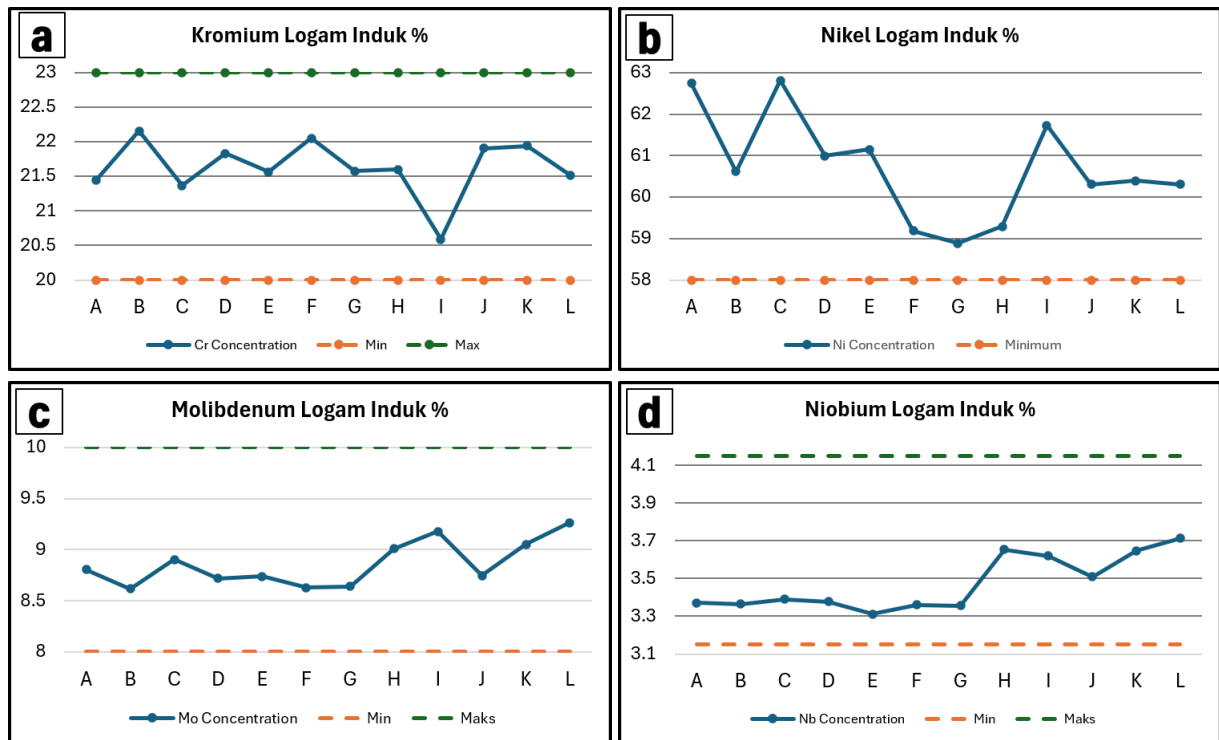
Jumlah unsur kromium, nikel, molibdenum dan niobium pada logam induk akan dibandingkan dengan kriteria kelaikan. Jumlah unsur pada logam induk pipa akan dibandingkan dengan persyaratan ASTM B444. Jumlah unsur pada logam induk flens akan dibandingkan dengan persyaratan ASTM B564. Jumlah unsur pada logam induk *tee*, reduser dan *elbow* akan dibandingkan dengan persyaratan ASTM B366.

Jumlah kromium tertinggi pada logam induk adalah 22,15%wt terdapat pada titik B yaitu *tee* lokasi 1. Sedangkan kromium terendah pada logam induk adalah 20,59%wt terdapat pada titik I yaitu pipa-1 lokasi 2. Perbandingan unsur kromium terhadap kriteria kelaikan pada semua logam induk dapat dilihat pada gambar 7a.

Jumlah nikel tertinggi pada logam induk adalah 62,80%wt terdapat pada titik C yaitu flens-2. Sedangkan nikel terendah pada logam induk adalah 58,88%wt terdapat pada titik G yaitu reduser lokasi 2. Perbandingan unsur nikel terhadap kriteria kelaikan pada semua logam induk dapat dilihat pada gambar 7b.

Jumlah molibdenum tertinggi pada logam induk adalah 9,26%wt terdapat pada titik L yaitu pipa-2. Sedangkan molibdenum terendah pada logam induk adalah 8,62%wt terdapat pada titik B yaitu *tee* lokasi 1. Perbandingan unsur molibdenum terhadap kriteria kelaikan pada semua logam induk dapat dilihat pada gambar 7c.

