



**PERBANDINGAN POROSITAS KETIGA BAHAN
LOGAM TUANG Ag ALOI, Cu ALOI, DAN NiCr ALOI**

**KARYA TULIS ILMIAH
(SKRIPSI)**

Dijadikan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Kedokteran Gigi
Pada Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Jember



Asal :	Radish	Klass
No. Induk :	18 NOV 2005	669.14.
Objek katalog :	Jm	WID P

Sylvia Widhihapsari
001610101080

Pembimbing :

drg. FX Ady Soesetijo, Sp. Pros. (DPU)
drg. Dewi Kristiana, M.Kes. (DPA)

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS JEMBER
2005**



**PERBANDINGAN POROSITAS KETIGA BAHAN
LOGAM TUANG Cu ALOI , Ag ALOI dan NiCr ALOI**

**KARYA TULIS ILMIAH
(SKRIPSI)**

Diajukan Sebagai Salah satu Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Kedokteran Gigi pada
Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Jember

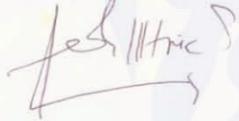
Disusun oleh :

Sylvia Widhihapsari
011610101080

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota


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


drg. Dewi Kristiana, M. Kes.
NIP. 132 206 085

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS JEMBER**

2005

ii

Diterima Oleh :

Fakultas Kedokteran Gigi

Universitas Jember

Sebagai Karya Tulis Ilmiah (Skripsi)

Dipertahankan pada :

Hari : Selasa

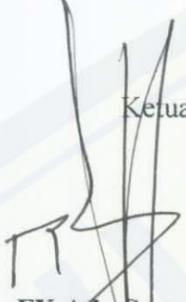
Tanggal : 30 Agustus 2005

Tempat : Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Jember

TIM PENGUJI,

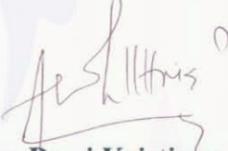
Ketua,

Sekretaris,


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


drg. Amiyatun Naini, M. Kes.
NIP. 132 232 443

Anggota,

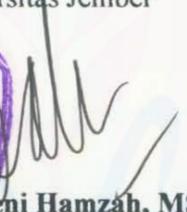

drg. Dewi Kristiana, M. Kes.
NIP. 132 206 085

Mengesahkan

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi

Universitas Jember




drg. Zahneni Hamzah, MS.
NIP. 131 558 576

Motto :

“Tiada yang dapat menolong kita selain ilmu yang bermanfaat yang dapat menjadi bekal dunia dan akherat. Maka pergunakanlah waktu sebaik mungkin untuk belajar, beribadah dan beramal baik seperti orang-orang dekat kita menggunakan waktunya untuk bekerja dan berusaha, memeras keringat, membanting tulang, serta berdoa tiada henti untuk menjadikan kita orang yang berguna”

PERSEMBAHAN

Dengan segenap rasa hormat dan cinta, kupersembahkan karya ini untuk :

- *Rabku Allah SWT yang telah tiada henti melimpahkan rahmat dan hidayahNya.*
- *Ayahku tercinta alm.Bpk Soedjiharso, semoga diampuni semua dosa-dosanya selama di dunia dan diterima disisi Allah SWT.amien. Aku akan terus berusaha meneruskan pengabdianmu.*
- *Ibuku tercinta Ibu Sri Sujarmani yang telah mencurahkan segenap kasih sayang, pengorbanan, kesabaran dan doa yang tiada henti demi kesuksesanku.*
- *Kakak-kakaku tersayang Wilyardhono SE,Ak dan Tino Widhiawan SE terimakasih atas kasih sayang, pengorbanan, dan dukungannya selama ini.*
- *Ponakanku tersayang Karina Nayla Putri*
- *Kel.Ibu Ratnawati dan Kel.Bpk Bambang Riady sebagai sumber inspirasi dan semangatku.*
- *Guru-guruku tercinta yang telah menuntunku menjadi orang yang berguna.*
- *Almamaterku yang kubanggakan.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, hanya dengan izin dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan Karya Tulis Ilmiah yang berjudul Perbandingan **Porositas Ketiga Bahan Logam Tuang Ag aloi, Cu aloi, dan NiCr aloi**. Penulisan Karya Tulis Ilmiah ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. **drg. Zahreni hamzah, M.S**, selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.
2. **drg. FX Ady Soesetijo, Sp. Pros**, selaku Dosen Pembimbing Utama dan **drg. Dewi Kristiana, M. Kes**, selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan sejak awal penelitian hingga selesainya penyusunan Karya Tulis Ilmiah ini.
3. **drg. Amiyatun Naini, M. Kes**, selaku sekretaris yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan Karya Tulis Ilmiah ini.
4. **drg. Yanni Corvianindya Rahayu M.KG**, selaku Dosen Wali yang telah membimbing penulis.
5. **drg. Rudy Julianto M.Biomed**, yang telah memberi kesempatan penulis belajar dan memberikan bimbingannya.
6. **Achmad Soebagio, M.Agr, Ph.D** atas bimbingan dan bantuan pemikirannya.
7. **Bapak Bambang Sumantri, ST** atas bantuan dan bimbingan selama penelitian di ITS Surabaya.
8. Ibuku, Mas Willy, Mas Tino, Mbak Diah dan Mbak Alin, Karina yang telah memberikan kasih sayang, semangat dan perhatiannya.
9. Semua keluarga di Jakarta dan Bogor (Bude Ratna, Om Bambang, Tante Isa, Om Toni, Om Byan, Om Yonie, Om Soni, Om Basuki dan Tante Reni) atas segala bantuan, dukungan, dan perhatiannya selama ini.
10. Adikku (Trula, Mita, Devina, Kanya, Ardine, Ara, de'Rina, dan de'Itha) yang telah mewarnai kehidupanku dengan persaudaraan yang indah ini.

11. Sahabat-sahabatku di Malang Greatta S.Psi, Tias S.Si, dan Yeni S.Ked
thanks for being my spirit and thanks for being my best friend eveytime and everywhere.
12. Seseorang yang pernah mewarnai hari-hariku, terimakasih telah mendidikku untuk mandiri.
13. Sahabat-sahabatku Reni, Amelia, Rini, Rina, Herina, Prima, Riska, Adisti, Febriana, Alfin, Andi W, Khusnul, Maya, Adit, Nugroho, Anggota F4 (mas Yanuar, mas Hengky), mbak Achie, mas Yuska, mas Nurdin, Adie (Gombong),ST, mas Dela, mas Ardi, Diko dan Ali *thank you for all the thing that you have done for me.*
14. Pak Tomo, Mas Heri (Cokro Bersaudara), Kru Rental Langitan atas segala bantuan serta fasilitasnya yang diberikan.
15. Teman-teman kos Biru (Mbak Heni, Mbak Niken, Mbak yeyen, Mbak Indri, Bunge, Ella, Ivon, Asni, Lely, Selvy, dan Siska) Pak Cik, Bu Sih, Mbak Ecy *thank`s for being my 2nd family.*
16. Semua teman-teman angkatan 2001, bravo tuk kalian.
17. Semua Pihak Yang sudah turut mendukung dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu kiranya Allah membalas kebaikan kalian.

Penulis menyadari kelemahannya sebagai manusia dan Karya Tulis Ilmiah ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis selalu membuka diri untuk menerima kritik dan saran. Akhir kata semoga penulisan Karya Tulis Ilmiah ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu kedokteran gigi pada khususnya dan masyarakat pada umumnya, amin.

Jember, September 2005

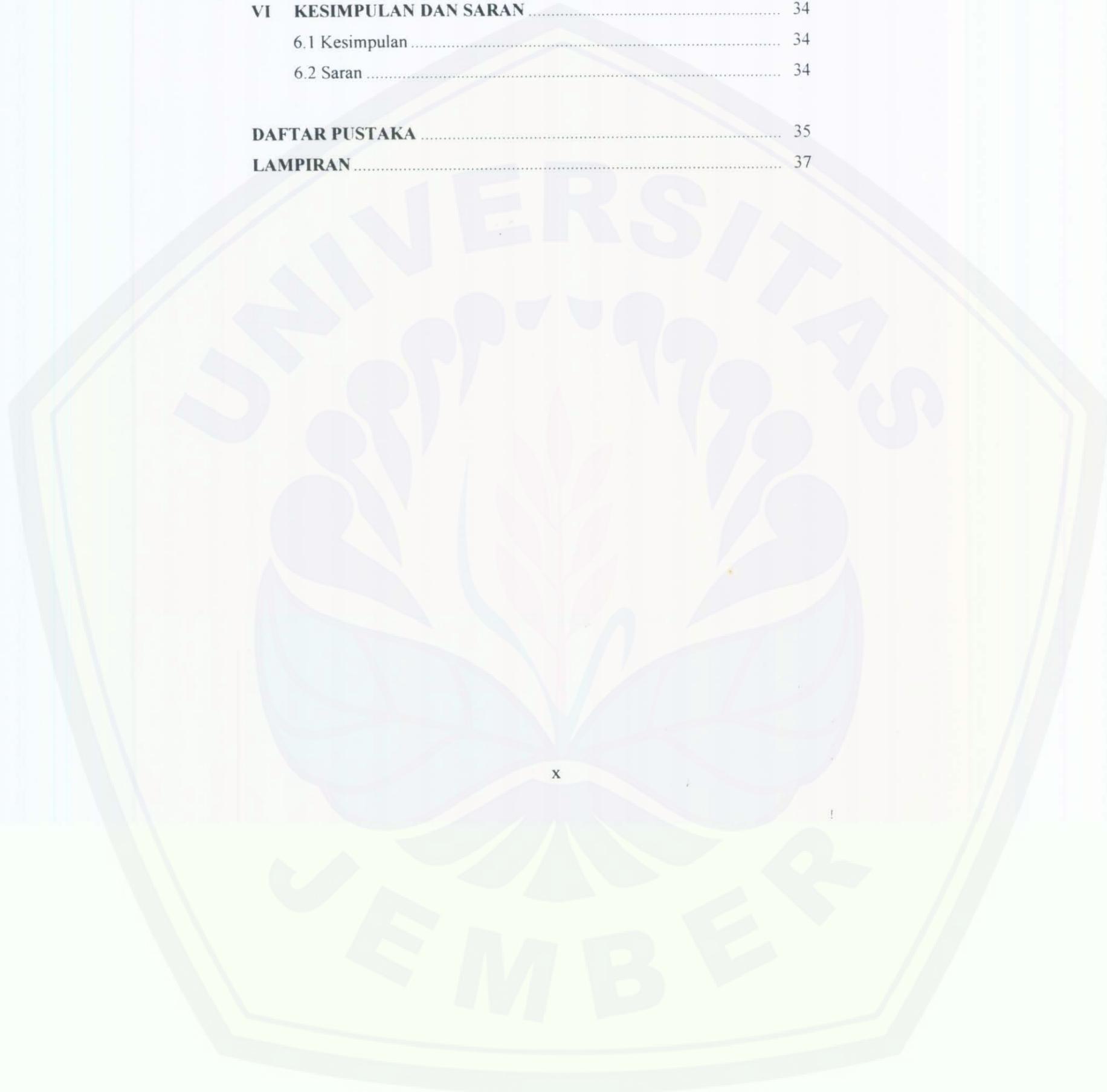
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	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	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Logam	5
2.1.1 Ikatan Logam	5
2.1.2 Sifat-sifat Logam	5
2.1.3 Metode Pembuatan	5
2.2 Aloi	6
2.2.1 Definisi	6
2.2.2 Klasifikasi.....	6
2.2.3 Sifat-sifat Aloi	7
2.2.4 Kegunaan aloi di Kedokteran Gigi	8
2.2.5 Cu (Tembaga).....	9

