

Analisis Sifat Material SB 171 C70600 Dalam Meminimalisir Risiko Korosi Pada Tube Bundle E-3-05 A&C Pada Kilang Minyak

Analysis of SB 171 C70600 Material Properties in Minimizing Corrosion Risk in Tube Bundle E-3-05 A&C at an Oil Refinery

¹Manuel Davinci Malau*, ²I Gusti Ngurah Priambadi, ³Didin

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

³Engineer PT Intan Prima Kalorindo

¹manueldavinci.malau@gmail.com, ²priambadi.ngurah@unud.ac.id, idindoank91@gmail.com

INFO ARTIKEL

Disetujui: 06 Agustus 2025

doi:10.24843/JRATI.2025.v03.i01.p14

page:103-109

Kata Kunci:

Channel, Heat Exchanger, Korosi, Material SB 171 C70600, SA 105, Tube Bundle

Keywords:

Channel, Corrosion, Heat Exchanger, Material SB 171 C70600, SA 105, Tube Bundle

*Corresponding author: manueldavinci.malau@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat material SB 171 C70600 dalam upaya meminimalisir risiko korosi pada komponen channel tube bundle E-3-05 A&C di kilang minyak. Pada awalnya, material SA 105 (carbon steel) direncanakan sebagai bahan fabrikasi, namun terbukti tidak cocok untuk lingkungan korosif, sehingga dipilih SB 171 C70600 sebagai pengganti. Metode yang digunakan meliputi observasi langsung, wawancara teknis, dan studi literatur terhadap spesifikasi ASME BPVC 2023. Hasil menunjukkan bahwa SB 171 C70600, yang mengandung tembaga dan nikel, memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi, khususnya dalam lingkungan air laut, serta konduktivitas termal yang baik. Dibandingkan SA 105, SB 171 C70600 lebih unggul dari sisi ketahanan terhadap korosi, meskipun memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah. Pemilihan SB 171 C70600 pada bagian channel terbukti mampu menjaga efisiensi perpindahan panas, mengurangi risiko kebocoran, dan memperpanjang umur pakai komponen. Dengan demikian, penggunaan material ini sangat direkomendasikan untuk aplikasi heat exchanger yang bekerja dalam kondisi lingkungan korosif.

ABSTRACT

This study aims to analyse the material properties of SB 171 C70600 in an effort to minimise the risk of corrosion in the channel tube bundle component E-3-05 A&C at an oil refinery. Initially, SA 105 (carbon steel) was planned as the fabrication material, but it proved unsuitable for corrosive environments, so SB 171 C70600 was selected as a replacement. The methods used included direct observation, technical interviews, and a literature study of the ASME BPVC 2023 specification. Results showed that SB 171 C70600, which contains copper and nickel, has high resistance to corrosion, particularly in seawater environments, as well as good thermal conductivity. Compared to SA 105, SB 171 C70600 is superior in terms of corrosion resistance, although it has lower mechanical strength. The selection of SB 171 C70600 in the channel section is proven to maintain heat transfer efficiency, reduce the risk of leakage, and extend component life. Thus, the use of this material is highly recommended for heat exchanger applications that work in corrosive environmental conditions.

I. PENDAHULUAN

Di dunia industri, prinsip perpindahan kalor merupakan hal yang penting, terutama bagi industri manufaktur. Perpindahan kalor dapat terjadi berkat alat penukar kalor atau yang biasa disebut sebagai *heat exchanger*. *Heat exchanger* memiliki beberapa jenis, dan salah satunya adalah tube bundle. *Heat exchanger* berperan sebagai media perpindahan kalor dari fluida yang bertemperatur tinggi menuju temperatur yang lebih rendah atau sebaliknya yang kemudian akan mengubah fase fluida.

Material SB 171 C70600 menjadi salah satu material utama dalam fabrikasi tube bundle E-3-05 A&C pada kilang minyak. Material ini digunakan di beberapa part penting

dalam tube bundle E-3-05 A&C yaitu *stationary tubesheet, floating tubes*

heet, channel, channel cover, girth flange, nozzle neck, dan nozzle flange. Kegunaan material SB 171 C70600 pada bagian bagian tersebut tentunya disesuaikan dengan *heat exchanger* yang akan digunakan sebagai media perpindahan kalor untuk fluida khusus.

