

Research Report

Pelepasan ion nikel dan kromium kawat Australia dan stainless steel dalam saliva buatan

(The release of nickel and chromium ions from Australian wire and stainless steel in artificial saliva)

Nolista Indah Rasyid, Pinandi Sri Pudyani dan JCP Heryumani

Departemen Ortodonsia

Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gajah Mada

Yogyakarta-Indonesia

ABSTRACT

Background: Fixed orthodontic treatment needs several types of wire to produce biomechanical force to move teeth. The use of orthodontic wire within the mouth interacts with saliva, causing the release of nickel and chromium ions. **Purpose:** The study was aimed to examine the effect of immersion time in artificial saliva between special type of Australian wire and stainless steel on the release of nickel and chromium ions. **Methods:** Thirty special type Australian wires and 30 stainless steel wires were used in this study, each of which weighed 0.12 grams. The wires were immersed for 1, 7, 28, 35, 42, and 49 days in artificial saliva with a normal pH. The release of ions in saliva was examined using Atomic Absorption Spectrophotometry. **Results:** The result indicated that the release of nickel ions on special type of Australian wire was larger than that on stainless steel wire ($p < 0.005$), there were differences in the release of the amount of nickel ions on special type of Australia in different immersion time, and there was a correlation between the types of wire and immersion time. Nickel ions released from the special type of Australian wire detected on the 7th day of immersion and reached its peak on the 35th day, while from stainless steel wire were detected on the 49th day of immersion. The released of chromium ions from the special type of Australian wire and stainless steel wire were not detected until the 49th day of immersion. **Conclusion:** The release of nickel ions were highest on the 35th day of immersion in special type of Australian wire and they were detected on the 49th day in stainless steel wire. The release of chromium ions were not detected until 49th day of immersion in special type of Australian and stainless steel wire.

Key words: Australian wire, stainless steel, immersion time, nickel ion, chromium ion

ABSTRAK

Latar belakang: Perawatan ortodonti cekat memerlukan beberapa macam kawat untuk menghasilkan kekuatan biomekanika yang sesuai dalam menggerakkan gigi. Pemakaian kawat ortodonti di dalam mulut dapat bereaksi dengan saliva sehingga menyebabkan terjadinya pelepasan ion nikel dan kromium. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh waktu perendaman dalam saliva buatan terhadap pelepasan ion nikel dan kromium antara kawat Australia tipe spesial dengan kawat stainless steel. **Metode:** Penelitian ini menggunakan 30 buah kawat Australia tipe spesial dan 30 buah kawat stainless steel dengan berat tiap kawat 0,12 gram. Kawat direndam selama 1, 7, 28, 35, 42 dan 49 hari dalam saliva buatan pH normal. Pemeriksaan pelepasan ion pada saliva menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom. **Hasil:** Pelepasan ion nikel pada kawat Australia tipe spesial lebih besar dibandingkan dengan kawat stainless steel, terdapat perbedaan pelepasan jumlah ion nikel pada kawat Australia tipe spesial antara waktu perendaman dan terdapat interaksi antara jenis kawat dengan waktu perendaman. Ion nikel yang terlepas pada kawat Australia tipe spesial mulai terdeteksi pada hari ke-7 perendaman dan mencapai jumlah tertinggi pada hari ke-35 sedangkan pada kawat stainless steel mulai terdeteksi pada perendaman hari ke-49. Pelepasan ion kromium pada kawat Australia tipe spesial dan kawat stainless steel tidak

terdeteksi sampai perendaman hari ke-49. **Simpulan:** Pelepasan ion nikel pada kawat Australia tipe special terdeteksi paling tinggi pada lama perendaman hari ke tiga puluh lima, kawat stainless steel terdeteksi pada lama perendaman hari ke empat puluh sembilan. Pelepasan ion kromium pada kawat Australia tipe special dan stainless steel tidak terdeteksi sampai lama perendaman hari ke empat puluh sembilan.

