

Pelepasan Logam Peralatan Masak Stainless Steel dalam Larutan Simulasi Asam dan Garam

The Metal Release of Stainless Steel Cookware in Simulated Acid and Salt Solutions

Gadang Priyotomo^{1a}, Kelvin Saputra², Prisca Cynthia Limardi²

¹Pusat Penelitian Metalurgi & Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Kawasan PUSPIPTEK Gd.474, Serpong, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

²PT. Andesen Jaya Plastik

Jalan Raya Prancis Dadap Blok RC No.123, Jatimulya, Tangerang, Banten, Indonesia

^aKorespondensi: Gadang Priyotomo, E-mail: gadangp@gmail.com

(Diterima oleh Dewan Redaksi: 06 - 04 - 2020)

(Dipublikasikan oleh Dewan Redaksi: 15 - 10 - 2020)

ABSTRACT

In Indonesia, generally stainless steel (SS) is utilized as material of cookware product in various beverages and foods. However, the investigation of release for ferrous, nickel, mangan and chromium metals as main alloyed SS 200 and SS 430 in simulated solutions is no or little discussion. The investigation of those metals release used immersion method, where citric acid, NaCl salt and their mixture solutions were utilized as food or beverage simulation solutions. A control solution was also used such artificial tap water. The value of metals release was measured in using Atomic Absorption Spectroscopy. The increase of metals release took place in citric acid solution comparing with control solution, where the role of NaCl solution or NaCl and citric acid mixture solution also increased the magnitude of those release. The treatment of pre-passivation for SS metals also reduced the metals release, where there is indication of oxide layer to inhibit release rate of metals. All metal release values meet the criteria of the European Consortium of Food Safety guidelines (Council of Europe), except Chromium. There is the indication of oxide layer imperfection in covering the surface of SS where that layer contains enriched chromium.

Keywords: immersion method, citric acid, NaCl salt, passivation, oxide layer

ABSTRAK

Di Indonesia, umumnya stainless steel (SS) digunakan sebagai bahan produk peralatan masak diperbagai media minuman atau makanan. Namun investigasi pelepasan logam besi, nikel, mangan dan krom sebagai unsur padu SS 200 dan SS 430 ke dalam larutan belum atau sedikit dibahas. Investigasi pelepasan logam-logam tersebut menggunakan metode celup, dimana larutan asam sitrat, larutan garam NaCl dan kombinasinya digunakan sebagai larutan simulasi makanan/minuman. Larutan kontrol juga digunakan berupa air keran buatan. Nilai pelepasan logam diukur dengan menggunakan Atomic Absorption Spectroscopy. Peningkatan pelepasan logam-logam terjadi dalam larutan asam sitrat dibandingkan larutan kontrol, dimana peran larutan NaCl atau campuran larutan NaCl dan asam sitrat juga meningkatkan pelepasan logam. Perlakuan pasivasi awal logam SS juga menurunkan pelepasan logam-logam, dimana indikasi lapisan oksida menahan laju pelepasan logam. Semua nilai pelepasan logam memenuhi kriteria panduan keamanan makanan konsorsium eropa (Council of Europe), kecuali krom. Ini mengindikasikan ketidasempurnaan lapisan oksida dalam melapisi permukaan logam, dimana lapisan tersebut mengandung banyak unsur krom.

Kata kunci: metode celup, asam sitrat, garam NaCl, pasivasi, lapisan oksida

Priyotomo, Gadang, Kelvin Saputra, Prisca Cynthia Limardi. 2020. Pelepasan Logam Peralatan Masak Stainless Steel dalam Larutan Simulasi Asam dan Garam. *Jurnal Agroindustri Halal* 6(2): 217 - 227.

PENDAHULUAN

Umumnya, penggunaan logam baja tahan karat (*stainless steel*) sebagai material utama peralatan proses dan penyimpanan makanan dan minuman. Alasan utama penggunaan material tersebut dibandingkan logam lainnya antara lain tahan korosi, tahan abrasi, kekuatan mekanik yang baik dan relatif tahan terhadap reaksi kimia yang ditimbulkan saat penggunaan peralatan tersebut (Awad *et al.* 2018). Di Indonesia, peralatan proses dan penyimpanan bahan makanan berbahan dasar logam *stainless steel* sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Di dunia, logam *stainless steel* yang digunakan sebagai bahan logam *foodgrade* mempunyai banyak tipe antara lain seri 200, seri 304 dan 316, dan seri 430, dimana tergantung dari penggunaan dan lingkungan. Penggunaan *stainless steel* seri 304 dan 316 lebih ditekankan pada bahan makanan atau minuman bersifat asam dan garam yang tinggi, jika dibandingkan dengan seri 200 dan seri 430. Konsistensi keunggulan seri 304 dan 316 adalah harga jual peralatan yang mahal, jika dibandingkan seri lainnya.

Lebih jauh lagi, Di dunia global, isu hangat tahun ini adalah penggunaan bahan logam *stainless steel* (SS) sebagai peralatan makanan adalah pelepasan logam-logam dari SS saat pemakaian, namun bukan di Indonesia. Variasi logam *stainless steel* (SS) merupakan paduan tinggi berbasis logam besi (Fe), dimana komposisi minimal 12% berat kromium (Cr) (Priyotomo *et al.* 2018). Keberadaan logam kromium dengan batas minimal tersebut membentuk lapisan oksida protektif tipis diatas logam SS sehingga meningkatkan ketahanan logam di larutan korosif (Rashid *et al.* 2012). Peningkatan kadar kromium akan meningkatkan ketahanan korosi hingga minimal 18% berat pada logam SS 304 dan 316 (Priyotomo 2018), namun tidak pada logam SS seri 200 dan seri 430. Unsur nikel (Ni) juga terkandung pada sebagian besar logam SS untuk meningkatkan sifat mekanik logam dan efek dekoratif dengan warna lebih terang. Nikel termasuk katagori logam berat, dimana

dapat meningkatkan resiko kanker paru-paru, penyakit kardiovaskular, defisit neurologik, penurunan tumbuh kembang anak dan tekanan darah tinggi (Chervona *et al.* 2012). Kandungan Mangan (Mn) dan besi (Fe) juga terdapat pada semua jenis *stainless steel foodgrade*, namun dua unsur ini bukan sebagai katagori logam berat.

