



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERBANDINGAN TINGKAT KETAHANAN KOROSI  
BEBERAPA BRAKET *STAINLESS STEEL* DITINJAU DARI  
LEPASAN ION Cr DAN Ni  
(Eksperimentalaboratorik)**

**TESIS**

**IRMA ARYANI  
0806390673**

**Pembimbing  
Drg. Erwin Siregar, Sp. Ort (K)  
Drg. Krisnawati, Sp. Ort (K)**

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS  
JAKARTA  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERBANDINGAN TINGKAT KETAHANAN KOROSI  
BEBERAPA BRAKET *STAINLESS STEEL* DITINJAU DARI  
LEPASAN ION Cr DAN Ni  
(Eksperimental Laboratorik)**

**TESIS**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Spesialis dalam Ilmu Ortodonti

**IRMA ARYANI  
0806390673**

**Pembimbing  
Drg. Erwin Siregar, Sp. Ort (K)  
Drg. Krisnawati, Sp. Ort (K)**

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS ORTODONTI  
JAKARTA  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
Telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Irma Aryani

NPM : 0806390673

Tanda tangan: 

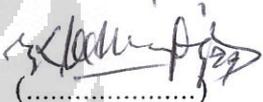
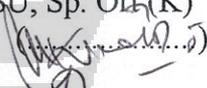
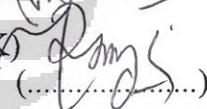
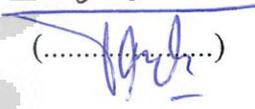
Tanggal : 27 Juni 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Irma Aryani  
NPM : 0806390673  
Program Studi : Spesialis Ortodonti  
Judul Tesis : Perbandingan Tingkat Ketahanan Korosi Beberapa  
Braket *Stainless Steel* Ditinjau Dari Lepas Ion Cr  
Dan Ni (Eksperimental Laboratorik)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Spesialis pada Program Studi Ortodonti, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I/Penguji : drg. Erwin Siregar, Sp.Ort(K)   
Pembimbing II/Penguji : drg. Krisnawati, Sp.Ort(K)   
Penguji : Dr. drg. Miesje Karmiati Purwanegara, SU, Sp. Ort (K)   
Penguji : drg. Nia Ayu Ismaniati, MDS, Sp.Ort(K)   
Penguji : drg. drg. Fadli Jazaldi, Sp.Ort 

Ditetapkan di : Jakarta  
Tanggal : 27 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Pujidan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan karuniaNya saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Ortodonti Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak sangat sulit bagi saya untuk dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis ini. Oleh sebab itu saya memberikan ucapan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya

kepada :

1. drg. Erwin Siregar, Sp. Ort (K) selaku Pembimbing I dari Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia yang telah memberikan bimbingannya selama penelitian dan penulisan tesis ini, serta memberikan ide-ide yang tidak terfikirkan oleh saya sebelumnya.
2. drg. Krisnawati Sp. Ort (K) selaku Pembimbing II serta Kepala Departemen Ortodonti Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia, yang telah dengan sabar memberikan bimbingan selama penelitian dan penulisan tesis ini.
3. drg. Miesje Karmiati Purwanegara, SU, Sp. Ort (K) selaku Koordinator Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Ortodonti Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia yang telah meluangkan banyak waktu untuk saya.
4. Para staf Pengajar di lingkungan Departemen Ortodonti Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia : Prof. Dr. Faruk Husein, drg, MDS, Sp.Ort. (K), drg. Nia Ayu Ismaniati, Sp. Ort (K), drg. Maria Purbiati Sp.Ort. (K), drg. Haru Setyo Anggani Sp.Ort (K), drg. Retno Widayati Sp.Ort, (K), drg. Himawan Halim, DMD, MS, FICD, Sp.Ort, drg. Benny M Sugiharto, MSc, MOrthRCS, PhD, Sp. Ort, drg. Fadli Jazaldi, Sp. Ort, drg. Sarisendy Sp. Ort. Atas semua ilmu yang telah diberikan kepada saya dengan tulus ikhlas selama masa pendidikan ini.
5. Bapak Ir. H. Sofyan Tanjung (alm), yang telah membesarkan, mengasuh dan selalu berusaha untuk memberikan yang terbaik, serta memberikan kebebasan dan mendukung semua langkah saya hingga kini. Bapak yang terbaik yang pernah saya miliki. Ucapan terimakasih saya tidak akan pernah cukup.
6. Ibunda tercinta Hj. Nurashiah, perempuan paling tabah dan sabar yang telah melahirkan dan mengasuh saya. Terimakasih atas semua doa, dukungan dan

bantuan yang ibu berikan, hanya Allah yang dapat membalas semua kebaikan ibu.

7. drg. Teuku Ahmad Arbi, suami tercinta merangkap teman dan abang yang dengan sabar serta penuh pengertian tetap berada di sisi saya dalam keadaan apapun selama masa pendidikan ini.
8. Anakku tercinta Teuku Azzan Muhammad Omar, yang ikut menemani selama 9 bulan pada masa pendidikan ini. Maafkan atass emua waktu yang hilang.
9. Ayah dan Bunda Mertua, Drs. Teuku Rusdi Aiyub MA dan Cut Yusniar yang telah mendoakan dan mendukung saya selama masa pendidikan
10. drg. Zaki Mubarak, MS selaku Ketua Prodi Kedokteran Gigi Universitas Syiah Kuala yang telah memungkinkan saya meneruskan pembiayaan selama pendidikan Ortodonti dan menjadi orang pertama yang mengusulkan saya untuk menjalani pendidikan ini.
11. Kakak – kakaksaya, Hendriyani Sofyan, Yulita Windayani dan RizaAryani yang turut mendoakan keberhasilan saya dan telah menjadi Bunda serta mama – mama bagiomar selama masa pendidikan ini.
12. Rekan-rekan residen Ortodonti FKG UI yang saya sayangi dan hormati :Agnes, Anggi, Irena, Riri, mbakElse, Wulan, Puti, Cici, Riko, RisadanLiza. Teman-temanangkatan 2007 (Sulis, Charles, B’Fajardkk), angkatan 2009 (mbaklia,dkk), angkatan 2010 (terutama mbaktuti yang sudah sangat membantu statistic penelitian ini),dan angkatan 2011.
13. Para karyawand ilingkungan Departemen Ortodonti FakultasKedokteran Gigi Universitas Indonesia, Pak Dedi, Pak Ridwan, Bu Wiwik (alm), MbakNurdan mas farid, yang turut membantu memudahkan saya dalam menjalani pendidikan.
14. Para pasien yang telah sabar dan ikhlas menerima perawatan selama saya menjalani pendidikan. Ilmu di buku referensi dan jurnal tidak akan ada artinya tanpa ada bapak/ ibu, mbak/ mas dan adik-adik pasien yang bersedia menerima perawatan dalam bidang Ortodonti.

Semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmatNya kepadas eluruhpihak yang telah membantu saya baik langsung maupun tidak langsung dalam menempuh pendidikan Ortodonti di FKG UI

Akhir kata sayaberharap agar penelitian ini dapat member manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnyaad alam bidang Ortodonti.

Jakarta, Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Irma Aryani

NPM : 0806390673

Program Studi : Spesialis

Departemen : Ortodonti

Fakultas : Kedokteran Gigi

Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (Non exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Perbandingan Tingkat Ketahanan Korosi Beberapa Braket *Stainless Steel* Ditinjau Dari Lapisan Ion Cr Dan Ni (Eksperimental Laboratorik)**

Beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 27 Juni 2012

Yang menyatakan :



(Irma Aryani)

## ABSTRAK

Nama : Irma Aryani

Program Studi : Ortodonti

Judul: Perbandingan Tingkat  
Ketahanan Korosi Beberapa Braket *Stainless Steel* Ditinjau Dari  
Lepasan Ion Ni Dan Cr (Eksperimental Laboratorik)

Braket merupakan salah satu komponen perawatan ortodonti cekat yang paling lama berada di dalam mulut. Braket *stainless steel* merupakan salah satu jenis braket yang paling sering digunakan, dikarenakan komponen mekanisnya yang baik, ekonomis dan relatif tahan terhadap korosi. Namun, tingkat ketahanan korosi braket *stainless steel* bervariasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan tingkat ketahanan korosi beberapa braket *stainless steel* yang beredar di Indonesia ditinjau dari lepasan ion Cr dan Ni di dalam saliva buatan. Sampel yang digunakan terdiri dari 5 kelompok merk braket *stainless steel* yang masing-masing berjumlah 16 buah braket premolar rahang atas slot .022 sistem edgewise standar. Pada tiap kelompok jumlah sampel dibagi dua untuk diuji jumlah ion Ni dan Cr tanpa perendaman di dalam saliva buatan dan sebagai diuji lepasan ion Ni dan Cr setelah perendaman di dalam saliva buatan selama 30 hari. Tingkat ketahanan braket dihitung berdasarkan perbandingan jumlah ion Ni dan Cr yang terlepas di dalam saliva buatan terhadap jumlah awal pada braket yang tidak direndam menggunakan alat ICP-MS. Diperoleh hasil adanya perbedaan yang bermakna pada tingkat ketahanan korosi antar kelompok yang ditinjau dari lepasan ion Ni dan Cr.

Kata kunci : ketahanan korosi, braket *stainless steel*, Saliva buatan, Kromium, Nikel

## ABSTRACT

Nama : Irma Aryani

Study Program : Orthodontics

Judul : Corrosion Resistance Comparison Of Different Stainless Steel Brackets Based On Ni And Cr Release (Laboratoric Experimental)

Orthodontic Bracket is the longest component of fixed appliance which stayed in oral cavity. Stainless steel bracket is one of the popular fixed orthodontic appliance and has been used most frequently for fixed orthodontic treatment because of its favorable mechanical properties, economic value and relatively resistant to corrosion. However, the level of corrosion resistance of stainless steel brackets varied. The purpose of this study was to determine and compare the level of corrosion resistance of different brands of stainless steel brackets in Indonesia based on Ni and Cr release in artificial saliva. This study used 80 samples of single maxillary premolar brackets slot .022 standard edgewise system, consisting of 5 groups of brands of stainless steel brackets. In each group there are 16 samples divided into 2 subgroups, the first subgroup without immersion in artificial saliva, and the second subgroup was maintained in artificial saliva immersion and stored at 37° for 30 days. The release of Ni and Cr analyses was quantified by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The corrosion resistance is calculated by comparing the number of ions Cr and Ni that release in artificial saliva on the initial number in brackets without immersion. The result shows a significant difference in the level of corrosion resistance between groups based on Ni and Cr release.