2.2.6 Ag (Perak).....	10
2.2.7 Nikel	11
2.2.8 Cr (Kromium).....	12
2.2.9 NiCr (Nikel-Kromium).....	12
2.3 Porositas.....	13
2.4 Bahan Tanam Tuang.....	13
2.5 Coran Logam	14
2.6 Pengujian Struktur Kristal.....	15
III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Jenis Penelitian	17
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	17
3.3 Variabel Penelitian.....	17
3.3.1 Variabel Bebas.....	17
3.3.2 Variabel Terikat.....	17
3.3.3 Variabel Kendali.....	17
3.4 Definisi Operasional	18
3.4.1 Logam Tuang Aloi.....	18
3.4.2 Porositas.....	18
3.5 Alat dan Bahan.....	18
3.5.1 Alat	18
3.5.2 Bahan	19
3.6 Pengelompokan Besar Ulangan Sampel	19
3.6.1 Pengelompokan Sampel	19
3.6.1 Besar Ulangan Sampel	20
3.7 Prosedur Kerja	20
3.7.1 Persiapan Penelitian	20
3.7.2 Teknik Penghitungan Porositas Sampel.....	23
3.8 Analisa Data.....	24
3.9 Skema Penelitian	26

IV	HASIL DAN ANALISA DATA	27
	4.1 Hasil Penelitian.....	27
	4.2 Analisa Data.....	27
V	PEMBAHASAN	30
VI	KESIMPULAN DAN SARAN	34
	6.1 Kesimpulan.....	34
	6.2 Saran.....	34
	DAFTAR PUSTAKA	35
	LAMPIRAN	37

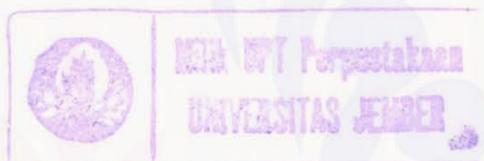


DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 1. Rerata Tingkat Porositas Logam Tuang Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi (dalam %).....	27
Tabel 2. Hasil Uji Normalitas Pada Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi	28
Tabel 3. Hasil Uji Homogenitas Pada Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi...	28
Tabel 4. Hasil Uji <i>Anova</i> Tingkat Porositas Pada Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi	28
Tabel 5 Hasil Uji <i>Tukey HSD</i> Tingkat Porositas Pada Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi	28

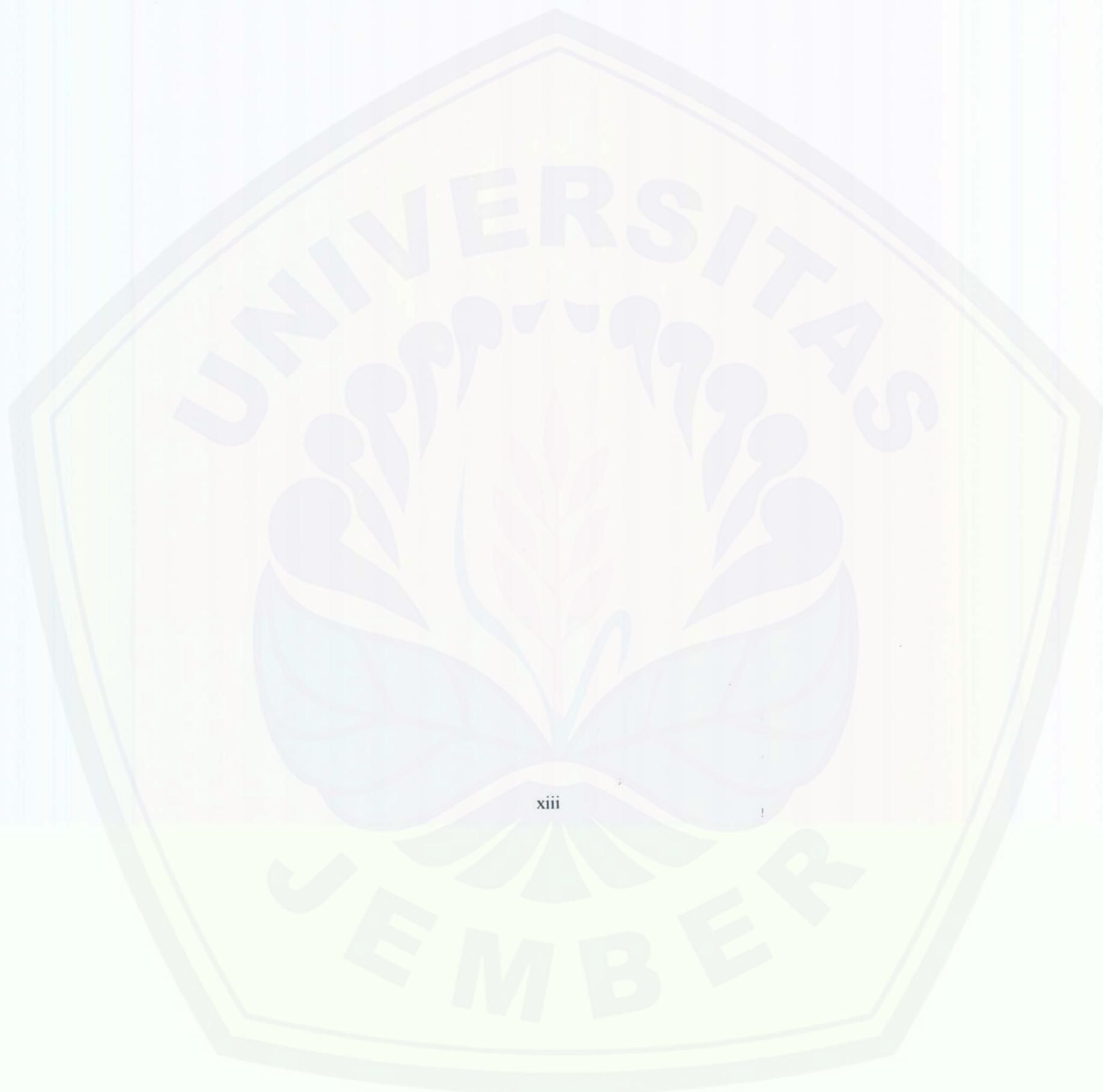
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. <i>Master Mold</i>	23
Gambar 2. Posisi Pemasangan model malam dalam <i>casting ring</i>	23
Gambar 3. Posisi sampel yang telah diberi <i>mounting</i>	23
Gambar 4. Foto <i>Oven</i>	37
Gambar 5. Foto <i>Centrifugal Casting Machine</i>	37
Gambar 6. Foto Mikroskop Optik	37
Gambar 7. Foto Mesin Pulas	37
Gambar 8. Foto Alat Penyembur Api.....	37
Gambar 9. Foto Layar Monitor dan Kaca Skala	37
Gambar 10. Foto Alat Penelitian.....	38
Gambar 11. Foto Bahan Penelitian.....	39
Gambar 12. Gambar kaca skala.....	40
Gambar 13. Sampel.....	40



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Foto Alat, Bahan dan Sampel	37
Lampiran 2. Foto Hasil Penelitian.....	41
Lampiran 3. Contoh Penghitungan.....	42
Lampiran 4. Hasil dan Analisa Data	43



RINGKASAN

Sylvia Widhihapsari, NIM 011610101080, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember, Perbandingan Porositas Ketiga Bahan Logam Tuang Ag aloi, Cu aloi, dan NiCr aloi 47 halaman. Dibawah bimbingan drg. FX Ady Soesetijo, Sp. Pros. (DPU) dan drg. Dewi Kristiana, M. Kes. (DPA).

Masalah gigi berlubang sampai pada kehilangan gigi karena pencabutan merupakan masalah gigi geligi yang sering terjadi di masyarakat. Salah satu cara untuk menanggulangi masalah tersebut adalah dengan membuat restorasi untuk mengembalikan gigi terhadap segala fungsinya. Kesempurnaan restorasi ditentukan oleh bentuk restorasi yang akan dibuat dan bahan-bahan yang akan digunakan, bahan untuk gigi posterior diutamakan yang kuat menahan daya kunyah sedangkan untuk gigi anterior selain faktor kekuatan juga fungsi estetika lebih diperhatikan. Bahan yang lebih tahan terhadap daya kunyah biasanya digunakan logam. Di bidang kedokteran gigi logam yang sering digunakan adalah bentuk logam aloi tuang Ag aloi, Cu aloi dan NiCr aloi karena mudah pengolahannya, harganya cenderung lebih murah dibandingkan logam murni, biasanya digunakan untuk mahkota tiruan dan restorasi jembatan. Pada proses penuangannya ke dalam cetakan, banyak sekali faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil tuangan tersebut, sehingga terjadi cacat pada hasil tuangan, misalnya terjadinya porositas pada permukaan aloi. Berdasarkan hal tersebut, penulis ingin mengetahui bagaimanakah tingkat porositas yang terjadi pada permukaan ketiga bahan logam tuang, yaitu Ag aloi, Cu aloi, dan NiCr aloi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan tingkat porositas antara permukaan Ag aloi, Cu aloi dan NiCr aloi.

