

## Analisis Pengaruh Suhu dan KONSENTRASI KLORIDA Terhadap Aspek Korosi Material INCONEL 690 sebagai tube pembangkit uap REAKTOR PWR

Oleh

Febrianto

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

### ABSTRAK

**ANALISIS PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI KLORIDA TERHADAP ASPEK KOROSI MATERIAL INCONEL 690 SEBAGAI TUBE PEMBANGKIT UAP REAKTOR PWR.** Inconel 690 digunakan sebagai material tube pembangkit uap pada reaktor PWR (*Pressurized Water Reactor* / Reaktor air bertekanan) karena ketahanan korosi yang bagus dalam lingkungan/media suhu dan tekanan tinggi. Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian korosi dengan melihat pengaruh suhu dan variasi konsentrasi NaCl pada material tube pembangkit uap reaktor jenis PWR yang terbuat dari Inconel 690. Banyak permasalahan korosi yang terjadi pada tube pembangkit uap karena adanya klorida dalam media pendingin yang dioperasikan pada suhu tinggi ( $\pm 320$  °C). Pengujian laju korosi dilakukan dengan metoda elektrokimia dengan menggunakan Potensiostat dimana sebelumnya material yang diuji telah dikondisikan dengan menggunakan autoclave pada temperatur 300 °C. Pengujian ini bertujuan untuk melihat sejauh mana suhu dan klorida berperan dalam proses laju korosi pada material bejana tekan reaktor PWR. Variasi suhu pada penelitian ini 28 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C dan variasi konsentrasi NaCl adalah, 0 %, 1 %, 3%, 5 % and 7 %. Dari hasil yang didapat terlihat bahwa suhu dan konsentrasi NaCl mempengaruhi laju korosi material Inconel 690. Semakin tinggi suhu semakin tinggi laju korosi yang terjadi. Laju korosi tertinggi dalam media yang mengandung NaCl terjadi pada konsentrasi 3 %.

Kata kunci: laju korosi, tube pembangkit uap, Inconel 690, Potensiostat

### ABSTRACT

**TEMPERATURE AND CHLORIDE CONCENTRATION ANALYSIS ON CORROSION ASPECT OF INCONEL 690 MATERIAL AS PWR REAKTOR STEAM GENERATOR TUBE.**

*Alloy 690 is commonly used as steam generator (SG) tubing materials in the Pressurized Water Reactor due to the good corrosion resistance in high temperature and pressure aqueous environment. In this experiment, corrosion rate analysis has been done to see the effect of temperature and NaCl concentration variation to the Inconel 690 as PWR reactor steam generator tube. Many corrosion problems have occurred at steam generator tube because of chloride in reactor coolant that been operated at high temperature ( $\pm 320$  °C). Corrosion rate was determined with electrochemistry method using Potentiostat where specimens have been conditioned using autoclave at temperature 300 °C. The autoclave used to get high experiment temperature condition, and the experiment continued to get corrosion rate using Potentiostat. The purpose of this experiment is to see how far the temperature and NaCl concentration variation role toward PWR reactor steam generator tube. Temperature variation in this experiment was 28 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C and NaCl concentration variation was 0 %, 1 %, 3%, 5 % and 7 %. From the experiment results indicated that, temperature and NaCl concentration have an effect to Inconel 690 corrosion rate. The higher temperature the higher Inconel 690 corrosion rate is. The highest corrosion rate in NaCl containing solution is at 3 % NaCl concentration. Specimen that used in this experiment was Inconel 690.*

