

**KETEPATAN DIMENSI HORIZONTAL  
ALOI NIKEL KROMIUM HASIL PENUANGAN BERULANG**

Asal : Hadiah  
Pembelian  
Terima : Tgl. 24 FEB 2001  
No. Induk : 102.335.265

Klass  
617-6  
WAKH  
e.1

**KARYA TULIS ILMIAH  
(SKRIPSI)**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Kedokteran Gigi pada Fakultas Kedokteran Gigi  
Universitas Jember



**Pembimbing :**

drg. FX Ady Soesetijo, Sp. Pros. (DPU)  
drg. Sukanto (DPA)

Disusun Oleh :

*Asri Wahyuningsih*

NIM. 951610101339



**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
1999/2000**

**KETEPATAN DIMENSI HORIZONTAL  
ALOI NIKEL-KROMIUM HASIL PENUANGAN BERULANG**

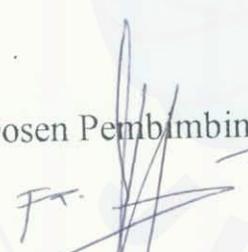
**KARYA TULIS ILMIAH  
(SKRIPSI)**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana kedokteran gigi pada fakultas kedokteran gigi  
Universitas jember

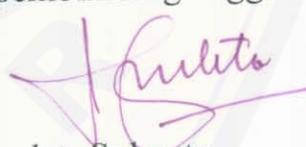
Oleh :

Asri Wahyuningsih  
NIM. 9516101339

Dosen Pembimbing Utama

  
drg. FX Ady Soesetijo, Sp. Pros.  
NIP. 131 660 770

Dosen pembimbing anggota

  
drg. Sukanto  
NIP. 132148543

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
2000**

Diterima oleh :

Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember

Sebagai Karya Tulis Ilmiah (Skripsi)

Dipertahankan pada :

Hari : Sabtu

Tanggal : 28 Oktober 2000

Pukul : 09.30 WIB

Tempat : Fakultas Kedokteran Gigi  
Universitas Jember

Tim Penguji,

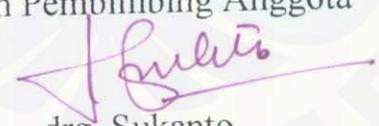
Dosen Pembimbing Utama

  
drg. FX Ady Soesetijo, Sp. Pros.  
NIP. 131 660 770

Sekretaris

  
drg. H. Achmad Gunadi, M.S. Ph.D  
NIP. 131 276 664

Dosen Pembimbing Anggota

  
drg. Sukanto  
NIP. 132 148 543

Mengesahkan

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi  
Universitas Jember

  
drg. H. Bob Soebijantoro, MSc. Sp. Pros.  
NIP. 130 238 901



MOTTO

- ◆ Sesungguhnya orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal yang sholeh mereka itu adalah sebaik-baiknya mahluk (Qs. Albayyinah 7).
- ◆ Jangan berharap senang dalam berjuang, berharap senang bagaikan merindu bulan ditengah siang. Ujian bukan batu penghalang karena itulah syarat dalam berjuang.
- ◆ Jangan difikir derita itu akan berkepanjangan karena selepas susah pasti ada kesenangan.

## Halaman Persembahan

- ❖ Ayahanda M. Nurul Asir dan Ibunda Sunarsih yang tercinta, yang senantiasa bermunajat pada Allah demi tercapainya keberhasilan ananda.
- ❖ Kakakku M. Disin Asmoyo dan Siti amina, M. Yusuf dan Analisa serta adikku Sri Astutik dan keponakanku Muhamad Al Fatih, yang selalu mengobarkan semangat dan doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
- ❖ Nenekku tercinta Joyo Sayuti, Munajam dan Abdullah yang senantiasa mendoakan keberhasilan ananda.
- ❖ Guruku Bapak Zakariya dan Sahabatku yang selalu sehati Hanifah Mardhiyani, yang telah banyak memberikan bantuan dan perhatian yang tulus, insya Allah pahala atas kebaikanmu.
- ❖ Islam sebagai tujuan hidupku dan almamaterku.

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. atas segala rahmat, kasih dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan karya ilmiah tertulis (skripsi) yang berjudul Ketepatan Dimensi Horisontal Alooi Nikel-Kromium Hasil Penuangan Berulang guna memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana kedokteran gigi pada Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.

Penelitian dan penulisan ini dapat terselesaikan berkat bantuan berbagai pihak, maka dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. drg Bob Soebijantoro, MSc. Sp. Pros. selaku dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.
2. drg. FX Ady Soesetijo, Sp. Pros. selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan drg. Sukanto selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
3. dr. Winardi Partoatmodjo selaku penanggung jawab perpustakaan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember beserta staf yang telah memberikan fasilitas demi kelancaran penyusunan skripsi ini.

4. Bapak Tjahyanto selaku pimpinan Lany Dental Porcelain Surabaya dan pihak Laboratorium Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Jember yang telah memberikan tempat dan pelayanan untuk melakukan penelitian skripsi ini.
5. Ayahanda M. Nurul Asir dan Ibunda Sunarsih serta kakak-kakakku Didik, Amina, Yusuf, Lisa dan adikku Aas, keponakanku fatih serta nenekku yang selalu memberikan curahan kasih sayang, perhatian dan doa.
6. Guruku Pak Zaki' dan keluarga di Blitar Pak Mulyadi, Bu Badriyah, mbak Hani dan de' Ifa yang selalu memberikan motivasi dan doa.
7. Sahabatku Tri Wahyuni dan Galuh Suci I. yang banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini dan teman-temanku Yuyun, Agung, Endang, De' Ririn, Wiwit, Lina dan warga Mastrip II/10 yang selalu kujadikan tempat untuk berkeluh kesah.
8. Ihwan dan ahwat fillah.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penulisan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Semoga Allah SWT. memberikan balasan yang lebih baik terhadap apa yang diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis membuka diri terhadap saran dan kritik demi penyempurnaan karya ini. Mudah-mudahan skripsi ini banyak memberikan manfaat bagi pembaca maupun penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
RINGKASAN.....	xiv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Aloi dan Penggunaanya.....	4
2.2 Pembuatan Aloi.....	4
2.3 Penggolongan aloi.....	6

2.4	Aloi Nikel-Kromium .....	7
2.5	Sifat-sifat Aloi Nikel-Kromium .....	8
2.6	Penuangan Berulang Aloi.....	9
2.7	Dimensi Hasil Tuangan Aloi.....	10
2.8	Bahan tanam.....	14
2.8.1	Bahan Tanam <i>Gypsum-Bonded</i> .....	15
2.8.2	Bahan Tanam <i>Phospat-Bonded</i> .....	15
2.8.3	Bahan Tanam <i>Silica-Bonded</i> .....	16
III.	METODE PENELITIAN .....	18
3.1	Macam, Tempat dan Waktu Penelitian .....	18
3.1.1	Macam Penelitian.....	18
3.1.2	Tempat Penelitian.....	18
3.1.3	Waktu Penelitian .....	18
3.2	Variabel-variabel.....	18
3.2.1	Variabel Bebas .....	18
3.2.2	Variabel Terikat .....	18
3.2.3	Variabel Terkendali.....	19
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.3.1	Alat-alat yang digunakan .....	19
3.3.2	Bahan-bahan yang digunakan .....	20
3.4	Pelaksanaan Penelitian .....	20
3.4.1	Proses Pembuatan Sampel.....	20
3.4.2	Kriteria Sampel .....	22

3.4.3 Pengukuran Sampel.....	22
3.4.4 Obyek Penelitian.....	23
3.4.5 Analisa Penelitian.....	23
IV. HASIL PENELITIAN.....	24
V. PEMBAHASAN.....	28
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
6.1 Kesimpulan.....	35
6.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil rata-rata pengukuran ketepatan dimensi horisontal aloi Ni-Cr	24
Tabel 2. Hasil analisis varian dari rata-rata pengukuran ketepatan dimensi horisontal Ni-Cr .....	25
Tabel 3. Hasil uji-t ketepatan dimensi horisontal Ni-Cr antara kontrol dan pengulangan tuang ke-1 .....	25
Tabel 4. Hasil uji-t ketepatan dimensi horisontal Ni-Cr antara kontrol dengan pengulangan tuang ke-2 .....	26
Tabel 5. Hasil uji-t ketepatan dimensi horisontal Ni-Cr antara kontrol dengan pengulangan tuang ke3.....	26
Tabel 6. Hasil uji-t ketepatan dimensi horisontal Ni-Cr antara pengulangan tuang ke-1 dengan pengulangan tuang ke-2.....	26
Tabel 7. Hasil uji-t ketepatan dimensi horisontal Ni-Cr antara pengulangan tuang ke-1 dengan pengulangan tuang ke-3.....	27
Tabel 8. Hasil uji-t ketepatan dimensi horisontal Ni-Cr antara pengulangan tuang ke-2 dengan pengulangan tuang ke-3 .....	27

**DAFTAR GAMBAR**

1. Posisi pemasangan model malam dalam bumbung tuang ..... 21
2. Model master dan keterangan pengukuran ketepatan dimensi horisontal  
aloi nikel-kromium ..... 23



DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil rata-rata pengukuran ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium hasil penuangan ulang .....	36
2. Hasil analisa varian pada pengukuran ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium hasil penuangan ulang.....	37
3. Uji-t antara kontrol dengan pengulangan tuang ke-1 .....	38
4. Uji-t antara kontrol dengan pengulangan tuang ke-2 .....	39
5. Uji-t antara kontrol dengan pengulangan tuang ke-3 .....	40
6. Uji-t antara pengulangan tuang ke-1 dengan pengulangan tuang ke-2 .....	41
7. Uji-t antara pengulangan tuang ke-1 dengan pengulangan tuang ke-3 .....	42
8. Uji-t antara pengulangan tuang ke-2 dengan pengulangan tuang ke-3 .....	43
9. Foto hasil penelitian .....	44



## RINGKASAN

Asri Wahyuningsih, NIM 9516101339, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember, Ketepatan Dimensi Horizontal Aloi Nikel-Kromium Hasil Penuangan Berulang, 35 halaman, dibawah bimbingan drg. FX Ady Soesetijo, Sp. Pros. (DPU) dan drg. Sukanto (DPA).