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik yang dilaksanakan pada bulan Maret sampai April 2005. Jumlah ulangan pada masing-masing kelompok adalah lima ulangan. Setelah dilakukan pengecoran lalu dipulas sampai dengan grid 2000 kemudian diamati dengan mikroskop optik dan hasil penghitungan dinyatakan dalam bentuk persen (%). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji normalitas kolmogorov – smirnov dan uji homogenitas dengan uji levene kemudian dilanjutkan dengan uji anova dan uji tukey HSD. Hasil menunjukkan bahwa NiCr aloi memiliki tingkat porositas terendah dibandingkan Ag aloi dan Cu aloi. Sedangkan Cu aloi memiliki tingkat porositas tertinggi dibandingkan NiCr aloi dan Ag aloi.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah NiCr aloi memiliki tingkat porositas terendah diantara Ag aloi dan Cu aloi, sedangkan tingkat porositas tertinggi terdapat pada permukaan Cu aloi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gigi merupakan bagian dari tubuh manusia yang cukup penting karena berhubungan langsung dengan sistem pencernaan. Masalah-masalah yang ada pada gigi dapat mempengaruhi fungsi sistem pencernaan, sehingga secara tidak langsung dapat juga mempengaruhi fungsi organ lain yang ada pada tubuh manusia. Salah satu masalah di dalam rongga mulut yang sering dihadapi oleh masyarakat adalah masalah yang berhubungan dengan gigi geligi, misalnya masalah gigi berlubang sampai pada kehilangan gigi karena pencabutan. Masalah gigi tersebut dirasakan masyarakat cukup mengganggu karena terkadang menimbulkan rasa sakit yang berakibat menurunkan efisiensi kerja mereka. Masalah tersebut menggugah para praktisi dan ilmuwan di bidang kedokteran gigi untuk menanggulangi masalah tersebut. Pertama yang harus dilakukan adalah memulai merencanakan sesuatu yang bertujuan untuk mengembalikan gigi pada segala fungsinya diantaranya fungsi pengunyahan dan fungsi estetika. Untuk mengembalikan gigi terhadap segala fungsi tersebut, dibutuhkan suatu restorasi gigi yang dapat menggantikan fungsi-fungsi tersebut secara efektif. Kesempurnaan restorasi tersebut, ditentukan oleh bentuk restorasi yang akan dibuat, kemudian bahan-bahan apa saja yang akan digunakan sehingga dapat memenuhi fungsi-fungsi gigi yang hilang. Untuk gigi posterior, yang lebih utama dipilih ialah bahan yang kuat dalam menahan daya kunyah sedangkan untuk gigi anterior selain faktor kekuatan juga fungsi estetika lebih diperhatikan. Bahan yang lebih tahan terhadap daya kunyah biasanya digunakan logam (Karlina, dkk, 2003).

Logam merupakan suatu elektro positif yaitu memberikan ion positif dalam suatu larutan (Combe,1992). Penggunaan logam dalam industri dan kebutuhan sehari-hari, biasanya logam yang digunakan tidak merupakan senyawa logam, tetapi merupakan paduan. Di bidang kedokteran gigi, logam murni memang sangat jarang dipergunakan (kecuali lembaran emas, dan platinum dalam prosedur pembuatan porselen di laboratorium), karena logam murni terlalu lunak

dan terlalu liat untuk dipergunakan dalam pemakaian di kedokteran gigi (Combe, 1992). Paduan logam dasar (misalnya nikel atau *cobalt* dengan khrom) biasanya mempunyai kekuatan lebih baik dan lebih ekonomis dari segi biaya bila dibandingkan dengan paduan logam mulia seperti emas dan platina, terutama dalam pembuatan mahkota tiruan dan restorasi jembatan. Temperatur lebur logam paduan dasar mempunyai rentang yang lebih besar dibanding paduan logam mulia (Bambang dkk, 2002)

Paduan atau campuran dari dua elemen logam atau lebih disebut aloi atau aliase. Seperti halnya logam, aloi juga memiliki berbagai macam sifat-sifat yang dimiliki oleh logam. Sifat-sifat logam tergantung pada perlakuan termis dan mekanis yang dikenakan. Sifat-sifat aloi tersebut tidak hanya tergantung kepada dua faktor ini, tetapi juga pada komposisinya. Sifat-sifat mekanis suatu aloi dapat berbeda dengan komponen logam atau *metalloid* aslinya. (Combe, 1992).

Logam campur atau aloi dapat diklasifikasikan menurut (1) penggunaan (sebagai inlai logam penuh, mahkota dan jembatan, restorasi logam-keramik, gigi tiruan sebagian lepasan, dan implan); (2) unsur utamanya (emas, paladium, perak, nikel, kobalt, atau titanium); (3) kandungan logam mulianya (sangat mulia, mulia, atau dominan logam dasar); (4) tiga unsur utama (emas-paladium-perak, paladium-perak-timah, nikel-kromium-berilium, kobalt-kromium-molibdenum, titanium-aluminium-vanadium, atau besi-nikel-kromium); dan sistem fase yang dominan isomorfus (fase tunggal), eutetik, peritetik, atau antar logam (Phillips, 2004).

Di bidang kedokteran gigi, aloi yang akan digunakan biasanya dilakukan penuangan terlebih dahulu, yang sering kita sebut sebagai aloi tuang atau *cast alloy*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil aloi yang lebih halus, karena kandungan unsur-unsur campuran logam lain dapat menyebabkan sifat keras, rapuh, dan tidak mudah dibentuk, baik dalam keadaan panas maupun dalam keadaan dingin. Selama proses penuangan dalam cetakan, hasil yang diperoleh akan sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat logam tersebut. Salah satu logam yang memiliki sifat mengikat oksigen pada saat penuangan, hal ini akan menyebabkan adanya udara yang terjebak pada saat pemadatan sehingga timbul porositas pada

permukaan aloi (Craig, 2002). Pada penelitian sebelumnya yang membandingkan keakuratan pencetakan dan *microstructure* permukaan antara *denture framework commercially pure titanium* dan *cobalt-chromium*, juga menyatakan bahwa terdapat suatu porositas pada permukaannya, walaupun tidak ada perbedaan kualitas porositas pada lokasi dan distribusinya (Jang dkk, 2001)

Porositas tersebut dapat terjadi secara internal dan eksternal. Porositas internal dapat terlihat apabila aloi tersebut telah dilakukan pembelahan secara memanjang, sedangkan porositas eksternal dapat dilihat langsung dari permukaan aloi setelah dilakukan pengecoran. Porositas ini merupakan faktor terjadinya kekasaran permukaan, dan biasanya juga sebagai indikasi adanya porus internal. Porus internal tidak hanya dapat memperlemah hasil cetakan, tetapi juga penampilan permukaan. Dan diperkirakan menyebabkan perubahan warna. Porositas yang parah dapat menyebabkan kebocoran pada permukaan restorasi gigi, dan karies sekunder (Phillips, 1991).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka peneliti ingin mengetahui perbandingan porositas eksternal yang terjadi pada permukaan ketiga bahan aloi yang sering digunakan di kedokteran gigi yaitu Ag-aloi, Cu-aloi, dan Ni-Cr-aloi setelah dilakukan pencetakan tuang.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimanakah tingkat porositas yang terjadi pada permukaan ketiga bahan logam tuang, yaitu Ag Aloi, Cu Aloi dan NiCr aloi setelah cetak tuang.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membandingkan tingkat porositas pada permukaan Ag aloi dengan Cu Aloi, dan NiCr aloi.
2. Untuk mengetahui tingkat porositas aloi yang terendah antara Ag aloi, Cu aloi, dan NiCr aloi.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan tambahan informasi mengenai perbandingan tingkat porositas pada permukaan masing-masing bahan Ag aloi, Cu aloi dan NiCr aloi setelah cetak tuang di bidang Kedokteran Gigi pada umumnya dan bidang prostodonsia pada khususnya.
2. Dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan bagi masyarakat luas pada umumnya, dokter gigi dan mahasiswa kedokteran gigi pada khususnya dalam pemakaian aloi di rongga mulut.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam

Logam adalah suatu elektro positif yaitu memberi ion positif dalam larutan (Combe, 1992). Logam murni adalah suatu bahan yang tersusun dari satu elemen logam (Wilson dkk, 1987). Logam berupa *Opaque* dan merupakan penghantar panas yang baik dan penghantar listrik yang baik (Mc. Cabe, 1990).

2.1.1 Ikatan Logam

Sebuah atom logam dengan mudah dapat melepas sebagian elektron luarnya menghasilkan ion positif. Padatan logam yang mengandung ion positif ini dapat bergabung dengan suatu awan elektron bebas. Mobilitas elektron tersebut menunjukkan kemampuan logam untuk menghantar panas dan arus listrik (Combe, 1992). Logam dapat diperoleh baik sebagai elemen murni atau gabungan dengan elemen lain dalam bentuk bijih.

2.1.2 Sifat-Sifat logam

Sifat-sifat karakteristik logam pada umumnya sebagai berikut dibawah ini (Combe, 1992):

- a. Keras
- b. Berkilat
- c. Liat dan dapat dibentuk
- d. Berat, ini berkaitan dengan berat atom elemen dan tipe struktur kisi yang menentukan bagaimana eratnya atom-atom tersebut tersusun.
- e. Penghantar panas dan penghantar listrik yang baik disebabkan sifat ikatan logam.
- f. *Opaque* karena elektron-elektron bebas mengabsorpsi energi elektromagnetik cahaya.

2.1.3 Metode Pembuatan Logam

Menurut Combe (1992) beberapa metode pembuatan logam:

a. *Thermal Methods*

Beberapa oksida dapat langsung diubah menjadi logam dengan pemberian pereduksi, misalnya:



b. *Hydro –metallurgical Methods*

Bijih direndam dalam suatu cairan pelarut yang diencerkan seperti asam sulfur. Elektrolisa cairan tersebut akan menghasilkan logam yang sangat murni, contohnya: perak, seng dan tembaga.

c. *Thermo-elektrolytic*

Dikerjakan dengan elektrolisa suatu mineral yang dicairkan, dipergunakan untuk aluminium, kalsium, sodium dan lain-lain.