*Keywords : corrosion rate , steam generator tube, Inconel 690, Potentiostat*

## PENDAHULUAN

Sejak awal pengoperasian reaktor PWR banyak permasalahan korosi pada bejana tekan yang ditemukan. Hal ini disebabkan oleh stress material, beban operasional dan lingkungan air pendingin yang korosif. Reaktor yang dioperasikan pada suhu dan tekanan tinggi serta lingkungan air reaktor yang bersifat oksidatif bisa membuat material, komponen dan struktur reaktor yang berada di lingkungan air reaktor menjadi rentan terhadap korosi. Korosi merupakan suatu proses alamiah yang tidak bisa dicegah tetapi hanya bisa dikendalikan. Pengendalian terhadap korosi bisa dilakukan dengan memilih material yang cocok dengan lingkungan dimana suatu material itu berada atau dengan menjaga agar lingkungan tempat material itu berada tidak agresif. Walaupun material yang digunakan dalam lingkungan air pendingin reaktor sudah berkualitas tinggi bahkan ada yang dipersyaratkan dengan kualitas nuklir (*nuclear grade*), akan tetapi penggunaan material dengan persyaratan tersebut belum menjamin material, komponen dan struktur reaktor bebas dari kerusakan bahkan kegagalan akibat korosi terhadap korosi.

Reaktor PWR banyak mengalami serangan korosi intergranular baik pada sisi primer maupun sekunder dari alloy 690 yang digunakan sebagai *tube* pembangkit uap. Pada awal tahun 1970, di USA semua tube pembangkit uap dibuat dari alloy 600 MA (*mill-annealed*), tetapi banyak terjadi penipisan (*thinning*) pada bagian luar tube (sisi sekunder). PWSCC telah menjadi problem kritis dalam

usaha menjaga integritas komponen yang terbuat dari Alloy 690 seperti tube pembangkit uap, *reactor vessel nozzles* pada reaktor tipe PWR. Korosi merupakan alasan utama penggantian tube pembangkit uap alloy 600 dengan alloy 600 MA, alloy 600 TT (*thermal treatment*) dan alloy 690 TT. Alloy 600 TT dipakai sejak awal tahun 80 an sedangkan alloy 690 TT dipakai sejak awal 90 an. Kedua perlakuan panas/*heat treatment*, MA dan TT diberikan untuk meningkatkan sifat mekanik dan daya tahan *tube* terhadap korosi<sup>1)</sup>. Kegagalan tube pembangkit uap yang disebabkan IGSCC (*Intergranular Stress Corrosion Cracking*) dan IGA (*Inter Granular Attack*) merupakan penyebab paling dominan terhadap kerugian daya (*output loss*) walaupun prosentase ini cenderung terus menurun selama sepuluh tahun terakhir. Walaupun demikian proses degradasi yang disebabkan IGSCC dan IGA pada tube pembangkit uap tetap menjadi perhatian utama operator PWR<sup>(1)</sup>. Banyak tube pembangkit uap yang harus diganti sebelum umur desain 40 tahun. Umur pakai pembangkit uap banyak yang dapat diperpanjang sampai 10 dan 20 tahun karena perbaikan sistem kimia air. Korosi tube pembangkit uap sangat penting untuk dikontrol karena bagian ini merupakan 70 % dari keseluruhan permukaan area sistem primer sehingga kontrol korosi pada tube pembangkit uap akan mengurangi produk korosi yang masuk ke air reaktor<sup>2)</sup>.

Kebanyakan logam atau paduan mempunyai kemampuan membentuk lapisan pasif yang terbentuk dari oksida logam atau senyawa lain pada permukaannya yang akan

memisahkan logam dari media. Ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ), merupakan salah satu ion yang bisa menyebabkan terjadinya korosi pada material yang mempunyai lapisan pasif. Pada awal keberadaan ion klorida dalam media akan terjadi kompetisi dengan oksigen untuk teradsorpsi pada permukaan material. Jika oksigen yang teradsorpsi pada permukaan material maka akan terbentuk lapisan pasif tetapi bila yang teradsorpsi ion klorida maka lapisan pasif tidak terjadi dan bisa merusak lapisan pasif. Korosi yang terjadi berupa lubang-lubang kecil pada permukaan logam, korosi seperti ini dikenal dengan korosi lubang (*Pitting Corrosion*) atau kadang juga disebut dengan korosi sumuran. Korosi lubang jauh lebih berbahaya dari pada korosi merata (*general corrosion*) tetapi resiko kerusakan akibat korosi lubang jauh lebih besar dibanding resiko akibat korosi secara merata. Lubang kecil yang terjadi itu bisa menembus ke bagian dalam dari material kadang bisa menyebabkan kebocoran sistem dan komponen. Ion klorida masuk ke sistem melalui intrusi air laut pada sisi sekunder PWR<sup>3,4,5,6,7,8</sup>.