Pada kasus ini, material SB 171 C70600 akan digunakan sebagai material utama dalam fabrikasi *tube bundle* E-3-05 A&C pada kilang minyak dan berfokus pada bagian *channel*. Hal ini dikarenakan bagian *channel* pada awal proyek ini akan difabrikasi dengan menggunakan material SA 105 (*carbon steel*), namun penggunaan material tersebut tidak cocok sehingga menyebabkan penggantian

Analisis Sifat Material SB 171 C70600 Dalam Meminimalisir Risiko Korosi Pada Tube Bundle E-3-05 A&C Pada Kilang Minyak

material yang akan digunakan sebagai bahan fabrikasi menjadi SB 171 C70600.

Material SB 171 C70600 juga akan dilakukan inspeksi kandungan kimia berdasarkan prosedur kerja departemen *Quality Control* yang akan dilakukan dengan bantuan alat PMI (*Positive Material Identification*) yang kemudian akan disesuaikan dengan persyaratan kandungan kimia yang tertera dalam ASME BPVC 2023 Section 2 Part

II. TINJAUAN LITERATUR

Dalam dunia industri, kualitas produk tentunya menjadi hal yang sangat penting, khususnya pada material yang digunakan, dimana material akan berpengaruh besar terhadap kinerja dari produk akhir. Kualitas produk dan material dapat ditentukan baik atau buruknya melalui pengecekan atau inspeksi.

PT Intan Prima Kalorindo sebagai perusahaan yang bergerak di bidang perancangan dan pembuatan *heat exchanger* dan *pressure vessel*, memiliki departemen *quality control* sebagai divisi yang melakukan pengecekan kualitas mulai dari kedatangan material hingga produk akhir selesai di fabrikasi. Adapun kajian ini didukung oleh sejumlah landasan teori yang relevan:

A. Tube Bundle

Tube bundle adalah komponen utama dalam *heat exchanger* yang terdiri dari serangkaian pipa yang disusun secara paralel untuk memfasilitasi pertukaran panas antara dua fluida. Efisiensi perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan memaksimalkan luas permukaan kontak antara fluida panas dan dingin [20].

Perpindahan panas dalam *tube bundle* terjadi melalui konduksi dari dinding pipa ke fluida di luar pipa. Aliran fluida dapat diatur sedemikian rupa sehingga meningkatkan luas kontak antara kedua fluida, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi perpindahan panas. *Baffle* berfungsi untuk menciptakan aliran silang (*cross flow*) yang lebih efektif, sehingga memperpanjang waktu kontak antara fluida dan meningkatkan laju perpindahan panas. Fungsi utama dari *tube bundle* adalah untuk memfasilitasi pertukaran panas atau transfer energi antara fluida yang berbeda, seperti uap air, gas atau cairan lainnya. *Tube bundle* digunakan

dalam penukar panas, pendingin, *boiler* untuk memungkinkan transfer energi dan panas dari satu fluida ke fluida lainnya melalui permukaan tabung yang ada di dalamnya. Hal ini memungkinkan kontrol suhu, proses pemanasan, atau pendinginan dalam berbagai aplikasi industri dan sistem teknis.

B. Channel

Channel pada tube bundle merujuk pada bagian atau komponen yang berfungsi sebagai saluran masuk (*inlet*) atau keluar (*outlet*) bagi fluida yang mengalir melalui *tube-tube* tersebut. *Channel* biasanya terletak di ujung *tube bundle* dan dilengkapi dengan penutup (*channel cover*) atau *flange* untuk memudahkan perawatan dan pembersihan. Desain *channel* dapat bervariasi, seperti *fixed channel*, *removable channel*, atau *multiple pass*, tergantung pada kebutuhan operasional dan efisiensi perpindahan panas [11].

C. Korosi

Korosi adalah proses degradasi material akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan sekitarnya. Jenis-jenis korosi, seperti korosi merata, korosi galvanik, dan korosi sumuran, dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan keberadaan zat korosif [8]. Laju korosi bergantung pada suhu, konsentrasi reaktan, jumlah mula-mula partikel (massa) logam, dan faktor mekanik seperti tegangan. Korosi dapat dianggap sebagai proses balik dari pemurnian logam atau ekstraksi. Pada umumnya logam yang terdapat di alam berbentuk senyawa, seperti senyawa oksida, sulfida, karbonat, dan silikat.