Bidang Material dan Tehnologi Kedokteran Gigi memerlukan pengembangan pengetahuan dalam penggunaan bahan, sehingga dapat dimanfaatkan seefisien mungkin termasuk salah satunya adalah penggunaan logam. Logam yang digunakan adalah logam campur atau paduan yang disebut aloi. Aloi yang sering digunakan adalah aloi yang bukan dari logam mulia salah satunya adalah aloi nikel-kromium. Prosedur pengolahan untuk dapat dijadikan restorasi yaitu dengan proses penuangan. Dalam laboratorium sering terjadi kegagalan atau kesalahan dalam proses penuangan sehingga hasil tuangan menjadi terbuang dan menjadi limbah. Maka diharapkan aloi ini dapat dituang menjadi tuangan baru. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium hasil penuangan berulang. Diharapkan nantinya dapat dijadikan bahan pertimbangan dan perhatian bagi para praktisi di bidang kedokteran gigi untuk mencari alternatif dalam memanfaatkan hasil tuangan aloi yang tidak terpakai. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris dengan obyek penelitian aloi nikel-kromium, jumlah sampel yang digunakan masing-masing 10 sampel. Waktu penelitian pada bulan Maret-Mei 2000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perbedaan dimensi yang bermakna pada semua perlakuan. Perbedaan dimensi yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan penuangan berulang yang dilakukan. Hal ini dapat disebabkan oleh karena adanya penyusutan, porositas dan perubahan komposisi aloi nikel-kromium. Penuangan berulang tidak dapat dilakukan karena terjadi perbedaan dimensi horisontal yang ditunjukkan dengan hasil uji-t yang bermakna pada penelitian ini. penelitian selanjutnya diharapkan prosedur *pickling* dilakukan pada penuangan dan untuk memanfaatkan sisa-sisa aloi serta dalam memanfaatkan aloi nikel-kromium yang dituang secara berulang-ulang perlu ditambahkan logam baru (ingot) dalam proses penuangan.

## I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Bidang Material dan Teknologi Kedokteran Gigi memerlukan pengembangan pengetahuan dalam penggunaan bahan, sehingga bisa dimanfaatkan seefisien mungkin termasuk salah satunya adalah penggunaan logam. Logam yang digunakan di kedokteran gigi untuk membuat restorasi jarang menggunakan satu macam logam karena jika digunakan kurang memenuhi syarat fisik, mekanik, biologik, kimia, dan estetik. Untuk memperbaiki sifat tersebut dilakukan dengan cara mencampur beberapa logam dengan kadar yang berbeda sehingga logam campur yang terbentuk bisa saling memperbaiki sifat-sifat logam yang merugikan. Logam campur atau paduan ini disebut aloi (Combe, 1992).

Aloi yang digunakan digolongkan menjadi *precious alloy* dan *non precious alloy*. *Precious alloy* adalah aloi dari logam mulia sedangkan *non precious alloy* adalah aloi yang terbuat dari logam bukan logam mulia (Mc.Lean, 1979). Menurut Phillips (1982) aloi logam mulia memiliki sifat yang lebih baik dari pada aloi bukan logam mulia, tetapi karena harga aloi logam mulia relatif mahal maka diperlukan alternatif bahan aloi lain yang memiliki sifat fisik dan mekanik hampir sama dengan aloi logam mulia. Aloi bukan logam mulia yang sering digunakan untuk restorasi salah satunya adalah aloi nikel-kromium. Aloi nikel-kromium selain harganya lebih murah, saat ini sering digunakan untuk menghasilkan alat-alat yang mempunyai presisi tinggi. Selain itu aloi nikel-kromium juga mempunyai kelebihan diantaranya yaitu tahan terhadap korosi, tidak mudah

berubah warna, mampu menahan stres yang tinggi tanpa mengalami deformasi permanen, tidak mudah aus dan tahan terhadap benturan (Mc.Cabe, 1990).

Prosedur pengolahan untuk dapat dijadikan bahan restorasi adalah dengan proses *casting* (penuangan). Hasil penuangan ini diharapkan mempunyai detail yang sama dengan cetakan yang telah disesuaikan dengan kebutuhan. Namun dalam laboratorium pengolahan logam sering terjadi kegagalan atau kesalahan dalam proses penuangan sehingga hasil tuangan tidak sesuai dengan kebutuhan. Hasil tuangan yang tidak terpakai biasanya terbuang dan menjadi limbah, hal ini sangat merugikan. Menurut Dahar (1996a) hasil tuangan yang tidak terpakai dapat digunakan lagi untuk dicor kembali menjadi tuangan baru.

Tindakan penuangan ulang logam mungkin biasa dilakukan oleh industri-industri dan permesinan, tetapi untuk bidang kedokteran gigi perlu dipelajari dan diteliti pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanik dari logam hasil tuangan ulang. Dari hasil penuangan berulang tersebut diharapkan mempunyai sifat fisik yang hampir sama dengan aslinya (Dahar,1996a). Padahal dalam proses penuangan banyak hal yang dapat memengaruhi hasilnya termasuk adanya perubahan dimensi. Pada proses penuangan akan mengalami penyusutan sewaktu berubah dari temperatur lebur ke temperatur kamar dan bisa juga terjadi kesalahan-kesalahan selama penuangan sehingga mempengaruhi dimensi hasil tuangan (Ronny,1999).



### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas timbul permasalahan yaitu bagaimana tingkat ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium hasil penuangan berulang.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketepatan dimensi horisontal aloi nikel- kromium hasil penuangan berulang.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dan perhatian bagi para praktisi di bidang kedokteran gigi untuk mencari alternatif dalam memanfaatkan hasil tuangan aloi yang tidak terpakai.

## II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Aloi dan Penggunaanya

Penggunaan logam dibidang kedokteran gigi jarang menggunakan logam murni, karena logam murni jika digunakan untuk suatu restorasi gigi dianggap terlalu lunak dan rapuh. Oleh karena itu para peneliti berusaha memperbaiki sifat-sifat fisik dan mekanik logam dengan cara mencampur dua atau beberapa logam dengan kadar yang berbeda, dimana elemen-elemen yang membentuk logam campur tersebut saling memperbaiki sifat-sifat logam yang merugikan. Dari penemuan tersebut, maka penggunaan logam dibidang kedokteran gigi yang digunakan adalah dalam bentuk aloi. Aloi atau *aliose* adalah campuran dua atau lebih elemen logam kadang-kadang unsur terpentingnya berupa suatu non logam, asal saja campuran elemen tersebut masih menunjukkan sifat-sifat logam (Combe, 1992).

Aloi digunakan di bidang kedokteran gigi untuk berbagai keperluan, salah satu diantaranya adalah sebagai bahan untuk membuat restorasi. Dibandingkan dengan yang lain yang biasa digunakan, aloi lebih menguntungkan karena kekuatan dan kekerasan yang dimilikinya memungkinkan praktisi membuat desain restorasi yang lebih sederhana dan tipis, sehingga restorasi yang dihasilkan lebih nyaman dipakai (Dahar, 1996b).

## 2.2 Pembuatan Aloi

Prinsip pembuatan aloi pada dasarnya sama dengan pembuatan logam murni, hanya kurva suhu-waktu yang sering berbeda. Dengan demikian berarti pembuatan aloi dapat meliputi penuangan, pekerjaan dingin, serbuk *metallurgi* dan *electroforming*.

Penuangan merupakan pekerjaan mencairkan aloi dan membentuknya didalam cetakan. *Die-casting* yang digunakan untuk mencetak merupakan cetakan permanen dari logam.

Pekerjaan dingin pada umumnya aloi dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik, atau digulung. Aloi dapat ditarik melalui suatu *die* untuk mendapatkan bentuk kawat. Sedangkan pada serbuk *metallurgi*, serbuk aloi dapat dipres dibawah tekanan tinggi untuk mendapatkan bahan dengan bentuk yang dikehendaki. Pada proses *electroforming*, aloi dapat dilapiskan pada permukaan yang bersifat penghantar (*conducting surface*) dengan proses elektrolisa.

Aloi yang merupakan kumpulan dua logam atau lebih diklasifikasikan berdasarkan jumlah unsur yang membentuk aloi yaitu aloi *binary* (terdiri dari dua konstitusi), aloi *ternary* (terdiri tiga konstitusi), aloi *quaternary* (terdiri empat konstitusi) dan seterusnya. Begitu jumlah unsur meningkat lebih dari dua penyusun maka strukturnya menjadi lebih kompleks, sehingga hanya aloi *binary* yang dapat dipelajari secara detail.