Keywords : Corrosion resistance, Stainless steel bracket, Artificial saliva, Chromium, Nickel

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
<b>Bab 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1.LatarBelakang	1
1.2.RumusanMasalahPenelitian	2
1.3.TujuanPenelitian	2
1.4.ManfaatPenelitian	3
<b>Bab 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. BraketStaniless Steel	4
2.2. Korosi	5
2.2.1. Jenis-jenisKorosi	7
2.2.1.1. KorosiUmum / uniform attack	7
2.2.1.2. KorosiCelah / pitting	7
2.2.1.3. Korosi Crevice	8
2.2.1.4. KorosiIntergranuler	8
2.2.1.5. Korosi Fatigue	9
2.3. Ion Logam Yang Terlepas	9
2.4. Cara PemeriksaanKetahananKorosi	10
2.5. KerangkaTeori	12
<b>Bab 3 KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS</b>	<b>13</b>
3.1. KerangkaKonsep	13
3.2. VariabelPenelitian	13
3.3. Hipotesis	13
3.4. DefinisiOperasional	13
<b>Bab 4 METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>14</b>
4.1. DesainPenelitian	14
4.2. WaktudanTempatPenelitian	14
4.3. SampelPenelitian	14
4.4. AlatdanBahanPenelitian	15
4.5. Cara KerjaPenelitian	15
4.6. AlurPenelitian	16

4.7. ManajemendanAnalisa Data	16
<b>Bab 5 HASIL PENELITIAN</b>	<b>17</b>
<b>Bab 6 PEMBAHASAN</b>	<b>22</b>
<b>Bab 7 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>27</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>28</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>31</b>



## DAFTAR GAMBAR

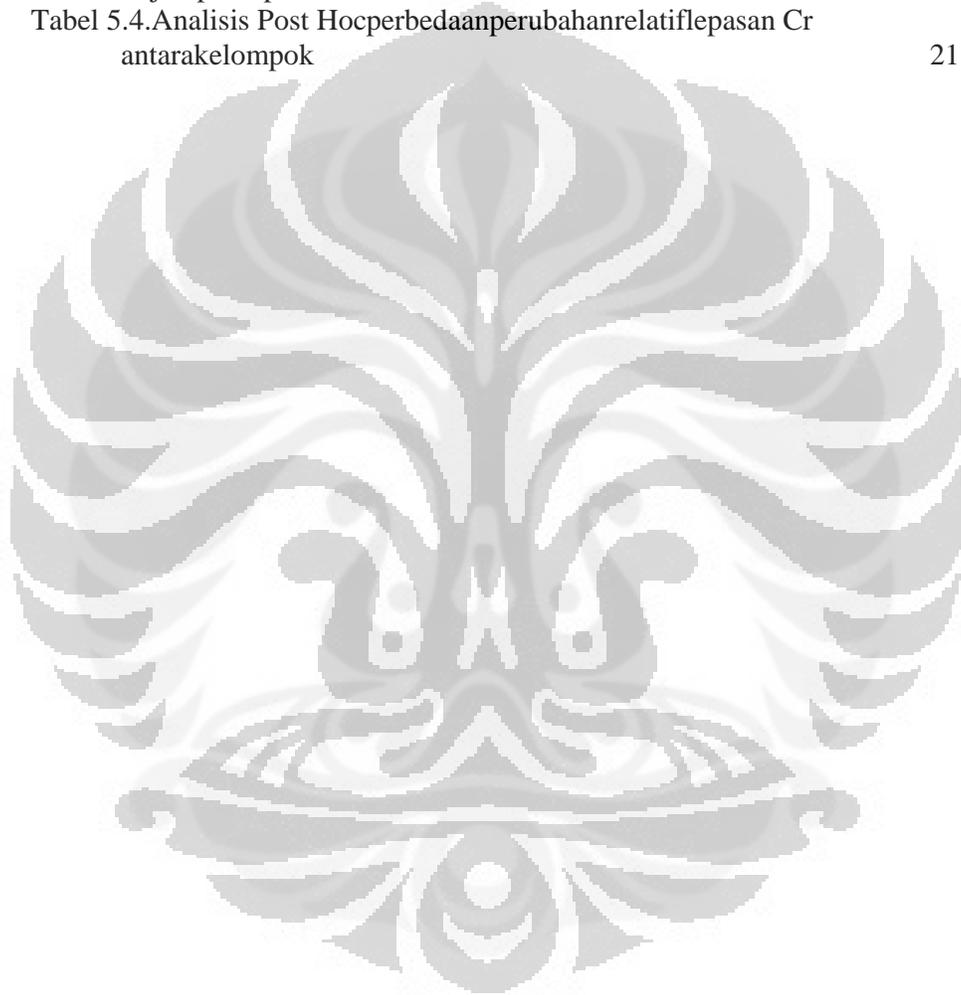
Gambar6.1.Disolusi stainless steel yang mengubahbentukpermukaan

25



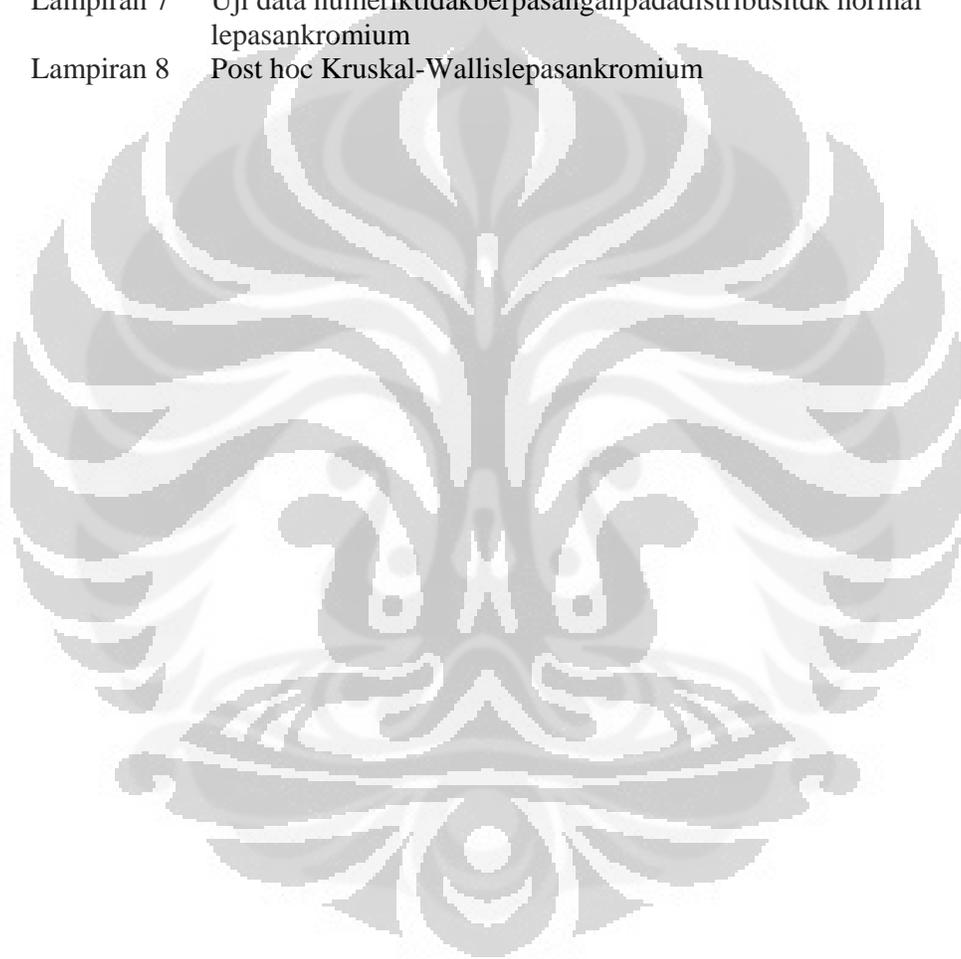
## DAFTAR TABEL

Tabel 5.1. Nilai rata ion nikel dan ketahanan korosi yang terjadi pascaperendaman	18
Tabel 5.2. Analisis Post Hoc perbedaan perubahan relatif lepasan Ni antar kelompok	19
Tabel 5.3. Nilai rata ion kromium dan ketahanan korosi yang terjadi pascaperendaman	20
Tabel 5.4. Analisis Post Hoc perbedaan perubahan relatif lepasan Cr antar kelompok	21



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Analisalepasannikel
- Lampiran 2 Ujinormalitas datalepasannikel
- Lampiran 3 Uji data numeriktidakberpasanganpadadistribusitdk normal lepasannikel
- Lampiran 4 Post hoc Kruskal-Wallislepasannikel
- Lampiran 5 Analisalepasankromium
- Lampiran 6 Ujinormalitas datalepasankromium
- Lampiran 7 Uji data numeriktidakberpasanganpadadistribusitdk normal lepasankromium
- Lampiran 8 Post hoc Kruskal-Wallislepasankromium



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar belakang masalah

Dewasa ini perawatan ortodonti telah menjadi salah satu perawatan gigi yang penting, namun, kendala dalam perawatan ortodonti adalah waktu perawatan yang relatif lama sehingga diperlukan komponen alat yang aman, nyaman dan dapat bertahan dengan jangka waktu panjang di dalam mulut.<sup>1,2</sup>

Braket ortodonti merupakan salah satu komponen utama dalam perawatan ortodonti cekat yang berfungsi untuk menghantarkan gaya yang diperlukan pada gigi, oleh karena itu braket yang digunakan harus diproduksi dengan akurat, baik dari segi bentuk, tingkat kekuatan maupun tingkat ketahanan korosi serta biokompabilitas.<sup>1,2,3</sup>

Umumnya braket ortodonti yang banyak digunakan terbuat dari logam *stainless steel* yang terdiri dari Fe-Cr-Ni. Hal ini dikarenakan komponen mekanisnya yang lebih baik dibandingkan dengan braket yang terbuat dari plastik maupun keramik, harga yang lebih ekonomis dan *stainless steel* relatif tahan terhadap korosi. Namun, tingkat ketahanan *stainless steel* terhadap korosi bervariasi. Braket logam *stainless steel* diletakkan di dalam rongga mulut pasien setidaknya selama 1-2 tahun disertai adanya perawatan profilaksis untuk mencegah karies gigi, maka braket yang berada di dalam rongga mulut juga akan terpapar fluoride yang berpotensi meningkatkan terjadinya korosi logam *stainless steel*.<sup>1,2,4,5</sup> Pada proses korosi braket *stainless steel* di dalam rongga mulut, terjadi pelepasan ion logam yang dapat masuk ke dalam tubuh serta menimbulkan berbagai efek seperti, karsinogenik, alergenik, mutagenik dan sitotoksik.<sup>1,4,6</sup>

Saat ini di Indonesia telah beredar berbagai macam merk braket logam *stainless steel* yang berasal dari mancanegara. Namun sangat disayangkan tidak semua merk braket *stainless steel* yang masuk ke Indonesia menyertakan kandungan jenis logam yang ada pada braket tersebut dan tidak semua braket logam *stainless steel* telah teruji tingkat ketahanan terhadap korosi. Hal ini juga

diperburuk dengan tidak adanya sistem pengujian dari pihak pemerintah Indonesia pada braket yang diimpor dari luar negeri.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka penulis terdorong untuk melakukan penelitian mengenai tingkat ketahanan korosi beberapa merek braket logam *stainless steel* yang beredar di Indonesia agar kemudian hari ortodontis dapat memilih braket logam *stainless steel* tidak hanya berdasarkan penjelasan dari penjual tetapi juga mempertimbangkan kualitas dan pengaruhnya terhadap kesehatan umum pasien.

### **I.2 Rumusan Masalah Penelitian**

1. Berapakah besarnya ion Cr dan Ni yang terlepas pada braket kelompok A, B, C, D dan E di dalam saliva buatan?
2. Apakah terdapat perbedaan ion Cr dan Ni yang terlepas antara braket kelompok A, B, C, D dan E?
3. Berapakah besarnya tingkat ketahanan korosi braket kelompok A, B, C, D dan E?
4. Apakah terdapat perbedaan tingkat ketahanan korosi antara braket kelompok A, B, C, D dan E di dalam saliva buatan ?
5. Apakah tingkat ketahanan korosi braket kelompok A, B, C, D dan E masih berada dalam batas aman bagi tubuh manusia?

### **I.3 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui besarnya ion Cr dan Ni yang terlepas pada braket kelompok A, B, C, D dan E di dalam saliva buatan.
2. Mengetahui perbedaan ion Cr dan Ni yang terlepas antara braket kelompok A, B, C, D dan E
3. Mengetahui tingkat ketahanan korosi braket kelompok A, B, C, D dan E
4. Mengetahui perbedaan besarnya tingkat ketahanan korosi braket kelompok A, B, C, D dan E.
5. Mengetahui tingkat ketahanan korosi braket yang masih berada dalam batas aman bagi tubuh manusia diantara braket kelompok A, B, C, D dan E.