Jumlah niobium tertinggi pada logam induk adalah 3,71%wt terdapat pada titik L yaitu pipa-2. Sedangkan niobium terendah pada logam induk adalah 3,31%wt terdapat pada titik E yaitu *tee* lokasi 3. Perbandingan unsur niobium terhadap kriteria kelaikan pada semua logam induk dapat dilihat pada gambar 7d.



Gambar 7: Perbandingan komposisi unsur pada logam induk terhadap kriteria kelaikan

3.2 Pengujian *Positive Material Identification X-Ray Fluorescence* di Hasil Pengelasan

Pengujian dilakukan 3 kali di tiap hasil pengelasan, hasil jumlah unsur yang didapat dari 6 sambungan las tertera di tabel 4.

Tabel 4
Hasil pengujian PMI XRF pada hasil pengelasan

Lokasi	Jumlah unsur dalam (%wt) persentase berat			
	Kromium	Nikel	Molibdenum	Niobium
Sambungan 1	21,71	62,29	8,757	3,5503
Sambungan 2	21,76	61,143	8,62967	3,47
Sambungan 3	21,8267	60,13	8,76467	3,5603
Sambungan 4	22,063	63,583	8,893	3,5967
Sambungan 5	21,76	60,19	8,87	3,576
Sambungan 6	21,6	59,603	8,446	3,363

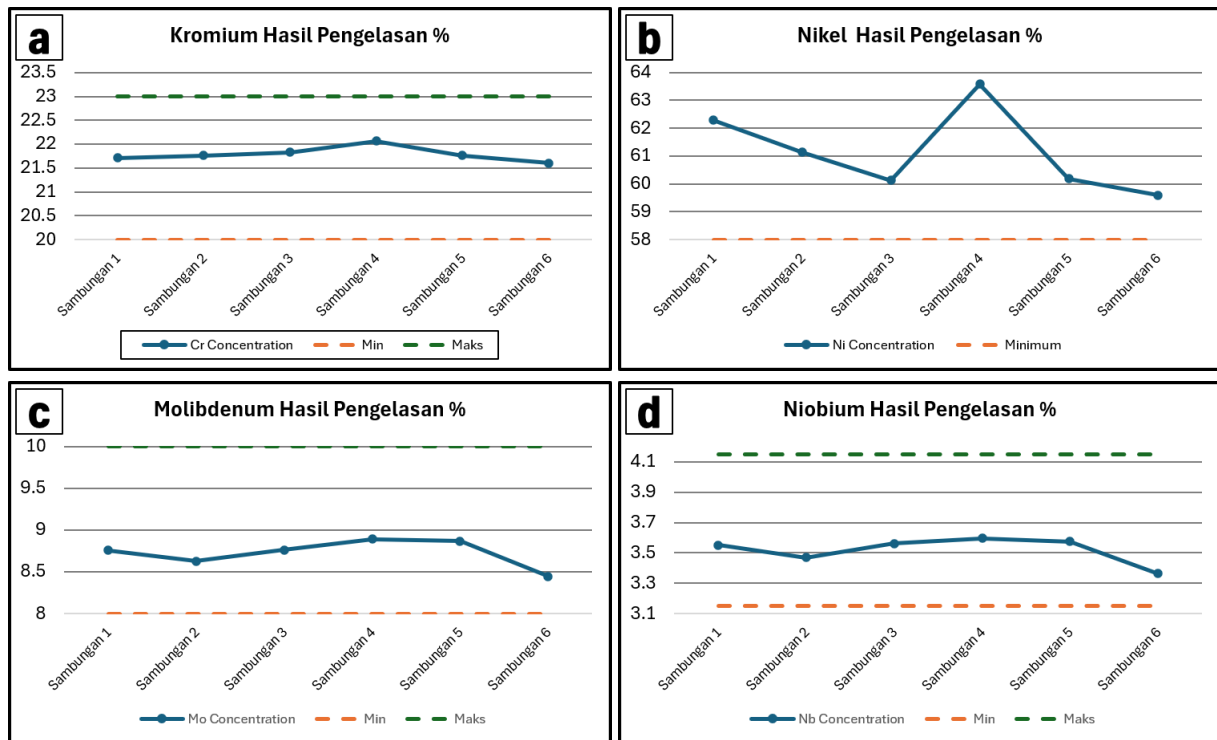
Nilai pada tabel 4 di atas adalah nilai rata-rata dari tiga kali repetisi pengujian PMI XRF di titik yang sama pada hasil pengelasan.