Disisi lain, di Indonesia, Standar Nasional Indonesia (SNI) 7287:2009 telah mengatur batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan antara lain arsen (As), kadmium (Cd), Merkuri (Hg), timah (Sn) dan timbal (Pb), namun tidak untuk unsur nikel dan kromium. Di Benua Eropa, konsorsium Council of Europe (COE) telah memberikan panduan batas kandungan maksimal aman unsur-unsur yang terlepas dari logam *stainless steel* saat pemakaian yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas pelepasan spesifik (BPS) unsur-unsur di dalam logam *stainless steel* (Mazinanian *et al.* 2016)

Unsur	BPS ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
Kromium (Cr)	0,250
Nikel (Ni)	0,140
Besi (Fe)	40,0
Mangan (Mn)	1,80

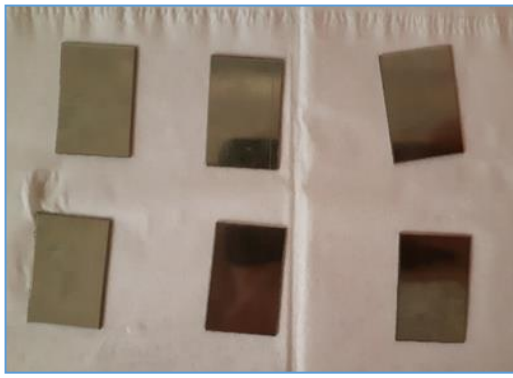
Pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa ambang batas yang sangat rendah diterapkan pada unsur kromium dan nikel karena dikategorikan logam berat, dibandingkan unsur besi dan mangan. Di Indonesia, investigasi tentang karakterisasi pelepasan logam-logam tersebut tidak atau sedikit dibahas secara komprehensif. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mengkarakterisasi dan menginvestigasi logam *stainless steel* (SS) yang umumnya dipakai sebagai bahan dasar pembuatan peralatan masak, dan penyimpanan makanan dan minuman khususnya logam SS seri 200 dan seri 430.

MATERI DAN METODE

Persiapan sampel uji

Pada Gambar 1, spesimen uji merupakan logam *stainless steel* seri 200 dan

seri 430 berbentuk pelat, dimana dipotong dengan memastikan luas area 6 cm². Spesimen yang telah dipotong diampas dengan menggunakan kertas amplas grit 1200. Kupon uji dibersihkan dengan larutan pelarut etanol selama 5 menit di alat *ultrasonic cleaner*, dimana bertujuan untuk membersihkan sisa-sisa partikel, debu dan lemak di permukaan logam. Spesimen uji dikeringkan dengan dryer dan disimpan di desikator selama 24 jam pada suhu ruang. Lebih jauh lagi, logam spesimen uji yang dipakai dalam investigasi ini merupakan seri 200 dan 430 yang terlihat pada Tabel 2. Tabel 2 memperlihatkan komposisi kimia masing-masing unsur pembentuk logam SS sebagai spesimen uji (Mazinanian *et al.* 2016).



Gambar 1. Spesimen uji stainless steel

Tabel 2. Komposisi unsur pembentuk logam stainless steel

Unsur	% Berat	
	SS 200	SS 430
Cr	16,9	16,0
Mn	5,8	0,3
Ni	3,6	0,1
Cu	0,4	0,04
Mo	0,21	0,02
N	0,15	0,03
C	0,11	0,03
S	0,0020	0,0016
Fe	Sisanya	Sisanya

Perlakuan pasivasi permukaan spesimen uji

Perlakuan pasivasi permukaan spesimen uji SS dilakukan untuk meningkatkan pembentukan lapisan tipis protektif tahan korosi, dimana cocok di industri minuman dan makanan (O’Laoire *et*

al. 2006). Pada penelitian ini, spesimen uji SS dilakukan dengan dan tanpa perlakuan pasivasi. Larutan pasivasi yang digunakan adalah 5 gram/L asam sitrat (CA). Sampel uji SS dicelupkan di dalam larutan tersebut selama 2 jam pada suhu 70°C.

Persiapan larutan uji

Pada Tabel 3, larutan uji yang digunakan merupakan larutan yang mewakili kondisi larutan dalam minuman atau makanan saat digunakan pada peralatan masak atau penyimpanan berbahan SS. Komposisi kandungan air keran buatan (ATW) antara lain 0,12 g/L NaHCO₃; 0,07 g/L MgSO₄.7H₂O ; 0,12 g/l CaCl₂.2H₂O yang merujuk kepada International Standard Organization (ISO) 10531-2000 (Mazinanian *et al.* 2016).

Tabel 3. Variasi larutan simulasi uji

Tipe minuman/ makanan	Larutan simulasi
Larutan air, alkohol atau makanan berlemak	Air keran buatan (ATW) (pH 7,5)
Makanan asam (pH ≤4,5)	5 g/L asam sitrat (CA) (pH 2,4)

Uji efek pemanasan dan pendinginan larutan simulasi

Uji dampak pemanasan dan pendinginan larutan simulasi sangat penting bagi peralatan masak berbahan SS, dimana kondisi pemakaian alat pada suhu tinggi dan kondisi suhu dingin, diikuti waktu tahan. Performa logam SS diidentifikasi melalui nilai logam pemadu SS yang terlepas setelah pengujian selesai. Prosedur uji ini antara lain uji celup dilakukan dengan interval waktu dan suhu tertentu yang terlihat pada Tabel 4. Larutan uji yang digunakan adalah air keran buatan dan larutan asam sitrat 5 gram/L.