#### **I.4 Manfaat Penelitian**

##### **Bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya ortodonti**

1. Memberikan informasi tentang tingkat ketahanan korosi braket *stainless steel* di dalam saliva buatan.
2. Memberikan informasi tentang besarnya ion-ion logam yang terlepas dari braket *stainless steel* pada proses korosi di dalam saliva buatan.
3. Dengan adanya informasi dan hasil penelitian ini, maka diharapkan para ortodontis dapat mempertimbangkan tingkat ketahanan korosi pada pemilihan braket *stainless steel*, sehingga efek samping korosi braket *stainless steel* bagi kesehatan pasien dapat dihindari.

##### **Bagi institusi pendidikan**

1. Memberikan informasi kepada klinik ortodonti RSGMP FKG UI tentang tingkat ketahanan korosi braket *stainless steel*, terutama apabila diketahui dari hasil penelitian bahwa tingkat ketahanan korosi braket *stainless steel* berada di atas batas aman bagi kesehatan manusia.

##### **Bagi pasien dan masyarakat**

1. Memberikan informasi kepada pasien dan masyarakat bahwa braket *stainless steel* mempunyai tingkat ketahanan korosi yang beragam.

##### **Bagi Peneliti**

1. Menambah pengetahuan peneliti mengenai tingkat ketahanan korosi braket *stainless steel*.
2. Menambah pengalaman peneliti dalam melakukan penelitian mengenai tingkat ketahanan korosi braket di dalam saliva buatan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Braket *stainless steel*

Maloklusi dan deformitas dentofasial dianggap merupakan variasi dari proses perkembangan normal. Evaluasi yang dilakukan untuk mengatasinya memerlukan sejumlah alat-alat yang tepat sehingga didapatkan hasil perawatan yang maksimal. Perawatan ortodonti pada maloklusi dan deformitas dentofasial melibatkan alat ekstraoral maupun intraoral dalam jangka waktu perawatan yang panjang, oleh sebab itu para peneliti berusaha untuk menemukan alat yang terbaik, aman dan nyaman bagi pasien. Alat intraoral yang digunakan dalam perawatan ortodonti meliputi kawat, band dan braket. Material dari alat intraoral ini beragam antara lain braket yang terbuat dari *stainless steel*, keramik, plastik dan kawat yang terbuat dari *stainless steel*, Niti maupun CuNiti.<sup>2,7,8,9</sup>

Braket merupakan salah satu komponen penting pada perawatan ortodonti yang berguna menghantarkan gaya tertentu pada gigi. Penggunaan braket logam pada perawatan ortodonti telah dilakukan sejak awal tahu 1900 dan umumnya logam yang digunakan adalah logam mulia seperti emas dengan alasan sifatnya yang tahan lama dan anggapan bahwa pemakaian logam mulia menunjukkan status sosial yang lebih tinggi. Akan tetapi, proses pembentukan emas sebagai alat untuk perawatan ortodonti tidaklah mudah, sehingga para peneliti mulai mencari material lain yang lebih mudah dibentuk, tahan lama dan nyaman untuk perawatan ortodonti. Pada tahun 1929, *stainless steel* pertama kali digunakan untuk menggantikan emas sebagai alat ortodonti.<sup>2,6,10</sup>

*Stainless steel* atau *corrosion resistance steel*, ditemukan pada tahun 1913 oleh seorang ahli metalurgi berkebangsaan Inggris Harry Brearly yang secara tidak sengaja menambahkan kromium pada baja rendah karbon dan menyebabkan baja tersebut menjadi tahan karat. Kromium membentuk lapisan tipis film kromium oksida ( $Cr_2O_3$ ) atau yang disebut dengan *passive surface oxide* diatas permukaan logam dan bersifat *self repairing* sehingga apabila terjadi kerusakan akibat abrasi maupun gesekan, lapisan pelindung logam yang kaya akan kromium dapat dengan cepat terlapisi kembali. Oleh sebab itu, untuk

menjadikan suatu baja bersifat stainless maka kandungannya harus terdapat kromium dengan jumlah minimum 10.5%. ketahanan korosi yang diberikan oleh kromium terhadap suatu logam tergantung dari kestabilan lapisan oksida tersebut. Untuk lingkungan tertentu kestabilan ini dioptimalkan oleh alloy yang lain seperti Ni, Mo dan Cu.

Sebagian besar alat ortodonti yang terbuat dari *stainless steel* merupakan logam tipe austenistik yang memiliki tingkat ketahanan korosi tinggi serta mengandung 8-12% nikel (Ni) dan 17-22% kromium (Cr).<sup>2,4,10,11</sup> Elemen tersebut memberikan sifat lentur dan tahan korosi. Konsentrasi nikel pada braket *stainless steel* telah banyak menimbulkan perdebatan, karena di satu sisi nikel diketahui memberikan reaksi alergi yang lebih banyak selama perawatan ortodonti dibandingkan dengan ion logam lainnya dan di sisi lain nikel merupakan salah satu elemen pembentuk logam austenitik.<sup>2,3,4,6</sup> Moffa menyatakan 39,1% wanita dan 20,7% laki-laki dari populasi 402 orang, menunjukkan reaksi positif terhadap nikel.<sup>12</sup> Menurut penelitian yang dilakukan oleh Faccioni *et al* pada 55 pasien ortodonti cekat, terdapat peningkatan nikel sebanyak 3.4 lipatan yang dapat merangsang kerusakan DNA pada mukosa mulut.<sup>13</sup> Pertimbangan penggunaan braket *stainless steel* ini juga tidak terlepas dari nilai ekonomisnya, hal ini berkaitan dengan nilai logam yang lebih murah serta proses pembentukan di pabrik yang lebih mudah sehingga dapat diproduksi lebih cepat dalam jumlah yang banyak.<sup>2,14</sup>

## 2.2 Korosi

Korosi merupakan kerusakan yang terjadi pada suatu material akibat reaksi dengan lingkungan disekitarnya. Proses korosi ini melibatkan 2 reaksi simultan yakni oksidasi dan reduksi (redoks). Ketika spesimen logam murni (disebut elektoda) ditempatkan pada medium cairan (disebut elektrolit) yang tidak mengandung ion-ion spesimen, maka ion logam akan cenderung larut ke dalam medium dan permukaan logam yang hilang ionnya akan memulai proses redeposisi untuk mempertahankan sifat logam tersebut, transfer ion logam ke medium cairan disebut proses oksidasi (hilangnya elektron) dan redeposisi yang menyebabkan reduksi. Contoh dari reaksi oksidasi (anoda) pada logam di dalam

asam menyebabkan disolusi logam sebagai ion elektron ( $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ ), sedangkan reaksi reduksi terjadi pada permukaan katoda yang akan mengambil elektron bebas yang diproduksi oleh anoda dengan pengurangan ion hydrogen menjadi gas hydrogen ( $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ ). Proses ini terus berlanjut sampai logam tersebut habis, kecuali logam itu dapat membentuk lapisan permukaan protektif, atau sampai reaktan katoda habis.<sup>3,15</sup> Tingkat korosi logam dipengaruhi oleh komposisi material serta reaksi kimia dari cairan tempat ia dicelupkan atau lingkungan disekitarnya.<sup>13,15</sup> Schiff et al, menyatakan pasien yang memakai braket ortodonti logam dengan komposisi dasar FeCrNi atau Ti disarankan tidak memakai obat kumur Meridol karena dapat menurunkan tingkat ketahanan korosi.<sup>16</sup>

Meskipun *stainless steel* dikenal sebagai campuran logam yang tahan korosi, namun proses pembuatan yang berbeda-beda menghasilkan kualitas yang berbeda-beda juga, sehingga akan mempengaruhi tingkat ketahanan korosi. Komposisi terbaik dari *stainless steel* dengan tingkat ketahanan korosi yang tinggi adalah apabila terdapat konsentrasi kromium, nikel dan molybdenum yang lebih banyak, sedangkan sulfur dan karbon yang lebih sedikit, dengan pencampuran sampai homogen hingga secara fisik tidak dapat dipisahkan.<sup>1,12</sup>

Rongga mulut merupakan lingkungan yang sangat ideal untuk terjadinya biodegradasi logam karena temperatur serta kualitas dan pH saliva yang dapat mempengaruhi kestabilan ion logam. pH dari cairan medium biologis yang normal sekitar 7,4 dengan temperatur yang konstan pada 37°C. Ion  $\text{Cl}^-$  yang terdapat dalam saliva berjumlah lebih dari 500mg/L diketahui dapat mempengaruhi tingkat ketahanan korosi *stainless steel* terutama pada tipe 304 dan 306 AISI (*American Iron and Steel Institute*) yang umumnya dipakai sebagai alat ortodonti. Asam organik dari dekomposisi sisa makanan serta saliva yang mengandung sulfur juga sangat dapat mendorong terjadinya korosi. Umumnya pasien yang mempunyai kebiasaan buruk bernafas melalui mulut, setiap 2 jam menarik nafas menambah 1 kubik meter udara dengan potensial sulfur dioksida sebanyak kurang lebih 2,3mg. Sehingga dapat dipastikan apabila pasien tersebut memakai braket logam *stainless steel*, maka korosi pasti akan terjadi. Hal ini diperberat bila disertai pemakaian pasta gigi yang

mengandung *fluoride*, obat kumur serta gel profilaksis yang bertujuan untuk mencegah karies karena ion fluoride dapat menyebabkan degradasi permukaan *stainless steel*.<sup>17,18</sup>

Lingkungan rongga mulut tidak hanya memberikan efek negatif pada braket logam, namun juga berimbas pada jaringan disekitarnya. Selain mengakibatkan reaksi alergi, lepasnya ion logam berat juga dapat memberikan kontribusi memicu terjadinya nekrosis jaringan dan menyebabkan noda pada gigi. Komponen utama enamel gigi yakni hidroksiapatit, dapat menyebabkan pertukaran ion dan berikatan dengan ion logam yang dilepaskan oleh braket, seperti ion  $\text{Ni}^{2+}$  dan  $\text{Cr}^{3+}$  yang menyebabkan titik noda berwarna kehijauan pada enamel.<sup>10,18</sup>

### 1.2.1. Jenis - jenis Korosi

Terdapat beberapa jenis proses korosi yang dapat terjadi pada braket logam terkait dengan waktu pemakaian dan lingkungan rongga mulut yang antara lain:

#### 2.2.1.1 Korosi umum / *uniform attack*

Pada kondisi normal, braket logam *stainless steel* diselubungi lapisan oksida kromium yang mencegah terjadinya penetrasi agen korosi. Akan tetapi, pada beberapa kasus lapisan tersebut rusak akibat ekspos braket terhadap klorida. Umumnya korosi ini terjadi hampir di semua logam tetapi dalam tingkat yang berbeda dan dapat tidak terdeteksi sampai terjadi pada sebagian besar logam.<sup>2,3,5,18</sup>

#### 2.2.1.2 Korosi celah / *pitting*

Korosi ini merupakan jenis yang sangat terlokalisir. Pada kondisi tertentu, yang melibatkan konsentrasi klorida serta temperatur yang tinggi dan kondisi asam atau pH yang rendah pada lingkungannya, maka lapisan pelindung dari logam akan pecah dan terjadi kelarutan yang cepat dari logam dibawahnya yang membentuk celah. Tingkat chromium, molybdenum dan nitrogen yang tinggi dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi celah. Tingkat ketahanan terhadap korosi celah / *pitting*