2.2 Aloi

2.2.1 Definisi

Menurut Combe (1992), aloi atau aliase adalah campuran dua atau lebih elemen logam. Kadang-kadang konstitusi terpentingnya berupa metaloid atau bahkan suatu non logam dimana campuran elemen tersebut masih menunjukkan sifat-sifat logam.

Aloi adalah suatu logam yang tersusun dari dua atau lebih elemen, dimana aloi dapat berupa campuran dari suatu logam dan non logam. (<http://r-curtis.umds.ac.uk/bds3a/metallurgy.htm>). Aloi adalah suatu bahan yang terdiri dari dua atau lebih logam elemen. Aloi merupakan bahan tradisional yang menggunakan struktur kuat. Bahan tersebut menghantar panas dan listrik dengan baik dan umumnya mengkilat (Wilson dkk, 1987).

2.2.2 Klasifikasi

Aloi dapat diklasifikasikan atas *binary* (terdiri dari dua konstitusi), *tertiary* (tiga konstitusi), *quaternary* (empat konstitusi), dan seterusnya (Combe, 1992).

Menurut Mc Cabe (1990), campuran dari dua logam disebut *binary alloys*, campuran tiga logam, *tertiary alloys* dan seterusnya. Istilah sistem aloi menunjukkan semua kemungkinan komposisi dari suatu aloi. Sebagai contoh

silver-copper menunjukkan aloi dengan komposisi antara 100% *silver* dan 100% *copper*.

Mc. Lean (1979) menyatakan bahwa aloi yang digunakan digolongkan menjadi *precious* aloi dan *non precious* aloi. *Precious* aloi adalah aloi dari logam mulia sedangkan *non precious* aloi yang terbuat dari logam bukan logam mulia.

2.2.3 Sifat-sifat AloI

Sifat-sifat suatu aloi tidak hanya tergantung pada perlakuan temis dan mekanis saja, tetapi juga pada komposisinya. Sifat-sifat mekanis suatu aloi dapat sangat berbeda dengan komponen logam atau metalloid aslinya (Combe, 1992).

Sifat-sifat mekanis aloi :

1. *Work hardening*/pemuaiian (Combe, 1992)

Sifat suatu aloi dapat diubah dengan *cold working* seperti halnya logam.

Konsekuensi dari *work hardening* atau *strain hardening* adalah :

- a) Terjadi kenaikan kekerasan (*hardness*)
- b) *Yield stress* dan *ultimate tensile strength* lebih besar
- c) *Ductility* berkurang

2. *Solution hardening*

Diameter atom dari elemen logam sangat penting, karena mempengaruhi proses pencampuran elemen-elemen dengan diameter sama dapat bercampur dengan baik dan dapat saling menggantikan pada *metal lattice* yaitu suatu pola regulasi geometris dalam ruang kristal, untuk membentuk *solid solution* dan *exhibic complete solid solubility*. Elemen yang tidak sama diameternya tidak tercampur dengan baik karena cenderung untuk mengubah *metal lattice* atau kisi-kisi logam

(<http://r-curtis.umds.ac.uk/bds3a/metallurgy.htm>).

Sebagai konsekuensinya ialah bahwa kisi kristal dari aloi tersebut dirusak oleh adanya atom-atom yang lebih kecil ataupun yang lebih besar. Kerusakan ini menghalangi gerakan dislokasi sehingga meningkatkan *yield stress*. Oleh karena itu aloi-aloi seperti emas yang mengandung tembaga, perak dan sebagainya, lebih keras, lebih kuat dan kurang kenyal dibandingkan dengan emas murni (Combe, 1992).

3. *Order hardening* (Combe, 1992)

Order hardening adalah suatu keadaan dimana *yield stress ultimate tensile strength* dan *hardeness* lebih tinggi akibat dari pembentukan kisi tetragonal dalam struktur kubik dalam jumlah tertentu sehingga terjadi kontraksi salah satu dari sumbu kristal dan timbul strain yang bercampur dengan gerakan dislokasi.

4. *Precipitation hardening*

Sewaktu terjadi pengendapan, fase presipitasi mengurangi pergerakan dislokasi sehingga meningkatkan kekuatan kekerasan dan mengurangi kekenyalan (Combe, 1992).

5. *Alloy Eutectic* (Combe, 1992)

Sifat-sifat umum *alloy eutectic* adalah :

- a) Keras tetapi getas
- b) Mempunyai titik cair rendah dan dapat dipergunakan sebagai solder
- c) Daya tahan terhadap korosi mungkin sangat lemah

2.2.4 Kegunaan Aloi di Kedokteran Gigi

Logam dan aloi digunakan untuk memulihkan dan mengembalikan semua permasalahan pergigian, misalnya bahan tumpatan yaitu menggunakan *silver alloy* yang berisi Ag-Sn-Cu dicampur dengan *mercury* (<http://r-curtis.umds/bds3a/metallurgy.HTM>). Menurut Combe (1992) dental amalgam adalah yang paling banyak dipergunakan untuk bahan tambal gigi, merupakan *alloy silver* dan tin, kadang-kadang diberi sedikit *cuprum* dan *zinc*.

Aloi emas dipergunakan untuk inlay, mahkota, dan jembatan, nickel-chromium dan sebagainya (Combe, 1992). Untuk mahkota atau jembatan sementara dapat menggunakan *wrought titanium*, sedangkan emas tuang aloi untuk permanen dan *dental implant super structure* (<http://r-curtis.umds/bds3a/metallurgy.HTM>). Aloi emas dan aloi yang mengandung kromium digunakan untuk membuat inlay mahkota dan landasan gigi tiruan (Mc. Cabe, 1990).

Combe (1992), menyatakan bahwa untuk landasan gigi tiruan sebagian tuangan dapat digunakan aloi emas, aloi *cobalt-chromium*, aloi *silver-palladium*

dan *aluminium bronze*. *Stainless steel* dapat dipergunakan sebagai landasan gigi tiruan.

Peralatan atau instrumen kedokteran gigi juga dapat dibuat dari bahan *stainless steels* (<http://r-curtis.ums/bds3a/metallurgy.HTM>). *Steel alloy* pada umumnya digunakan untuk konstruksi instrumen dan kawat untuk ortodontis (Mc. Cabe, 1990).

Partial denture framework dapat dibuat dari *cast cobalt chromium alloys*. *Commercially pure titanium* dapat dipergunakan untuk *dental implants* (<http://r-curtis.ums/bds3a/metallurgy.HTM>).

2.2.5 Cu (Tembaga) Aloi

Tembaga adalah suatu logam yang dapat ditempa dan logam yang ulet dengan kemampuan menghantar listrik dan suhu tinggi, yang bercirikan warna merah. Bentukun kuprum yang padat, merupakan gabungan dari emas dan paladium yang merupakan komponen mulia yang penting pada aloi gigi (Craig dkk, 2002).

Sebagian besar penggunaan tembaga dipakai sebagai kawat atau bahan untuk penukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik. Tembaga murni untuk keperluan industri dicairkan dari tembaga yang diproses dengan elektrolisa, dan diklasifikasikan menjadi tiga macam menurut kadar oksigen dan cara dioksidasi, yaitu tembaga ulet, tembaga deoksidasi, dan tembaga bebas oksigen. Menurut Surdia, dkk (2000) dalam tembaga murni terdapat unsur-unsur gas yang memberikan pengaruh terhadap berbagai sifat. Tembaga membentuk larutan padat dengan unsur-unsur logam lain dalam daerah yang luas, dan dipergunakan untuk berbagai keperluan.

Tembaga merupakan elemen terpenting kedua yang menyusun aloi karena tembaga dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan aloi. Ada beberapa alasan mengapa jumlah tembaga diberikan dalam jumlah terbatas, karena tembaga akan mengurangi ketahanan aloi terhadap korosi. Biasanya tidak lebih dari 10-12 % dari tembaga, dapat digunakan dalam restorasi gigi yang akan digunakan dalam rongga mulut (Phillips, 1991).

Menurut Irawan, dkk (2002) dalam penelitiannya dikatakan bahwa paduan berbasis tembaga, dalam penggunaannya memperlihatkan terjadi korosi awal bila direndam dalam air liur buatan. Tetapi tembaga juga mempunyai khasiat menurut Combe (1992), yaitu :

1. Memberikan warna yang kemerah-merahan bila terdapat dalam jumlah yang cukup.
2. Bersifat mengurangi kekerasan atau densitas dari aloi. Densitas kurang lebih setengah dari densitas emas.

Penggunaan tembaga dalam jumlah yang sedikit pada aloi kedokteran gigi dapat menghambat korosi.

2.2.6 Ag (perak) Alo

Perak merupakan satu logam putih yang mudah ditempah dan ulet. Perak ini dikenal sebagai penghantar panas dan listrik yang paling baik, lebih kuat dan keras dibandingkan emas tetapi lebih lunak dari pada tembaga. Titik lebur perak pada $961,9^{\circ}\text{C}$, dimana titik leburnya dibawah titik lebur tembaga dan emas. *Dry air* pada berbagai temperatur tidak akan mengubah keadaannya, tetapi kombinasi dengan sulfur, *chlorin*, *phospor* akan menguapkan elemen dan komponen yang dikandungnya. Makanan-makanan yang mengandung komponen sulfur menyebabkan warna perak memudar dengan hebat, hal itulah alasannya perak tidak dipertimbangkan sebagai logam mulia pada kedokteran gigi. Perak murni mengikat oksigen dalam jumlah yang cukup pada saat melebur, yang akan menimbulkan kesulitan pada penuangan, karena gas akan terbentuk selama pemadatan. Sebagai akibatnya, timbul pit-pit kecil, porus, dan kekasaran pada permukaan cetak. Tendensi ini dapat berkurang bila ditambahkan 5%-10% tembaga pada perak. Inilah alasannya dibuat aloi daripada logam murni. Perak murni tidak digunakan pada restorasi gigi, karena sulfid hitam akan terbentuk di atas logam di dalam rongga mulut. Penambahan paladium dalam jumlah kecil pada *silver alloy*, dapat mencegah korosi aloi di dalam rongga mulut. Walaupun perak dapat bergabung dengan paladium, tetapi penambahan elemen lain untuk aloi seperti tembaga atau indium, mungkin dapat menyebabkan bentukan *multiple phase* dan meningkatkan korosi (Craig, 2002).