Tabel 4. Skema uji efek pemanasan dan pendinginan larutan simulasi

Kondisi sampel uji	Interval waktu
SS tanpa perlakuan pasivasi	2 jam (70°C)
SS tanpa perlakuan pasivasi	2 jam (70°C) + 24 jam (40°C)
SS tanpa perlakuan pasivasi	2 jam (70°C) + 238 jam (40°C).

Efek kombinasi asam sitrat dan garam sodium klorida (NaCl)

Umumnya, larutan asam sitrat digunakan sebagai larutan simulasi dalam penentuan performa SS jika dihubungkan dengan pelepasan logam-logam ke larutan (Mazinanian *et al.* 2015). Penggunaan minuman atau makanan asam juga bersamaan penambahan garam sebagai suatu bahan tambahan. Simulasi penambahan garam ini dilakukan dengan penggunaan senyawa sodium klorida (NaCl)

Tabel 5 memperlihatkan skema uji logam SS dengan tiga larutan berbeda yang terdiri dari asam sitrat, NaCl, dan kombinasi NaCl dan asam sitrat. Kondisi permukaan logam SS tersebut dilakukan dengan dan tanpa pasivasi awal. Nilai pH pada tiga larutan uji juga dijaga saat pengujian. Selama ekspos dalam larutan, rasio luas permukaan spesimen uji terhadap volume larutan adalah $1 \text{ cm}^2/\text{mL}$. Rasio (loading) ini mewakili dari luas permukaan produk berbahan SS terhadap larutan simulasi uji yang terlihat pada Gambar 2.

Tabel 5. Kondisi larutan dan ekspos pada investigasi pelepasan logam SS dalam larutan asam sitrat (CA) dan NaCl.

Waktu & suhu operasional	Larutan	
	Komposisi	pH
	5 gr/L asam sitrat	2,4
	29,22 g/L (0.5 M) NaCl	5,5-6,2
	29,22 g/L (0.5 M) NaCl + 5 g/L asam sitrat	2,2



Gambar 2. Sampel uji dengan rasio (loading) $1 \text{ cm}^2/\text{mL}$

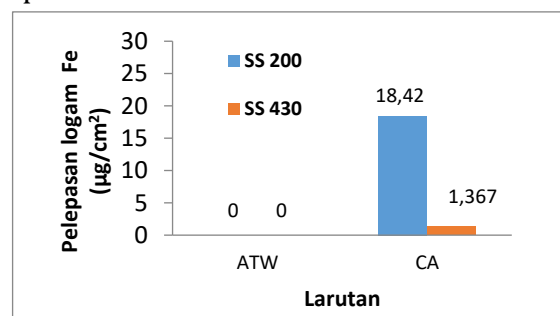
Analisa pelepasan logam *stainless steel*

Pengukuran nilai pelepasan logam mangan (Mn), nikel (Ni), besi (Fe) dan kromium (Cr) ke larutan uji menggunakan Alat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Alat AAS merupakan peralatan uji untuk menganalisa logam secara kuantitatif dengan cepat (Ali & Kazi 2016). Metode AAS berdasarkan identifikasi spesifik sinar absorpsi panjang gelombang, dimana setiap unsur mempunyai panjang gelombang tertentu. AAS ini menggunakan pembakaran (flame) yang menguapkan larutan menjadi uap (vapor).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efek pemanasan dan pendingin larutan simulasi

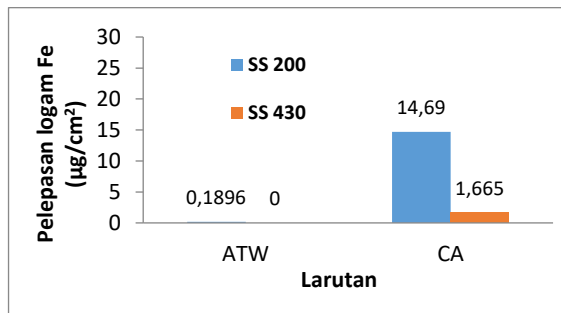
Logam SS sebagai spesimen uji diklasifikasikan sebagai baja paduan tinggi, dimana kadar besi merupakan base metal dibandingkan unsur paduan lainnya. Pada Gambar 3, kadar pelepasan logam besi (Fe) pada SS 200 hingga 13 kali lebih besar dibandingkan pada SS 430 di larutan asam sitrat ber pH 2,4, namun tidak ada pelepasan Fe pada ATW.



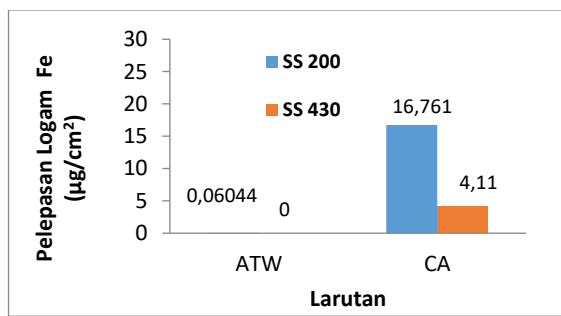
Gambar 3. Pelepasan logam besi (Fe) pada logam SS dalam larutan simulasi uji pada suhu 70°C dengan waktu tahan 2 jam.