*Stainless steel* atau baja tahan karat merupakan aloi yang mengandung besi, karbon, kromium, dan kadang-kadang nikel. Ada dua tipe *stainless steel* yang penting yaitu pertama, *stainless steel austenitic* yang mengandung jumlah

kromium dan nikel yang sama banyak dengan struktur *austenitic*, yaitu campuran padatan yang tetap bertahan meskipun didinginkan sampai ke suhu kamar. Aloi ini bisa mengandung 18% kromium dan 8% nikel (sering disebut *stainless steel 18/8*), atau masing-masing sebanyak 12% (*stainless steel 12/12*). Bahan-bahan ini dapat dikeraskan dengan *cold working*, tetapi tidak dapat dikeraskan dengan *heat treatment* dan juga tidak sesuai untuk bahan instrumen pemotong. *Stainless steel 18/8* dapat dipergunakan sebagai bahan untuk pembuatan landasan gigi tiruan dan untuk kawat ortodonsia. Kedua, *Stainless steel martenistic*, bisa mengandung 12 sampai 13% kromium dan sejumlah kecil karbon tetapi tidak ada unsur utama lain. Aloi ini dapat dikeraskan dengan *heat treatment* (Combe, 1992).

### 2.3 Penggolongan Aloi

Pada dasarnya penggolongan aloi adalah sebagai berikut. (McLean, 1979)

- a. *Noble-Metal Alloy System* terdiri dari beberapa macam yaitu sebagai berikut.
- 1) Aloi yang mengandung kadar emas tinggi terdiri dari 2 macam yaitu pertama *Gold-Platinum-Palladium Alloy* merupakan aloi yang terbuat dari campuran emas, platina, palladium dan elemen-elemen lain pembentuk aloi. Kedua *Gold-Platinum-Tantalium-Alloy* merupakan aloi yang terbuat dari campuran emas, platina, tantalium dan elemen-elemen lain pembentuk aloi.
  - 2) Aloi yang mengandung kadar emas rendah yaitu *Gold-Palladium-Silver Alloy* merupakan aloi yang terbuat dari campuran emas, paladium, perak dan elemen-elemen lain pembentuk aloi.

- 3) Aloi yang tidak mengandung emas yaitu *Palladium-Silver Alloy* merupakan aloi yang terbuat dari campuran paladium, perak dan elemen-elemen lain pembentuk aloi.
- b. *Base-Metal Alloy System* terdiri dari 2 macam yaitu yang pertama *Nickel-Chromium Alloy* merupakan aloi yang terbuat dari campuran nikel, kromium dan elemen-elemen lain pembentuk aloi. Kedua yaitu *Cobalt-Chromium Alloy* merupakan aloi yang terbuat dari campuran kobalt, kromium dan elemen-elemen lain pembentuk aloi.

Selain penggolongan tersebut aloi juga digolongkan menjadi *precious alloy* dan *non precious alloy*. *Precious alloy* adalah aloi dari logam mulia sedangkan *non precious alloy* adalah aloi yang terbuat dari logam bukan logam mulia. Menurut Mc.Lean (1979) elemen-elemen lain yang ikut membentuk aloi adalah sebagai berikut dibawah ini.

- a. Pada *precious alloy* antara lain juga mengandung timah, seng, iridium, indium, perak dan tembaga.
- b. Pada *non precious alloy* antara lain mengandung molibdenum, magnesium, besi, mangan, aluminium, silikon, berilium, karbon, tembaga dan kobalt yang terdapat dalam *cobalt-chromium alloy*. Sedangkan didalam aloi nikel-kromium mengandung molibdenum, mangan, besi, berilium, tembaga, karbon dan silikon.



#### 2.4 Aloi Nikel-Kromium

Salah satu aloi logam bukan mulia yang saat ini sering digunakan untuk pembuatan alat-alat berpresisi tinggi adalah aloi nikel-kromium (Phillips, 1982). Aloi nikel-kromium termasuk dalam aloi berdasar logam (Mc.Lean, 1979). Aloi emas kekuatannya lebih rendah dan harganya lebih tinggi dibandingkan dengan aloi nikel-kromium. Sehingga aloi nikel-kromium semakin banyak digunakan (Inoue, 1992). Aloi nikel-kromium mempunyai komposisi bervariasi dari satu pabrik dengan pabrik yang lain, tetapi umumnya berkisar 70%-80% nikel, 10%-25% kromium dan sedikit unsur lain (Mc.Cabe, 1990).

#### 2.5 Sifat-sifat Aloi Nikel Kromium

Sifat aloi nikel-kromium (Mc.Cabe, 1990; Phillips, 1982) adalah sebagai berikut dibawah ini.

- a. Sifat fisik meliputi temperatur lebur lebih tinggi dibandingkan emas yaitu berkisar antara 1200°C-1500°C, massa jenis 8 gram/ cm<sup>3</sup> dan kontraksi logam berkisar 2,05% – 2,33%.
- b. Sifat mekanik meliputi kekerasan sebesar 300 vickers, modulus elastisitas 220 Gpa, *proportional limit* 230 Mpa dan tegangan tarik ultimate lebih besar antara 90.000–120.000 Psi. Selain itu juga meliputi regangan 2%-10%, tegangan luluh 60.000-90.000 Psi, *shrinkage casting* 2,0% dan *ductility* sampai 30 % *elongation*.
- c. Sifat kimia yaitu dapat menarik klorine dan lebih mudah korosi dibandingkan emas.

Aloi nikel-kromium mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik, oleh karena adanya *passivating effect*. Aloi ini ditutup dengan lapisan tipis *chromic-oxide* yang melindungi aloi dari benturan. Aloi nikel-kromium juga mampu menahan stres yang tinggi tanpa mengalami deformasi permanen (Mc.Cabe, 1990).

## 2.6 Penuangan Berulang Aloi

Pada umumnya aloi yang digunakan untuk restorasi dikerjakan dengan cara penuangan (Dahar, 1996). Pemanasan aloi yang berlebihan akan menyebabkan oksidasi atau kristalisasi tertunda sehingga menyebabkan kerusakan dinding cetakan. Suhu cetakan harus cukup besar untuk menjamin ekspansi cetakan yang sempurna dan mencegah kristalisasi prematur yang dapat menyebabkan pengisian cetakan oleh aloi kurang sempurna (Mc.Cabe, 1990). Penambahan logam baru kedalam logam sisa pada penuangan berulang ternyata mengurangi turunnya nilai kekerasan hasil tuangan. Kemungkinan logam baru yang ditambahkan dapat mengganti sebagian unsur yang hilang dalam logam sisa akibat oksidasi atau menguap pada waktu penuangan yang dilakukan sebelumnya (Dahar, 1996).

Logam bekas yang berasal dari nikel-kromium dapat dimanfaatkan lagi untuk di tuang ulang asal dicampur dengan logam baru (ingot) dalam jumlah perbandingan yang sama pada setiap kali dilakukan penuangan ulang (Nelson, 1986). Hasil penelitian Dahar (1996) menunjukkan bahwa komposisi logam pada kelompok penuangan berulang dengan penambahan logam baru lebih baik dibandingkan tanpa penambahan logam baru. Ditemukan pula, bahwa

pengaruhnya menurun sejalan dengan ditingkatkannya jumlah penuangan berulang. Kemungkinan hal ini disebabkan karena makin berkurangnya kemampuan logam baru untuk mengimbangi terjadinya oksidasi. Faktor yang ikut mempengaruhi kemampuan aloi untuk di tuang ulang adalah terletak pada unsur utama yang membangun aloi tersebut.

### 2.7 Dimensi Hasil Tuangan Aloi

Perbedaan dimensi suatu coran logam dapat terjadi sebelum dan selama proses pengecoran logam dilakukan. Pemerosesan penuangan logam sering mengalami perubahan dimensi yang disebabkan oleh sifat fisik dan mekanik bahan yang digunakan. Salah satu faktor kritis yang penting dalam penuangan adalah mempertahankan secara tepat rongga cetak yang dihasilkan dari pola malam didalam bahan tanam. Sehingga diperoleh duplikasi secara tepat oleh logam yang mengisinya (Palmer *et al*, 1961 dalam Hamzah, 1989).

Keakuratan suatu restorasi logam sangat penting. Banyak faktor yang mempengaruhi, salah satunya adalah bahan tanam yang digunakan untuk pengecoran restorasi logam tersebut. Semua aloi jika dituang akan mengalami penyusutan sewaktu berubah dari temperatur lebur ke temperatur kamar. Untuk itu diperlukan satu perimbangan dari bahan tanam yang dipakai agar restorasi logam yang dihasilkan tidak jauh berbeda dari bentuk semula. Perimbangan yang dapat diberikan bahan tanam berupa ekspansi (Ronny, 1999).

Perubahan dimensi yang dihasilkan pada waktu penuangan menurut Combe (1992) adalah dapat berupa hal-hal sebagai berikut dibawah ini.

- a. Tuangan terlalu besar disebabkan oleh adanya ekspansi cetakan yang terlalu besar. Untuk menghindari terjadinya ekspansi ini yaitu dengan menggunakan suhu yang benar dan menggunakan tipe bahan tanam yang sesuai dengan aloi yang akan dituang.
- b. Hasil tuangan yang terlalu kecil, hal ini disebabkan ekspansi cetakan yang terlalu kecil. Untuk menghindari hal ini dengan cara memanaskan bumbung tuang dengan suhu yang cukup.
- c. Tuangan berubah bentuk, hal ini disebabkan pola malam berubah bentuk.