Menurut Phillips (1991), perak kebanyakan lebih disukai karena dapat memberikan efek alami pada aloi. Perak juga akan memberikan warna keputihan pada aloi dan mencerahkan warna kuning dari logam emas. Dan menetralsir warna kemerahan yang dihasilkan oleh tembaga.

Combe (1992) menyatakan bahwa perak pada aloi kedokteran gigi mempunyai pengaruh sebagai berikut di bawah ini:

1. Sedikit meningkatkan kekerasan dan kekuatan dengan adanya *solution hardening*.
2. Dapat terjadi *precipitation hardening* bila dalam aloi terdapat kuprum serta pada kondisi suhu yang sesuai.
3. Memungkinkan terjadinya tarnish.
4. *Silver* (perak) cair dapat menyerap gas seperti oksigen sehingga cenderung sebagai penyebab terjadinya porositas sewaktu penuangan.
5. Cenderung memperputih warna aloi serta mengatasi pengaruh warna kemerah-merahan yang ditimbulkan oleh tembaga.

2.2.7 Ni (Nikel)

Nikel adalah suatu perak putih padat, keras, logam transisi yang dapat ditempa dengan nomor atom 28. nikel tahan korosi pada suhu tinggi, dan akhirnya ini penggunaan aloi tersebar luas termasuk pada *stainless steel* (http://www.nipera.org/dental_1cfm#1.2.Propertiesofnikel).

Nikel terutama dibuat dengan elektrolisa. Nikel adalah logam yang berwarna perak keabu-abuan mempunyai sel satuan kubus berpusat muka dengan massa jenis 8,7 hampir sama dengan Cu (Tembaga). Nikel baik sekali dalam ketahanan panas dan ketahanan kerosinya, tidak rusak oleh air kali atau air laut dan alkali. Tetapi bisa rusak oleh asam nitrat dan sedikit tahan korosi terhadap asam khlor dan asam sulfat (Surdia, 2000).

Nikel memiliki keterbatasan aplikasi pada emas dan paladium, tetapi pada umumnya *dental alloy* berupa komponen bukan mulia. Nikel memiliki titik lebur 1453⁰ C dan densitas 8,91 g/cc. Penambahan aloi dasar emas dalam jumlah kecil akan memutihkan nikel aloi dan menambah kekuatan dan kekerasannya. Aloi dasar nikel dapat digunakan lebih dari 15 tahun (Craig, 2002).

2.2.8 Cr (Kromium)

Menurut Craig (2002), kromium bertanggung jawab terhadap tarnish dan ketahanan korosi pada aloi. Apabila kromium terkandung dalam suatu aloi, lebih tinggi dari 30%, maka aloi akan lebih sulit untuk dicetak. Dengan persentase kromium tersebut, aloi juga membentuk suatu *phase brittle*, yang dikenal dengan *sigma phase*. Oleh karena itu, logam dasar tuang aloi sebaiknya tidak mengandung lebih dari 28% atau 29% kromium.

2.2.9 Ni-Cr (Nikel-Kromium) Alo

Paduan yang terdiri dari 20% nikel dan 80% kromium dinamakan nikhrom dan sejak lama telah digunakan untuk kawat pemanas listrik (Surdia, 2000).

Logam yang sering digunakan sebagai bahan restorasi mahkota atau jembatan adalah logam NiCr, karena NiCr mempunyai sifat kekuatan dan kekenyalan tinggi. Akan tetapi NiCr mempunyai kekurangan yaitu kontraksi yang besar pada saat pendinginan logam cair, dan untuk mencairkan membutuhkan panas tinggi. Logam campur NiCr termasuk *base metal alloys* (logam dasar yang tidak termasuk emas, perak, platinum, atau paladium) dengan komposisi nikel sebanyak 70-80%, kromium sebanyak 10-25% dan ditambah dengan beberapa persen logam tambahan tergantung pabrik.

NiCr mempunyai titik lebur bervariasi tergantung dari komposisinya, biasanya berkisar antara 1200-1500⁰C. logam campur NiCr termasuk logam yang sangat keras, dan mempunyai *casting shrinkage* yang cukup tinggi, yaitu antara 2-3% (Soekartono, 2001).

2.3 Porositas

Logam yang dihasilkan dari bentuk metalurgi sering mengikat gas yang dapat dibebaskan saat peleburan, dan efek ini dapat menyebabkan porus. Porositas mungkin juga dapat diakibatkan dari pembersihan permukaan logam yang tidak sempurna (Van Vlack dkk, 1990).

Menurut Phillips (1991), porositas diklasifikasikan sebagai berikut di bawah ini :

1. Porositas yang disebabkan oleh *shrinkage* pada saat pemadatan
 - a. Porositas *shrinkage* yang terlokalisir
Porositas *shrinkage* pada umumnya terjadi karena proses pemadatan yang tidak sempurna dari hasil tuangan logam.
 - b. Mikroporositas
Mikroporositas juga terjadi dari *shrinkage* pada saat proses pemadatan berlangsung terlalu cepat dan tidak teratur.
2. Porositas yang disebabkan karena gas
 - a. *Pin hole* porositas dan karena adanya gas
Disebabkan oleh adanya gas yang terjebak pada saat proses pemadatan.
 - b. Porositas di bawah permukaan
3. Porositas yang disebabkan oleh terjebaknya udara di dalam cetakan
Udara yang terjebak pada permukaan dalam dari hasil tuangan logam biasanya disebut sebagai *back pressure porosity*.

2.4 Bahan Tanam Tuang

Bahan tanam tuang merupakan suatu bahan yang digunakan untuk menanam model atau pola malam, kemudian model malam yang telah selesai ditanam tadi akan dibakar habis sehingga meninggalkan bekas yang berupa rongga. Nantinya rongga tersebut akan diisi oleh logam cair dengan cara menuang.

Menurut jenisnya bahan tanam terbagi menjadi tiga yaitu gipsium bonded dipakai untuk pembuatan suatu tuangan yang memerlukan panas mendekati 1200°C, *phosphate bonded* dipakai untuk pembuatan tuangan yang memerlukan panas diatas 1200°C dan silica bonded dipakai sebagai alternatif dari bahan tanam *phosphate bonded*.

Menurut Mc.Cabe (1990) faktor utama yang diperlukan untuk pemilihan bahan tanam adalah kesesuaian suhu yang digunakan pada saat pengecoran (*casting*) dengan titik lebur logam campur yang dicor. Beberapa jenis logam campur emas mempunyai suhu pengecoran sekitar 900°C akan tetapi beberapa

logam campur khrom (Cr) membutuhkan suhu pengecoran sekitar 1450°C. Oleh sebab itu dibutuhkan bahan tanam yang tahan terhadap panas tinggi pada saat dilakukan pengecoran dan dapat mengkompensasi adanya *casting shrinkage* (penyusutan pada saat *casting*). (Soekartono, 2001)

2.5 Coran Logam

Untuk membuat coran, harus dilakukan proses-proses seperti pencairan logam, membuat cetakan, menuang, membongkar dan membersihkan coran. Untuk mencairkan logam, bermacam-macam tanur dipakai. Umumnya kula atau tanur induksi frekuensi rendah dipergunakan untuk besi cor, tanur busur listrik, atau tanur induksi frekuensi tinggi dipergunakan untuk baja tuang dan tanur krus untuk paduan tembaga atau coran paduan ringan, karena tanur-tanur ini dapat memberikan logam cair yang baik dan sangat ekonomis untuk logam-logam tersebut.

Pada umumnya logam cair dituangkan dengan pengaruh gaya berat, walaupun kadang-kadang dipergunakan tekanan pada logam cair selama atau setelah penuangan.

Pengecoran cetak adalah satu cara pengecoran dimana logam cair ditekan ke dalam cetakan logam dengan tekanan tinggi, coran tipis dapat dibuat dengan cara ini.

Pengecoran tekanan rendah adalah suatu cara pengecoran dimana diberikan tekanan yang sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer pada permukaan logam dalam tanur, tekanan ini mengakibatkan mengalirnya logam cair ke atas melalui pipa ke dalam cetakan.

Pengecoran sentrifugal adalah suatu cara pengecoran dimana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku. Coran berbentuk pipa dibuat dengan jalan tersebut. Cara pengecoran sentrifugal inilah yang sering digunakan pada logam tuangan di kedokteran gigi.

Setelah penuangan, coran dikeluarkan dari cetakan dan dibersihkan, bagian-bagian yang tidak perlu dibuang dari coran. Kemudian dilakukan

pemeriksaan dengan penglihatan terhadap rupa dan kerusakan. (Surdia, dkk, 1982)

2.6 Pengujian Struktur Kristal

Menurut Surdia, dkk (1982), berbagai macam pemeriksaan metalurgi dilakukan untuk mencari kerusakan dalam, misalnya dengan pengujian getaran supersonik, atau pemeriksaan radiografi. Selain itu kekuatan, struktur mikro dan komposisi kimia yang diujikan pada batang uji yang dibuat dari logam cair yang sama.

Ada dua macam pengujian struktur kristal yang biasa dilakukan yaitu pengujian makro dan mikro:

1. Pengujian struktur makro

Salah satu dari pengujian struktur makro dari kristal adalah pengujian patahan dimana bahan dinilai dari besar butir kristal, warna dan mengkilatnya patahan dari batang uji atau produk yang dipatahkan.

2. Pengujian struktur mikro

Dalam pengujian ini. Kualitas bahan ditentukan dengan mengamati struktur di bawah mikroskop, di samping itu dapat pula mengamati cacat dari bagian yang tidak teratur. Mikroskop yang dipergunakan adalah mikroskop cahaya, tetapi apabila perlu dipergunakan juga mikroskop elektron untuk mendapat perbesaran yang tinggi. Dalam hal tertentu dipakai alat khusus yaitu mikroskop piometri untuk bisa mengamati perubahan-perubahan yang disebabkan oleh perubahan temperatur atau juga dipakai alat penganalisa mikro dimana kotoran kecil dalam struktur dapat dianalisa. Permukaan logam uji dipoles dan diperiksa di bawah mikroskop.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Ilmu Material dan Teknologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember dan Laboratorium Metalurgi Jurusan Mesin Institut Sepuluh November Surabaya pada bulan Maret-April 2005.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah logam tuang Ag-aloi, Cu-aloi, dan Ni-Cr aloi

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah porositas pada permukaan hasil logam tuang.