Kata kunci: Kawat Australia tipe spesial, stainless steel, lama perendaman, ion nickel, ion chromium

Korespondensi (*correspondence*): Nolista Indah Rasyid, Program Studi Spesialis Ortodonsia, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada. Jl. Denta I, Sekip Utara Yogyakarta 55281, Indonesia. E-mail: nolista@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

Kawat ortodonti merupakan salah satu komponen penting pada perawatan ortodonti. Kawat yang sering digunakan adalah kawat *austenitic stainless steel* dan Australia karena sifat fisik dan mekaniknya dibutuhkan dalam perawatan ortodonti yaitu memiliki sifat nontoksik, tahan terhadap korosi, lentur, kekuatan besar, kekerasan dan *resilience* tinggi.¹ Kedua kawat tersebut memiliki kandungan kromium dan nikel, kromium merupakan elemen yang memberi sifat tahan karat dan nikel meningkatkan kekuatan baja tahan karat.² Perbedaan kawat *stainless steel* dengan kawat Australia terdapat pada kandungan karbon. Kawat Australia memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi sehingga meningkatkan sifat kekerasan dan menyebabkan kawat lebih rapuh sehingga kemampuan dalam ketahanan terhadap *bending* berkurang.³ Kawat *stainless steel* lebih banyak digunakan pada mekanisme *sliding* karena memiliki friksi yang rendah.⁴ Kawat ortodonti perlu memenuhi kriteria berikut, kekuatan tinggi, kekakuan rendah, *range* tinggi, *formability* tinggi, serta dapat dilakukan *welding* dan solder.⁵

Kawat ortodonti pada alat cekat akan selalu berkontak dengan saliva dan jaringan rongga mulut. Pada lingkungan rongga mulut, kawat yang digunakan dalam perawatan ortodonti berpotensi mengalami korosi atau pelepasan elemen logam penyusun *alloy*. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh perubahan suhu, mikroflora, enzim rongga mulut dan perubahan keasaman (pH) saliva.^{6,7} Elemen logam yang terlepas dari *alloy* akan bereaksi secara kimia dengan elemen non logam membentuk suatu ikatan logam yang dapat merusak struktur logam itu sendiri sehingga berpengaruh terhadap kualitas, estetika, bentuk fisik dan memperlemah kekuatan *alloy* logam.⁸ Ion yang terlepas dapat masuk ke dalam tubuh, dan yang memiliki pengaruh paling merugikan bagi tubuh adalah ion nikel dan kromium.⁹ Ion yang terlepas dapat memberikan efek biologi seperti toksisitas, alergi dan *mutagenicity*. Ion nikel paling sering menyebabkan alergi kontak.¹⁰

Dalam rongga mulut, korosi terjadi dengan lepasnya ion logam positif dari *alloy* ortodonti ke bentuk senyawa yang lebih stabil seperti klorida, sulfida dan oksida.¹¹ Korosi yang terjadi dapat diperiksa dengan beberapa cara yaitu melihat perubahan warna pada permukaan *alloy*, tes elektrokimia untuk melihat perubahan muatan *alloy* dan identifikasi elemen yang terlepas dengan menggunakan

spektrofotometri emisi atom atau spektrofotometri serapan atom. Pemeriksaan korosi pada kawat ortodonti dapat dilakukan dengan identifikasi jumlah elemen yang terlepas dalam cairan saliva dengan alat spektrofotometri serapan atom.¹⁰

Saliva mengandung komponen organik dan anorganik seperti ion natrium, kalium, klorida, bikarbonat, kalsium, magnesium, hidrogen fosfat, tiosianat dan fluor. Ion klorida mempunyai mekanisme perusakan logam melalui lapisan kromium oksida yang dipergunakan sebagai pelindung terhadap korosi. Pemakaian kawat ortodonti dalam rongga mulut sangat berpotensi mengalami korosi. Lama kawat ortodonti berkontak dengan saliva mempengaruhi pelepasan ion logam. Pengaruh lama perendaman terhadap pelepasan ion logam telah dilakukan banyak penelitian. Pelepasan ion logam dari alat cekat yaitu pelepasan ion nikel, kromium, kadmium, tembaga, besi, mangan, molibdenum, silikon. Konsentrasi ion tertinggi yang terlepas terlihat pada hari pertama.¹² Pada penelitian lain dengan melakukan perendaman kawat *stainless steel* dalam saliva buatan menunjukkan hasil konsentrasi ion nikel yang terlepas tertinggi pada minggu ke dua belas.¹³ Kawat Australia yang direndam dalam saliva buatan selama tiga puluh lima hari menunjukkan pelepasan ion nikel paling banyak sedangkan ion kromium pada hari ke empat puluh dua.¹⁴ Pada penelitian ini penambahan lama perendaman dilakukan sampai empat puluh sembilan hari untuk melihat pengaruh lama perendaman terhadap pelepasan ion nikel dan kromium dan untuk melihat pola pelepasan ion nikel dan kromium selanjutnya dari penelitian sebelumnya dengan lama perendaman hanya sampai empat puluh dua hari.