Untuk tuangan yang luas kekuatan bahan tanam mempengaruhi penyusutan tuangan. Penanaman yang kuat lebih tahan terhadap penyusutan tuangan awal dari pada penanaman yang lemah, selain itu kebaikan dan keakuratan tuang dapat dipengaruhi oleh teknik *spruing*. Kesalahan dalam pembuatan dan penempatan *sprue* akan berpengaruh terhadap hasil penuangan aloi. Tehnik *sprue* yang salah akan menyebabkan *localized shrinkage porosity* yang terjadi apabila ukuran saluran cor terlalu kecil dan *back pressure porosity* yang terjadi apabila *sprue* terlalu pendek, sehingga gas yang terperangkap tidak dapat keluar (Phillips,1982).

Keseimbangan antara suhu aloi yang melebur dengan suhu cetakan adalah penting dalam rangka menghasilkan tuangan yang sempurna dan akurat dengan struktur partikel yang baik, karena kenaikan suhu lebur akan meningkatkan *ductility*, tetapi juga menghasilkan permukaan tuangan yang lebih kasar

(Mc.Cabe, 1990). Selain itu untuk menghindari udara yang terjebak agar tidak terjadi porositas perlu adanya ventilasi sehingga udara akan keluar melalui ventilasi dan tidak mempengaruhi keakuratan atau kontur tuangan (Phillips, 1982).

Kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi dalam penuangan diantaranya adalah sebagai berikut dibawah ini.

- a. *Finning* (pembentukan sayap) dan *bubling* (pengerumbungan).
- b. Penuangan yang tidak sempurna.
- c. Porositas dalam penuangan.
- d. Tuangan terlalu besar dan terlalu kecil (Mc.Cabe, 1990).

Pembentukan sayap pada hasil tuangan terjadi apabila bahan tanam pada bambung tuang dipanaskan terlalu cepat didalam oven sehingga menyebabkan keretakan pada bahan tanam. Ketika aloi dileburkan akan mengalir kedalam sehingga menghasilkan sayap tipis pada tuangan. Pengerumbungan pada tuangan tampak seperti bola dari kelebihan bahan yang menempel pada permukaan tuangan. Hal ini disebabkan bahan tanam yang pecah karena pemanasan yang berlebihan pada bambung tuang dan aloi, gelembung udara pada pola malam disebabkan karena pengisian bahan tanam yang tidak benar dan permukaan bahan tanam yang lunak disebabkan karena perbandingan air/bubuk terlalu tinggi. Pengaruh adanya sayap dan gelembung terhadap hasil tuangan apabila terdapat pada daerah yang kritis, misal dekat *shoulder* mahkota maka perlu dilakukan penuangan ulang (Mc.Cabe, 1990 dan Combe, 1992).

Penuangan yang tidak sempurna dapat disebabkan karena penempatan atau tehnik *spruing* yang salah. *Sprue* harus ditempatkan pada titik/ketebalan yang terbesar pada model malam. Hal ini bertujuan untuk membantu penyerapan panas yang lebih luas pada daerah tersebut dan untuk mencegah terjadinya pemadatan prematur yang dapat menyebabkan ketidaksempurnaan pengisian cetakan. Ketidaksempurnaan tuangan ini juga disebabkan aloi yang tidak cukup cair atau suhu cetakan yang terlalu rendah, sehingga pemadatan aloi terjadi sebelum cetakan terisi semua. Keseimbangan antara suhu lebur aloi dengan suhu cetakan merupakan bagian yang terpenting dalam menghasilkan kesempurnaan tuangan. Mesin *casting* juga mempengaruhi hasil tuangan, apabila dorongan/gaya yang dihasilkan selama penuangan tidak mencukupi akan menyebabkan aloi tidak mengalir secara sempurna keseluruh bagian cetakan (Mc.Cabe, 1990). Sedangkan menurut combe (1992) penyebab hasil tuangan tidak sempurna adalah sebagai berikut dibawah ini.

- a. Bahan aloi yang dipergunakan tidak cukup.
- b. Aloinya tidak dapat masuk kedalam bagian cetakan yang tipis.
- c. Cetakan terlalu dingin sehingga menimbulkan pemadatan prematur dari aloi.
- d. Saluran terhalang oleh benda asing seperti partikel fluk atau bahan tanam atau sisa malam yang tidak terbakar.
- e. Terjadi tekan-balik (*back pressure*) oleh gas dalam cetakan.
- f. Aloinya belum mencair sempurna atau gaya yang diberi untuk menekan bahan masuk kedalam cetakan terlalu kecil.

Porositas merupakan lubang-lubang pada permukaan tuangan dan dapat terlihat jelas setelah dilakukan pemolesan. Porositas ini bisa disebabkan oleh adanya bagian bahan yang rusak atau adanya partikel yang jatuh pada *sprue* yang melekat pada tuangan. Porositas spheris pada tuangan dihasilkan karena adanya gas yang terlarut pada waktu aloi melebur, terutama pada saat pendinginan aloi membebaskan gas yang diserap dan adanya gas yang terjebak tidak bisa keluar dari tuangan (Mc.Cabe, 1990).

Hasil tuangan yang terlalu besar dan terlalu kecil, hal ini dipengaruhi oleh adanya ekspansi dan kontraksi yang terjadi selama penuangan yang dapat menyebabkan perubahan dimensi. Perubahan dimensi yang terlihat dari hasil tuangan aloi adalah adanya penyusutan penuangan. Hal ini dapat dikompensasi dengan perimbangan ekspansi bahan tanam dan tidak memanaskan bumbung tuang pada suhu yang cukup tinggi (Mc.Cabe, 1990).

## 2.8 Bahan Tanam

Bila suatu restorasi atau suatu alat dibuat dengan *a lost wax process* maka pola malam ditanam dalam suatu bahan tanam. kemudian malam dibuang dari cetakan tersebut dan ruangan yang terbentuk diisi dengan bahan yang dimaksudkan sebagai restorasi atau alat yang hendak dibuat. Terdapat tiga tipe bahan tanam yaitu *Gypsum-Bonded*, *Phosphate-Bonded*, dan *Silica-Bonded*. Semuanya mengandung silika sebagai unsur pengeras. Perbedaan utama pada ketiganya terletak pada tipe substansi pengikat yang dipergunakan yaitu sebagai berikut dibawah ini.

- a. Bahan tanam *Gypsum-Bonded* paling sering digunakan untuk aloi emas, tetapi tidak cocok untuk aloi yang mencair pada suhu yang mendekati  $1200^{\circ}\text{C}$ . Temperatur umum bahan tanam ini antara  $700^{\circ}\text{C}$  sampai  $800^{\circ}\text{C}$ .
- b. Bahan tanam *Phosphate-Bonded* dipergunakan untuk penuangan aloi kobalt-kromium karena bahan ini sanggup menerima suhu yang lebih tinggi dari *Gypsum-Bonded* yaitu antara  $1000^{\circ}\text{C}$  sampai  $1100^{\circ}\text{C}$ .
- c. Bahan tanam *Silica-Bonded* adalah merupakan pilihan lain untuk bahan tanam *Phosphate-Bonded* untuk penuangan suhu tinggi. Temperatur bahan tanam ini antara  $1090^{\circ}\text{C}$  sampai  $1180^{\circ}\text{C}$ .

#### 8.2.1 Bahan Tanam *Gypsum-Bonded*

Komposisi yang terdapat pada *Gypsum-Bonded* ini yaitu.

- a. Silika berbentuk *allotropic* (misalnya *crystalite* atau kuarsa) yang berfungsi sebagai pengeras dan menimbulkan ekspansi cetakan dengan ekspansi termis dan inversi.
- b. *Calcium Sulphate Hemihydrate Autoclaved* yang berfungsi untuk bereaksi dengan air atau pada hidrasi agar bergabung bersama silika, memberi kekuatan yang cukup pada cetakan dan turut serta memberi pengaruh ekspansi pada cetakan dengan adanya ekspansi selama *setting*.
- c. Bahan pereduksi seperti serbuk *Charcoal*, untuk mereduksi oksida-oksida yang terbentuk pada logam.
- d. Bahan kimia pemudifikasi seperti asam *boric* atau natrium klorida untuk menghalangi kontraksi sewaktu pemanasan.

### 2.8.2 Bahan Tanam *Phosphate-Bonded*

Komposisinya adalah magnesium oksida yang dapat bereaksi dengan fosfat seperti amonium fosfat dalam satu sistem larutan dan kristal magnesium amonium fosfat bergabung bersama partikel bahan pengeras silika. Bahan tanam ini dicampur dengan air serupa dengan bahan tanam *Gypsum-Bonded* tetapi perlu diperhatikan perbedaan cara manipulasinya, dalam hal ini tidak dibutuhkan bumbung tuang logam dan sebagai gantinya dapat digunakan bumbung plastik yang akan dilepas setelah bahan *setting* sebelum dilakukan pemanasan. Kemudian bahan tanam dipanaskan 1000 °C sampai 1100°C.

### 2.8.3 Bahan Tanam *Silica-Bonded*

Reaksi *setting* bahan tanam ini meliputi hal-hal dibawah ini.

#### a. Tahap 1. Hidrolisa

Etil silika dapat dihidrolisa menjadi asam *salicic* dengan pembebasan etil alkohol. Pada prakteknya dipergunakan bentuk polimerisasi etil silika menghasilkan suatu sol *poly (salicic acid)*.

#### b. Tahap 2. Pembentukan Gel

Sol bercampur dengan *crystalite* atau *quartz*, kemudian pembentukan gel berlangsung dibawah keadaan alkali dibawah keadaan alkali dengan penambahan magnesium oksida. Pada tahap ini terjadi sedikit kontraksi.



c. Tahap 3. Pengeringan

Sewaktu pemanasan terjadi kontraksi lebih lanjut dan hilangnya alkohol serta air yang menyebabkan cetakan yang terbuat dari partikel silika tersusun rapat satu sama lain.