Jumlah unsur kromium, nikel, molibdenum dan niobium pada hasil pengelasan akan dibandingkan dengan kriteria kelaikan yang disyaratkan pada ASME II-C.

Jumlah kandungan unsur tertinggi terdapat pada sambungan 4, dengan jumlah nilai kromium 22,06%wt, jumlah nilai nikel adalah 63,58%wt, jumlah nilai molibdenum 8,89%wt dan jumlah nilai niobium adalah 3,59%wt.

Jumlah kandungan unsur terendah terdapat pada sambungan 6, dengan jumlah nilai kromium 21,6%wt, jumlah nilai nikel adalah 59,6%wt, jumlah nilai molibdenum 8,45%wt dan jumlah nilai niobium adalah 3,36%wt.

Perbandingan jumlah nilai kromium terhadap kriteria kelaikan dapat dilihat pada gambar 8a. Perbandingan jumlah nilai nikel terhadap kriteria kelaikan dapat dilihat pada gambar 8b. Perbandingan jumlah nilai molibdenum terhadap kriteria kelaikan pada gambar 8c. Perbandingan jumlah nilai niobium terhadap kriteria kelaikan pada gambar 8d.



Gambar 8: Perbandingan komposisi unsur pada hasil pengelasan terhadap kriteria kelaikan

4. Kesimpulan

Hasil pengujian PMI XRF pada logam induk dengan nilai kromium terendah yaitu 20,59%wt dan tertinggi yaitu 22,15%wt masih di dalam rentang 20%wt - 23%wt. Untuk nilai nikel terendah yaitu 58,88%wt masih di atas batas minimum yaitu 58%wt. Nilai molibdenum terendah yaitu 8,62%wt dan tertinggi 9,26%wt masih dalam rentang 8%wt - 10%wt. Nilai terendah niobium adalah 3,31%wt dan tertinggi adalah 3,71%wt masih di dalam rentang 3,15%wt - 4,15%wt.

Setelah melakukan pengujian PMI XRF pada 6 hasil pengelasan, didapatkan jumlah nilai tertinggi kromium, nikel, molibdenum dan niobium pada sambungan 4. Sementara jumlah nilai terendah unsur kromium, nikel, molibdenum dan niobium pada sambungan 6.

Pada hasil pengelasan nilai kromium terendah yaitu 21,6%wt dan tertinggi yaitu 22,06%wt masih di dalam rentang 20%wt - 23%wt. Untuk nilai nikel terendah yaitu 59,6%wt masih di atas batas minimum yaitu 58%wt. Nilai molibdenum terendah yaitu 8,45%wt dan tertinggi 8,89%wt masih dalam rentang 8%wt - 10%wt. Nilai terendah niobium adalah 3,36%wt dan tertinggi adalah 3,59%wt masih di dalam rentang 3,15%wt - 4,15%wt.

Semua jenis unsur yang perlu diuji jumlahnya bervariasi namun masih di dalam batas nilai persyaratan kelaikan menurut ASME Section II, ASTM B444, ASTM B366 dan ASTM B564. Semua hasil pengujian dinyatakan dapat diterima atau *accepted*.

5. Daftar Pustaka

- [1] Muhammad Ahmad Iqbal, "Inconel alloys A comprehensive review of properties and advanced", International Journal of Thermofluids, Pakistan, 2025.
- [2] Sadhasivam Velu, "Positive Material Identification PMI.pdf", n.d.
- [3] Dr, Neda Fabris, et al., Material and Process, ASNT, Ohio, USA, 2016.
- [4] Olympus, "Vanta Family X-Ray Fluorescence Analyzer User's Manual", Olympus Scientific Solutions Americas, Massachusetts, USA, 2020.
- [5] Procedure, NFEO-MCD-QM-SPC-00001, "Specification for Positive Materials Identification", Qatar, 2022.
- [6] Procedure NFEO-MCD-QM-PRC-00515, "Positive Material Identification Procedure", Qatar, 2023.

- [7] ASME Section II Part C, "Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals", ASME, New York, USA, 2025.
- [8] ASTM B366, "Standard Specification for Factory-Made Wrought Nickel and Nickel Alloy Fittings", ASTM International, Pennsylvania, USA, 2023.
- [9] ASTM B444, "Standard Specification for Nickel-Chromium-Molybdenum-Niobium Alloys and Nickel-Chromium-Molybdenum-Silicon Alloy Pipe and Tube", ASTM International, Pennsylvania, USA, 2023.
- [10] ASTM B564, "Standard Specification for Nickel Alloy Forgings", ASTM International, Pennsylvania, USA, 2022.