3.3.3 Variabel Kendali

Variabel kendali dalam penelitian ini yaitu :

- a. Suhu ruangan (suhu kamar)
- b. Teknik *spruing*
- c. *Crucible former*
- d. Pemakaian dan konsistensi bahan pendam
- e. Berat Logam yang dicor
- f. Bahan bakar pengecoran logam
- g. Pemakaian *Centrifugal Casting Machine*
- h. Alat penyembur api
- i. Penggunaan api yang keluar dari alat penyembur

- j. Pemakaian bubuk *borax* (sebagai *flux*) saat pengecoran untuk mencegah terjadinya oksidasi
- k. Kriteria logam cair yaitu logam yang dipanaskan terlihat mengkilat dan warna yang dipancarkan tidak boleh lebih terang daripada oranye muda.

3.4 Definisi Operasional

3.4.1 Logam Tuang Aloi

- a. Cu aloi adalah suatu campuran logam tuang, dengan kandungan tembaga kurang lebih 87% (Lyman, 1961).
- b. Ag-aloi adalah suatu campuran logam tuang, berwarna alami karena perak mampu menetralsir warna logam lain (Phillips, 1991).
- c. Ni-Cr aloi adalah suatu campuran logam tuang, dengan kandungan nikel antara 80% dengan kromium sekitar 20% (Surdia, 2000).

3.4.2 Porositas

Porositas adalah jumlah porus yang terjadi pada hasil tuangan Ag-aloi, Cu-aloi, dan Ni-Cr aloi sebagai akibat terjebaknya suatu udara atau gas pada saat peleburan atau akibat dari pendinginan yang tidak sempurna, dan kemudian dihitung dengan menggunakan mikroskop optik (Phillips, 2004).

3.5 Alat dan Bahan

3.5.1 Alat

Alat yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

- a. *Master mold* (lihat gambar 1)
- b. Lampu spiritus
- c. Pisau malam
- d. Pisau model
- e. *Glass plate*
- f. Mangkuk karet (*bowl*)
- g. Pengaduk (*spatula semen*)
- h. *Casting ring* (terbuat dari besi dengan tebal 1 mm, diameter 5 cm, tinggi 5cm)

- i. *Cruiseble former* (terbuat dari karet dengan tinggi 5 cm, diameter 2 cm)
- j. *Oven* merk Furnace dengan suhu maksimal 1200°C dan kompor *LPG*
- k. *Centrifugal casting machine* merk Neycraft
- l. Alat penyembur api (*blow torch*)
- m. *Straight Hand Piece* merk W&H, Austria
- n. *Contra Hand Piece* merk W&H, Austria
- o. Alat pulas merk Metkon, USA
- p. Kertas gosok merk Fujistar type 2000 CC-Cw, Japan
- q. Hair dryer merk International, USA
- r. Mikroskop Optik merk Olympus, Japan
- s. Kaca skala

3.5.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah :

- a. *Cu cast* aloi merk Orden, AOKI, Japan (titik lebur 750°C)
- b. *Ag cast* aloi merk Washi, Japan
- c. *Ni-Cr cast* aloi merk Durabond, USA
- d. Malam cor biru merk Prepon buatan Bayer, Jerman
- e. Spiritus
- f. *Investment material* Phospat Bonded merk Rema Exac, Jerman
- g. *Investment material* Duroterm
- h. *Borax*
- i. Bensin super
- j. Bubuk polimer merk Stelon no.5
- k. Liquid monomer merk Meliodent
- l. Selang air dengan diameter 18 mm dan panjang 50 cm

3.6 Pengelompokan Besar Ulangan Sampel

3.6.1 Pengelompokan Sampel

Sampel digolongkan menjadi tiga kelompok sesuai dengan jenisnya yaitu Ag aloi, Cu aloi dan Ni-Cr aloi.

3.6.2 Besar Ulangan Sampel

Untuk masing-masing kelompok sebanyak lima kali ulangan. Menurut Chatfield (1983), bahwa pada setiap penelitian observasional yang bertujuan untuk membandingkan maka dibutuhkan lebih dari satu kali ulangan untuk mengetahui besarnya pengaruh *eksperimental error*.

3.7 Prosedur Kerja

3.7.1 Persiapan Penelitian

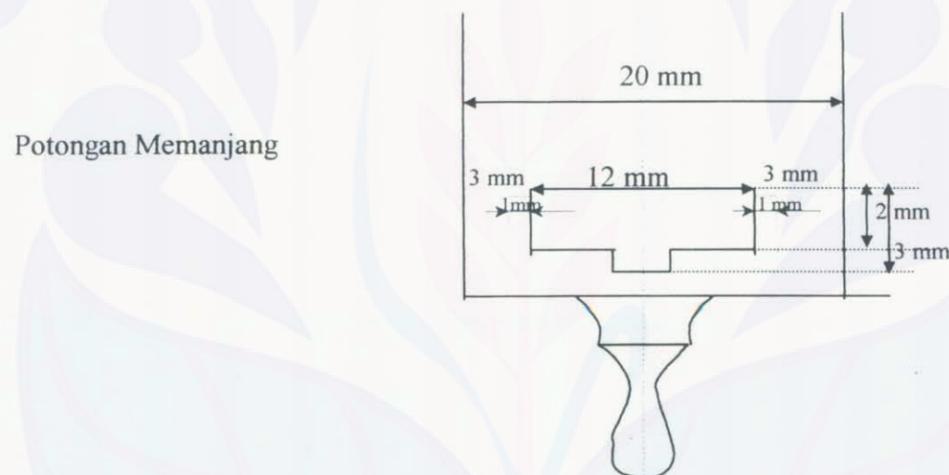
Pada persiapan penelitian terhadap objek yang akan diteliti, tahap yang dilakukan meliputi :

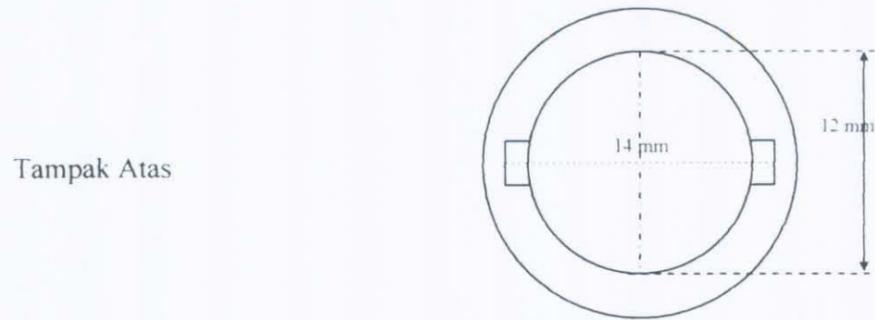
- a. Proses Pembuatan Sampel, dimulai dengan pembuatan pola malam yang dibentuk sesuai dengan cetakan pada master mold. Pola malam dibuat dengan cara memotong malam tuang sepanjang 25mm kemudian memanaskan malam tuang sampai cair dalam *Nierbekken* diatas nyala api bunsen, diusahakan jangan sampai malam tersebut berasap agar tidak ada unsur malam tuang yang hilang atau menguap.
- b. Kemudian menuang malam yang sudah cair ke dalam *master mold* dengan pisau malam.
- c. Setelah malam tuang terlihat mulai membeku ditunggu sampai lima menit, selanjutnya mengeluarkan model malam, dan kelebihan malam diperiksa kelengkapannya. Pembuatan model malam sebanyak 15 sampel dilakukan dalam satu hari, dengan tujuan untuk menyamakan perlakuan.
- d. Membuat *sprue* dengan diameter 2 mm sepanjang 7mm. Selanjutnya melekatkan *sprue* pada bagian tengah dari tinggi model malam yang merupakan daerah tertebal, dengan arah tegak lurus dan melekatkan ujung *sprue* lainnya pada corong tepat pada puncak *crucible former*.
- e. Tahap selanjutnya, melekatkan model malam tersebut pada *crucible former* dengan posisi diatur sedemikian rupa sehingga jarak antara dasar bambung tuang sebesar kurang lebih 6mm.

- f. Membuat ventilasi dengan diameter lebih kecil dari *sprue* dan selanjutnya memasang ventilasi pada *crucible former* dengan posisi sejajar dengan *sprue*.
- g. Membersihkan pola malam, *sprue* dan *ventilasi* dengan air sabun (wetting), menggunakan kuas kemudian diirigasi dengan air bersih. Melakukan *painting* atau pengolesan bahan tanam encer pada seluruh permukaan restorasi.
- h. Memasang *Casting ring* diatas *crucible former* dengan *sprue* dan model malam tegak lurus di tengah-tengah serta ventilasi berada di sebelahnya (lihat gambar 2).
- i. Kemudian membuat adonan bahan tanam dan air dengan perbandingan 95 gr : 45 cc sesuai petunjuk pabrik.
- j. Setelah adonan homogen, selanjutnya memasukan ke dalam bambung tuang di atas *vibrator* sampai penuh dan ditunggu hingga *setting*.
- k. Melepaskan *Crucible former* dari bambung tuang.
- l. Melakukan pembuangan malam dengan meletakkan bambung tuang diatas kompor menghadap bawah untuk menghilangkan malam, sehingga terbentuk ruangan cetak (*mould*).
- m. Setelah tidak ada malam yang mengalir keluar, selanjutnya memeriksa bambung tuang dengan meletakkan *glasslab* diatasnya. Proses ini selesai jika tidak ada uap yang menempel di *glasslab*.
- n. Melakukan pengovenan dengan suhu yang disamakan dengan titik lebur masing-masing logam, untuk Cu aloi dengan titik lebur 779°C dan Ag aloi 961,9°C dilakukan pengovenan dengan suhu 700°C, dan Ni-Cr aloi 1200°C.
- o. Melakukan pengecoran logam meliputi Ag aloi, Cu aloi, Ni-Cr aloi menggunakan *centrifugal casting machine* dengan bahan bakar bensin super. Bila logam tampak bergerak sebagai tanda logam sudah meleleh, maka logam siap dituang ke dalam bambung tuang.
- p. Setelah pengecoran selesai, dibiarkan sampai mencapai suhu kamar kurang lebih selama 60 menit. Selanjutnya membuka bahan tanam dan

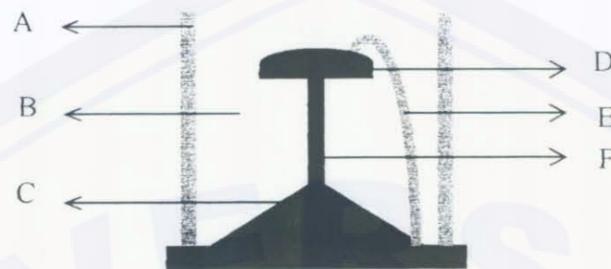
mengambil hasil coran kemudian membersihkan dari sisa-sisa bahan tanam.