Sifat-sifat bahan tanam ini terjadi perubahan dimensi dan perubahan porositas. Pada perubahan dimensi terjadi termal ekspansi dalam jumlah yang sangat besar yang disebabkan oleh besarnya persentase silika dalam bahan. Ekspansi ini biasanya cukup untuk mengimbangi *setting* kontraksi dari bahan tanam dan kontraksi bahan aloi sewaktu dituang. Sedangkan pada perubahan porositas, partikel bahan yang telah dibentuk tersusun sangat rapat satu sama lain sehingga porositas sangat kecil (tidak terlihat). Untuk memberi jalan lepasnya udara dari cetakan maka dibuat rongga atau lubang udara (Combe, 1992).

### III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Macam, Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Macam Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris.

##### 3.1.2 Tempat Penelitian

Penuangan aloi nikel-kromium dilakukan di laboratorium *Lany Dental Porcelain* Surabaya dan pengukuran hasil penuangan dilakukan di Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Jember .

##### 3.1.3 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret - Mei 2000.

#### 3.2 Variabel-variabel

##### 3.2.1 Variabel bebas

Penuangan berulang aloi nikel-kromium.

##### 3.2.2 Variabel terikat

Ketepatan dimensi hasil tuangan aloi nikel-kromium dan sebagai kontrolnya adalah penuangan pertama kali.

### 3.2.3 Variabel terkendali

- a. Teknik *spruing*.
- b. Pemakaian dan konsistensi bahan tanam.
- c. Pemakaian sistem induksi.
- d. Kriteria logam cair

Dalam hal ini keadaan logam yang siap dimasukkan dalam cetakan ditandai pada saat tempat logam digerakkan bola menggelinding dengan bebas seperti air raksa, pergerakan permukaan logam lebih lancar dan logam berwarna oranye muda.

## 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

### 3.3.1 Alat-alat yang digunakan untuk penelitian antara lain dibawah ini.

- a. Pisau malam, pisau model dan lampu spiritus.
- b. Model master.
- c. Mangkok karet dan spatula.
- d. Bumbung tuang yang terbuat dari plastik dengan ukuran panjang 12 cm dan diameter 12 cm.
- e. *Crucible former* dengan bahan karet.
- f. Sistem induksi dengan merk Men Preedy buatan Italy.
- g. *Straight hand piece* dan *carborundum disk*.
- h. Miskroskop model-301 dengan merk Olympus.

3.3.2 Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain dibawah ini.

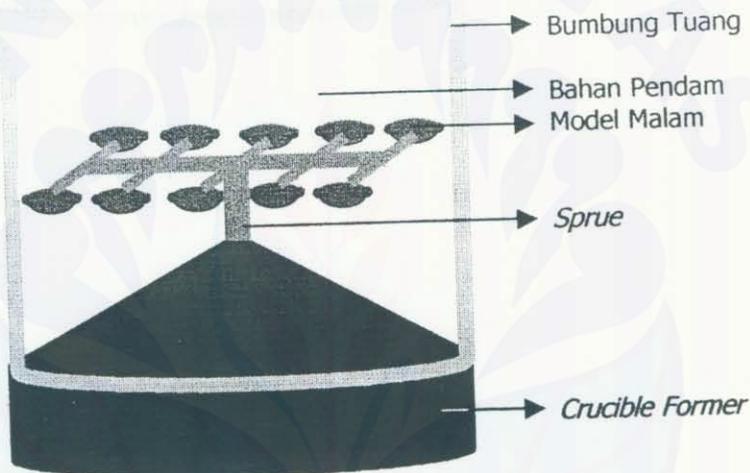
- a. Model malam dengan merk Cavex buatan Jerman.
- b. Spiritus.
- c. Aloi nikel-kromium dengan merk Dorabond buatan Amerika.
- d. Bahan tanam khusus untuk aloi dengan merk Bellavest T buatan Jerman.
- e. *Sprue* jadi merk Renfert buatan Jerman dengan diameter 2,5 mm dan 4 mm.
- f. Partikel butiran pasir dengan merk Korox buatan Jerman.

### 3.4 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.4.1 Proses Pembuatan Sampel

- a. Membuat pola malam yang dicetak pada model master yang telah disiapkan dengan menggunakan pisau malam, pisau model dan lampu spiritus serta menyiapkan *sprue* dengan diameter 2,5 mm dan 4 mm.
- b. *Sprue* dilekatkan pada bagian pola malam dan ujung *sprue* lainnya dilekatkan pada *crucible formel* bagian puncaknya (seperti gambar 1).
- c. Pembuatan ventilasi dengan diameter lebih kecil dari *sprue* dan selanjutnya dipasang pada *crucible former* dengan posisi sejajar *sprue*.
- d. Pembersihan pola malam, *sprue* dan ventilasi dengan air sabun dengan menggunakan kuas kemudian diirigasi dengan air bersih.
- e. Melakukan *painting* atau pengolesan bahan tanam encer pada seluruh permukaan model malam dan *sprue*.

- f. Bubungan tuang dipasang diatas *crucible former* tegak lurus dengan *sprue* dan model malam berada ditengah-tengahnya.
- g. Membuat adonan bahan tanam dengan aturan yang sesuai dengan aturan pabrik dan setelah homogen dituangkan pada bubungan tuang.
- h. Bahan tanam dalam bubungan tuang dibiarkan *setting* dan setelah *setting* *crucible former* dilepas beserta bubungan tuangnya.



Gambar 1 Posisi pemasangan model malam dalam bubungan tuang

- i. Dilakukan pembuangan malam dengan cara dipanaskan pada tungku dengan bahan bakar arang, pada awalnya diletakkan pada pinggir tungku selama 15 menit kemudian diletakkan pada tengah tungku selama 30 menit atau sampai bahan tanam berwarna merah menyala.
- j. Setelah bahan tanam dipanaskan ditungku kemudian dimasukkan kedalam sistem induksi beserta aloi nikel-kromium. Sistem induksi diprogram dengan suhu awal 600 °C, suhu dibiarkan meningkat sampai

1200 °C lalu dilihat pada sistem induksi apabila aloi nikel-kromium sudah mencair (seperti pada kriteria logam cair) tombol ditekan, proses pengecoran dimulai.

- k. Setelah pengecoran selesai, kemudian didiamkan sampai mencapai suhu kamar kembali, setelah itu bahan tanam dibuka, hasil coran diambil dan dibersihkan dari sisa-sisa bahan tanam.
- l. Dilakukan penyemprotan pada hasil coran dengan menggunakan *sand blaster* kemudian *sprue* dipotong dengan menggunakan *straight hand piece* dengan bur *carborundum disk* tepat didaerah perlekatannya pada model.
- m. Hasil coran (sampel) diukur dengan menggunakan mikroskop dan kemudian dituang ulang sampai tiga kali.

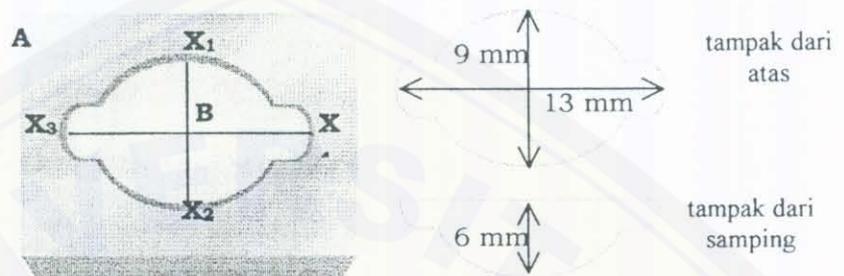
#### 3.4.2 Kreteria Sampel

Sampel yang digunakan harus disesuaikan dengan model master sehingga jika sampel dimasukkan kedalam model master bisa sesuai.

#### 3.4.3 Pengambilan Sampel

- a. Dibuat 10 sampel sebagai kontrol (A0).
- b. Sampel dituang ulang 1 kali (A1).
- c. Sampel A1 dituang ulang menjadi sampel (A2).
- d. Sampel A2 dituang ulang menjadi sampel (A3).

Sampel diukur dengan menggunakan mikroskop dan pengukuran dilakukan dengan cara sampel dimasukkan kedalam model master dan yang diukur adalah jarak antara tepi sampel dengan dinding model master.



Gambar 2. Model master dan keterangan pengukuran ketepatan dimensi aloi nikel-kromium

A = Model master

B = Sampel logam

$X_1$  = Selisih 1 diagonal model master dengan hasil pengecoran

$X_2$  = Selisih 2 diagonal model master dengan hasil pengecoran

$X_3$  = Selisih 3 diagonal model master dengan hasil pengecoran

$X_4$  = Selisih 4 diagonal model master dengan hasil pengecoran

#### 3.4.4 Obyek Penelitian

Obyek yang diteliti adalah aloi nikel-kromium dengan merk Dorabond buatan Amerika.

#### 3.4.5 Analisa Data

Dari hasil pengukuran sampel dianalisis dengan Anava dan apabila terdapat perbedaan yang bermakna, kemudian dilakukan uji statistik *student-t*.