Lebih jauh lagi, proses perendaman SS dilanjutkan menambahkan waktu 24 jam dengan menurunkan suhu 40°C pada Gambar 4. Proses pendinginan dengan waktu tahan 24 jam meningkatkan sedikit pelepasan logam Fe pada masing-masing SS 430 dalam larutan CA dan SS 200 dalam ATW. Walaupun kadar pelepasan Fe dengan penurunan suhu secara simultan sedikit turun dibandingkan tanpa proses pendinginan pada SS 200 dalam

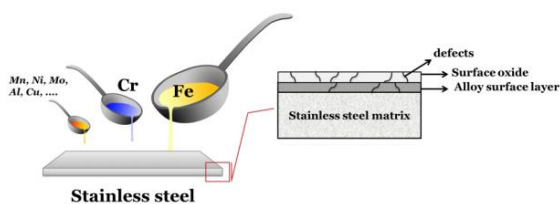
larutan CA, ini mengindikasikan tidak ada pengaruh signifikan melalui proses pendinginan.



Gambar 4. Pelepasan logam besi (Fe) pada logam SS dalam larutan simulasi uji pada suhu 70°C waktu tahan 2 jam, dilanjutkan pendinginan pada suhu 40°C, waktu tahan 24 jam.



Gambar 5. Pelepasan logam besi (Fe) pada logam SS dalam larutan simulasi uji pada suhu 70°C waktu tahan 2 jam, dilanjutkan pendinginan pada suhu 40°C, waktu tahan 238 jam.



Gambar 6. Skema lapisan oksida pada stainless steel (Mazinanian 2016)

Pada Gambar 5, pengaruh perpanjangan waktu tahan hingga 238 jam pada suhu 40°C setelah proses pemanasan 70oC meningkatkan sedikit kadar pelepasan logam Fe pada SS 430 dalam larutan CA dan pada SS 200 di larutan ATW, tapi terjadi penurunan pada SS 200 dalam larutan CA. SS mempunyai lapisan oksida protektif dari

hasil reaksi dengan oksigen di lingkungan, dimana salah satu komposisi lapisannya mengandung Fe selain Cr (Hedberg & Wallinder 2016). Keberadaan larutan simulasi uji berpH rendah pada asam sitrat meningkatkan pelepasan logam Fe dari lapisan oksida dibandingkan air keran buatan pada SS 200 dan SS 430. Lapisan pasif SS terdiri dari lapisan luar yang kaya kadar Cr dan dan lapisan dalam yang kaya dengan kadar Fe (O’Laoire *et al.* 2006). Lapisan dibawah lapisan oksida (alloy surface layer) terdiri dari nikel (Fe), besi (Fe) dan mangan (Mn) yang terlihat pada Gambar 6 (Mazinanian. 2016). Ini mengindikasikan bahwa larutan asam sitrat melarutkan secara selektif logam Fe dari lapisan oksida. Lebih jauh lagi, semua skema interval waktu, variasi pemanasan dan pendinginan pada dua SS berbeda, berdasarkan regulasi COE tentang ambang batas BPS logam Fe masih dibawah ambang batas dari nilai maksimum 40 µg/cm² yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 6. Pelepasan logam nikel (Ni) pada logam SS dalam larutan simulasi air keran buatan

Perlakuan uji	Konsentrasi nikel (µg/cm ²)	
	SS 200	SS 430
2 jam (70°C)	0	0,005401
2 jam (70°C) + 24 jam (40°C)	0,00145	0,04444
2 jam (70°C) + 238 jam (40°C).	0	0,098395

Tabel 7. Pelepasan logam nikel (Ni) pada logam SS dalam larutan simulasi asam sitrat

Perlakuan uji	Konsentrasi nikel (µg/cm ²)	
	SS 200	SS 430
2 jam (70°C)	0	0,04968
2 jam (70°C) + 24 jam (40°C)	0	0,09856
2 jam (70°C) + 238 jam (40°C).	0	0,1352

Logam SS secara spontan membentuk lapisan oksida tipis, dimana unsur nikel terletak di bawah lapisan tersebut (Hedberg

& Wallinder 2016). Tabel 6 dan Tabel 7 memperlihatkan nilai pelepasan logam nikel setiap SS dalam variasi larutan uji. Secara umum, peningkatan pelepasan logam nikel terjadi pada larutan asam sitrat dibandingkan larutan air keran buatan dengan variasi suhu dan waktu tahan. Lebih jauh lagi, nilai pelepasan nikel lebih besar SS 430 dibandingkan SS 200 dimana ini mengindikasikan kualitas dari lapisan pasif SS.

Peningkatan pelepasan logam nikel juga dipengaruhi oleh variasi waktu tahan dan pendinginan suhu operasional pada material SS 430, tapi tidak dengan SS 200. Terlepas akan hal ini, nilai pelepasan logam nikel di kedua larutan simulasi tidak melebihi ambang batas yang dipersyaratkan regulasi eropa COE dengan nilai maksimum 0,14 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

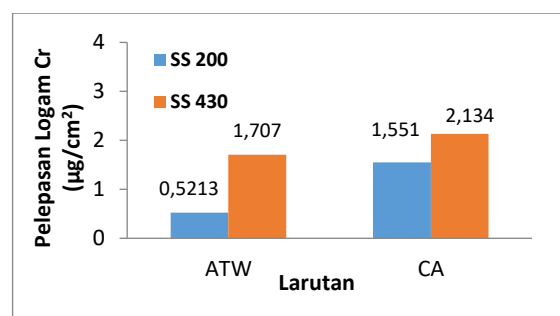
Tabel 8 dan Tabel 9 memperlihatkan nilai pelepasan logam mangan (Mn) pada SS dengan variasi larutan simulasi asam sitrat dan air keran buatan, dimana unsur mangan terkandung pada kedua SS 200 dan SS 430. Pengaruh larutan simulasi ber pH rendah memberikan dampak peningkatan pelepasan unsur mangan kedua SS dibandingkan larutan ber pH netral. Pada Gambar 6, indikasi kerentanan pelepasan unsur mangan juga dipengaruhi kondisi lapisan oksida, dimana kerusakan lapisan dapat mempercepat pelepasannya (Mazinianian 2016). Lebih jauh lagi, nilai pelepasan logam unsur mangan pada kedua SS dalam variasi larutan uji tidak melebihi ambang batas aman sesuai regulasi konsorsium Eropa COE dengan nilai maksimum 1,8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Tabel 8. Pelepasan logam Mangan (Mn) pada logam SS dalam larutan simulasi air keran buatan