- q. Memotong *Sprue* tepat di daerah perlekatannya pada cetakan.
- r. Membuat mounting yang terbuat dari akrilik yang dicetak dengan bentuk tabung berdiameter 18mm dan tinggi 25mm, kemudian melekatkan masing-masing sampel pada permukaan akrilik sebagai mounting (pegangan).
- s. Memulas masing-masing sampel yang telah diberi mounting dengan mesin pemulas yang memutar searah, mulai grid 150 sampai halus kemudian tiap sampel diubah posisinya dengan memutar 180° sampai bekas pemulasan sebelumnya hilang. Begitu seterusnya sampai dengan grid 2000. Grid 150 atau grid 2000 menunjukkan bahwa pada kertas pulas (kertas gosok) terdapat 150 atau 2000 butiran silica carbide pada setiap 1 cm^2 .
- t. Mengeringkan masing-masing sampel dengan udara kering menggunakan *hair dryer* untuk menghilangkan kotoran-kotoran akibat pemulasan yang masuk ke dalam lubang porus.
- u. Kemudian mengelompokkan tiap sampel sesuai dengan jenisnya dan mempersiapkan untuk penghitungan jumlah porositas logam hasil tuang.
- v. Melakukan penghitungan dengan menggunakan pengamatan dibawah mikroskop optik.



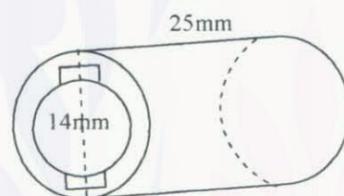


Gambar 1. Master Mold



Gambar 2. Posisi pemasangan model malam dalam casting ring

- | | |
|--------------------|----------------|
| A. Casting ring | D. Model malam |
| B. Bahan tanam | E. Ventilasi |
| C. Crucible former | F. Sprue |



Gambar 3. Posisi sampel yang telah diberi mounting

3.7.2 Teknik Penghitungan Porositas Sampel

Masing-masing sampel yang telah disiapkan, kemudian dilakukan penghitungan jumlah porositas pada permukaan logam tuang di bawah mikroskop optik dengan perbesaran 100x yang telah dihubungkan dengan layar komputer sehingga lapangan pandang yang sedang diamati dapat dilihat melalui layar

komputer. Tiap permukaan sampel dihitung sebanyak lima kali ulangan pada lapang pandang yang berbeda, dengan menggeser sampel 2 mm ke arah kanan dan ke bawah, sampai menemukan daerah yang telah diberi tanda. Masing-masing gambar pada layar diaplikasikan dengan kaca skala 10 : 1 yang berarti tiap 10 mm mewakili 1 mm. Hasil penghitungan porositas dinyatakan dalam persen dengan menggunakan rumus :

$$P_p(i) = \frac{P_i}{P_T} \times 100\%$$

- $P_p(i)$ = Persentasi dari satu lapangan pandang pada satu permukaan sampel
- P_i = jumlah porositas pada satu lapangan pandang
- P_T = jumlah total porositas pada satu lapangan pandang
= ditetapkan 100 berdasarkan *Guidelines for Grid Size selection*, yang berarti melalui perbesaran mikroskop 100x, diperoleh *deffect* (porositas) yang cukup sedikit, sehingga batas *deffect* yang diambil adalah batas minimal yaitu 2-5% dengan penetapan grid 100 (ASTM, 1989).

Guidelines for Grid Size Selection

Visual Area Fraction Estimate Expressed as a Percentage	Grid Size (Number of points, P_T)
2 to 5 %	100
4 to 10 %	49
10 to 20 %	25
> 20 %	16

(ASTM, 1989)

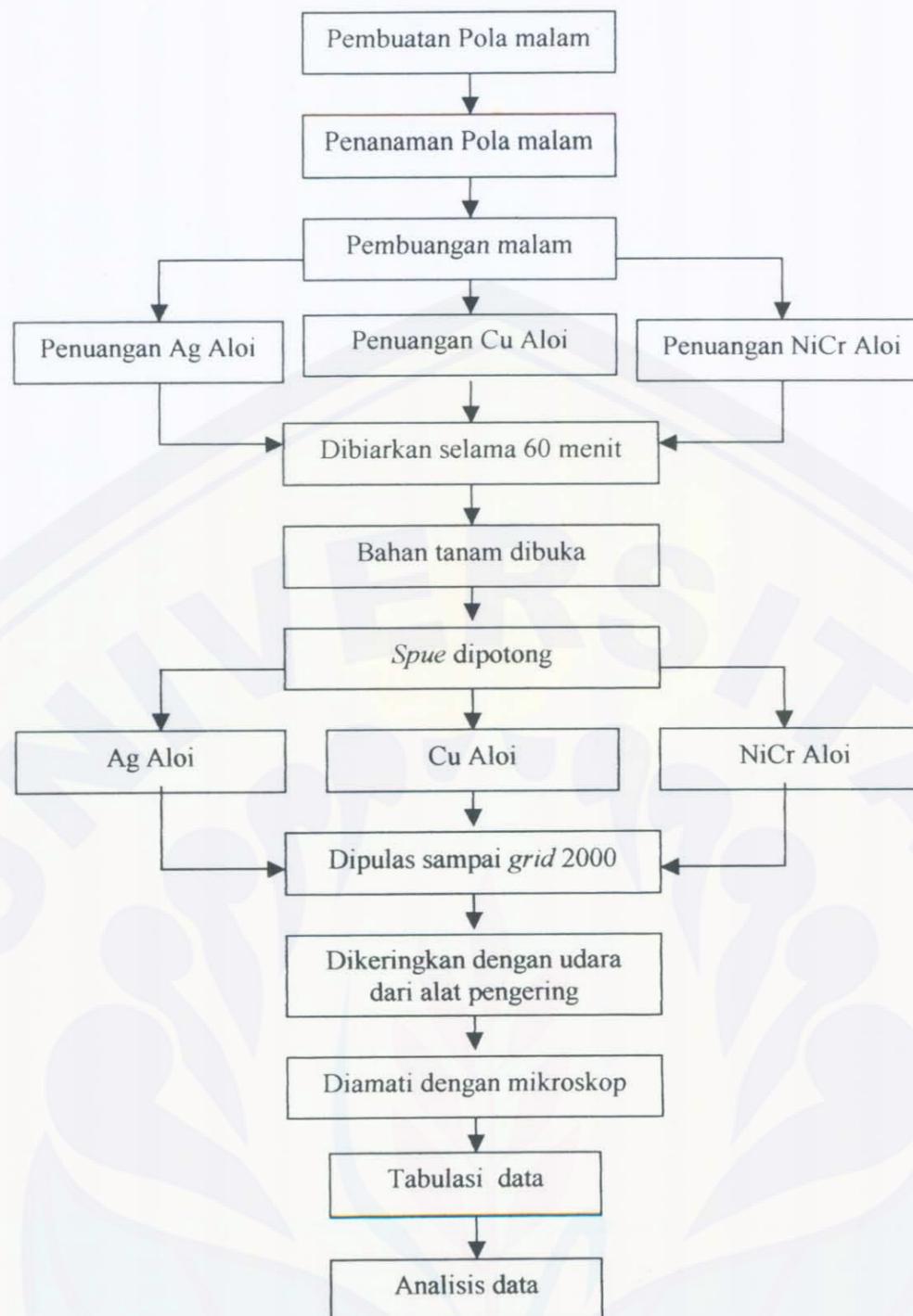
3.8 Analisis Data

Hasil pengukuran tiap sampel dirata-rata sehingga didapatkan nilai tingkat porositas permukaan untuk tiap sampel. Jumlah porositas permukaan tiap sampel dikelompokkan menurut kelompok sampel. Data yang didapat ditabulasi menurut masing-masing kelompok, lalu dilakukan uji normalitas dengan *Kolmogorov Smirnof* dan uji homogenitas dengan uji *Levene*. Apabila data telah terdistribusi dengan normal dan homogen, maka dilanjutkan dengan uji *Tukey HSD* untuk

mengetahui ada tidaknya perbedaan pada ketiga kelompok sampel, dengan perbandingan dua rata-rata secara bersilang.



3.8 Skema Penelitian



IV. HASIL DAN ANALISIS DATA

4.1 Hasil.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil pengukuran Tingkat Porositas Logam Tuang Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi. Rerata data tersebut seperti terlihat dalam tabel 1 dan 2

Tabel 1. Rerata Tingkat Porositas Logam Tuang Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi

No.	Ag Aloi	Cu Aloi	NiCr Aloi
1	12,8	12,60	8,80
2	13,80	18,20	16,20
3	11,50	12,21	8,20
4	14,00	19,80	7,00
5	14,60	18,20	12,00
SD	1,1628	3,8946	3,7132
Rerata	13,32	18,44	10,44

Berdasarkan data di atas tampak bahwa Cu aloi mempunyai tingkat porositas tertinggi dibandingkan dengan Ag aloi dan NiCr Aloi. Sedangkan NiCr aloi mempunyai tingkat porositas terendah dibandingkan dengan Ag aloi dan Cu aloi.

4.2 Analisis Data

Berdasar data yang diperoleh, sebelum dilakukan uji statistik parametrik harus dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas (lampiran 5). Uji normalitas data yang digunakan adalah uji *Kolmogorov-smirnov*. Data penelitian yang telah diuji (Tabel 2) menunjukkan nilai signifikansi 0,991 untuk Ag aloi, 0,843 untuk Cu aloi dan 0,857 untuk NiCr ($P > 0,05$) menunjukkan bahwa data terdistribusi normal.

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas Pada Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi.