#### IV HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian dari rata-rata pengukuran sampel ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yang dinyatakan dalam satuan mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 : Hasil Rata-rata Pengukuran Ketepatan Dimensi Horisontal Aloii Ni-Cr

Sampel	Perlakuan			
	Kontrol ( $\mu\text{m}$ )	Pengulangan tuang ke-1 ( $\mu\text{m}$ )	Pengulangan tuang ke-2 ( $\mu\text{m}$ )	Pengulangan tuang ke-3 ( $\mu\text{m}$ )
1	1,25100	1,32050	2,08500	2,36300
2	1,11200	1,11200	1,66800	2,01550
3	0,90350	1,87650	1,66800	2,22400
4	1,18150	1,45950	1,87650	2,01550
5	0,76450	1,11200	2,01550	2,08500
6	0,48650	1,52900	1,52900	1,94600
7	0,90350	1,18375	2,22400	2,50200
8	0,76450	1,32050	1,66800	2,50200
9	0,97300	1,45950	1,66800	2,10550
10	0,69500	1,04250	1,52900	2,78000
$\bar{x}$	0,9040	1,3420	1,7930	2,2450

Keterangan

$\bar{x}$  : Rata-rata

Hasil rata-rata pengukuran ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium hasil penuangan berulang diatas, kemudian dilakukan uji anava dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 : Hasil Analisis Varians dari Rata-rata Pengukuran Ketepatan Dimensi Horizontal Ni-Cr

Perlakuan	N	$\bar{x}$	Kemaknaan statistik
Kontrol	10	0,9040	Bermakna (P<0,05)
Pengulangan ke-1	10	1,3420	
Pengulangan ke-2	10	1,7930	
Pengulangan ke-3	10	2,2450	
Probabilitas	$4,8 \times 10^{-13}$		

Hasil uji Anava menunjukkan perbedaan yang bermakna terhadap nilai rata-rata pengukuran ketepatan dimensi horizontal aloi nikel-kromium (Tabel 2). Dari uji Anava yang perbedaanya bermakna dilanjutkan dengan uji-t terhadap pengukuran dimensi horizontal aloi nikel-kromium untuk mengetahui kemaknaan statistik dari masing-masing pengulangan.

Tabel 3 : Hasil uji-t Ketepatan Dimensi Horizontal Ni-Cr antara Kontrol dan Pengulangan tuang ke-1

	Kontrol	Pengulangan tuang ke-1	Kemaknaan Statistik
$\bar{x}$	0,9035	1,3416	Bermakna (P<0,05)
SD	0,2363	0,2516	
N	10	10	
Probabilitas	$4,072 \times 10^{-4}$		

Keterangan

$\bar{x}$  : Rata-rata

SD : Simpangan Standar

N : Jumlah sampel

P : Probabilitas

Tabel 4 : Hasil uji-t Ketepatan Dimensi Horisontal Ni-Cr antara Kontrol dan Pengulangan tuang ke-2

	Kontrol	Pengulangan tuang ke-2	Kemaknaan Statistik
$\bar{x}$	0,9035	1,7931	Bermakna ( $P < 0,05$ )
SD	0,2363	0,2425	
N	10	10	
Probabilitas	$7,1177 \times 10^{-8}$		

Tabel 5 : Hasil uji-t Ketepatan Dimensi Horisontal Ni-Cr antara Kontrol dan Pengulangan tuang ke-3

	Kontrol	Pengulangan tuang ke-3	Kemaknaan Statistik
$\bar{x}$	0,9035	2,2449	Bermakna ( $P < 0,05$ )
SD	0,2363	0,2800	
N	10	10	
Probabilitas	$4,482 \times 10^{-10}$		

Tabel 6 : Hasil uji-t Ketepatan Dimensi Horisontal Ni-Cr antara Pengulangan tuang ke-1 dan Pengulangan tuang ke-2

	Pengulangan tuang ke-1	Pengulangan tuang ke-2	Kemaknaan Statistik
$\bar{x}$	1,3416	1,7931	Bermakna ( $P < 0,05$ )
SD	0,2516	0,2425	
N	10	10	
Probabilitas	$3,469 \times 10^{-4}$		

Keterangan

$\bar{x}$  : Rata-rata

SD : Simpangan Standar

N : Jumlah sampel

P : Probabilitas

Tabel 7 : Hasil uji-t Ketepatan Dimensi Horisontal Ni-Cr antara Pengulangan tuang ke-1 dan Pengulangan tuang ke-3

	Pengulangan tuang ke-1	Pengulangan tuang ke-3	Kemaknaan Statistik
$\bar{x}$	1,3416	2,2449	Bermakna ( $P < 0,05$ )
SD	0,2516	0,2800	
N	10	10	
Probabilitas	$2,582 \times 10^{-7}$		

Tabel 8 : Hasil uji-t Ketepatan Dimensi Horisontal Ni-Cr antara Pengulangan tuang ke-2 dan Pengulangan tuang ke-3

	Pengulangan tuang ke-2	Pengulangan tuang ke-3	Kemaknaan Statistik
$\bar{x}$	1.7931	2,2449	Bermakna ( $P < 0,05$ )
SD	0.2425	0,2800	
N	10	10	
Probabilitas	$5,784 \times 10^{-4}$		

Keterangan

$\bar{x}$  : Rata-rata

SD : Simpangan Standar

N : Jumlah sampel

P : Probabilitas

Dari uji-t yang dilakukan untuk semua perlakuan menunjukkan hasil yang bermakna.

## V PEMBAHASAN

Hasil pengamatan pengukuran ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yang dituang ulang sampai tiga kali, nilai rata-ratanya menunjukkan peningkatan seiring dengan penuangan berulang yang dilakukan dan terdapat perbedaan dimensi horisontal. Rata-rata perbedaan dimensi horisontal yang dihasilkan yaitu untuk kontrol  $0,904 \mu\text{m}$ , pengulangan tuang ke-1 sebesar  $1,342 \mu\text{m}$ , pengulangan tuang ke-2 sebesar  $1,793 \mu\text{m}$ , dan pengulangan tuang ke-3 sebesar  $2,243 \mu\text{m}$ . Setelah dilakukan penghitungan anava menghasilkan perbedaan dimensi horisontal yang sangat bermakna  $P = 4,8 \times 10^{-13}$ /lebih kecil dari  $0,05$  (tabel 2). Karena hasil penghitungan anava bermakna maka dilanjutkan dengan uji-t. Hasil uji-t yang dilakukan dengan membandingkan masing-masing perlakuan juga diperoleh hasil yang bermakna (Tabel 3, 4, 5, 6, 7 dan 8).

Hasil perbandingan antara kontrol dengan semua pengulangan menghasilkan nilai probabilitas yang lebih kecil dari  $0,05$  yang berarti terjadi perbedaan yang bermakna pada ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yang dituang ulang sampai tiga kali penuangan. Setiap dilakukan penuangan berulang menghasilkan nilai probabilitas yang semakin kecil yaitu untuk perbandingan kontrol dengan pengulangan tuang ke-1  $P = 4,072 \times 10^{-4}$ , kontrol dengan pengulangan tuang ke-2  $P = 4,117 \times 10^{-8}$ , dan kontrol dengan pengulangan tuang ke-3  $P = 4,481 \times 10^{-10}$ . Hal ini berarti terjadi peningkatan kemaknaannya dan semakin tinggi perbedaan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yang dihasilkan. Begitu juga antara pengulangan tuang ke-1 dengan pengulangan tuang

ke-2 dan pengulangan tuang ke-1 dengan pengulangan tuang ke-3 serta pengulangan tuang ke-2 dengan pengulangan tuang ke-3 menghasilkan nilai probabilitas yang lebih kecil dari 0,05 yang berarti ada perbedaan ketepatan dimensi yang bermakna juga. Dari hasil analisa data tersebut dapat diketahui, terjadi perbedaan ketepatan dimensi horisontal yang semakin bermakna dan semakin besar perbedaan dimensi horisontal yang dihasilkan setiap dilakukan penuangan berulang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketepatan dimensi horisontal penuangan berulang aloinikel-kromium yang masih dapat dikatakan baik adalah pada pengulangan tuang pertama sedang yang terburuk pada pengulangan tuang ketiga.

Hal ini terjadi karena pada penuangan berulang aloi nikel-kromium sampai tiga kali pada setiap penuangan selalu diikuti dengan penyusutan. Seperti yang dikemukakan oleh Phillips (1982) bahwa setiap aloi akan mengalami penyusutan pada saat penuangan dan disebutkan bahwa aloi emas mengalami penyusutan sebesar 1,25% - 1,5%, aloi dengan dasar Co-Cr sebesar 2,3 % dan aloi dengan dasar Ni-Cr penyusutannya sebesar 2,0%. Jadi dalam setiap proses penuangan yang diulang-ulang akan selalu diikuti dengan penyusutan dari aloi yang dituang ulang. Apabila aloi nikel-kromium dituang akan mengalami penyusutan sebesar 2,0 % maka sudah nyata, kalau dituang secara berulang-ulang akan menghasilkan penyusutan yang lebih besar sehingga perbedaan dimensi yang dihasilkan juga akan semakin besar seperti yang terjadi pada penelitian ini. Menurut Lewis (1975a) penyusutan logam selama penuangan terjadi pada dua tahap yaitu pertama ketika aloi kehilangan volumetrik pada saat aloi masih cair. Tahap kedua terjadi

ketika kontraksi penuangan yang diikuti pemadatan. Dengan demikian ketika aloi yang sama dituang berulang-ulang penyusutan yang terjadi semakin besar sehingga perbedaan dimensi horisontal akan semakin besar.