*resistance equivalent number* (PRE), dapat dikalkulasi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{PRE} = \% \text{Cr} + 3.3 \times \% \text{Mo} + 16 \times \% \text{N}$$

Korosi celah ini dianggap serius karena apabila satu celah telah terbentuk maka ada kecenderungan yang kuat untuk berkembang bahkan pada bagian logam yang belum tersentuh korosi sekalipun. Dengan PRE tingkat ketahanan korosi celah pada stainless steel dapat dikalkulasikan sebelum pembuatan logam tersebut.<sup>3,18,19</sup>

### 2.2.1.3 Korosi *crevice*

Merupakan korosi pada tempat-tempat yang sempit akibat ekspos terhadap lingkungan korosif. Umumnya terjadi melalui aplikasi non logam (seperti modul elastomer pada braket) yang dapat menyebabkan formasi plak sehingga menimbulkan perbedaan konsentrasi oksigen yang akan menghalangi regenerasi lapisan pasif kromium oksida. Menurut Eliades et al, kedalaman korosi *crevice* dapat mencapai 2-5mm dan jumlah logam yang terlarut konsentrasinya akan semakin meningkat seiring bertambahnya waktu logam berada di dalam lingkungan yang korosif.<sup>2,5,18,19</sup>

Korosi *crevice* juga dapat terjadi pada alat ortodonti lepasan. Ketika kawat atau komponen skrup ekspansi yang tertanam di dalam akrilik terlihat berwarna kecoklatan akibat adanya bakteri dan lapisan biofilm antara akrilik dan logam sehingga terjadi korosi *crevice* pada logam tersebut.<sup>3</sup>

### 2.2.1.4 Korosi intergranular

Korosi yang terjadi secara cepat dan terlokalisir, ketika logam berada pada kisaran temperatur tertentu (350°C-850°C) atau ketika logam dipanaskan ke temperatur yang lebih tinggi kemudian dingin secara perlahan (seperti yang terjadi pada proses *welding* atau pendinginan setelah *anneal*), kromium dan karbon pada logam bergabung membentuk endapan partikel *chromium carbide* yang akan mengurangi kandungan kromium pada logam sehingga tingkat ketahanan korosi akan berkurang. Salah satu metode untuk mengurangi korosi ini

adalah dengan mengurangi kadar karbon ( umumnya kurang dari 0.03%) pada logam.<sup>3,5,18</sup>

### 2.2.1.5 Korosi *fatigue*

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemakaian alat ortodonti adalah waktu pemakaian yang relatif lama, dimana dapat menyebabkan logam pada alat ortodonti mengalami kecenderungan fraktur terutama apabila menerima gaya tekanan yang berulang. Proses korosi ini dipengaruhi oleh ekspos medium korosif seperti saliva dalam waktu yang lama dan adanya tekanan berulang yang menyebabkan kelelahan logam. Salah satu contoh tekanan yang berulang adalah seperti pada pemakaian *headgear* terutama pada bagian yang masuk ke dalam *buccal tube*.<sup>3,5</sup>

## 2.3 Ion logam yang terlepas

Produk korosi utama dari logam *stainless steel* adalah Fe, Cr dan Ni. Akan tetapi, pembahasan mengenai Cr dan Ni lebih banyak mendapatkan perhatian mengingat banyaknya laporan mengenai potensinya terhadap reaksi alergi, efek toksik dan kariogenik. Salah satu perusahaan air minum mineral di California, Proposition 65 *the Safe Drinking Water and Toxic Enforcement*, menyatakan Ni dan Cr sebagai salah satu zat kimia yang dapat menyebabkan kanker, cacat bawaan dan penyakit reproduksi. Rata-rata intake Cr perhari melalui makanan adalah 280µg dan Ni adalah 200 - 300µg, sedangkan konsentrasi Ni pada air minum umumnya dibawah 20 µg/L dan Cr sekitar 0,43 µg/L.<sup>3,20,21</sup>

Ekspos Ni dan Cr yang dianggap iatrogenik, salah satunya melalui alat ortodonti. Hal yang paling sering dilaporkan pada praktek ortodonti yang berkaitan dengan Ni adalah adanya hipersensitifitas nikel, yang ditandai dengan adanya hyperplasia gingival, deskuamasi labial, angular cheilitis, pembengkakan, periodontitis dan rasa terbakar pada mukosa mulut. Respon inflamasi tersebut dari sudut pandang imunologi dianggap sebagai hipersensitivitas tipe IV. Selama lebih dari 10 tahun terakhir berbagai literatur telah membahas tentang reaksi hipersensitivitas Ni pada pasien ortodonti dengan berbagai metode. Walaupun pada sebagian besar penelitian

tersebut menyimpulkan bahwa jumlah ion logam yang terlepas dari alat ortodonti pada darah dan saliva secara signifikan berada dibawah rata-rata intake makanan dan tidak mencapai konsentrasi toksik, namun Faccioni *et al* menyatakan bahwa konsentrasi yang non toksik sekalipun tetap dapat mempengaruhi aspek biologi sel dari mukosa mulut. Penelitian Minano *et al* pada anak-anak yang memakai alat ortodonti cekat, diketahui ion logam yang terlepas dari alat ortodonti yang terbuat dari stainless steel dan alloy bebas nikel dapat memicu kerusakan DNA pada sel mukosa mulut. Oleh karena itu, Minano *et al* menyarankan para ortodontis untuk menggunakan braket logam *stainless steel* dengan tingkat ketahanan korosi yang paling baik sehingga jumlah ion logam terlepas yang dapat mempengaruhi kesehatan umum menjadi minimal.<sup>3,13,22,23</sup>

#### 2.4 Cara Pemeriksaan Ketahanan Korosi

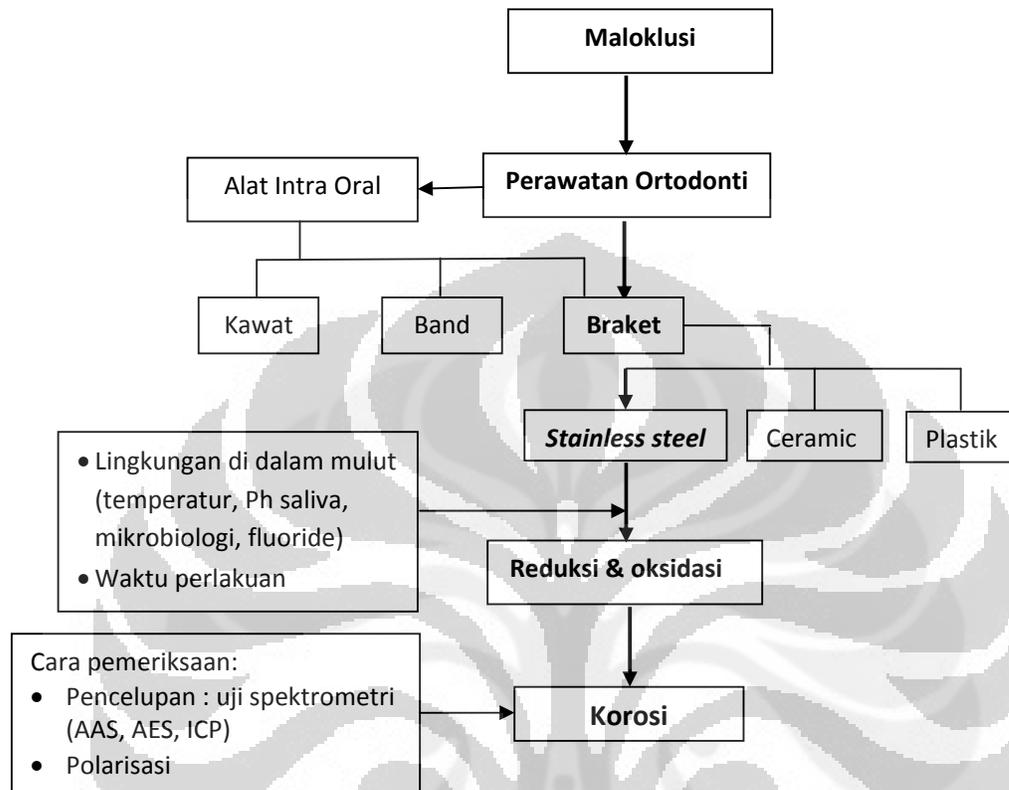
Terdapat beberapa cara untuk memeriksa tingkat ketahanan korosi dari logam, antara lain *Immersion Test* (Uji celup bahan) dan *Polarization Test* (Uji polarisasi). Metode uji polarisasi memberikan informasi yang berkenaan dengan mekanisme korosi, rata-rata korosi dan tingkat ketahanan korosi material tertentu dengan mengubah potensial elektroda dan memonitor tegangan yang dihasilkan. Metode polarisasi yang umumnya digunakan untuk pemeriksaan korosi yakni, *potentiodynamic polarization*, *linear polarization*, dan *cyclic voltammetry*. Pada uji celup, logam diukur tingkat ketahanan korosinya berdasarkan banyaknya ion logam yang terlepas pada medium pencelupannya, dimana larutan pencelup dibuat menyerupai lingkungan tempat logam akan digunakan baik suhu maupun tingkat keasaman serta akselerasi korosi lainnya. Jumlah ion yang terlepas dari logam pada uji celup ini dapat dideteksi dan diukur menggunakan metode spektrometri. Beberapa metode spektrometri yang umumnya digunakan untuk mengukur dan mendeteksi ion logam yang terlepas dari alat ortodonti yakni; ICP-MS (*inductively coupled plasma mass spectrometer*), AES (*atomic emission spectroscopy*), AAS (*atomic absorption spectroscopy*).<sup>24,25,26</sup>

ICP adalah metode spektrometri atomik menggunakan panas dari plasma sebagai sumber eksitasi atomnya. Plasma adalah campuran gas yang memiliki sifat konduktor yang mengandung konsentrasi besar dari kation dan elektron. ICP-MS dikembangkan pada akhir tahun 1980 yang bertujuan untuk mengkombinasikan pengenalan dan analisa sampel multi elemen dalam waktu yang cepat, akurat dengan tingkat deteksi ppt (*part per trillion*) atau konsentrasi  $10^{12}$ . Sampel yang dianalisa pada ICP-MS dapat berupa sampel solid maupun cairan. Penggunaan ICP-MS telah dilakukan pada berbagai bidang seperti geologi, metalurgi, kedokteran dan ilmu pengolahan limbah.<sup>25,26</sup>

AES merupakan salah satu teknik spektroskopi yang memanfaatkan panjang gelombang foton yang dipancarkan oleh atom selama masa transisinya dari fase eksitasi menuju fase istirahat. Teknik ini kurang akurat dan memiliki ketelitian rendah untuk perhitungan bersifat kuantitatif, karena tidak semua atom tereksitasi berelaksasi pada saat yang bersamaan serta hanya dapat menganalisa sampel dalam bentuk cairan oleh karena itu, untuk sampel solid harus dilarutkan terlebih dahulu dengan tingkat deteksi ppm (*part per million*).<sup>24,25</sup>

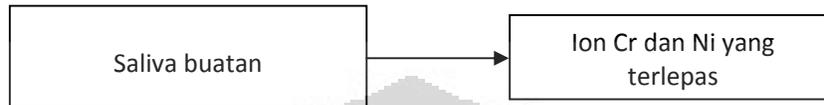
AAS (Spektrometri Absorpsi Atomik) adalah salah satu metode dalam menentukan kandungan logam pada sampel yang dimasukkan. Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. AAS banyak digunakan dalam analisis zat-zat pencemar seperti logam berat dalam air dengan tingkat deteksi ppm (*part per million*), kekurangan dari metode ini adalah hanya dapat memeriksa satu atom dalam satu waktu, sehingga untuk memeriksa beberapa unsur harus dilakukan satu persatu dengan menggunakan sampel yang berbeda.<sup>24,25</sup>

## Kerangka Teori



## BAB III KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS

### 3.1 Kerangka konsep



### 3.2 Variabel penelitian

1. Independen: saliva buatan pada suhu 37<sup>0</sup>C selama 30 hari
2. Dependen: Jumlah ion Cr dan Ni yang terlepas

### 3.3 Hipotesis

1. Terdapat perbedaan lepasnya ion Ni dan Cr yang berbeda antara braket kelompok A, B, C, D dan E di dalam saliva buatan
2. Terdapat perbedaan tingkat ketahanan korosi antara braket kelompok A, B, C, D dan E di dalam saliva buatan

### 2.4 Definisi Operasional

1. Braket *stainless steel* kelompok A, B, C, D dan E: direndam di dalam saliva buatan Fusayama Meyer di dalam tabung *borosilicate glass* yang tertutup rapat perbandingan 1 ml saliva buatan setiap 0,2 g berat braket.
2. Tingkat ketahanan korosi : jumlah total besar lepasan ion Cr dan Ni pada larutan pencelup (saliva buatan) yang dianalisa menggunakan *inductively coupled plasma mass spectrometer* (ICP-MS), dengan satuan pengukuran  $\mu\text{g}$ , skala pengukuran adalah numerik.

## BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

### 5.1 Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorik. Penelitian ini dilakukan secara *in vitro*.

### 5.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Jakarta periode bulan Desember 2011 – Februari 2012

### 5.3 Sampel Penelitian

Spesimen penelitian adalah braket *stainless steel* premolar rahang atas system roth slot .022, kelompok A produk 3M (USA), kelompok B produk Versadent (USA), kelompok C produk Protectmec (China), kelompok D produk Shinye (China) dan kelompok E produk Ortho Classic (USA).

Besar specimen ditetapkan sesuai dengan rumus sampel data numerik:

$$n = 2 \left[ \frac{(Z\alpha + Z\beta) S}{(X_1 - X_2)} \right]^2$$

n	= Jumlah besar specimen
s	= simpang baku (dari pustaka) <sup>10</sup>
$\alpha$	= tingkat kemaknaan (ditetapkan peneliti)
Z $\beta$	= <i>power</i> (ditetapkan peneliti)
X <sub>1</sub> - X <sub>2</sub>	= perbedaan klinis yang diinginkan ( <i>clinical judgment</i> )

Besar spesimen ditentukan sebagai berikut:

Ditetapkan kesalahan tipe I sebesar 5% dan hipotesis dua arah, sehingga Z $\alpha$  = 1,64. Kesalahan tipe II ditetapkan sebesar 20%, sehingga Z $\beta$  = 0,842. Selisih minimal yang dianggap bermakna adalah (X<sub>1</sub> - X<sub>2</sub>) = 0,5, standar deviasi = 0,4 dengan menggunakan rumus analitik numerik tidak berpasangan, maka jumlah spesimen adalah 8.

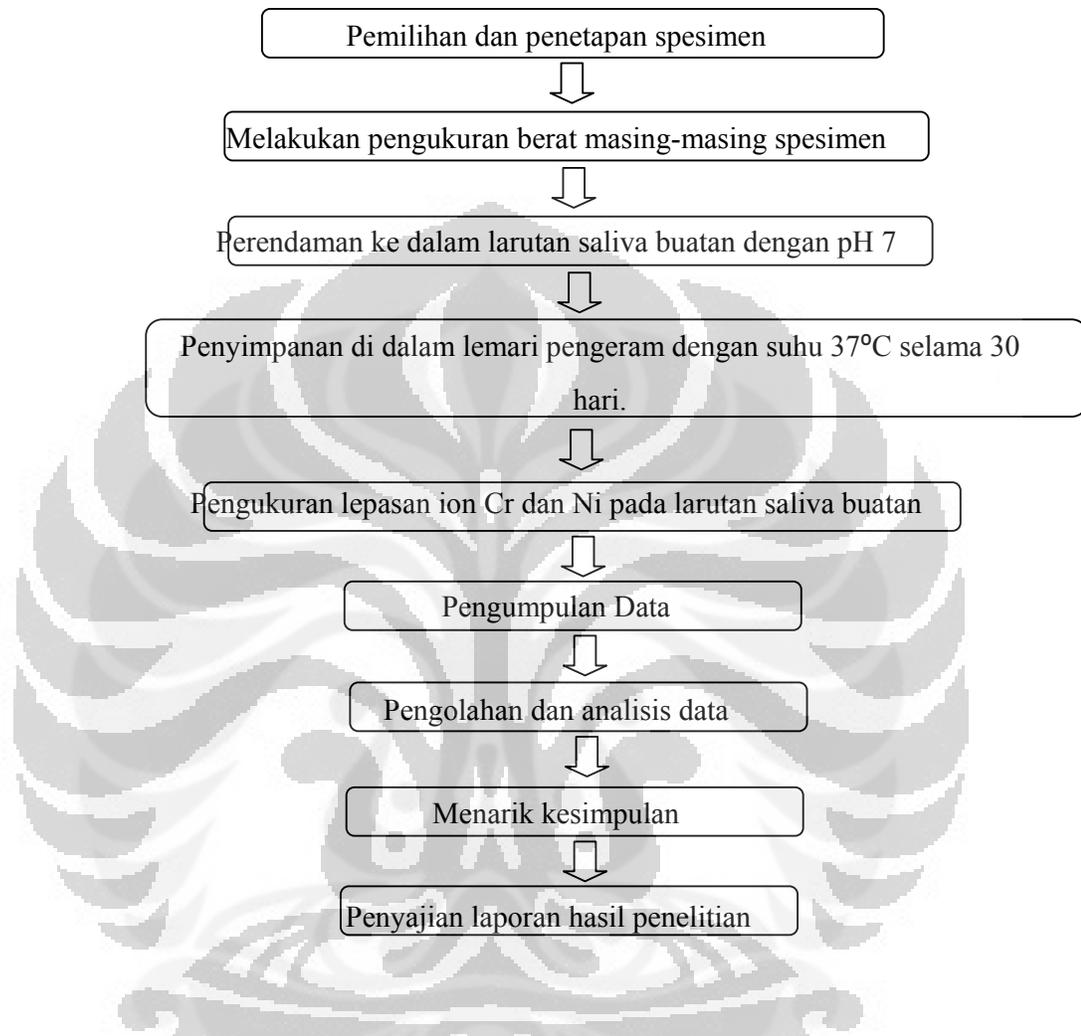
#### 4.4 Alat dan Bahan Penelitian

- 4.4.1 Timbangan digital
- 4.4.2 Gelas ukur
- 4.4.3 Tabung borosilicate glass yang tertutup rapat
- 4.4.4 Lemari pengeram (incubator) dengan temperatur 37°C.
- 4.4.5 Saliva buatan fusayama meyer dengan pH 7
- 4.4.6 Alat ukur konsentrasi ion logam ICP-MS (*inductively coupled plasma mass spectrometer*)
- 4.4.7 Perangkat Komputer
- 4.4.8 Perangkat lunak SPSS 17,0

#### 4.5 Cara Kerja Penelitian

- 4.5.1 Pemilihan spesimen braket premolar rahang atas sistem roth slot 0.22 produk 3M (USA), Versadent (USA), Protectmec (China), Shinye (China), Ortho Classic (USA)
- 4.5.2 Melakukan pengelompokan masing-masing spesimen menjadi 4 kelompok yang masing-masing terdiri dari 6 buah.
- 4.5.3 Melakukan pengukuran berat braket menggunakan timbangan digital untuk menentukan banyaknya cairan perendaman dengan perbandingan 1ml saliva buatan setiap 0,2 g berat braket.
- 4.5.4 Melakukan pengukuran kandungan Cr dan Ni pada braket menggunakan ICP-MS
- 4.5.5 Melakukan perendaman braket ke dalam larutan saliva buatan dengan pH7 pada tabung borosilicate glass yang kemudian ditutup rapat, serta melakukan penyimpanan di lemari pengeram pada temperatur 37°C selama 30 hari.
- 4.5.6 Melakukan pengukuran lepasnya ion Cr dan Ni pada cairan saliva buatan menggunakan ICP-MS
- 4.5.7 Pengumpulan data pada variable penelitian
- 4.5.8 Melakukan olah data dan analisis statistik.
- 4.5.9 Menarik kesimpulan
- 4.5.10 Penyajian hasil penelitian

#### 4.6 Alur Penelitian



#### 4.7 Manajemen dan Analisis Data

Data yang diperoleh dalam bentuk tabel dan diolah dengan program komputer menggunakan program SPSS 17.0 untuk pengujian statistik. Analisis univariat untuk mendapatkan nilai rerata, maksimum, minimum dan standar deviasi lepasan ion Cr dan Ni dari masing-masing kelompok. Analisis komparatif numerik berpasangan lebih dari 2 kelompok menggunakan *two way anova* bila sebaran datanya normal dan juga menggunakan *post-hoc*.

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN**

Penelitian telah dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Jakarta periode bulan Desember 2011 – Februari 2012 untuk mengukur lepasan ion kromium dan nikel braket *stainless steel* premolar rahang atas sistem edgewise standar slot .022, sebanyak 40 buah yang telah direndam saliva buatan selama 30 hari di dalam lemari pengeras pada suhu 37°C. Spesimen terbagi atas 5 kelompok merk braket yakni, kelompok A produk 3M (USA), kelompok B produk Versadent (USA), kelompok C produk Protectmec (China), kelompok D produk Shinye (China) dan kelompok E produk Ortho Classic (USA). Pengukuran lepasan ion kromium dan nikel dilakukan menggunakan alat ICP (*Inductively Coupled Plasma*) oleh operator laboratorium yang terlatih.

Sebelumnya dilakukan perhitungan konsentrasi ion nikel dan kromium terlebih dahulu untuk mengetahui rerata konsentrasi awal ion nikel dan kromium pada masing-masing merk sesuai dengan jumlah spesimen yang akan diuji agar dapat diketahui perubahan relatif yang terjadi setelah braket direndam selama 30 hari. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa besarnya tingkat ketahanan korosi braket dapat ditinjau dari rata-rata perubahan lepasan ion nikel dan kromium.

Perhitungan rerata ion nikel di awal serta saliva, delta absolut dan tingkat ketahanan korosi masing – masing kelompok spesimen dapat dilihat pada tabel 1. Pada tabel 1 terlihat rerata ion Ni yang tidak dilakukan perlakuan diukur menggunakan ICP. Untuk nilai awal ion Ni terlihat bahwa braket kelompok C yang merupakan produk Protecmecc (China) memiliki rerata yang terbesar dengan lepasan pada saliva pasca perendaman selama 30 hari juga yang terbesar diantara kelompok lainnya. Perubahan relatif yang terlihat ini menunjukkan tingkat ketahanan korosi pada braket tersebut dalam persentase ditinjau dari lepasan ion nikel.