D. Material SB 171 C70600

Material SB 171 C70600, juga dikenal sebagai *Copper-Nickel 90/10*, adalah paduan tembaga dengan kandungan 90% tembaga dan 10% nikel yang meningkatkan ketahanan korosi, serta tambahan elemen seperti besi untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya [1]. Spesifikasi ini diatur dalam ASTM B171 / ASME SB171, yang menetapkan persyaratan untuk pelat dan lembaran paduan tembaga yang digunakan dalam bejana tekan, kondensor, dan penukar panas. Persyaratan kandungan kimia pada SB 171 C70600 juga terdapat pada ASME 2023 Section B. Diantaranya:

Copper Alloy UNS No. ^A	Copper, incl Silver	Tin	Nickel, incl Cobalt	Manganese, max	Lead	Iron	Zinc	Aluminum	Chromium	Other Named Elements
C36500	58.0-61.0 ^B	0.25	...	...	0.25-0.7	0.15	remainder	...	...	...
C44300	70.0-73.0 ^B	0.8-1.2	...	...	0.07	0.06	remainder	...	...	0.02-0.06 As
C44400	70.0-73.0 ^B	0.8-1.2	...	...	0.07	0.06	remainder	...	...	0.02-0.10 Sb
C44500	70.0-73.0 ^B	0.8-1.2	...	...	0.07	0.06	remainder	...	...	0.02-0.10 P
C46400	59.0-62.0 ^B	0.50-1.0	...	...	0.20	0.10	remainder	...	...	...
C46500	59.0-62.0 ^B	0.50-1.0	...	...	0.20	0.10	remainder	...	...	0.02-0.06 As
C61300 ^C	remainder	0.20-0.50	0.15	0.20	0.01	2.0-3.0	0.10 ^D	6.0-7.5	...	0.10 Si 0.015 P
C61400	remainder	...	...	1.0	0.01	1.5-3.5	0.20	6.0-8.0	...	0.015 P
C63000	remainder	0.20	4.0-5.5	1.5	...	2.0-4.0	0.30	9.0-11.0	...	0.25 Si
C63200	remainder	...	4.0-4.8 ^E	1.2-2.0	0.02	3.5-4.3 ^E	...	8.7-9.5	...	0.10 Si
C70600	remainder	...	9.0-11.0	1.0	0.05 ^D	1.0-1.8	1.0 ^D	...	...	...
C70620	86.5 min	...	9.0-11.0	1.0	0.02	1.0-1.8	0.50	...	...	0.05 C 0.02 P 0.02 S
C71500	remainder	...	29.0-33.0	1.0	0.05 ^D	0.40-1.0	1.0 ^D	...	...	0.05 C 0.02 P 0.02 S
C71520	65.0 min	...	29.0-33.0	1.0	0.02	0.40-1.0	0.50	...	...	0.03 Si 0.03 Ti
C72200	remainder	...	15.0-18.0	1.0	0.05 ^D	0.50-1.0	1.0 ^D	...	0.30-0.70	...

^A Designation established in accordance with Practice E527.

^B Not including silver.

^C When the product is for subsequent welding applications, and is so specified by the purchaser, chromium shall be 0.05 % max, cadmium 0.05 % max, zirconium 0.05 % max and zinc 0.05 % max.

^D When the product is for subsequent welding applications, and is so specified by the purchaser, zinc shall be 0.50 % max, lead 0.02 % max, phosphorus 0.02 % max, sulfur 0.02 % max, and carbon 0.05 % max.

^E Iron content shall not exceed the nickel content.

Gambar 1 Persyaratan kandungan kimia SB 171

Melalui tabel persyaratan kandungan kimia tersebut, dapat diketahui bahwa jika material SB 171 C70600 memenuhi seluruh syarat kandungan kimia, material tersebut memiliki sifat ketahanan korosi yang sangat baik dikarenakan kandungan tembaga dan nikel yang secara

alami akan membentuk lapisan pelindung oksida dan memperkuat sehingga akan menghambat korosi, terutama dalam lingkungan air laut, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi kelautan dan lepas pantai. Adapun sifat mekanik dari material ini juga memiliki persyaratan berupa:

Copper Alloy UNS No.	Thickness, in. [mm]	Tensile Strength, min, ksi ^A [MPa]	Yield Strength, ^B min, ksi ^A [MPa]	Yield Strength 0.2 % Offset, min, ksi ^A [MPa]	Elongation in 2 in. [50.0 mm], min, %
C36500	2 [50.0] and under over 2 to 3.5 [50.0 to 100.0], incl over 3.5 to 5 [100.0 to 140.0], incl	50 [345] 45 [310] 40 [275]	20 [140] 15 [105] 12 [85]	20 [140] 15 [105] 12 [85]	35 [35] 35 [35] 35 [35]
C44300, C44400, and C44500	4 [100.0] and under	45 [310]	15 [105]	15 [105]	35 [35]
C46400, C46500	3 [80.0] and under over 3 to 5 [80.0 to 140.0], incl	50 [345] 50 [345]	20 [140] 18 [125]	20 [140] 18 [125]	35 [35] 35 [35]
C61300	2 [50.0] and under over 2 to 3 [50.0 to 80.0], incl over 3 to 5 [80.0 to 140.0], incl	75 [515] 70 [485] 65 [450]	37 [255] 30 [205] 28 [195]	36 [250] 28 [195] 26 [180]	30 [30] 35 [35] 35 [35]
C61400	2 [50.0] and under over 2 to 5 [50.0 to 140.0], incl	70 [485] 65 [450]	30 [205] 28 [195]	28 [195] 26 [180]	35 [35] 35 [35]
C63000 and C63200	2 [50.0] and under over 2 to 3.5 [50.0 to 100.0], incl over 3.5 to 5 [100.0 to 140.0], incl	90 [620] 85 [585] 80 [550]	36 [250] 33 [230] 30 [205]	34 [235] 31 [215] 28 [195]	10 [10] 10 [10] 10 [10]
C70600 and C70620	2.5 [60.0] and under over 2.5 to 5 [60.0 to 140.0], incl	40 [275] 40 [275]	15 [105] 15 [105]	15 [105] 15 [105]	30 [30] 30 [30]
C71500 and C71520	2.5 [60.0] and under over 2.5 to 5 [60.0 to 140.0], incl	50 [345] 45 [310]	20 [140] 18 [125]	20 [140] 18 [125]	30 [30] 30 [30]
C72200	2.5 [60.0] and under	42 [290]	16 [110]	16 [110]	35 [35]

^A ksi = 1000 psi.

^B Yield strength is measured at 0.5 % extension under load (that is, 0.01 in. [0.254 mm] in a gage length of 2 in. [50.0 mm]).

Gambar 2 Persyaratan sifat mekanik SB 171

Tensile dan yield strength serta *elongation requirement* menunjukkan bahwa C70600 memiliki kombinasi kekuatan dan keuletan yang baik, memungkinkan material ini untuk menahan tekanan mekanis yang signifikan sambil tetap dapat dibentuk sesuai kebutuhan desain dari tube bundle. Melalui sifat kimia dan mekanis material SB 171 C70600 yang telah diketahui, material ini dapat digunakan sebagai bahan manufaktur paduan tembaga plat, *sheet*, dan *circles* untuk *pressure vessels*, *condensers*, dan *heat exchangers*.

E. Material SA 105

SA-105 adalah spesifikasi material baja karbon tempa (*forged carbon steel*) yang digunakan untuk komponen tekanan tinggi, seperti *flange*, *fitting*, dan komponen pipa lainnya dalam sistem perpipaan serta peralatan tekanan seperti *heat exchanger*[2]. Material ini diklasifikasikan dalam ASME *Section II*, Part A, yang mencakup material yang dapat digunakan dalam desain *pressure vessels* sesuai ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC) dan ASME B31.3 untuk proses perpipaan. Persyaratan kandungan kimia material SA 105 juga terdapat pada ASME 2023 *Section A* part 1. Diantaranya:

Analisis Sifat Material SB 171 C70600 Dalam Meminimalisir Risiko Korosi Pada Tube Bundle E-3-05 A&C Pada Kilang Minyak

TABLE 1 Chemical Requirements

NOTE 1—For each reduction of 0.01 % below the specified carbon maximum (0.35 %), an increase of 0.06 % manganese above the specified maximum (1.05 %) will be permitted up to a maximum of 1.65 %.

Element	Composition, %
Carbon	0.35 max
Manganese	0.60–1.05
Phosphorus	0.035 max
Sulfur	0.040 max
Silicon	0.10–0.35
Copper	0.40 max ^A
Nickel	0.40 max ^A
Chromium	0.30 max ^{A,B}
Molybdenum	0.12 max ^{A,B}
Vanadium	0.08 max ^A

^A The sum of copper, nickel, chromium, molybdenum and vanadium shall not exceed 1.00 %.

^B The sum of chromium and molybdenum shall not exceed 0.32 %.

Gambar 3 Persyaratan kandungan kimia SA 105

Melalui tabel persyaratan kandungan kimia tersebut, dapat diketahui bahwa jika material SA 105 memenuhi seluruh syarat kandungan kimia, maka material ini memiliki kekuatan dan ketahanan tekanan tinggi, kemampuan tempa yang baik, konduktivitas termal yang cukup tinggi, serta harga yang ekonomis. Material ini memiliki masih kekurangan seperti: Rentan terhadap korosi di lingkungan agresif, terutama pada fluida yang mengandung klorida atau gas asam (H₂S) [4]. Untuk aplikasi dengan potensi korosi tinggi, sering kali diperlukan pelapisan atau penggunaan material alternatif seperti stainless steel atau baja paduan. Material ini juga tidak cocok untuk suhu kriogenik (suhu sangat rendah) karena sifat keuletannya menurun drastis pada suhu rendah, jika digunakan dalam kondisi rendah suhu, perlu dilakukan uji ketangguhan (impact test) seperti yang diwajibkan oleh ASME SA-350 untuk kondisi kriogenik. Sifat mekanik dari material ini juga memiliki persyaratan berupa:

TABLE 2 Mechanical Requirements^A

Tensile strength, min, ksi [MPa]	70 [485]
Yield strength, min, ksi [MPa] ^B	36 [250]
Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %:	
Basic minimum elongation for walls $\frac{5}{16}$ in. [7.9 mm] and over in thickness, strip tests.	30
When standard round 2-in. or 50-mm gauge length or smaller proportionally sized specimen with the gauge length equal to 4D is used	22
For strip tests, a deduction for each $\frac{1}{32}$ -in. [0.8-mm] decrease in wall thickness below $\frac{5}{16}$ in. [7.9 mm] from the basic minimum elongation of the percentage points of Table 3	1.50 ^C
Reduction of area, min, % ^D	30
Hardness, HBW, max	197

^A For small forgings, see 8.3.4.

^B Determined by either the 0.2 % offset method or the 0.5 % extension-under-load method.

^C See Table 3 for computed minimum values.

^D For round specimens only.

Gambar 4 Persyaratan sifat mekanik SA 105

Tensile dan *yield strength* serta *elongation requirement* menunjukkan bahwa, jika persyaratan tersebut terpenuhi, hal ini akan mendukung sifat *carbon steel* yang mampu menahan beban dan tekanan tinggi, tidak mudah retak terhadap beban kejut, cocok untuk pengaplikasian siklus beban tinggi, dan mudah di las. Melalui sifat kimia dan mekanis material SA 105 yang telah diketahui, material ini dapat digunakan sebagai bahan manufaktur untuk *flange*, *fitting*, perpipaan bertekanan tinggi, *shell and tube heat exchanger*, *valve body*, dan tekanan tinggi lainnya.

III. METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data yang digunakan penulis meliputi:

A. Observasi dan wawancara langsung

Tahapan awal pengumpulan data dilakukan dengan observasi langsung pada pengukuran total kandungan kimia dengan menggunakan alat *Positive Material Identification* (PMI) lalu melakukan penyesuaian dengan persyaratan kandungan kimia yang terdapat di dalam ASME BPVC 2023. Penulis juga melakukan wawancara langsung dengan departemen *engineering* dengan tujuan mendapatkan hasil perhitungan suhu *inlet* dan *outlet* pada *tube heat exchanger* serta pengaruh suhu terhadap efisiensi kinerja *tube heat exchanger*.

B. Studi literatur

Penulis memperkuat dasar konseptual penelitian dengan melakukan telaah pustaka yang mencakup teori material SA 105 dan SB 171 C70600, konsep *heat exchanger*, dan konsep korosi. Literatur yang digunakan merujuk pada *American Society of Mechanical Engineer* (ASME) serta sumber ilmiah berupa jurnal lainnya

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penggunaan Material SB 171 C70600 pada Tube Bundle E-3-05 A&C

Material SB 171 C70600 tidak digunakan pada seluruh part yang ada pada *tube bundle*. Dikarenakan material ini berfokus pada ketahanan korosi, penggunaan material akan difokuskan untuk fabrikasi part yang bersentuhan langsung dengan liquid yang akan diproses terkhususnya liquid korosif seperti air laut. Part part yang akan menggunakan material SB 171 C70600 dapat dilihat pada tabel *material construction* berikut:

Tabel 1 *Material construction*

Tube	:	SB 171 C70600
Tube Protector	:	Polyamide 12
Stationary Tubesheet	:	SB 171 C70600
Floating Tubesheet	:	SB 171 C70600
Baffle	:	SA 516 Gr. 70
Floating Head	:	SA 516 Gr. 70 + Cladding SB 171 C70600
Floating Head Flange	:	SA 105 + Overlay SB 171 C70600
Backing Ring	:	SA 105
Channel	:	SB 171 C70600
Channel Cover	:	SB 171 C70600
Girth Flange	:	SB 171 C70600
Nozzle Neck	:	SB 171 C70600
Nozzle Flange	:	SB 171 C70600

B. Perbandingan Sifat Mekanis SB 171 C70600 dengan SA 105

Dikarenakan kekuatan mekanikal SA 105 yang lebih baik dari SB 171 C70600, material ini cenderung digunakan dengan *thickness* yang lebih tipis dibanding SB 171 C70600. Ketika membandingkan SA 105 dengan SB 171 C70600 perihal ketahanan korosi, maka SB 171 C70600 akan mengungguli SA 105, yang menyebabkan penggunaan SB 171 C70600 akan lebih menguntungkan pada proyek proyek

yang membutuhkan *heat exchanger* yang akan mengalami kontak langsung dengan liquid bersifat korosif.