Pelepasan ion kromium dapat menurunkan ketahanan terhadap korosi karena kromium memberikan sifat tahan karat dan pelepasan ion nikel dapat menurunkan kekuatan baja tahan karat karena nikel berperan dalam meningkatkan kekuatan baja tahan karat.² Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama perendaman terhadap jumlah pelepasan ion nikel dan kromium dari kawat Australia tipe spesial dengan kawat *stainless steel* dalam saliva buatan pH normal selama 1, 7, 28, 35, 42 dan 49 hari.

Hasil penelitian dapat memberikan sumbangan pengetahuan tentang pengaruh lama perendaman terhadap pelepasan ion nikel dan kromium kawat Australia tipe spesial dan *stainless steel*, memberikan pertimbangan waktu bagi ortodontis dalam melakukan pergantian kawat

serta pemilihan jenis kawat yang akan digunakan dalam melakukan perawatan ortodonti dengan alat cekat sesuai tujuan perawatan.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan adalah kawat Australia tipe spesial (A.J. Wilcock, G&H® Wire Company) dan kawat *stainless steel* (Ortho Organizers, Ortho Organizers, Inc) diameter 0,016 inci, panjang kawat sebesar 12 cm dengan berat 0,12 gram. Potongan kawat Australia tipe spesial berbentuk kumparan dimasukkan ke dalam cawan petri dan *stainless steel* berbentuk kawat lurus dimasukkan ke dalam tabung kaca yang sudah bersih dan kering yang telah diisi saliva buatan sebanyak 5 ml dengan pH $6,75 \pm 0,15$ agar semua sampel terendam. Komposisi saliva buatan terdiri dari 0,4 g NaCl; 0,4 KCl; 0,78 g $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,005g $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; 1g $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$; 0,81 g potasium klorida, seluruh bahan dicampur dengan aqua destilata sampai 1000 ml kemudian dititrasi dengan HCl dan NaOH sehingga diperoleh pH yang diinginkan. Semua sampel yang telah direndam dalam saliva buatan disimpan dalam inkubator dengan suhu 37°C selama 1, 7, 28, 35, 42 dan 49 hari. Jumlah ion nikel dan ion kromium yang larut dalam saliva buatan hasil perendaman diperiksa dengan alat spektrofotometer metode Spektrofotometri Serapan Atom (*Perkin Elmer* model 3100).

Cara kerja pemeriksaan ion nikel dan kromium dimulai dengan menyiapkan larutan sampel dan standar, larutan standar adalah larutan yang dibuat mengandung unsur nikel dan kromium, kemudian menyiapkan *Hollow Cathoda Lamp* (lampu katoda berrongga) untuk nikel dan kromium dan alat spektrofotometer dinyalakan. *Burner* dinyalakan

untuk mengubah larutan sampel dan larutan standar menjadi uap atom, tombol *Cont* dinyalakan untuk menampilkan serapan yang diukur dan dipilih serapan yang paling stabil, kemudian menyalakan tombol data untuk melakukan pengukuran, selanjutnya masukkan selang injeksi ke dalam wadah pencucian kemudian tekan tombol A/Z. Pengukuran larutan standar dan larutan sampel dilakukan dengan menyalakan tombol *Read out*, setiap ganti larutan standar dan larutan sampel, selang injeksi harus dimasukkan ke dalam wadah pencucian. Data penyerapan radiasi dari larutan standar dan sampel dimasukkan maka akan diketahui jumlah ion nikel dan kromium yang terkandung dalam larutan. Hasil pemeriksaan berupa angka dengan satuan ppm.