**Tabel 5.1.** Nilai rerata ion nikel dan ketahanan korosi yang terjadi pasca perendaman

Kelompok	Ni awal (mg/L)	Ni saliva (mg/L)	Delta absolut (mg/L)	Ketahanan Korosi (%)	P
					.000
A	5.88250	.10713	5.77538	98.178913	
B	2.90125	.15900	2.74230	94.519600	
C	36.00500	12.45000	23.55500	65.421463	
D	4.27125	.08129	4.19001	98.096888	
E	.00109	.00065	.00045	40.000013	

$p < 0,05$  terdapat perbedaan bermakna

Untuk mengetahui normalitas sebaran data yang diperoleh dilakukan uji Shapiro-Wilk. Hasil uji normalitas menunjukkan sebaran data hasil pengukuran lepasan ion nikel tidak normal dengan nilai kemaknaan  $P < 0.05$  pada beberapa kelompok sehingga untuk melihat ada atau tidaknya perbedaan lepasan ion nikel dilakukan uji Kruskal-Wallis. Pada uji Kruskal-wallis diperoleh nilai  $P < 0.05$ , maka dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat perbedaan perubahan jumlah relatif Ni antara kelompok braket yang diuji sehingga hipotesis yang menyatakan terdapat perbedaan jumlah lepasan Ni antara kelompok A, B, C, D dan E diterima, serta hipotesis yang menyatakan bahwasanya terdapat perbedaan pada tingkat ketahanan korosi pada kelompok tersebut ditinjau dari lepasan Ni juga diterima. Untuk mengetahui kelompok mana yang mempunyai perbedaan bermakna maka harus dilakukan analisis *Post Hoc*. Analisis *Post Hoc* untuk uji Kruskal-Wallis adalah dengan uji Mann-Whitney antara kelompok yang dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 5.2.** Analisis *Post Hoc* menggunakan uji Mann-Whitney untuk mengetahui perbedaan perubahan relatif lepasan Ni antara kelompok

Kelompok		P
A	B	.834
	C	.001*
	D	.248
	E	.001*
B	C	.001*
	D	.012*
	E	.001
C	D	.001*
	E	.172
D	E	.001*

\* $p < 0,05$  terdapat perbedaan bermakna

Pada tabel 2 dengan uji Mann Whitney dapat terlihat adanya perbedaan perubahan relatif lepasan ion Ni yang bermakna antara kelompok A yang merupakan produk 3M Agile (USA) dengan kelompok C yang merupakan produk Protectmec (China), serta kelompok E produk Ortho Classic (USA). Antara kelompok B yang merupakan produk Versadent (USA), terdapat perbedaan yang bermakna terhadap kelompok C produk Protectmec (China) dan kelompok D produk Shinye (China). Dan pada kelompok C juga terdapat perbedaan yang bermakna terhadap kelompok D, serta terdapat perbedaan juga antara kelompok D dan E. maka dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa antara braket kelompok A,B dan D tidak terdapat perbedaan yang bermakna pada perubahan relatif lepasan ion Ni, namun terdapat perbedaan yang bermakna antara ketiga kelompok braket tersebut terhadap kelompok braket C dan E. Sedangkan antara braket C dan E tidak terdapat perbedaan yang bermakna.

Perhitungan rerata ion kromium di awal serta saliva, delta absolut dan perubahan relatif masing – masing kelompok spesimen dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 5.3.** Nilai rerata ion kromium dan ketahanan korosi yang terjadi pasca perendaman

Kelompok	Cr awal (mg/L)	Cr saliva (mg/L)	Delta absolut (mg/L)	Ketahanan Korosi (%)	P
					.000
A	11.60875	.00325	11.60555	99.972013	
B	6.06775	.00813	6.05967	99.866088	
C	229.40000	149.56000	79.84000	34.803838	
D	7.39750	.02013	7.12835	99.717250	
E	.04274	.02961	.01309	30.710725	

$p < 0,05$  terdapat perbedaan bermakna

Pada tabel 3 terlihat rerata ion Cr yang diukur menggunakan ICP. Untuk nilai awal ion Cr, seperti yang terjadi pada perhitungan lepasan ion Ni, terlihat bahwa braket kelompok C yang merupakan produk Protecmecc (China) memiliki rerata yang terbesar dengan lepasan pada saliva pasca perendaman selama 30 hari juga yang terbesar diantara kelompok lainnya. Perubahan relatif yang terlihat ini menunjukkan tingkat ketahanan korosi pada braket tersebut dalam persentase ditinjau dari lepasan ion Cr.

Untuk mengetahui normalitas sebaran data yang diperoleh dilakukan uji Shapiro-Wilk. Hasil uji normalitas menunjukkan sebaran data hasil pengukuran lepasan ion kromium tidak normal dengan nilai kemaknaan  $P < 0.05$  dan untuk melihat ada atau tidaknya perbedaan lepasan ion kromium dilakukan uji Kruskal-Wallis. Pada uji Kruskal-wallis diperoleh nilai  $P < 0.05$ , maka dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat perbedaan perubahan jumlah relatif Cr antara kelompok braket yang diuji sehingga hipotesis adanya perbedaan jumlah lepasan Cr antara kelompok A, B, C, D dan E diterima, serta hipotesis yang menyatakan bahwasanya terdapat perbedaan pada tingkat ketahanan korosi pada kelompok tersebut ditinjau dari lepasan Cr juga diterima. Untuk mengetahui kelompok mana yang mempunyai perbedaan bermakna maka harus dilakukan analisis *Post Hoc*. Analisis *Post Hoc* untuk uji Kruskal-Wallis adalah dengan uji Mann-Whitney antara kelompok yang dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 5.4.** Analisis *Post Hoc* menggunakan uji Mann-Whitney untuk mengetahui perbedaan perubahan relatif lepasan Cr antara kelompok

Kelompok		P
A	B	.014*
	C	.001*
	D	.002*
	E	.001*
B	C	.001*
	D	.027
	E	.001*
C	D	.001*
	E	.529
D	E	.001*

\*p< 0,05 terdapat perbedaan bermakna

Pada tabel 4 dengan uji Mann Whitney dapat terlihat adanya perbedaan perubahan relatif lepasan ion Cr yang bermakna antara kelompok A yang merupakan produk 3M Agile (USA) dengan keempat kelompok lainnya. Antara kelompok B yang merupakan produk Versadent (USA), terdapat perbedaan yang bermakna terhadap kelompok C produk Protectmec (China) dan kelompok E produk Ortho Classic (USA). Dan pada kelompok C juga terdapat perbedaan yang bermakna terhadap kelompok D, serta terdapat perbedaan juga antara kelompok D dan E.

## BAB VI

### PEMBAHASAN

Perawatan ortodonti telah menjadi salah satu perawatan gigi yang penting, namun, kendala dalam perawatan ortodonti adalah waktu perawatan yang relatif lama sehingga diperlukan komponen alat yang aman, nyaman dan dapat bertahan dengan jangka waktu panjang di dalam mulut. Braket merupakan salah satu komponen dalam perawatan ortodonti cekat yang berada di dalam mulut pasien paling lama pada masa perawatan. Pencarian braket yang ideal terus dilakukan sampai saat ini dengan mempertimbangkan aspek ketepatan, ekonomi, keamanan serta kenyamanan. Braket *stainless steel* atau *corrosion resistance steel*, merupakan salah satu jenis braket yang paling sering digunakan karena dianggap memenuhi hampir setiap aspek yang diinginkan pada alat ortodonti cekat, baik dalam aspek ketepatan atau akurasi, ekonomis maupun keamanan dan kenyamanan. Akan tetapi, istilah *corrosion resistance steel* atau baja anti korosi bukan berarti proses korosi tidak akan terjadi.<sup>1,2</sup>

Sebagian besar braket *stainless steel* merupakan logam tipe austenitik yang memiliki tingkat ketahanan korosi tinggi serta mengandung 8-12% nikel (Ni) dan 17-22% kromium (Cr).<sup>2,4,10,11</sup> Kromium (Cr), membentuk lapisan tipis film kromium oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) di atas permukaan logam dan bersifat *self repairing* sehingga apabila terjadi kerusakan akibat abrasi maupun gesekan, lapisan pelindung logam yang kaya akan kromium dapat dengan cepat terlapisi kembali. Oleh sebab itu, untuk menjadikan suatu baja bersifat stainless maka kandungannya harus terdapat kromium dengan jumlah minimum 10.5%. ketahanan korosi yang diberikan oleh kromium terhadap suatu logam tergantung dari kestabilan lapisan oksida tersebut. Untuk lingkungan tertentu kestabilan ini dioptimalkan oleh alloy yang lain seperti Ni, Mo dan Cu.

Konsentrasi nikel pada braket *stainless steel* telah banyak menimbulkan perdebatan, karena di satu sisi nikel diketahui memberikan reaksi alergi yang lebih banyak selama perawatan ortodonti dibandingkan dengan ion logam lainnya dan di sisi lain nikel merupakan salah satu elemen pembentuk logam austenitik.<sup>2,3,4,6</sup> Moffa menyatakan 39,1% wanita dan 20,7% laki-laki dari

populasi 402 orang, menunjukkan reaksi positif terhadap nikel.<sup>12</sup> Menurut penelitian yang dilakukan oleh Faccioni *et al* pada 55 pasien ortodonti cekat, terdapat peningkatan nikel sebanyak 3.4 lipatan yang dapat merangsang kerusakan DNA pada mukosa mulut.<sup>13</sup> Oleh sebab itu, ortodontis perlu mengetahui tingkat ketahanan suatu braket stainless steel dan memilih yang terbaik mengingat pemilihan braket *stainless steel* juga dapat mempengaruhi kesehatan umum pasien.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya lepasan nikel dan kromium dari beberapa merk braket *stainless steel* dan mengetahui apakah terdapat perbedaan pada tingkat ketahanan korosi pada braket tersebut, sehingga hasil dari penelitian ini dapat menjadi suatu pertimbangan bagi ortodontis dalam memilih braket *stainless steel* untuk melakukan perawatan ortodonti cekat.

Penelitian ini menggunakan 40 braket *stainless steel* premolar rahang atas sistem edgewise standar slot .022, yang direndam saliva buatan selama 30 hari di dalam lemari pengeram pada suhu 37°C. Spesimen terbagi atas 5 kelompok merk braket yakni, kelompok A produk 3M (USA), kelompok B produk Versadent (USA), kelompok C produk Protectmec (China), kelompok D produk Shinye (China) dan kelompok E produk Ortho Classic (USA). Pengukuran lepasan ion kromium dan nikel pada saliva dilakukan menggunakan alat ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

Hasil pengujian pada kelompok A diketahui bahwa nilai rerata konsentrasi awal Ni pada braket baru adalah 5.88250 mg/L dan nilai rerata lepasan Ni pada saliva setelah 30 hari adalah 0.10713 mg/L sehingga rerata delta absolut atau selisih lepasan dengan nilai awal adalah 5.77538 mg/L dan disimpulkan sebagai ketahanan korosi ditinjau dari lepasan Ni dalam persentase sebesar 98.178913 %. Sedangkan pada hasil pengujian kromium, diketahui bahwa nilai rerata konsentrasi awal Cr pada braket baru adalah 11.60875 mg/L dan nilai rerata lepasan Ni pada saliva setelah 30 hari adalah 0.00325mg/L sehingga rerata delta absolut atau selisih lepasan dengan nilai awal adalah 11.60555mg/L dan ketahanan korosi ditinjau dari lepasan Cr adalah 99.972013%

Pengujian yang sama juga dilakukan pada kelompok lainnya dan disimpulkan bahwa lepasan ion kromium dan nikel pada braket stainless steel

yang diuji ini masih di dalam batas aman rata-rata intake Cr perhari melalui makanan  $280\mu\text{g}$  dan Ni  $200 - 300\mu\text{g}$ , sedangkan konsentrasi Ni pada air minum umumnya dibawah  $20\mu\text{g/L}$  dan Cr sekitar  $0,43\mu\text{g/L}$ .<sup>3,20,21</sup>

Urutan tingkat ketahanan korosi braket *stainless steel* pada 5 kelompok braket yang diuji ditinjau dari lepasan Ni dan Cr dapat dilihat pada diagram 1.