NRC (*Nuclear Regulation Commission*) memberikan prioritas yang tinggi bahwa tube pembangkit uap di monitor secara seksama sewaktu inspeksi karena tube merupakan pembatas antara sisi radio aktif dan non radio aktif dari reaktor. Terjaganya integritas tube pembangkit uap dapat mengurangi kemungkinan kebocoran air sisi primer ke sisi sekunder.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat sejauh mana pengaruh suhu dan klorida dalam

proses laju korosi pada material Inconel 690. Pengujian laju korosi dilakukan dengan metoda elektrokimia dengan menggunakan Potensiostat.

## TATA KERJA

### Spesimen uji

Bahan spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah material Inconel 690 dengan diameter 10 mm, tebal 4 mm, produk dari Inco Alloys Services PTE LTD. Spesimen uji kemudian diampelas dengan kertas ampelas dari grit 400, 600, 800 sampai grit 1000 dan dipoles dengan pasta diamon Metadi II ukuran  $\frac{1}{4}$  mikron.

Inconel 690 merupakan paduan nikel dan krom konsentrasi tinggi yang mempunyai ketahanan yang bagus di dalam media yang korosif dan suhu tinggi. Selain mempunyai ketahanan terhadap korosi, paduan ini juga mempunyai kekuatan dan kestabilan metalurgi yang bagus. Komposisi krom yang tinggi memberikan paduan ini tahan terhadap senyawa kimia pengoksidasi dan komposisi nikel yang tinggi mengakibatkan paduan ini tahan terhadap *stress corrosion cracking* dalam lingkungan yang mengandung klorida dan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ). Karena berbagai kelebihan sifat yang dimilikinya maka paduan ini digunakan sebagai *tube* pembangkit uap, *baffles* dan *tubesheets* pada pembangkit listrik tenaga nuklir. Molibdenum, titanium dan niobium ditambahkan kedalam paduan ini untuk meningkatkan ketahanan korosi pada operasional suhu dan tekanan tinggi serta media yang mengandung asam. Ketiga unsur itu juga berperan untuk mengurangi terjadinya

pembentukan krom karbida (CrC) di batas butir. Pembentukan CrC akan meningkatkan kecenderungan material untuk terjadinya korosi terutama korosi *Intergranular Stress Corrosion cracking (IGSCC)* dan *Intergranular Attack (IGA)*. Komposisi kimia Inconel 690 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Inconel 690 (%)

Unsur	Prosentase
Carbon	0.05 max
Chromium	27 - 31
Copper	0.5 max
Iron	7 - 11
Manganese	0.5 max
Nickel	58.0 min
Silicon	0.5 max
Sulphur	0.015 max
Molibdenum	0.01
Titanium	0.28
Neobium	0.01