Penyusutan aloi dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya dipengaruhi bahan tanam. Bahan tanam yang digunakan akan memberikan perimbangan terhadap penyusutan aloi dalam bentuk ekspansi. Ekspansi dari suatu bahan tanam dipengaruhi oleh temperatur pemanasan, apabila bahan tanam dipanaskan dalam suhu tinggi maka bahan tanam akan mengalami kontraksi yang disertai dekomposisi. Dekomposisi ini tidak saja menyebabkan penyusutan tetapi juga menyebabkan kontaminasi aloi yang dituang. Pada saat temperatur turun setelah selesai proses penuangan akan terjadi kontraksi pada bahan tanam sehingga terjadi kurva ekspansi yang tidak sama dengan kurva kontraksi sehingga menyebabkan cetakan menjadi lebih kecil  $\pm 1\%$  dari bentuk semula (Ronny, 1999).

Faktor lain yang menentukan perbedaan dimensi horisontal dari hasil tuangan adalah adanya porositas. Porositas yang terjadi pada hasil tuangan dalam penelitian ini ternyata semakin bertambah seiring dengan penuangan berulang-ulang, diduga porositas berhubungan dengan penyusutan aloi yang dituang. Sedangkan penyusutan akan menyebabkan perbedaan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yang dituang. Dalam penelitian Lewis (1975a) disebutkan bahwa ada tiga faktor yang mendorong terjadinya mikroporositas dalam suatu aloi yaitu pertama penyusutan, kedua evolusi gas, dan ketiga komposisi aloi. Selanjutnya dalam penelitian Lewis (1977) disebutkan bahwa porositas disebabkan kurangnya

(tidak adanya) penambahan logam baru yang dituang ulang untuk mengimbangi logam yang hilang selama proses penuangan. Pengaruh evolusi gas dalam pembentukan porositas disebabkan oleh ruang cetakan yang terisi udara/gas sebelum penuangan, sehingga logam cair ketika masuk kedalam cetakan gas akan terdorong keluar. Apabila gas tersebut tidak bisa keluar (terjebak) maka gas-gas tersebut akan terlarut dalam aloi ketika proses pemadatan, sehingga menyebabkan porositas. Menurut Dahar (1996b) peristiwa oksidasi yang terjadi selama proses penuangan menyebabkan sebagian dari oksigen terperangkap dalam logam cair dan tidak sempat keluar ketika logam menjadi padat, akibatnya akan terbentuk porositas. Porositas ini dapat menurunkan kualitas hasil tuangan dan bisa juga menyebabkan perbedaan ketepatan dimensi horisontal dari aloi nikel-kromium yang dituang ulang.

Komposisi unsur yang menyusun aloi nikel-kromium sangat berpengaruh terhadap hasil tuangan meskipun unsur yang terkandung dalam jumlah yang sangat kecil. Besi, *copper* (tembaga), berilium, molibdenum dalam jumlah sedikit membantu dalam proses pengerasan larutan ketika larutan menjadi padat. Berilium yang ditambahkan selain sebagai pengeras dan memperbaiki struktur butiran juga berfungsi mengurangi fusi suhu. Silikon dan mangan yang berperan dalam proses pengerasan juga berfungsi sebagai *Scavenger* Oksida. Fungsi *scavenger* oksida yaitu untuk mencegah terjadinya oksidasi dari unsur-unsur lain selama proses penuangan. Unsur *scavenger* akan bereaksi dengan oksigen dan berubah menjadi kerak. Hilangnya sebagian unsur *scavenger* ketika penuangan akan berpengaruh pada prosentase kadar unsur dalam komposisi aloi. Dalam

penelitian Dahar (1996a) diperoleh bahwa tidak hanya unsur *scavenger* saja yang mengalami penurunan akan tetapi termasuk sejumlah unsur tambahan lainnya yang berpengaruh terhadap kualitas sifat yang dimiliki aloi. Dalam proses penuangan yang berulang-ulang tanpa penambahan logam baru unsur yang hilang karena menguap akan semakin bertambah banyak, sehingga hilangnya unsur-unsur tersebut berpengaruh terhadap kualitas hasil tuangan dan dapat menyebabkan perbedaan dimensi yang semakin besar.

Hilangnya unsur tambahan aloi yang dituang juga disebabkan adanya perbedaan antara titik lebur nikel-kromium dengan titik lebur unsur tambahan yang terdapat dalam aloi nikel-kromium. Titik lebur aloi nikel-kromium yaitu antara 1200 -1500° C sedangkan ada beberapa unsur tambahan yang memiliki titik lebur jauh dibawah titik lebur nikel-kromium, seperti seng dan alumunium. Titik lebur seng yaitu 419,5° C dan alumunium titik leburnya yaitu 660° C. Dengan adanya perbedaan titik lebur ini maka jika dilakukan penuangan akan mengalami penguapan terlebih dahulu sebelum logam yang lain lebur semua karena unsur tersebut terlebih dahulu lebur, semakin tinggi suhu yang digunakan maka akan semakin banyak yang menguap. Sehingga apabila dituang berulang-ulang unsur tambahan tersebut semakin sedikit bahkan akan hilang. Hal ini akan berpengaruh terhadap hasil tuangan, hasil tuangan akan semakin tidak akurat karena adanya perubahan komposisi unsur.

Unsur tambahan paling kritis yang menyusun aloi nikel-kromium adalah unsur karbon, tetapi mempunyai pengaruh yang sangat nyata terhadap kekuatan, kekerasan dan *ductility* dari aloi. Karbon dapat membentuk karbida dengan



beberapa unsur logam. Presipitasi karbida adalah faktor yang sangat penting dalam memperkuat aloi. Larutan karbon padat dalam nikel murni menurun sekitar 5.0% pada suhu eutectic 1315°C hingga sekitar 0,2% pada suhu ruangan dan umumnya karbon sedikit larut dalam aloi nikel (Phillips, 1982; Lewis, 1979). Jadi jika karbon dipanaskan dengan suhu tinggi akan mengalami penguapan, sehingga dalam proses penuangan berulang-ulang tanpa penambahan logam baru kadar karbon yang terkandung akan semakin kecil, hal ini akan mempengaruhi hasil tuangan. Dalam penelitian Lewis (1975b) disebutkan akibat kehilangan karbon yang paling serius adalah hilangnya karbon bersamaan dengan penurunan secara simultan dari alumunium yang dapat dijadikan sebagai alasan utama dalam penurunan nilai kekuatan aloi nikel-kromium yang dituang berulang-ulang.

Pada penelitian yang telah dilakukan ini pada saat penuangan tidak ditambahkan adanya flux dan tidak dilakukan *pickling*, padahal flux dan *pickling* mempunyai fungsi melarutkan oksida-oksida yang terbentuk pada saat penuangan. Adanya oksida akan memperburuk hasil tuangan karena oksida yang terbentuk berhubungan dengan terbentuknya porositas. Sehingga semakin banyak oksida yang terbentuk maka semakin tidak akurat hasil tuangan. Menurut Combe (1992) flux belakangan ini banyak digunakan terutama untuk aloi yang mengandung kromium karena sanggup melarutkan film oksida yang dipasifkan.

Untuk memperbaiki kualitas hasil tuangan selama proses penuangan yang berulang-ulang dapat dilakukan dengan penambahan logam baru untuk proses penuangan selanjutnya. Penambahan logam baru diharapkan dapat mengganti unsur-unsur yang hilang karena penguapan selama proses penuangan aloi yang

berulang-ulang. Dalam penelitian Nelson (1986) diperoleh bahwa logam bekas yang berasal dari aloi nikel-kromium dapat dimanfaatkan lagi untuk dituang ulang asal dicampur dengan logam baru (ingot) dalam jumlah perbandingan yang sama pada setiap kali dilakukan penuangan ulang. Penelitian Dahar (1996b) juga menunjukkan bahwa logam antamal 101 dapat didaur ulang dengan penambahan logam baru dalam perbandingan jumlah yang sama. Combe (1992) menyatakan bahwa aloi emas bisa dituang ulang asalkan tidak dicampur dengan kelebihan aloi dari berbagai tipe yang berbeda. Kelebihan aloi tersebut tidak dicairkan lebih dari dua atau tiga kali, karena unsur seng yang berguna untuk mengikat oksigen dapat hilang karena penguapan, untuk itu perlu penambahan aloi baru.

## VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Hasil penelitian dari ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yang dituang ulang diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- a. Hasil rata-rata pengukuran ketepatan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yaitu kontrol sebesar  $0,904 \mu\text{m}$ , Pengulangan tuang ke-1 sebesar  $1,342 \mu\text{m}$ , pengulangan ke-2 sebesar  $1,793 \mu\text{m}$ , dan pengulangan tuang ke-3 sebesar  $2,244 \mu\text{m}$ .
- b. Perbedaan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan penuangan berulang yang dilakukan.
- c. Penuangan berulang tidak bisa dilakukan karena terjadi perbedaan dimensi horisontal aloi nikel-kromium yang ditunjukkan dengan hasil uji-t yang bermakna pada penelitian ini.