Tabel 2. Perbandingan sifat mekanik antar material

Parameter (@ 249 deg C)	Material		Remarks
	SA 105	SB 171 C70600	
Allowable stress, Mpa	136	56.8	ASME Sec IID. 2023 ed. Table 1A & 1B
Yield Strength, Mpa	204	87.3	ASME Sec IID. 2023 ed. Table Y-1
Tensile Strength, Mpa	483	229	ASME Sec IID. 2023 ed. Table U

Tabel tersebut merupakan data sifat mechanical dari material SA 105 dan SB 171 C70600 yang dimana material SA 105 memiliki ketahanan mekanik yang lebih baik daripada SB 171 C70600 dikarenakan kandungan besi dan karbon yang menjadi unsur utama. Kandungan kimia kedua material juga mempengaruhi. Dikarenakan *tube bundle* akan digunakan oleh pada kilang minyak, dimana liquid yang akan digunakan bersifat korosif, maka penggunaan material SB 171 C70600 akan sangat tepat.

C. Unsur Pencegah Korosi

Korosi pada material dapat diminimalisir dengan menambahkan unsur-unsur kimia tertentu yang mampu membentuk lapisan pelindung atau meningkatkan ketahanan material terhadap lingkungan korosif. Penambahan unsur seperti kromium, nikel, dan tembaga dapat meningkatkan ketahanan korosi material. Kromium membentuk lapisan oksida pelindung pada baja tahan karat, sementara nikel meningkatkan ketahanan terhadap korosi sumuran dan celah [10]. Material tersebut meliputi:

- Kromium (Cr): Membentuk lapisan oksida kromium pada permukaan baja tahan karat, yang memberikan perlindungan terhadap oksidasi dan korosi. Lapisan ini sangat stabil dan mampu memperbaiki dirinya sendiri jika terjadi kerusakan kecil, sehingga memberikan perlindungan jangka Panjang[7][13].
- Nikel (Ni): Menambah ketahanan terhadap korosi dalam lingkungan asam dan suhu tinggi. Nikel juga meningkatkan sifat mekanis material. Nikel juga membantu meningkatkan terhadap korosi retak tegangan (*stress corrosion cracking*)[16].
- Molibdenum (Mo): Efektif dalam meningkatkan ketahanan terhadap korosi sumuran dan celah, terutama dalam lingkungan yang mengandung klorida seperti air laut atau lingkungan lingkungan industri kimia. Molibdenum juga memperkuat lapisan pasif pada stainless steel, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap pitting corrosion [12][15].
- Tembaga (Cu): Digunakan dalam paduan seperti copper-nickel untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi di lingkungan air laut dan fluida yang mengandung sulfur. Tembaga juga memiliki sifat antimikroba yang membantu mencegah pertumbuhan biofouling di sistem perpipaan.[5]
- Aluminium (Al): Dalam paduan tertentu, aluminium membentuk lapisan oksida pelindung

yang meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi dan korosi atmosfer. Ini membuatnya sering digunakan dalam lingkungan dengan kelembaban tinggi atau paparan oksigen yang tinggi[14].

- Silikon (Si): Membantu meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi pada suhu tinggi dan meningkatkan stabilitas struktur material dalam kondisi lingkungan yang ekstrem[18][19].

Pemilihan dan kombinasi unsur-unsur ini dalam suatu paduan logam sangat bergantung pada lingkungan operasional dan jenis fluida yang akan bersentuhan dengan material tersebut. Dalam perancangan *heat exchanger*, faktor seperti tekanan operasi, suhu, dan jenis fluida yang digunakan harus diperhitungkan untuk menentukan jenis material channel yang paling sesuai untuk mencegah korosi dan meningkatkan masa pakai sistem.