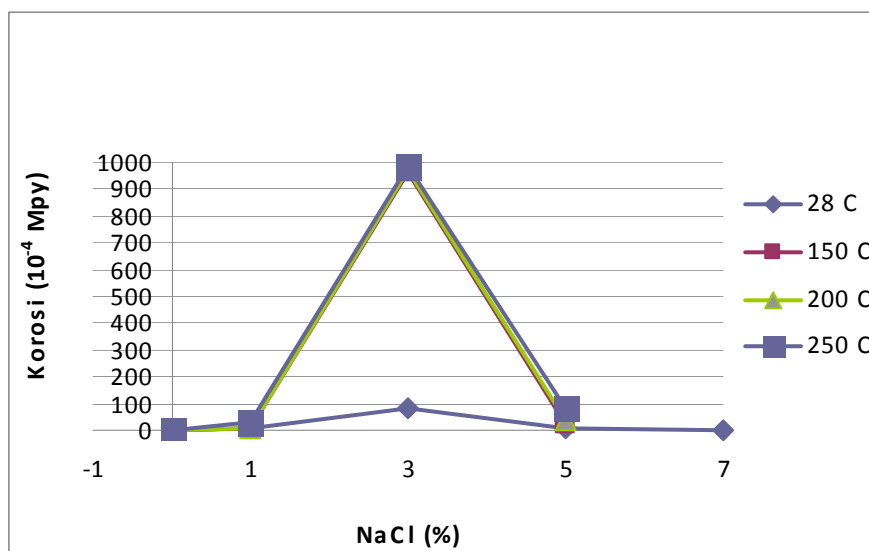
### Kondisi pengujian

Pengkondisian dilakukan dengan autoclave pada suhu 28 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C dan 300°C selama 250 jam dengan konsentrasi oksigen 50 ppb. Kemudian spesimen uji di kondisikan dalam larutan natrium klorida untuk mendapatkan data laju korosi.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Laju Korosi Inconel 690 dalam Berbagai Suhu (Tanpa NaCl)

Material	Suhu (°)	Korosi (mpy)
	28	$1,32 \times 10^{-6}$
	150	$3,00 \times 10^{-5}$
Inconel	200	$6,548 \times 10^{-5}$
	250	$3,016 \times 10^{-4}$
	300	$4,331 \times 10^{-4}$



Gambar 1. Pengaruh Berbagai Konsentrasi NaCl terhadap Korosi Inconel 690 pada Berbagai Temperatur

Dari hasil yang didapat dari Tabel 1, terlihat bahwa kenaikan suhu cenderung meningkatkan laju korosi Inconel 690. Pada suhu 28 °C laju korosi  $1,32 \times 10^{-6}$ , pada suhu 150 °C laju korosi sebesar  $3,00 \times 10^{-5}$  mpy, pada suhu 200 °C laju korosi  $6,548 \times 10^{-5}$  mpy, pada suhu 250 °C laju korosi  $3,016 \times 10^{-4}$  mpy sedangkan pada suhu 300 °C laju korosi menjadi  $4,331 \times 10^{-4}$  mpy. Dari hasil yang didapatkan terlihat hubungan antara kenaikan suhu dengan laju korosi merupakan hubungan yang linear, semakin tinggi suhu semakin besar laju korosi material. Kecilnya laju korosi Inconel 690 ini disebabkan material ini mempunyai ketahanan yang baik terhadap korosi pada suhu tinggi sehingga material ini banyak digunakan untuk komponen yang dioperasikan pada kondisi suhu dan tekanan tinggi. Hal ini juga dapat dijelaskan, material ini mempunyai kandungan nikel yang tinggi sekitar 58 % sehingga material ini tahan terhadap korosi pada suhu tinggi. Selain itu Inconel 690 mengandung molibdenum dan columbium dimana kedua material ini berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dalam kondisi lingkungan yang oksidatif.

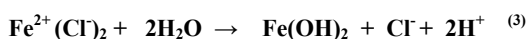
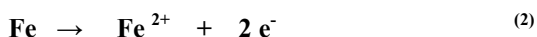
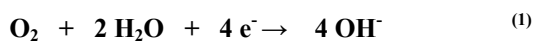
Dari hasil penambahan NaCl terlihat nilai laju korosi tertinggi terjadi pada konsentrasi NaCl 3 %, kemudian 5 %, 1 % dan 7 %. Hal ini disebabkan karena pada konsentrasi 3 % ion klorida secara optimum mempengaruhi terjadinya korosi. Kehadiran ion klorida disini menghalangi pembentukan lapisan oksida dan akibatnya akan mengurangi oksigen pada permukaan material sehingga lapisan pasif yang hampir terbentuk dapat diserang dan ini dapat