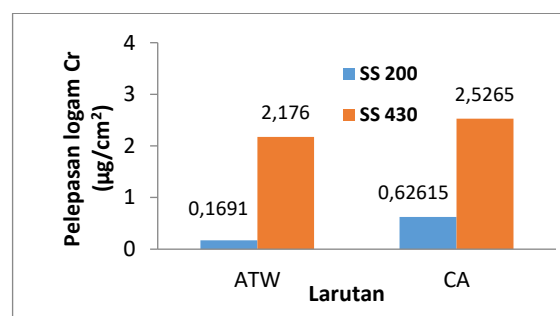
Perlakuan uji	Konsentrasi Mangan ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
	SS 200	SS 430
2 jam (70°C)	0	0,3037
2 jam (70°C) + 24 jam (40°C)	0,011675	0,35785
2 jam (70°C) + 238 jam (40°C)	0,2624	0,42125

Tabel 9. Pelepasan logam Mangan (Mn) pada logam SS dalam larutan simulasi asam sitrat

Perlakuan uji	Konsentrasi mangan ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
	SS 200	SS 430
2 jam (70°C)	0,046305	0,44015
2 jam (70°C) + 24 jam (40°C)	0,1391	0,47945
2 jam (70°C) + 238 jam (40°C)	0,29745	0,55415



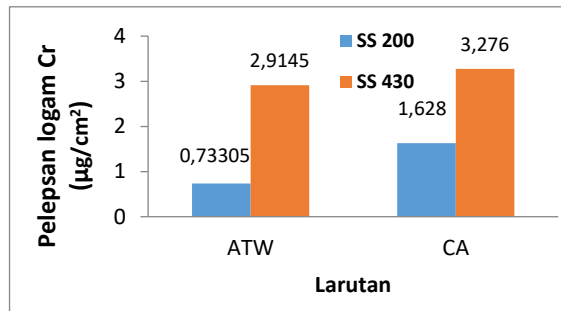
Gambar 7. Pelepasan logam krom (Cr) pada logam SS dalam larutan simulasi uji pada suhu 70°C dengan waktu tahan 2 jam.



Gambar 8. Pelepasan logam krom (Cr) pada logam SS dalam larutan simulasi uji pada suhu 70°C waktu tahan 2 jam, dilanjutkan pendinginan pada suhu 40°C, waktu tahan 24 jam.

Logam krom (Cr) merupakan unsur pepadu terbesar dibandingkan unsur mangan dan nikel pada kedua logam SS 200 dan SS 430. Nilai pelepasan logam krom lebih tinggi di lingkungan asam sitrat (CA) dibandingkan di lingkungan air keran buatan yang terlihat pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9. Pelarutan logam krom pada lapisan oksida terjadi dikarenakan proses chelating dari anion sitrat mengikat kation krom (Khatun *et al.* 2019; Jean *et al.* 2008), dimana sama prosesnya dengan pelarutan

besi (Fe) (Chu & Wan 1993). Pada proses pemanasan larutan hingga suhu 70°C, kemudian diikuti pendinginan pada suhu 40°C dan penahan waktu secara simultan, pelepasan logam krom SS 430 lebih tinggi dibandingkan SS 200 dalam masing-masing larutan berbeda.



Gambar 9. Pelepasan logam krom (Cr) pada logam SS dalam larutan simulasi uji pada suhu 70°C waktu tahan 2 jam, dilanjutkan pendinginan pada suhu 40°C, waktu tahan 238 jam.

Di sisi lain, proses pendinginan suhu larutan simulasi dan penahanan waktu hingga 238 jam mengindikasikan untuk memberikan waktu krom terlepas ke lingkungan dibandingkan tanpa penahanan waktu. Ini membuktikan bahwa waktu pemakaian alat masak baru yang terbuat dari SS 200 dan 400 meningkatkan pelepasan logam krom.

Berdasarkan panduan kriteria yang dipublikasi oleh Council of Europe (COE) tentang BPS unsur logam SS, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa nilai pelepasan logam krom di kedua SS pada semua variasi uji diatas melebihi ambang batas kriteria sekitar maksimum 0,25 µg/cm². Terlepas dari itu, penelitian lebih lanjut akan dilakukan oleh penulis, dimana simulasi berulang pemakaian alat masak diperlukan untuk membuktikan keberadaan krom di larutan simulasi uji.

Efek kombinasi asam sitrat dan sodium klorida

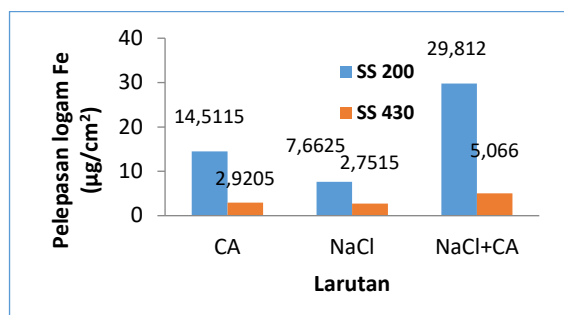
Selain simulasi larutan asam pada makanan atau minuman, riset ini juga melakukan simulasi penambahan garam dan kombinasi antara garam dan asam sitrat terhadap nilai pelepasan logam disetiap

logam uji. Keberadaan ion klorida (Cl⁻) di dalam larutan garam NaCl dan larutan campuran NaCl dan asam sitrat meningkatkan nilai pelepasan logam besi dibandingkan larutan asam sitrat di kedua SS tanpa pasivasi yang terlihat pada Gambar 10.