D. Perbandingan Ketahanan Korosi Material SA 105 dan SB 171 C70600

- Tembaga (Cu) dengan kandungan 88-90%
 - Tembaga secara alami tahan terhadap korosi di lingkungan atmosfer, air laut, dan berbagai media kimia karena membentuk lapisan pasif (*protective oxide layer*) pada permukaannya.
 - Lapisan ini memperlambat laju korosi dan membantu material bertahan dalam jangka panjang di lingkungan yang agresif, seperti air laut dan larutan asam lemah.
- Nikel (Ni) dengan kandungan 10-11%
 - Nikel meningkatkan stabilitas lapisan oksida tembaga, membuatnya lebih tahan terhadap korosi sumuran (*pitting*), korosi celah, dan korosi tegangan.
 - Ni juga mengurangi laju korosi keseluruhan dibandingkan tembaga murni, terutama dalam air laut dan lingkungan yang mengandung klorida.
- Besi (Fe) dengan kandungan 1-2%
 - Dikarenakan kandungan Fe dalam jumlah kecil, maka hal ini akan meminimalisir terjadinya besi teroksidasi (karat). Dikarenakan unsur besi sangat bereaktif dengan oksigen dan air.

Sedangkan untuk SA 105 (*Carbon Steel*) sangat rentan terhadap korosi dikarenakan kandungan Fe yang sangat besar dan beberapa unsur lainnya yang mempercepat proses korosi. Diantaranya:

- Karbon (C) 0.35% Maks

Analisis Sifat Material SB 171 C70600 Dalam Meminimalisir Risiko Korosi Pada Tube Bundle E-3-05 A&C Pada Kilang Minyak

- Kandungan karbon yang lebih tinggi dalam baja karbon meningkatkan kekerasan dan kekuatan, tetapi juga membuat material lebih rentan terhadap korosi, terutama dalam lingkungan yang mengandung kelembapan dan oksigen.
- Tidak membentuk lapisan pelindung alami (*oxide layer*) yang tahan korosi, sehingga lebih mudah mengalami korosi umum (*general corrosion*) dan karat.

b) Besi (Fe) 98%

- Kandungan besi yang sangat besar menyebabkan SA 105 sangat rentan terhadap korosi dikarenakan unsur utama ini sangat mudah teroksidasi (karat) jika berkontak langsung dengan oksigen atau air yang dimana akan membentuk ikatan ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) jika tidak memiliki lapisan pelindung oksigen.

c) Sulfur (S)

- Sulfur dianggap sebagai pengotor dalam baja. Meskipun dalam jumlah sangat kecil dapat meningkatkan kemampuan mesin, kandungan sulfur yang lebih tinggi dapat menyebabkan kerapuhan dan menurunkan ketahanan korosi baja.
- Sulfur, dapat membentuk inklusi MnS (mangan sulfida) yang menjadi titik awal korosi pitting di lingkungan agresif.

Dengan demikian, pemilihan material fabrikasi tube bundle E-3-05 A&C akan menggunakan SB 171 C70600 dengan mementingkan sifat ketahanan korosi dari material tersebut.

E. Pengaruh Korosi terhadap Efisiensi dan Risiko Kebocoran Tube Bundle

Korosi merupakan salah satu permasalahan utama dalam pengoperasian *heat exchanger*, terutama pada sistem yang menggunakan media pendingin agresif seperti air laut. Dalam sistem *tube bundle heat exchanger*, korosi dapat menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas akibat terbentuknya kerak dan endapan korosi pada permukaan dalam tube, selain itu, korosi juga berpotensi menyebabkan kebocoran pada tube yang dapat mengakibatkan pencampuran antara fluida proses dan fluida pendingin, sehingga berujung pada gangguan operasional yang serius serta peningkatan biaya perawatan.

Pemilihan material tahan korosi menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kinerja dan efektivitas *heat exchanger*. Salah satu material yang sering digunakan untuk aplikasi ini adalah SB 171 C70600. Material SB 171 C70600 juga memiliki konduktivitas termal yang baik, yang memungkinkan perpindahan panas yang lebih efisien dibandingkan material lain yang kurang tahan terhadap lingkungan korosif. Dalam kasus ini, *tube bundle* E-3-05 A&C diperkirakan dapat menurunkan suhu inlet liquid dari 94°C dan mendapatkan suhu outlet 45°C disaat menggunakan material SB 171 C70600.