menyebabkan korosi pitting. Turunnya laju korosi dapat dijelaskan dengan dua efek yang bertentangan, pada konsentrasi NaCl lebih besar dari 3 % yaitu pada 5 dan 7 %, terjadi peningkatan konduktivitas larutan yang menaikkan laju korosi tetapi semakin besar konsentrasi NaCl dalam larutan menyebabkan penurunan kelarutan oksigen sehingga laju korosi menjadi menurun<sup>7,8)</sup>. Sedangkan untuk konsentrasi 1 %, oksigen terlarut masih cukup besar untuk membantu reaksi katodik, sehingga kehadiran ion klorida belum terlalu mempengaruhi material sehingga laju korosi masih rendah. Konsentrasi klorida menentukan cepat atau lambat terjadinya korosi lubang. Semakin besar konsentrasi klorida semakin besar kemungkinan teradsorpsi pada permukaan material, hal ini bisa memperpendek waktu pertumbuhan korosi lubang.

Data dari Gambar 1, pada Suhu 150 ° C, (Suhu 200 ° C) dan (Suhu 250 ° C) mempunyai kecenderungan yang sama dengan data dari Tabel 2, dimana kenaikan suhu akan meningkatkan laju korosi dan laju korosi tertinggi pada berbagai suhu diatas terjadi pada konsentrasi NaCl 3 %.

Terjadinya korosi lubang merupakan kombinasi keadaan, berkurangnya konsentrasi oksigen, akumulasi klorida dan hidrogen dalam lubang. Dengan berkurangnya konsentrasi oksigen dalam pit (lubang) akan memperlambat reaksi pembentukan ion hidroksil (reaksi 1) dan meningkatkan pembentukan ion logam melalui reaksi anodik (reaksi 2). Akumulasi muatan ion positif dalam bentuk  $Fe^{+2}$  akan menarik ion  $Cl^-$ , untuk menjaga kenetralan elektrik larutan, reaksi ini menyebabkan kelebihan hidrogen dan ion

klorida (reaksi 3), kondisi ini meningkatkan derajat keasaman pada bagian lubang melalui hidrolisis ion logam terlarut.



## KESIMPULAN

Dari hasil yang didapat, terlihat hubungan antara kenaikan suhu dengan laju korosi merupakan hubungan yang linear, semakin tinggi suhu semakin besar laju korosi Inconel 690. Laju korosi yang kecil dari Inconel 690 ini disebabkan material ini mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap korosi pada suhu tinggi sehingga material ini banyak digunakan untuk komponen yang dioperasikan pada kondisi suhu dan tekanan tinggi. Dari komposisi unsur penyusun material ini, Ni sekitar 58 % dan unsur aditif molibdenum, titanium dan neobium dapat dipahami material ini mempunyai ketahanan terhadap korosi pada suhu tinggi dan dalam lingkungan yang oksidatif. Ion klorida merupakan ion agresif yang dapat menimbulkan korosi pada material, dimana konsentrasi NaCl 3% menyebabkan laju korosi paling tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. WOOD, C.J., " Developments in Nuclear Power Plant Water Chemistry ", Proc, of 8<sup>th</sup> Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor System, Bournemouth, Vol.1, BNES, 2000.
2. ODAR, S," Water Chemistry measures to Improve Steam Generator Performance ", 14<sup>th</sup> International conference an Properties of

Water and Steam, Kyoto.

3. J.C.SCULLY, " The Fundamental of Corrosion", The University of Leed, UK, p.167, (1990).
4. JONES, D.A, " Principles and Prevention of Corrosion", University of Nevada, Maxmillan Publishing Company, New York, (1992).
5. NORIO SATO., " Anodic Breakdown of Pasive Film on Metals", J. Electrochemical Science and Technology, vol 127, No 2, pp 255, (1992).
6. UHLIG, H.H," Corrosion and Corrosion Control", JOHN WILEY & SONS, 3<sup>rd</sup> ed, (1991).
7. Mc Naughton, K.J, " Selecting Material for Process Equipment", McGraw-Hill Publications Co., New York, (1980).
8. FEBRIANTO, "Analisa Fluktuasi Arus Korosi Saat Hancurnya Lapisan Pasif dan Repasifikasi oleh Ion Klorida", Seminar TKPFN PTRKN Batan, Solo, 2009.