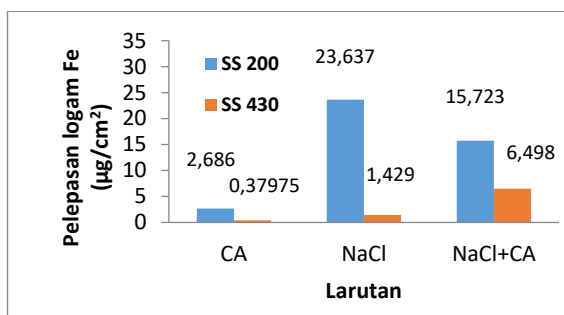
Lebih jauh lagi, Nilai pelepasan logam besi lebih tinggi larutan campuran NaCl dan asam sitrat, dibandingkan larutan uji lainnya dimana ini mengindikasikan peran garam (NaCl) mempengaruhi peningkatan tersebut. Keberadaan anion klorida (Cl⁻) dalam larutan garam (NaCl) menyebabkan pecahnya lapisan oksida protektif logam SS (Priyotomo 2018; Priyotomo 2013), dimana lapisan oksida SS mengandung logam besi (Fe) (Mazinianian 2016). Efek sinergis peran antara *chelating* anion sitrat dan anion klorida (Cl⁻) meningkatkan pelepasan besi. Disisi lain, pelepasan logam Fe lebih tinggi pada SS 200 dibandingkan SS 430.

Perlakuan awal pasivasi SS dilakukan dengan menggunakan larutan asam sitrat dengan dipanaskan hingga 70°C sesuai standar ASTM A967 (ASTM 2010). Perlakuan tersebut digunakan untuk memperbaiki integritas lapisan oksida SS dan meningkatkan ketahanan korosi logam SS (Lara *et al.* 2018).

Pelepasan logam Fe pada SS 200 lebih tinggi dibandingkan SS 430 yang terlihat pada Gambar 11. di semua variasi larutan simulasi uji. Keberadaan ion klorida di dalam larutan asam sitrat juga meningkatkan pelepasan logam Fe di kedua SS. Disisi lain, perlakuan pasivasi awal menurunkan tingkat pelepasan logam Fe dibandingkan tanpa perlakuan pasivasi di kedua SS. Tingkat pelepasan besi pada SS 430 lebih kecil dibandingkan SS 200, kecuali pada SS 200 dalam larutan NaCl. Pasivasi awal cukup dapat menghambat pelepasan Fe dalam larutan ekstrim campuran garam dan asam sitrat. Terlepas akan hal itu, kriteria nilai ambang batas yang diizinkan oleh COE untuk pelepasan logam Fe masih jauh dibawah nilai maksimum 40,0 µg/cm².



Gambar 10. Pelepasan logam besi (Fe) pada logam SS tanpa perlakuan pasivasi dalam larutan simulasi uji asam sitrat (CA), garam (NaCl) dan kombinasi garam dan asam sitrat pada suhu 70°C (waktu tahan 2 jam) dan dilanjutkan pada suhu 40°C (waktu tahan 24 jam).

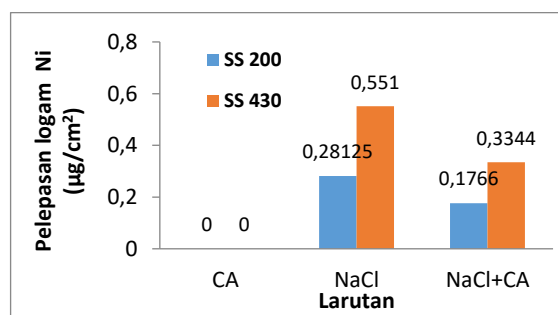


Gambar 11. Pelepasan logam besi (Fe) pada logam SS setelah perlakuan pasivasi dalam larutan simulasi uji asam sitrat (CA), garam (NaCl) dan kombinasi garam dan asam sitrat pada suhu 70°C (waktu tahan 2 jam) dan dilanjutkan pada suhu 40°C (waktu tahan 24 jam).

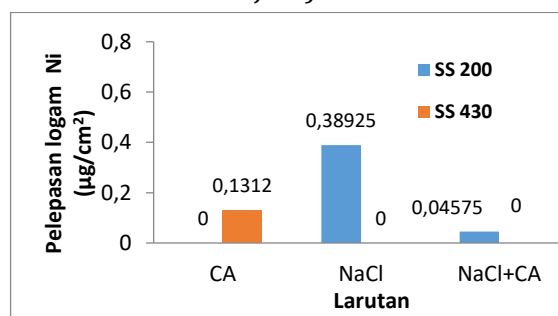
Kandungan nikel terdapat di kedua SS, dimana merupakan unsur yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia sebagai pemakai (Haudrech *et al.* 1994; Duda-Chodak & Błaszczyk 2008; Buxton 2019). Lebih jauh lagi, tanpa pasivasi awal, kerentanan pelepasan logam nikel terjadi dalam larutan NaCl atau campuran larutan NaCl dan asam sitrat dibandingkan larutan asam sitrat. Pada Gambar 12, ini memperlihatkan keberadaan atau penambahan garam NaCl di dalam asam sitrat dapat meningkatkan pelepasan unsur nikel ke larutan simulasi uji. Di sisi lain, tingkat pelepasan nikel lebih tinggi pada SS 430 dibandingkan SS 200.