Tabel 3 Data Inlet dan Outlet tube bundle E-3-05 A&C

Parameter	Shell side - TCW	
	Inlet	Outlet

Mass Flow (Kg/h)	200455	200455
Temperature (°C)	94	45
Pressure (Kg/cm ² g)	6.49	6.46

Dengan demikian, pemilihan material SB 171 C70600 pada *tube bundle* E-3-05 A&C yang beroperasi dalam lingkungan korosif seperti air laut merupakan solusi yang dapat meminimalisir risiko kegagalan akibat korosi, meningkatkan efisiensi perpindahan panas, serta memperpanjang umur pakai komponen tube bundle.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis sifat material SB 171 C70600 yang digunakan pada *tube bundle* E-3-05 A&C di pada kilang minyak, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

A. Sifat material SB 171 C70600

- Material ini memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, terutama dalam lingkungan dengan kandungan klorida tinggi seperti air laut, karena kandungan tembaga dan nikel yang membentuk lapisan pelindung oksida.
- SB 171 C70600 memiliki kombinasi kekuatan mekanik dan keuletan yang cukup baik untuk digunakan dalam aplikasi heat exchanger.
- Berdasarkan spesifikasi ASME BPVC 2023 Section II Part B, material ini memenuhi persyaratan ketahanan tekanan dan temperatur yang diperlukan untuk aplikasi dalam sistem perpindahan panas.

B. Keputusan Penggunaan Material Berdasarkan Ketahanan Korosi

- Berdasarkan analisis ketahanan korosi dan sifat mekanik, penggunaan material SB 171 C70600 pada bagian *channel tube bundle* E-3-05 A&C lebih tepat dibandingkan SA 105.
- Material ini memungkinkan peningkatan umur pakai komponen *heat exchanger* serta mengurangi risiko kerusakan akibat korosi dalam jangka panjang.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] ASM International. (2001). *ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International.
- [2] ASME (2023). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)*. American Society of Mechanical Engineers.
- [3] ASTM B171 / ASME SB171 (2023). *Standard Specification for Copper-Alloy Plate and Sheet for Pressure Vessels, Condensers, and Heat Exchangers*. ASTM International.
- [4] Budinski, K. G., & Budinski, M. K. (2010). *Engineering Materials: Properties and Selection*. Pearson Education.
- [5] Copper Development Association. (n.d.). *Cu-Ni alloy resistance to corrosion and biofouling*. [Online],

Available:

https://www.copper.org/applications/marine/cuni/properties/biofouling/resistance_to_corrosion_and_biofouling.html

- [6] Enerquip. (n.d.). *Choosing an exchanger bonnet style: Part 1*. [Online], Available: <https://www.enerquip.com/choosing-an-exchanger-bonnet-style-part-1/>.
- [7] ETcn Machining. (2023). *Stainless steel properties and chromium oxide layer*. [Online], Available: <https://www.etcnmachining.com/stainless-steel-properties/>.
- [8] Fontana, M. G. (1986). *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill.
- [9] Gurubagi. (n.d.). *Pengertian korosi: Proses, faktor penyebab, dan pencegahannya*. [Online], Available: <https://gurubagi.com/pengertian-korosi-proses-faktor-penyebab-dan-pencegahannya/>.
- [10] Indocor. (n.d.). *Korosi pada material logam: Penyebab dan pencegahannya*. [Online], Available: <https://indocor.org/korosi-pada-material-logam-penyebab-dan-pencegahannya/>.
- [11] Kakaç, S., & Liu, H. (2002). *Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*. CRC Press.
- [12] Langley Alloys. (2022, Oktober 15). *Molybdenum: Improving Corrosion Resistance of Stainless Steels*. [Online], Available: <https://www.langleyalloys.com/2022/10/15/molybdenum-improving-corrosion-resistance/>.
- [13] Kingsun Machining. (2023). *Why stainless steel resists rust*. [Online], Available: <https://www.kingsunmachining.com/articles/why-stainless-steel-does-not-rust/>.
- [14] LLNL. (2023). *Research reveals how humidity affects atmospheric corrosion of aluminium metal*. [Online], Available: <https://www.llnl.gov/article/49876/research-reveals-how-humidity-affects-atmospheric-corrosion-aluminum-metal>.
- [15] MDPI. (2018). *Molybdenum effects on pitting corrosion resistance of austenitic stainless steels*. *Metals*, 8(8), 653.
- [16] Nickel Institute. (n.d.). *Corrosion Resistance of Nickel-Containing Alloys in Organic Acids*. [Online], Available: https://nickelinstitute.org/media/1658/corrosionresistanceofnickel-containingalloysinorganicacidsandrelatedcompounds_1285_.pdf.
- [17] Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. John Wiley & Sons.
- [18] ScienceDirect. (2019). *Silicon enhances high temperature oxidation resistance of SIMP alloys*. *Corrosion Science*, 1. [Online], Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010938X19319444>.
- [19] ScienceDirect. (2020). *Effect of silicon on high-temperature oxidation of stainless steels*. [Online], Available: <https://content.amp.org/corrosion/article-split/15/11/73/26451/Effect-of-Silicon-on-High-Temperature-Oxidation-Of>.
- [20] Shah, R. K., & Sekulic, D. P. (2003). *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. John Wiley & Sons.