HASIL

Pelepasan ion nikel pada kawat Australia tipe spesial mulai terdeteksi pada hari ke tujuh sedangkan pada kawat *stainless steel* mulai terdeteksi pada hari ke empat puluh sembilan. Pelepasan ion kromium tidak terdeteksi sejak hari pertama perendaman sampai hari ke empat puluh sembilan pada kawat Australia tipe spesial maupun kawat *stainless steel*. Jumlah pelepasan ion nikel pada kawat Australia tipe spesial dan *stainless steel* dapat dilihat pada Tabel 1.

Pelepasan ion nikel pada kawat Australia tipe spesial lebih besar dibandingkan pelepasan ion nikel pada kawat *stainless steel*. Uji *Kruskal-Wallis* untuk melihat perbandingan jumlah pelepasan ion nikel antara kawat Australia tipe spesial dengan kawat *stainless steel* menunjukkan terdapat perbedaan yang bermakna dengan $p < 0,05$ ($p = 0,043$).

Tabel 1. Rerata dan simpangan baku pelepasan ion nikel dan kromium dalam saliva buatan (*part per million/ppm*)

Waktu perendaman	Jenis ion	Rerata \pm simpangan baku	
		Kawat Australia	Kawat stainless steel
1 hari	Cr	tidak terdeteksi	tidak terdeteksi
7 hari	Cr	tidak terdeteksi	tidak terdeteksi
28 hari	Cr	tidak terdeteksi	tidak terdeteksi
35 hari	Cr	tidak terdeteksi	tidak terdeteksi
42 hari	Cr	tidak terdeteksi	tidak terdeteksi
49 hari	Cr	tidak terdeteksi	tidak terdeteksi
1 hari	Ni	tidak terdeteksi	tidak terdeteksi
7 hari	Ni	$0,062 \pm 0,036$	tidak terdeteksi
28 hari	Ni	$0,369 \pm 0,224$	tidak terdeteksi
35 hari	Ni	$0,401 \pm 0,133$	tidak terdeteksi
42 hari	Ni	$0,272 \pm 0,120$	tidak terdeteksi
49 hari	Ni	$0,337 \pm 0,062$	$0,099 \pm 0,056$

Tabel 2. Hasil uji *Mann-Whitney* pelepasan ion nikel pada kawat Australia tipe spesial antara lama perendaman 7, 28, 35, 42 dan 49 hari

Waktu perendaman	7 hari	28 hari	35 hari	42 hari	49 hari
7 hari	-	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*
28 hari		-	0,250	0,345	0,461
35 hari			-	0,015*	0,217
42 hari				-	0,089
49 hari					-

Keterangan: *= $p < 0,05$

Hasil uji *Mann-Whitney* pada Tabel 2 menunjukkan terdapat perbedaan pelepasan ion nikel yang signifikan ($p < 0,05$) antara lama perendaman tujuh hari dibanding dua puluh delapan, tiga puluh lima, empat puluh dua, empat puluh sembilan hari dan tiga puluh lima hari dibanding empat puluh dua hari.

Hasil uji *Kruskall-Wallis* menunjukkan terdapat interaksi ion nikel antara jenis kawat Australia tipe spesial dengan *stainless steel* pada lama perendaman empat puluh sembilan hari dengan nilai signifikansi $p < 0,05$ ($p = 0,004$).

PEMBAHASAN

Pelepasan ion nikel pada kawat Australia tipe spesial mulai terdeteksi pada perendaman 7 hari sedangkan pada kawat *stainless steel* mulai terdeteksi pada 49 hari. Pelepasan ion nikel yang lebih besar pada kawat Australia tipe spesial kemungkinan disebabkan karena adanya kandungan karbon yang lebih banyak dibandingkan dengan kawat *stainless steel*. Kawat Australia tipe spesial memiliki kandungan karbon 0,04% sedangkan kawat *stainless steel* memiliki kandungan karbon 0,02%.¹⁵ Karbon dapat berikatan dengan kromium membentuk senyawa kromium karbida sehingga lapisan kromium oksida pada permukaan logam berkurang, karena kandungan karbon yang tinggi dapat memicu terjadinya korosi.³ Kandungan karbon yang lebih tinggi mengakibatkan kawat Australia tipe spesial lebih mudah mengalami korosi sehingga pelepasan ion nikel lebih banyak dibandingkan dengan kawat *stainless steel*.