Secara umum, pada Gambar 13, perlakuan pasivasi awal pada SS menurunkan tingkat pelepasan nikel pada kedua SS, kecuali SS 430 dalam asam sitrat dan SS 200

dalam NaCl. Pengecualian ini dimungkinkan lapisan oksida hasil pasivasi awal tidak homogen atau rusak sehingga reaksi elektrokimia terjadi di dalam lapisan permukaan paduan yang terlihat pada Gambar 6. Peran senyawa NaCl dalam larutan uji khususnya ion klorida sebagai pemecah lapisan oksida dapat direduksi melalui perlakuan pasivasi awal. Lapisan oksida protektif melindungi logam nikel tidak bereaksi dengan larutan agresif NaCl. Penambahan senyawa garam NaCl dalam simulasi uji memberikan dampak nilai pelepasan nikel di atas kriteria nilai ambang batas logam nikel yang diizinkan oleh COE sekitar 0,14 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ tanpa pasivasi awal. Melalui pasivasi awal, nilai pelepasan nikel dibawah ambang batas COE, kecuali pada SS 200 dalam larutan NaCl.



Gambar 12. Pelepasan logam nikel (Ni) pada logam SS tanpa perlakuan pasivasi dalam larutan simulasi uji asam sitrat (CA), garam (NaCl) dan kombinasi garam dan asam sitrat pada suhu 70°C (waktu tahan 2 jam) dan dilanjutkan pada suhu 40°C (waktu tahan 24 jam).



Gambar 13. Pelepasan logam nikel (Ni) pada logam SS dengan perlakuan pasivasi dalam larutan simulasi uji asam sitrat (CA), garam (NaCl) dan kombinasi garam dan asam sitrat pada suhu 70°C (waktu tahan 2 jam) dan dilanjutkan pada suhu 40°C (waktu tahan 24 jam).

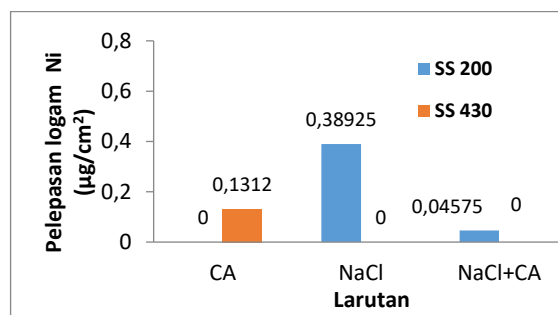
Pada logam SS 430, keberadaan atau penambahan senyawa garam NaCl di dalam asam sitrat tidak mempengaruhi pelepasan logam mangan (Mn) ke larutan dengan dan tanpa perlakuan pasivasi awal yang terlihat pada Tabel 10 dan Tabel 11. Pada logam SS 200, keberadaan senyawa NaCl dapat meningkatkan pelepasan logam mangan dengan dan tanpa perlakuan pasivasi awal. Penambahan senyawa NaCl yang mengandung ion klorida (Cl⁻) dalam larutan asam sitrat meningkatkan reaksi elektrokimia dan merusak lapisan oksida SS (Hassan 2005). Penurunan nilai tingkat pelepasan mangan dalam larutan kombinasi senyawa NaCl dan asam sitrat dibandingkan larutan NaCl mengindikasikan integritas lapisan oksida setelah perlakuan pasivasi awal. Terlepas dari itu, seluruh nilai pelepasan mangan dengan dan tanpa pasivasi awal memenuhi kriteria panduan COE, dimana dibawah ambang batas maksimum sekitar 1,8 µg/cm².

Tabel 10. Pelepasan logam Mangan (Mn) pada logam SS tanpa perlakuan pasivasi awal.

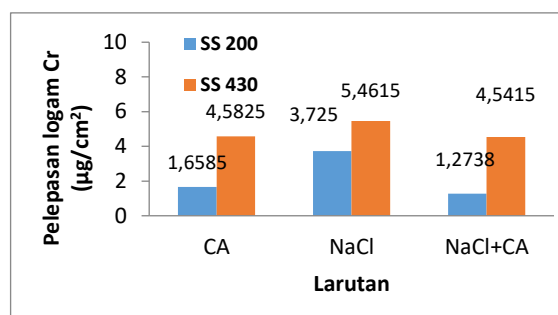
Larutan uji	Konsentrasi mangan (µg/cm ²)	
	SS 200	SS 430
Asam sitrat(CA)	0,27875	0
NaCl	1,20835	0
NaCl + CA	0,84655	0

Tabel 11. Pelepasan logam Mangan (Mn) pada logam SS setelah perlakuan pasivasi awal

Perlakuan uji	Konsentrasi mangan (µg/cm ²)	
	SS 200	SS 430
Asam sitrat (CA)	0,3793	0
NaCl	1,4172	0
NaCl+CA	0,29935	0



Gambar 14. Pelepasan logam nikel (Ni) pada logam SS dengan perlakuan pasivasi dalam larutan simulasi uji asam sitrat (CA), garam (NaCl) dan kombinasi garam dan asam sitrat pada suhu 70°C (waktu tahan 2 jam) dan dilanjutkan pada suhu 40°C (waktu tahan 24 jam).



Gambar 15. Pelepasan logam krom (Cr) pada logam SS tanpa perlakuan pasivasi dalam larutan simulasi uji asam sitrat (CA), garam (NaCl) dan kombinasi garam dan asam sitrat pada suhu 70°C (waktu tahan 2 jam) dan dilanjutkan pada suhu 40°C (waktu tahan 24 jam).