### 6.2 Saran

Prosedur pickling seharusnya digunakan dalam penuangan berulang dan dalam pemanfaatan aloi nikel-kromium yang dituang secara berulang-ulang perlu ditambahkan logam baru (ingot) dalam proses penuangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Combe, E.C., (terjemahan Tarigan, S.). 1992, **Sari Dental Material**, Balai Pustaka, Jakarta, hal 75 – 93.
- Dahar, E., 1996a, **Pengaruh Daur Ulang Logam Padu terhadap Kualitas Hasil Tuangan**, Majalah Kesehatan Gigi Indonesia, 11 (1) : 28 – 30.
- Dahar, E., 1996b, **Pengaruh Penuangan Berulang Logam campur Antamal 101 terhadap Kekerasan dan Komposisi Hasil Tuangan**, Majalah Kedokteran Gigi USU, 1 : 50 -54.
- Hamzah, Z., 1989, **Pengaruh Ketebalan Kaoliner Kering terhadap Perubahan Dimensi Coran Logam**, Fakultas Pertanian Universitas Jember, Jember, hal : 12
- Inoue, K., T. Murakami, dan Y. Terada., 1992, **The Bond Strength of Porcelain to Ni-Cr Alloy-The influence of Tin or Chromium Plating**, J. Pros. Dent., 5 (3) : 262-268.
- Lewis, A.J., 1975a, **Microporosity in Casting Alloys**, Australian Dental Journal, 20 (3) : 161-166.
- Lewis, A.J., 1975b, **Changes in The Composition of a Nickel Base Partial Denture Casting Alloy Upon Fusion and Casting**, Australian Dental Journal 20 (1) : 14-18.
- Lewis, A.J., 1977, **The Influence of The Refractory Investment on The Development of Porosity in Cast Structures**, Australian Dental Journal, 22 (6) : 456-457.
- Lewis, A.J., 1979, **The Effect of Carbon on The Metallography of a Nickel Base Removable Partial Denture Casting Alloy**, Australian Dental Journal, 24 (2) : 91-93.
- Mc.Cabe, J.F., 1990, **Applied Dental Materials**, 7<sup>th</sup> edition, Oxford Blackwell scientific Publication, London, hal 58 – 63.
- Mc.Lean, J.W., 1979, **The Future of Restorative Materials**, J. Pros. Dent. 42 (2)

Laporan 2. Hasil Analisa Varians Pada Pengukuran Ketepatan Dimensi Horizontal Aloi Ni – Cr Hasil Penuangan Ulang.

ONE-WAY ANOVA

GROUP	MEAN	N
1	.904	10
2	1.342	10
3	1.793	10
4	2.245	10
<b>GRAND MEAN</b>	1.571	40

SOURCE	SUM OF SQUARE	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
BETWEEN	10.016	3	3.339	52.094	4.800E-13
WITHIN	2.307	36	.064		
TOTAL	12.323	39			

Lampiran 3. Uji -t Antara Kontrol Dengan Pengulangan Tuang ke-1

	GROUP 1	GROUP 2
MEAN	.9035	1.3416
STD. DEV.	.2363	.2516
N	10	10
	DIFFERENCE	-.4381
	STD. ERROR OF DIFFERENCE	.1091

T = -4.0138

(D.F. = 18)

GROUP 1 : Kontrol

GROUP 2 : Ulang-1

PROB. = 4.072E-04

Lampiran 4. Uji -t Antara Kontrol Dengan Pengulangan Tuang ke-2

	GROUP 1	GROUP 2
MEAN	.9035	1.7931
STD. DEV.	.2363	.2425
N	10	10
	DIFFERENCE	-.8896
	STD. ERROR OF DIFFERENCE	.1071

T = -8.3087

(D.F. = 18)

GROUP 1 : Kontrol

GROUP 2 : Ulang-2

PROB. = 7.117E-08

Lampiran 5. Uji –t Antara Kontrol Dengan Pengulangan Tuang ke-3

	GROUP 1	GROUP 2
MEAN	.9035	2.2449
STD. DEV.	.2363	.2800
N	10	10
	DIFFERENCE	-1.3414
	STD. ERROR OF DIFFERENCE	.1159

T = -11.5777

(D.F. = 18)

GROUP 1 : Kontrol

GROUP 2 : Ulang-3

PROB. = 4.482E-10

Lampiran 6. Uji -t Antara PengulanganTuang ke-1 Dengan Pengulangan  
Tuang ke-2

	GROUP 1	GROUP 2
MEAN	1.3416	1.7931
STD. DEV.	.2516	.2425
N	10	10
	DIFFERENCE	-.4515
	STD. ERROR OF DIFFERENCE	.1105

T = -4.0858

(D.F. = 18)

GROUP 1 : Ulang-1

GROUP 2 : Ulang-2

PROB. = 3.469E-04

Lampiran 7. Uji -t Antara Pengulangan Tuang ke-1 Dengan Pengulangan Tuang ke-3

	GROUP 1	GROUP 2
MEAN	1.3416	2.2449
STD. DEV.	.2516	.2800
N	10	10
	DIFFERENCE	
		-.9033
	STD. ERROR OF DIFFERENCE	
		.1190

T = -7.5877

(D.F. = 18)

GROUP 1 : Ulang-1

GROUP 2 : Ulang-3

PROB. = 2.582E-07

Lampiran 8. Uji -t Antara Pengulangan Tuang ke-2 Dengan Pengulangan Tuang ke-3

	GROUP 1	GROUP 2
MEAN	1.7931	2.2449
STD. DEV.	.2425	.2800
N	10	10
	DIFFERENCE	-.4381
	STD. ERROR OF DIFFERENCE	.1091

T = -3.8563

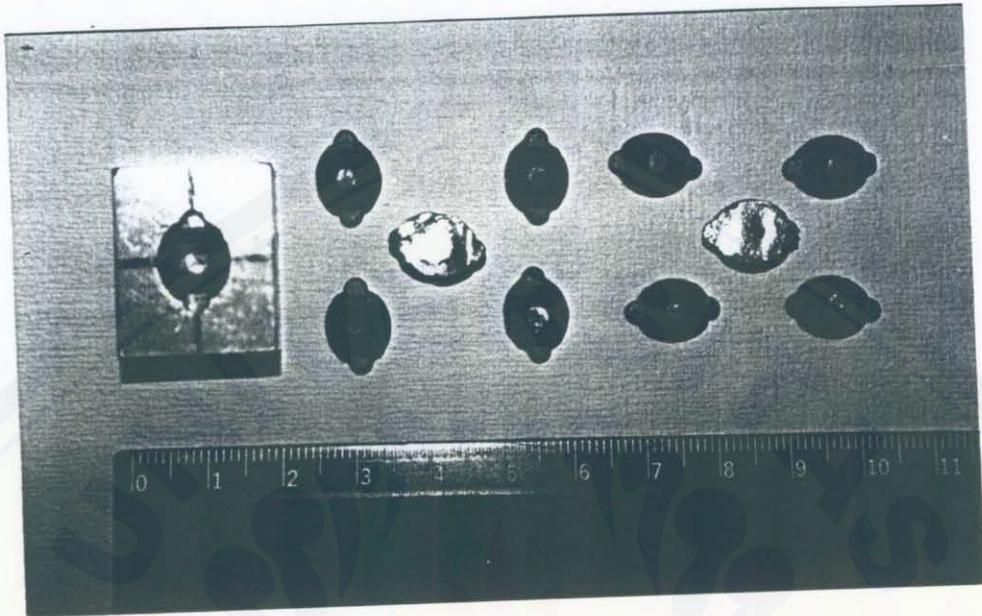
(D.F. = 18)

GROUP 1 : Ulang-2

GROUP 2 : Ulang-3

PROB. = 5.784E-04

Lampiran 9. Foto Hasil Penelitian

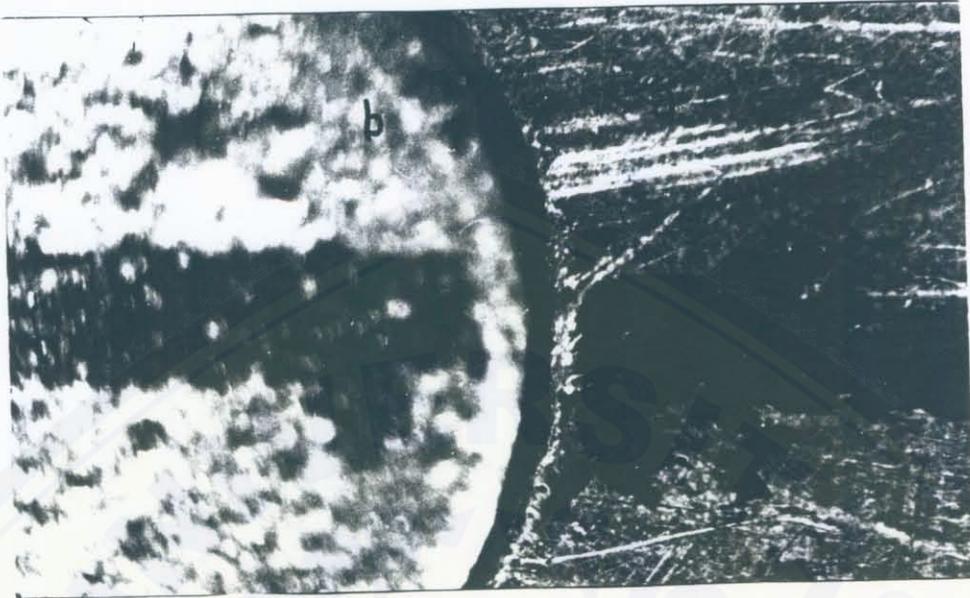


Gambar 1. Model master dan hasil penuangan aloi nikel-kromium (sampel)



Gambar 2. Sampel (hasil tuangan pertama/kontrol) pada model master saat diukur.

- a. Model Master
- b. Sampel (Hasil Coran)
- c. Celah yang Diukur



Gambar 3. Sampel (hasil penuangan ulang ke-1) pada model master saat diukur.

- a. Model Master
- b. Sampel
- c. Celah yang Diukur



Gambar 4. Sampel (hasil penuangan ulang ke-2) pada model master saat diukur.

- a. Model Master
- b. Sampel
- c. Celah yang Diukur



Gambar 5. Sampel (hasil penuangan ulang ke-3) pada model master saat diukur.

- a. Model Master
- b. Sampel
- c. Celah yang Diukur