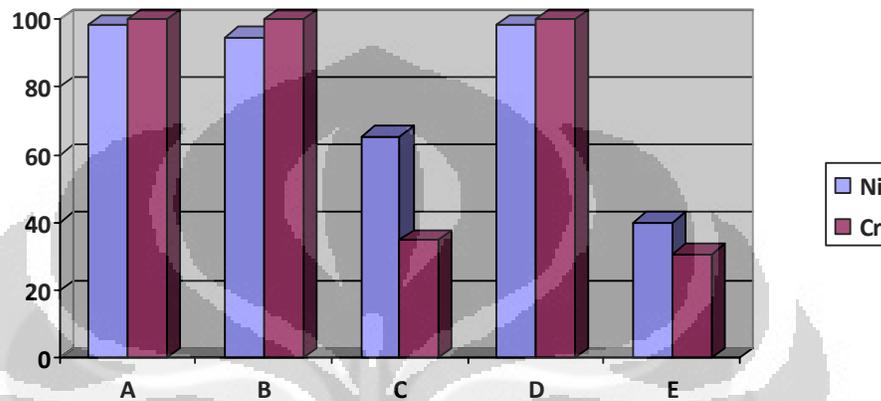
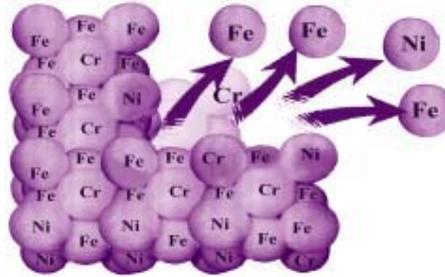


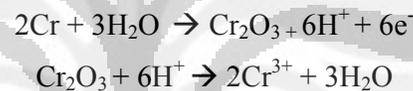
Diagram 1. Tingkat ketahanan korosi 5 kelompok braket *stainless steel* dalam persentase ditinjau dari lepasan ion Kromium dan Nikel

Dari diagram diatas dapat terlihat bahwa hipotesis yang menyatakan adanya perbedaan tingkat ketahanan korosi antara kelompok spesimen ditinjau dari lepasan nikel dan kromium diterima, yang dipastikan secara statistik dari hasil uji Kruskal-Wallis dengan nilai  $P < 0.05$ . Hal yang tidak diperhitungkan oleh peneliti adalah bentuk permukaan dari braket *stainless steel* setelah dilakukan pengujian. Salah satu kelompok braket secara klinis memperlihatkan terjadinya perubahan bentuk yang signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Lin et al yang melakukan analisa permukaan braket stainless steel di dalam saliva buatan dan menyimpulkan bahwa terjadinya perubahan bentuk permukaan braket *stainless steel* berkaitan dengan tingkat ketahanan korosi. Perubahan bentuk dari logam *stainless steel* terjadi sebagai akibat dari hilangnya lapisan pelindung kromium oksida dan lepasnya ion Ni. Setiap kali satu atom Ni terlepas ia akan membawa Sembilan atom Fe, yang secara nyata akan merubah bentuk dari logam tersebut.<sup>1, 14, 29,30</sup>



**Gambar 6.1.** Disolusi *stainless steel* yang mengubah bentuk permukaan akibat lepasnya sembilan atom Fe setiap satu atom Ni.<sup>30</sup>

Ketahanan korosi pada braket *stainless steel* yang diberikan oleh lapisan kromium oksida dapat terjadi sampai lapisan tersebut sudah tidak mampu lagi melakukan *self repairing* atau sampai reaktan katoda habis, yang diperlihatkan pada reaksi berikut:



Reaksi oksidasi (anoda) pada Cr di dalam pH tertentu menyebabkan disolusi Cr sebagai ion elektron, serta membentuk lapisan protektif kromium oksida, sedangkan reaksi reduksi terjadi pada permukaan katoda yang akan mengambil elektron bebas yang diproduksi oleh anoda dengan pengurangan ion hydrogen menjadi gas hydrogen dan melepaskan kromium.<sup>19,31</sup>

Pada hasil penelitian ini umumnya tingkat ketahanan korosi yang ditinjau dari lepasan Ni dan Cr pada kelompok braket ini baik, kecuali pada kelompok C dan D yang secara statistik terdapat perbedaan yang bermakna terhadap kelompok A, B dan C. sedangkan diantara kelompok C dan D tidak ada perbedaan yang bermakna pada tingkat ketahanan korosinya.

Pada kelompok C jumlah awal ion Ni maupun Cr cukup besar namun jumlah lepasan ion Ni dan Cr yang terjadi juga besar. Sedangkan pada kelompok E jumlah awal ion Ni maupun Cr sangat sedikit dibandingkan kelompok lainnya dan jumlah lepasan yang cukup besar dibandingkan jumlah awalnya. Hal ini mungkin terjadi akibat ketidakseimbangan komposisi logam *stainless steel* tersebut. Komposisi terbaik dari *stainless steel* dengan tingkat ketahanan korosi

yang tinggi adalah apabila terdapat konsentrasi kromium, nikel dan molybdenum yang lebih banyak, sedangkan sulfur dan karbon yang lebih sedikit, dengan pencampuran sampai homogen hingga secara fisik tidak dapat dipisahkan.<sup>1,12</sup> akan tetapi, penyebab secara langsungnya dibutuhkan penelitian lebih lanjut, karena komposisi serta cara pembuatan masing-masing produk braket logam *stainless steel* merupakan rahasia perusahaan pembuatnya.



## **BAB VII**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **Simpulan**

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan tingkat ketahanan korosi ditinjau dari lepasan ion kromium dan nikel pada kelima kelompok braket stainless steel yang terdiri dari kelompok A produk 3M (USA), kelompok B produk Versadent (USA), kelompok C produk Protectmec (China), kelompok D produk Shinye (China) dan kelompok E produk Ortho Classic (USA). Secara statistik terdapat perbedaan yang bermakna pada tingkat ketahanan korosi yang ditinjau dari lepasan nikel maupun kromium pada kelompok C dan E terhadap kelompok lainnya. Tingkat lepasan ion kromium dan nikel pada semua kelompok penelitian ini masih dalam batas normal intake harian, akan tetapi penelitian ini hanya dilakukan perendaman selama 30 hari, sehingga untuk tingkat keamanan terhadap pasien memerlukan penelitian lebih lanjut.

Penelitian ini dapat memberikan gambaran dan informasi bagi ortodontis dan masyarakat mengenai adanya perbedaan tingkat ketahanan korosi ditinjau dari lepasan ion kromium dan nikel beberapa merk braket logam *stainless steel* yang beredar di Indonesia. Sehingga, kelak dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan braket logam *stainless steel*.

#### **Saran**

- Melakukan penelitian yang serupa dengan jenis produk lain yang lebih banyak, serta waktu perendaman yang lebih lama sehingga dapat lebih mewakili lama pemakaian braket logam stainless steel pada pasien.
- Melakukan penelitian terhadap perubahan yang terjadi pada bentuk permukaan braket pasca perendaman yang berkaitan dengan efektifitas perawatan ortodonti cekat.
- Menyarankan pada pihak yang terkait untuk melakukan uji korosi pada braket logam *stainless steel* ortodonti yang beredar di Indonesia seperti yang dilakukan pada alat kesehatan lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Lin MC, Lin SC, Lee TH, Huang HH. Surface Analysis and Corrosion Resistance of Different Stainless Steel Orthodontic Brackets In Artificial Saliva. *Angle Orthod* 2006;76:322-329.
2. Oh KT, Choo SU, Kim KM, Kim KN. A Stainless Steel Bracket for Orthodontic Application. *Eur J Orthod* 2005;27:237-244.
3. House K, Sernetz F, Dymock D, Sandy J, Ireland A. Corrosion of Orthodontic Appliances-should we care?. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:584-92.
4. Souza RM, Menezes LM. Nickel, Chromium and Iron Levels in the Saliva of Patients with Simulated Fixed Orthodontic Appliances. *Angle Orthod* 2008;78:345-35.
5. Danaei SM, et al. Ion Release from Orthodontic Brackets in 3 Mouthwashes: An In-vitro Study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139:730-734.
6. Costa MT, Lenza MA, Gosch CS, Costa I, Dias FR. In vitro Evaluation of Corrosion and Cytotoxicity of Orthodontic Brackets. *J dent Res* 2007;86(5):441-445.
7. Proffit WR, Fields HW, David MS. *Contemporary Orthodontics*. 4<sup>th</sup>ed. St. Louis: Mosby; 2007: 27-28, 359-361.
8. Sinha PK, Nanda RS. Fixed Edgewise Orthodontic Appliance and Bonding Techniques. In: Bishara SE, *Textbook of Orthodontics*. W.B Saunder Company. Philadelphia; 2001: 186-191.
9. Bhalaji SI. *Orthodontics the Art and Science*. 3<sup>rd</sup>ed. Arya Pub House, New Delhi; 2006:311-318.
10. Kocadereli I, Atac A, Kale S, Ozer D. Salivary Nickel and Chromium in Patients With Fixed Orthodontic Appliances. *Angle Orthod* 2000;70:431-434.
11. GURSOY S, ACAR AG, SESEN C. Comparison of Metal release from New and Recycled Bracket-Archwire Combination. *Angle Orthod* 2004;75:92-94.

13. 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 Dentofacial Orthop* 2004;125:24-9
14. Luft S, Keilig L, Jager A, Bourauel C. In-vitro Evaluation of The Corrosion Behavior of Orthodontics Bracket. *Orthod Craniofac Res* 2009;12:43-51.
15. Eliades T, Athanasiou A. In Vivo Aging of Orthodontic Alloy: Implication for Corrosion Potential, Nickel Release, and Biocompatibility. *Angle Orthod* 2002;72:222-237.
16. Schiff N et al. Corrosion Resistance of Three Orthodontic Brackets: A Comparative Study of Three Fluoride Mouthwashes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;27:541-549
17. Lee HT et al. Corrosion Resistance of Different Nickel-Titanium Archwire in Acidic Fluoride-containing Artificial Saliva. *Angle Orthod* 2010;80:547-553.
18. Eliades G, Eliades T, Brantley WA, Watts DC. *Dental Material In Vivo: Aging and Related Phenomena*, Quintessence Pub Co; 2003:144-146.
19. Kadry S. Corrosion Analysis of Stainless steel. *Eur J of Scientific Research* 2008;22:508-516.
20. Sfondrini MF et al. Chromium Release from New Stainless Steel, Recycled and Nickel-free Orthodontic Bracket. *Angle Orthod* 2009;79:361-367.
21. Barret R, Bishara SE, Quinn JK. Biodegradation of Orthodontic Appliances. Part I. Biodegradation of Nickel and Chromium In Vitro. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:8-14.
22. Minano FE, Ortiz C, Vicente A, Calvo JL, Ortiz JA. Metallic Ion Content and Damage To The DNA In Oral Mucosa Cells of Children With Fixed Orthodontic Appliances. *Biometals* 2011.
23. Hwang CJ, Shin J-S, Cha J-Y. Metal release from simulated fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001;120:383-391
24. <http://www.corrosion-doctors.org/Electrochem/PotPol.htm> diunduh tanggal 7 Juli 2011 jam 20.15.
25. <http://www.corrosion-club.com/testingimmersion.htm> diunduh tanggal 7 Juli 2011 jam 19.35.