Salah satu unsur utama yang terkandung dalam lapisan oksida adalah krom selain besi. Pada Gambar 14 dan gambar 15, peran ion klorida dalam larutan NaCl meningkatkan nilai pelepasan krom sangat signifikan dibandingkan larutan asam sitrat berpH rendah dengan dan tanpa pasivasi awal di kedua SS. Peran perusak lapisan oksida melalui reaksi elektrokimia terjadi akibat keberadaan ion tersebut (Priyotomo 2018 ; Priyotomo 2013 ; Hassan 2005). Lebih jauh lagi, nilai pelepasan krom lebih banyak dibandingkan logam nikel dan mangan, dikarenakan unsur kandungan krom di lapisan oksida (Mazinanian 2016). Seluruh nilai pelepasan krom dengan dan tanpa pasivasi awal melebihi ambang batas dari panduan COE sekitar 0,25 µg/cm².

KESIMPULAN

Produk peralatan masak berbahan logam stainless steel (SS) mengalami degradasi melalui pelepasan logam besi, nikel, mangan dan krom ke dalam larutan. Tingkat pelepasan logam-logam tersebut lebih tinggi di dalam larutan asam sitrat dibandingkan larutan air keran buatan, dimana peran pH yang rendah terjadi. Proses pemanasan diikuti dengan pendinginan dan peningkatan waktu celup meningkatkan pelepasan logam dalam larutan simulasi. Peran ion klorida (Cl) yang terkandung dalam garam NaCl meningkatkan pelepasan logam dibandingkan larutan lainnya. Peran perlakuan pasivasi awal SS 200 dan SS 430 cukup menurunkan pelepasan logam dibandingkan tanpa pasivasi awal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali M dan Kazi. 2016. Mineral Analysis of Milk through Atomic Absorption Spectroscopy and Their Biological Role in Human Life. *Int. J. Adv. Chem. Eng. Biol. Sci.* 2(2).
- ASTM. 2010. Standard Specification for Chemical Passivation Treatments for Stainless Steel Parts 1. Annu. B. ASTM Stand. 1-7.
- Awad TS, Asker D, Hatton BD. 2018. Food-Safe Modification of Stainless Steel Food-Processing Surfaces to Reduce Bacterial Biofilms. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 10(27):22902-22912.
- Buxton S. 2019. Concise Review of Nickel Human Health Toxicology and Ecotoxicology. *Inorganics.* 7(7): 89.
- Chervona Y, Arita A, Costa M. 2012. Carcinogenic metals and the epigenome: Understanding the effect of nickel, arsenic, and chromium. in *Metallomics.* 4(7): 619-627.
- Chu CM dan Wan CC. 1993. Effect of citric acid as a chelating agent on anodic behavior of pure iron with potentiostatic polarization and cyclic voltammetry methods. *Mater. Chem. Phys.* 33(3-4): 189-196.
- Duda-Chodak A dan Błaszczuk U. 2008. The impact of nickel on human health. *J. Elem.* 13(4): 685-696.
- Hassan H. 2005. Effect of chloride ions on the corrosion behaviour of steel in 0.1 M citrate. *Electrochim. Acta* 51(3): 526-535.
- Haudrech P, Fousseureau J, Mantout B, Baroux B. 1994. Nickel release from nickel-plated metals and stainless steels. *Contact Dermatitis* 31(4): 249-255.
- Hedberg YS dan Wallinder IO. 2016. Metal release from stainless steel in biological environments: A review *Biointerphases* 11(1): 018901.
- Jean L, Bordas F, Gautier-Moussard C, Vernay P, Hitmi A, Bollinger JC. 2008. Effect of citric acid and EDTA on chromium and nickel uptake and translocation by *Datura innoxia*. *Environ. Pollut.* 153(3): 555-563.
- Khatun MR, Mukta RH, Islam MA, Huda AKMN. 2019. Insight into citric acid-induced chromium detoxification in rice (*Oryza sativa*. L). *Int. J. Phytoremediation.*
- Lara BMDR, Pérez ODY, Gaona CT, Zambrano-Robledo P, Cabral JAM, Almeraya FAC. 2018. Citric Acid Passivation of 15-5PH and 17-4PH Stainless Steel Used in the Aeronautical Industry. in *Proceedings of the Symposium of Aeronautical and Aerospace Processes, Materials and Industrial Applications.* 95-104.
- Mazinanian N, Wallinder IO, Hedberg Y. 2015. Comparison of the influence of citric acid and acetic acid as simulants for acidic food on the release of alloy constituents from stainless steel AISI 201. *J. Food Eng.* 145: 51-63.
- Mazinanian N. 2016. Metal Release and Corrosion of Stainless Steel in Simulated Food Contact. *KTH Royal Institute of Technology.*
- Mazinanian N, Herting G, Wallinder IO, Hedberg Y. 2016. Metal release and corrosion resistance of different stainless

- steel grades in simulated food contact. *Corrosion*. 72.(6): 775–790.
- O’Laoire CB, Timmins, Kremer L, Holmes J, and Morris M. 2006. Analysis of the acid passivation of stainless steel. *Anal. Lett.* 39(11): 2255–2271.
- Priyotomo G. 2013. Pengaruh Ion Klorida Terhadap Ketahanan Korosi Stainless Steel 316L. In *Prosiding Peningkatan Nilai Tambah Sumber Daya Mineral Menuju Kemandirian Industri Metalurgi dan Material Nasional*. 395–404.
- Priyotomo G, and Putrayasa INGA. 2018. Perilaku Sensitasi Pada Logam Stainless Steel Seri J4 Akibat Perlakuan Panas. *Widyariset*. 4(2).
- Priyotomo G. 2018. The Effect of Sensitizing Temperatures for Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steel in Magnesium Chloride Solution. *Int. J. Eng. Trends Technol.* 59(2): 66–72.
- Rashid MWA, Gakim M, Rosli ZM, AzamMA. 2012. Formation of Cr₂₃C₆ during the sensitization of AISI 304 stainless steel and its effect to pitting corrosion. *Int. J. Electrochem. Sci* 7(10): 9465–9477.