Pelepasan ion kromium pada penelitian ini tidak terdeteksi, kemungkinan karena jumlah ion yang terlepas jumlahnya di bawah 0,015 ppm yang merupakan batas deteksi dari alat spektrofotometri serapan atom yang digunakan pada penelitian ini. Hasil pada tabel 2 menunjukkan bahwa waktu perendaman mempengaruhi pelepasan jumlah ion nikel kawat Australia tipe spesial. Ion yang terlepas disebabkan karena adanya kontak antara kawat dengan cairan saliva buatan. Cairan saliva buatan merupakan cairan elektrolit yang dapat mengakibatkan terjadinya proses korosi, ion klorida pada saliva dapat merusak lapisan oksida pada permukaan kawat sehingga mengakibatkan terjadinya pelepasan ion logam seperti besi, nikel, kromium, molibdenum dan titanium yang merupakan elemen penting kawat.^{8,11} Ion nikel memiliki

sifat larut dalam cairan saliva, sehingga lama kawat berkontak dengan cairan mempengaruhi pelepasan ion logam. Ion nikel memiliki kecenderungan yang tinggi untuk terlepas, berkaitan dengan struktur elemen pada tingkat atom. Atom nikel tidak terikat dengan kuat pada senyawa intermetalik.¹⁰ Pelepasan ion nikel 7 sampai 35 hari semakin meningkat kemudian mengalami penurunan pada 42 hari kemungkinan terjadi pasivasi yang menghambat pelepasan ion yang intensif setelahnya.¹² Empat puluh sembilan hari perendaman terjadi peningkatan pelepasan ion nikel akan tetapi dengan jumlah yang lebih rendah dari pelepasan tiga puluh lima hari.

Jenis kawat berkaitan dengan komposisi dari setiap kawat. Komposisi kawat merupakan faktor yang mempengaruhi pelepasan ion logam dengan ion utama yang terlepas adalah besi, kromium dan nikel.¹⁰ Penelitian menyatakan komposisi ion kromium dan nikel pada kawat Australia tipe spesial sebesar 17,2% dan 12,0% sedangkan komposisi ion kromium dan nikel pada kawat *stainless steel* sebesar 18,0 % dan 9,0%.¹⁵ Pelepasan ion logam dipengaruhi oleh komposisi kawat, derajat keasaman saliva dan lama perendaman. Komposisi kromium pada kawat *stainless steel* lebih besar dibandingkan kawat Australia tipe spesial,¹⁶ kromium berfungsi sebagai pelindung terhadap korosi dan nikel berfungsi untuk menambah kekuatan, kelenturan dan memperbaiki daya tahan terhadap korosi.¹⁴ Pelepasan ion nikel lebih banyak terjadi pada pH asam dibandingkan pH normal.¹⁷ Pada kondisi asam, jumlah ion H^+ akan semakin besar sehingga bersifat korosif dan dapat mengoksidasi logam.¹⁸

Pelepasan ion nikel yang terjadi pada kawat ortodonti merupakan keadaan yang tidak dapat dicegah karena sangat sulit untuk menemukan material yang sangat stabil. Hal yang perlu diperhatikan adalah jumlah ion yang terlepas berkaitan dengan jumlah ion yang aman untuk diterima oleh tubuh.¹⁶ Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) merekomendasikan dosis harian ion nikel sebesar 25-35 μg . Pada penelitian ini rerata ion nikel terbesar adalah 4,812 μg , nilai ini diperoleh dengan menghitung jumlah ppm dikalikan dengan berat kawat.¹⁹ Nilai ini masih jauh lebih rendah dari batas yang direkomendasikan oleh WHO, pada beberapa penelitian menyatakan bahwa sejumlah kecil ion nikel yang terlepas dapat menyebabkan reaksi alergi berupa stomatitis kontak.¹³ Penelitian lain menyatakan bahwa pelepasan ion nikel dari alat ortodonti cekat dapat

mengakibatkan kerusakan DNA pada sel mukosa mulut, dan dapat terjadi reaksi hipersensitivitas pada pasien dengan perawatan ortodonti cekat.²⁰ Ion logam yang terlepas pada proses korosi merupakan reaksi kimia *alloy* yang dapat mempengaruhi kualitas, estetika, bentuk fisik dan memperlemah kekuatan logam.⁸

Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa pelepasan ion nikel pada kawat Australia tipe spesial terdeteksi paling tinggi pada lama perendaman hari ke 35, kawat *stainless steel* terdeteksi pada lama perendaman hari ke-49. Pelepasan ion kromium pada kawat Australia dan *stainless steel* tidak terdeteksi sampai lama perendaman hari ke empat puluh sembilan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kusy RP. Orthodontic biomaterial: from the past to the present. *Angle Orthod* 2002; 72 (6): 501-12.
2. Martinez CC. Degradation of lingual orthodontics archwires. Barcelona: Department of Odontostomatology, Faculty of Dentistry, University of Barcelona; 2007, p. 32-3.
3. Pelsue BM, Zinelis S, Bradley GT. Structure, composition, and mechanical properties of australian orthodontic wire. *Angle Orthod* 2009; 79(1): 97-101.
4. Marques ISV, Araujo AM, Gurgel JA, Normando D. Debris, roughness and friction of stainless steel archwires following clinical use. *Angle Orthod* 2010; 80(3): 521-7.
5. Proffit WR. Contemporary orthodontics. 4th ed. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2007. p. 369, 407-11, 572-3, 592-600, 604-8.
6. Brantley WA, Eliades T. Orthodontic material: scientific and clinical aspects. Germany: Stuttgart; 2001. p. 77-105, 288.
7. Hsiung Huang H, Hui Chiu Y, Hsin Lee T, Ching Wu S, Wen Yang H, Hsiung Su K, Chih Hsu C. Ion release from NiTi orthodontic wires in artificial saliva with various acidities. *Biomaterial* 2003; 24(20): 3585-92.
8. Phillips RW. Skinner's science of dental materials. 11th ed. Philadelphia, London, Toronto: WB Saunders Company; 2003. p. 56-9.
9. Eliades T, Athanasiou AE. In vivo aging of orthodontic alloys: implication for corrosion potential, nickel release and biocompatibility. *Angle Orthod* 2002; 72(3): 222-37.
10. Schmaltz G, Arenholt-Bindslev D. Biocompatibility of dental materials. Berlin: Springer-Verlag; 2009. p. 224-5.
11. Brantley WA, Eliades T. Orthodontic material: scientific and clinical aspects. Germany: Stuttgart; 2001. p. 77-105, 288.
12. Mikulewicz M, Chojnacka K, Wolowicz P. Release of metal ions from fixed orthodontic appliance an in vitro study in continuous flow system. *Angle Orthod* 2013; 84(1): 140-8.
13. Oh KT, Kim KN. Ion release and cytotoxicity of stainless steel wires. *Eur J Orthod* 2005; 27(6): 533-40.
14. Lenti-Canina. Pengaruh waktu perendaman dalam saliva buatan terhadap pelepasan ion kawat Australia. Karya Tulis Ilmiah. Yogyakarta: PPDGS Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada; 2005: 33-45
15. Shankar SG, Shetty S, Karrant HS. A comparative study of physical and mechanical properties of different grades australian steel wires. *Trends Biomater Artif Organs* 2011; 25(2): 67-74.
16. Kuhta M, Pavlin D, Slaj M, Varga ML. Type of archwire and level of acidity: effect on the release of metal ions from orthodontic appliances. *Angle Orthod* 2009; 79(1): 102-10.
17. Siti-Fatimah. Perbandingan pelepasan ion nikel antara empat merek braket stainless steel baru dan daur ulang dalam saliva buatan dengan pH 5, 6 dan 7. Karya Tulis Ilmiah. Yogyakarta: PPDGS Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada; 2013: 36-55
18. Callister TP. Fundamental of materials science and engineering: an integrated approach. 5th ed. New York: John Wiley & Son, Inc; 2012. p. 205-6.
19. Mikulewicz M, Chojnacka K, Wozniak B, Downarowicz P. Release of Metal Ions from Orthodontic Appliances : An In Vitro Study. *Biol Trace Elem Res* 2012; 146: 272-280.
20. Faccioni F, Franceschetti P, Cerpelloni M, Fracasso ME. In vivo study on metal release from fixed orthodontic appliances and DNA damage in oral mucosa cells. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2003; 124(6): 687-94.