26. Worley J, Kvech S. ICP-MS.  
<http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/smprimer/icpms/icpms.htm> diunduh tanggal 7 Juli 2011 jam 20.20
27. (A) Helmenstine A M. Why is Stainless Steel Stainless?  
<http://chemistry.about.com/cs/metalsandalloys/a/aa071201a.htm> diunduh tanggal 12 Oktober 2011 jam 12:03
28. (b) <http://www.wisegeek.com/what-is-stainless-steel.htm> diunduh tanggal 12 Oktober tanggal 12 Oktober 2011 jam 12:15
29. Matasa CG, Shiny coatings are in. *The Orthod. Mater. Insider*, 1999; 12(3) 1-8
30. Matasa CG, From now on, it's just up to you to fight your patient's nickel allergies. *The Orthod. Mater. Insider*, 2000; 13 (3), 1-8
31. Triharto DP. Studi ketahanan korosi material SUS 316L, SUS 317L, SUS329 J dan HC 276 dalam larutan asam asetat yang mengandung ion bromide. Universitas Indonesia Fakultas Teknik Metalurgi, Depok, 2010

**Lampiran 1 : Analisis lepasan Nikel**

	Count	Mean	Std. Deviation	Median	Minimum	Maximum	
Kelompok A	Ni awal	8	5.88250	1.168476	5.64500	4.870	8.500
	Ni saliva	8	.10713	.059624	.11000	.016	.208
	Delta Ni absolut	8	5.77538	.059624	5.77250	5.675	5.867
	Perubahan relatif Ni	8	98.178913	1.0135646	98.130000	96.4641	99.7280
B	Ni awal	8	2.90125	2.83500	2.060	2.060	3.640
	Ni saliva	8	.15900	.193975	.05050	.043	.509
	Delta Ni absolut	8	2.74230	.193975	2.85080	2.392	2.858
	Perubahan relatif Ni	8	94.519600	6.6859096	98.259350	82.4558	98.5179
C	Ni awal	8	36.00500	2.624500	35.86000	33.390	41.620
	Ni saliva	8	12.45000	1.825173	12.94500	8.860	14.630
	Delta Ni absolut	8	23.55500	1.825173	23.06000	21.375	27.145
	Perubahan relatif Ni	8	65.421463	5.0692207	64.046650	59.3668	75.3923
D	Ni awal	8	4.27125	.815833	3.85000	3.500	5.460
	Ni saliva	8	.08129	.090524	.05515	.012	.301
	Delta Ni absolut	8	4.19001	.090524	4.21615	3.970	4.259
	Perubahan relatif Ni	8	98.096888	2.1193861	98.708800	92.9529	99.7191
E	Ni awal	8	.00109	.000946	.00085	.000	.003
	Ni saliva	8	.00065	.000366	.00070	.000	.001
	Delta Ni absolut	8	.00045	.000366	.00040	.000	.001
	Perubahan relatif Ni	8	40.000013	3.39527911	3.5632200	6.2069	9.08046

## Lampiran 2: Uji normalitas data

## Tests of Normality

	Kelompok	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Ni awal	A	.258	8	.126	.798	8	.027
	B	.175	8	.200*	.920	8	.429
	C	.232	8	.200*	.853	8	.102
	D	.300	8	.032	.812	8	.038
	E	.204	8	.200*	.900	8	.287
Ni saliva	A	.222	8	.200*	.949	8	.701
	B	.385	8	.001	.643	8	.001
	C	.189	8	.200*	.915	8	.387
	D	.433	8	.000	.605	8	.000
	E	.252	8	.142	.850	8	.094
Delta Ni absolut	A	.222	8	.200*	.949	8	.701
	B	.385	8	.001	.643	8	.001
	C	.189	8	.200*	.915	8	.387
	D	.433	8	.000	.605	8	.000
	E	.252	8	.142	.850	8	.094
Perubahan relatif Ni	A	.222	8	.200*	.949	8	.701
	B	.385	8	.001	.643	8	.001
	C	.189	8	.200*	.915	8	.387
	D	.433	8	.000	.605	8	.000
	E	.249	8	.156	.860	8	.119

a. Lilliefors Significance Correction

\*. This is a lower bound of the true significance.

### Lampiran 3: Uji data numerik tidak berpasangan pada distribusi tdk normal

NPar Test

Kruskal-Wallis Test

#### Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank
Perubahan relatif Ni	A	8	27.38
	B	8	25.00
	C	8	10.13
	D	8	32.88
	E	8	7.13
	Total	40	

#### Test Statistics<sup>a,b</sup>

	Perubahan relatif Ni
Chi-Square	29.695
Df	4
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Kelompok

### Lampiran 4: Post hoc Kruskal-Wallis

NPar Test

Mann-Whitney Test

#### Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	A	8	8.75	70.00
	B	8	8.25	66.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	30.000
Wilcoxon W	66.000
Z	-.210
Asymp. Sig. (2-tailed)	.834
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.878 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	A	8	12.50	100.00
	C	8	4.50	36.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.361
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	A	8	7.13	57.00
	D	8	9.88	79.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	21.000
Wilcoxon W	57.000
Z	-1.156
Asymp. Sig. (2-tailed)	.248
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.279 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	A	8	12.50	100.00
	E	8	4.50	36.00
Total		16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.363
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	B	8	12.50	100.00
	C	8	4.50	36.00
Total		16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.361
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	B	8	5.50	44.00
	D	8	11.50	92.00
Total		16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	8.000
Wilcoxon W	44.000
Z	-2.522
Asymp. Sig. (2-tailed)	.012
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.010 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	B	8	12.25	98.00
	E	8	4.75	38.00
Total		16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	2.000
Wilcoxon W	38.000
Z	-3.153
Asymp. Sig. (2-tailed)	.002
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.001 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	C	8	4.50	36.00
	D	8	12.50	100.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.363
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni	C	8	10.13	81.00
	E	8	6.88	55.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	19.000
Wilcoxon W	55.000
Z	-1.366
Asymp. Sig. (2-tailed)	.172
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.195 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Ni D	8	12.50	100.00
E	8	4.50	36.00
Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Ni
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.366
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Lampiran 5: Analisa lepasan kromium**

			<b>Descriptives</b>					
			Count	Mean	Std. Deviation	Median	Minimum	Maximum
Kelompok	A	Cr awal	8	11.60875	.456898	11.59000	11.010	12.370
		Cr saliva	8	.00325	.003284	.00100	.001	.009
		Delta Cr absolut	8	11.60555	.003284	11.60780	11.600	11.608
		Perubahan relatif Cr	8	99.972013	.0282927	99.991400	99.9225	99.9914
	B	Cr awal	8	6.06775	1.084409	5.92000	4.710	8.260
		Cr saliva	8	.00813	.006999	.00900	.001	.021
		Delta Cr absolut	8	6.05967	.006999	6.05880	6.047	6.067
		Perubahan relatif Cr	8	99.866088	.1153391	99.851700	99.6539	99.9835
	C	Cr awal	8	229.40000	25.502213	225.60000	190.600	270.300
		Cr saliva	8	149.56000	48.274168	162.78500	65.000	227.360
		Delta Cr absolut	8	79.84000	48.274168	66.61500	2.040	164.400
		Perubahan relatif Cr	8	34.803838	21.0436548	29.038800	.8893	71.6652
	D	Cr awal	8	7.39750	1.699056	7.35500	5.380	9.390
		Cr saliva	8	.02013	.009219	.02150	.003.	.032.
		Delta Cr absolut	8	7.12835	.107713	7.09140	7.081	7.395
		Perubahan relatif Cr	8	99.717250	.1300322	99.697750	99.5501	99.9594
E	Cr awal	8	.04274	.028973	.02885	.015	.099	
	Cr saliva	8	.02961	.020450	.02570	.002	.072	
	Delta Cr absolut	8	.01309	.020450	.01700	-.030	.041	
	Perubahan relatif Cr	8	30.710725	47.8493723	39.865450	-69.1723	95.3203	

### Lampiran 6: Uji normalitas data

#### Tests of Normality

	Kelom pok	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Cr awal	A	.199	8	.200*	.949	8	.698
	B	.174	8	.200*	.931	8	.522
	C	.198	8	.200*	.965	8	.857
	D	.218	8	.200*	.861	8	.122
	E	.337	8	.008	.767	8	.013
Cr saliva	A	.378	8	.001	.733	8	.005
	B	.221	8	.200*	.876	8	.173
	C	.209	8	.200*	.951	8	.717
	D	.163	8	.200*	.959	8	.804
	E	.270	8	.089	.880	8	.190
Delta Cr absolut	A	.378	8	.001	.733	8	.005
	B	.221	8	.200*	.876	8	.173
	C	.209	8	.200*	.951	8	.717
	D	.476	8	.000	.473	8	.000
	E	.270	8	.089	.880	8	.190
Perubahan relatif Cr	A	.378	8	.001	.733	8	.005
	B	.221	8	.200*	.876	8	.173
	C	.209	8	.200*	.951	8	.717
	D	.163	8	.200*	.959	8	.797
	E	.270	8	.089	.880	8	.190

a. Lilliefors Significance Correction

\*. This is a lower bound of the true significance.

**Lampiran 7: Uji data numerik tidak berpasangan pada distribusi tdk normal  
Kruskal-Wallis Test**

**Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank
Perubahan relatif Cr	A	8	35.00
	B	8	28.25
	C	8	7.75
	D	8	22.25
	E	8	9.25
	Total	40	

**Test Statistics<sup>a,b</sup>**

	Perubahan relatif Cr
Chi-Square	33.004
Df	4
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Kelompok

**Lampiran 8: Post Hoc Kruskal-Wallis  
Mann-Whitney Test**

**Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr	A	8	11.38	91.00
	B	8	5.63	45.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	9.000
Wilcoxon W	45.000
Z	-2.461
Asymp. Sig. (2-tailed)	.014
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.015 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr	A	8	12.50	100.00
	C	8	4.50	36.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.411
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr	A	8	12.13	97.00
	D	8	4.88	39.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	3.000
Wilcoxon W	39.000
Z	-3.091
Asymp. Sig. (2-tailed)	.002
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.001 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

**Mann-Whitney Test****Ranks**

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr	A	8	12.50	100.00
	E	8	4.50	36.00
	Total	16		

**Test Statistics<sup>b</sup>**

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.411
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

- a. Not corrected for ties.  
b. Grouping Variable: Kelompok

### Mann-Whitney Test

#### Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr	B	8	12.50	100.00
	C	8	4.50	36.00
	Total	16		

#### Test Statistics<sup>b</sup>

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.373
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

- a. Not corrected for ties.  
b. Grouping Variable: Kelompok

### Mann-Whitney Test

#### Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr	B	8	11.13	89.00
	D	8	5.88	47.00
	Total	16		

#### Test Statistics<sup>b</sup>

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	11.000
Wilcoxon W	47.000
Z	-2.214
Asymp. Sig. (2-tailed)	.027
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.028 <sup>a</sup>

- a. Not corrected for ties.  
b. Grouping Variable: Kelompok

### Mann-Whitney Test

#### Ranks

Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr B	8	12.50	100.00
E	8	4.50	36.00
Total	16		

#### Test Statistics<sup>b</sup>

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.373
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

- a. Not corrected for ties.  
b. Grouping Variable: Kelompok

### Mann-Whitney Test

#### Ranks

Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr C	8	4.50	36.00
D	8	12.50	100.00
Total	16		

#### Test Statistics<sup>b</sup>

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.361
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

- a. Not corrected for ties.  
b. Grouping Variable: Kelompok

### Mann-Whitney Test

#### Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr	C	8	7.75	62.00
	E	8	9.25	74.00
	Total	16		

#### Test Statistics<sup>b</sup>

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	26.000
Wilcoxon W	62.000
Z	-.630
Asymp. Sig. (2-tailed)	.529
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.574 <sup>a</sup>

- a. Not corrected for ties.  
b. Grouping Variable: Kelompok

### Mann-Whitney Test

#### Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Perubahan relatif Cr	D	8	12.50	100.00
	E	8	4.50	36.00
	Total	16		

#### Test Statistics<sup>b</sup>

	Perubahan relatif Cr
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	36.000
Z	-3.361
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.000 <sup>a</sup>

- a. Not corrected for ties.  
b. Grouping Variable: Kelompok