Ag Aloi	NiCr Aloi	Cu Aloi
0,991	0,843	0,857

Uji homogenitas yang dipergunakan adalah uji *Levene Statistic*. Nilai signifikansi data penelitian ini (Tabel 3) adalah 0,235 ($P > 0,05$), menunjukkan kelompok data varian sifatnya *homogen*. Data zona inhibisi yang telah memenuhi syarat uji normalitas dan homogenitas dapat diuji lebih lanjut dengan menggunakan uji beda rata-rata parametrik *Anova* dilanjutkan dengan uji *Tukey HSD*

Tabel 3. Hasil Uji Homogenitas Pada Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi.

Lavene Statistic	Df1	Df2	Sig
1,640	2	12	0,235

Uji *Anova* pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan signifikan antara tingkat porositas logam tuang Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi. Hasil uji *Anova dan Tukey HSD*. dapat dilihat pada tabel 4 dan tabel 5. Berdasarkan uji *Anova* (tabel 4) didapatkan nilai signifikansi 0,005 ($p < 0,05$) yang menunjukkan bahwa tingkat porositas antara Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi berbeda bermakna.

Tabel 4. Hasil Uji *Anova* Tingkat Porositas Pada Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi.

Bahan Logam Tuang	Probabilitas (p)
Ag aloi, NiCr aloi, dan Cu aloi	0,006

Berdasarkan uji *Tukey HSD* (tabel 5) didapatkan nilai signifikansi 0,005 ($p < 0,05$) pada perbandingan antara tingkat porositas NiCr aloi dan Cu aloi yang menunjukkan bahwa tingkat porositas antara kedua logam tuang tersebut berbeda bermakna. Sedangkan perbandingan tingkat porositas antara Ag aloi dan NiCr aloi dengan nilai signifikansi 0,356 ($p > 0,05$) serta tingkat porositas Ag aloi dan Cu

aloi dengan nilai signifikansi 0,62 ($p > 0,05$) menunjukkan bahwa tingkat porositas antara kedua logam tersebut tidak berbeda bermakna.

Tabel 5 Hasil Uji Tuckey HSD Tingkat Porositas Pada Ag Aloi, Cu Aloi, dan NiCr Aloi.

Bahan Logam Tuang	Probabilitas (p)
Ag aloi - NiCr Aloi	0,356
Ag aloi - Cu aloi	0,062
NiCr aloi -Cu aloi	0,005



BAB V PEMBAHASAN

Porositas merupakan suatu sudut yang tajam, pit, dan lubang kecil sebagai akibat dari adanya udara yang terjebak atau akibat dari adanya bahan kontaminan (Karlina dkk, 2002). Suatu porositas biasanya terbentuk pada logam yang dihasilkan dari bentuk metalurgi, karena sifatnya yang sering mengikat gas yang dibebaskan saat peleburan (Van Vlack dkk, 1990). Porositas di permukaan luar adalah suatu faktor dari kekasaran permukaan, tetapi umumnya juga merupakan manifestasi dari porositas di bagian dalam (porositas internal). Porositas internal tidak hanya memperlemah tuangan tetapi juga meluas ke permukaan, dan dapat menyebabkan perubahan warna. Jika parah, dapat menyebabkan kebocoran pada permukaan gigi dengan restorasi dan karies sekunder (Phillips, 2004). Selain itu porositas juga dapat menjadi suatu *stress concentration* yang selanjutnya akan menurunkan ketahanan terhadap fraktur (Karlina, dkk, 2002). Pada penelitian ini dilakukan penghitungan terhadap jumlah porositas yang terjadi pada permukaan hasil tuangan ketiga bahan logam Ag aloi, Cu aloi, dan Ni Cr .

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan pada hasil tuangan ketiga bahan tersebut, ternyata diketahui bahwa pada ketiga bahan logam tuang aloi, masing-masing terdapat porositas atau porus pada permukaannya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Phillips (2004) bahwa porositas dalam setiap tuangan tidak dapat dihindari sepenuhnya, hanya dapat dikurangi dengan penggunaan teknik yang benar. Didukung pula oleh Van Vlack dkk (1990), yang menyatakan bahwa logam yang dihasilkan dari bentuk metalurgi sering mengikat gas yang dapat dibebaskan saat peleburan, sehingga terjadinya porus tidak dapat dihindari. Hasil yang menunjukkan terdapat porositas pada masing-masing permukaan hasil tuangan ketiga bahan logam tuang, dinyatakan dalam bentuk nilai rata-rata persentase jumlah porositas untuk masing-masing kelompok sebanyak lima sampel dengan lima lapang pandang pada tiap sampelnya. Nilai rata-rata yang menunjukkan bahwa jumlah porositas terbesar terdapat pada logam Cu aloi yaitu 18,44%. Kemudian diikuti dengan Ag aloi yaitu 13,32% dan nilai rata-rata jumlah

porositas terkecil terdapat pada NiCr aloi yaitu 7,00%. Hasil tersebut sesuai dengan karakteristik sifat masing-masing logam tuang, dimana tembaga memiliki sifat melarutkan oksigen dalam jumlah yang besar ketika berada di dalam keadaan cair. Pada saat pemadatan, gas yang telah diserap tersebut akan dilepaskan dan terjadilah porositas pada permukaan hasil tuangannya pada permukaan Cu. Di sisi lain pemakaian Cu aloi ternyata juga dapat memberikan keuntungan apabila digunakan tidak lebih dari 10-12%, karena kandungan tembaganya ternyata juga bersifat dapat mengurangi ketahanan aloi terhadap korosi (Phillips, 1991). Ag aloi juga memiliki kecenderungan sifat menyerap oksigen dalam jumlah yang cukup pada saat melebur, sehingga dapat menimbulkan kesulitan pada penuangan, karena gas akan terbentuk selama pemadatan. Sebagai akibatnya, timbul pit-pit kecil, porus, dan kekasaran pada permukaan cetak (Craig, 2002). Sedangkan NiCr aloi merupakan logam campur dengan komposisi nikel sebanyak 70-80%, kromium sebanyak 10-25% dan ditambah dengan beberapa persen logam tambahan tergantung pabrik (Soekartono, 2001), dapat membentuk lapisan kromium oksida (Cr_2O_3) yang koheren, seragam dan tidak membentuk rongga pada permukaannya setelah kontak dengan oksigen atmosfer karena oksida berada dalam kondisi energi yang lebih rendah. Lapisan kromium oksida (Cr_2O_3) membatasi dirinya sendiri untuk bertindak sebagai penghalang terhadap aliran oksigen dan ion-ion logam yang diperlukan untuk oksidasi lebih lanjut, sehingga melindungi permukaan dari korosif (Phillips, 2004). Pada NiCr aloi dengan kandungan nikel sebanyak 85% dari total berat aloi, dapat dipastikan sifat fisik dari aloi tersebut akan terbatas. Sifat fisik ini dapat dikontrol dengan adanya elemen minor dari aloi, seperti *carbon*, *molybdenum*, *beryllium*, *tungsten* dan aluminium (Craig, 2002). Dengan adanya kandungan *beryllium* di dalam logam tuang NiCr aloi berfungsi untuk memperbaiki kemampuan cor pada dirinya sendiri untuk hasil tuangan dengan detail yang lebih halus dibandingkan kedua bahan logam tuang yang lain (Phillips, 2004). Namun demikian terbentuknya rongga, pit, dan lubang kecil pada permukaan hasil tuangan NiCr aloi tetap tidak dapat dihindari, walaupun jumlah

rata-rata porositas yang terjadi paling rendah dibanding kedua bahan logam lainnya.

Setelah penghitungan nilai rata-rata jumlah porositas masing-masing logam tuang dilanjutkan uji keragaman (Uji *anova*) terhadap hasil tuangan porositas ketiga bahan logam tuang tersebut. Berdasarkan hasil uji tersebut menunjukkan adanya perbedaan jumlah porositas permukaan yang bermakna pada hasil tuangan Ag aloi, Cu aloi dan Ni Cr aloi, yaitu $p=0,006$ dimana $p<0,05$ yang berarti ada beda signifikan antara ketiganya. Selanjutnya dilakukan analisis data dengan menggunakan uji *Tukey HSD* dengan tingkat kemaknaan 95%, menunjukkan bahwa perbandingan jumlah porositas antara Cu aloi dengan NiCr aloi berbeda bermakna dengan nilai probabilitas 0,005 dimana $p<0,05$, sedangkan nilai probabilitas jumlah porositas antara Cu dengan Ag Aloii adalah 0,062 dan jumlah porositas antara Ag aloi dengan NiCr aloi adalah 0,356, keduanya menunjukkan $p>0,05$. Hasil uji statistik diatas menunjukkan bahwa kedua perbandingan bersilang tersebut jumlah porositasnya tidak berbeda bermakna.

Craig (1997) menyatakan bahwa nikel, tembaga, dan perak memiliki perbedaan densitas dan titik lebur yang mungkin juga dapat mempengaruhi hasil tuangan ketiga bahan logam tuang tersebut. Nikel murni densitasnya 8,91 g/cc dengan titik lebur 1453⁰C, perak densitasnya 10,49 g/cc dengan titik lebur 961,9⁰C, sedangkan tembaga densitasnya 8,92 g/cc dengan titik lebur 779⁰C. Meskipun demikian faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya suatu porositas tidak hanya pada perbedaan titik lebur saja, namun juga pada faktor-faktor lain yang tidak dapat dikendalikan misalnya kesalahan atau ketidakteelitian pada saat pengecoran yang dapat mengakibatkan timbulnya porositas pada permukaan ketiga bahan logam tuang tersebut. Misalnya akibat pemasukan logam cair yang tidak sempurna selama pemadatan, karena perubahan bentuk logam campur dari bentuk cair ke bentuk padat biasanya mengalami sedikit penyusutan sekitar 1,25%. Sehingga terjadinya penyusutan volume logam selama pemadatan berlangsung, sangat sulit dikendalikan. Maka sebaiknya pada saat penuangan logam cair harus ada pengaliran yang berlanjut secara *continue* dari logam cair melalui *sprue* untuk mengisi ruang. Tidak menutup kemungkinan pula, porositas

yang terjadi disebabkan oleh gas yang secara mekanis terperangkap oleh logam cair di dalam *mold* atau yang ikut masuk selama prosedur pengecoran. Selain itu gas yang dikeluarkan oleh semburan api yang tidak diatur dengan baik, atau penggunaan zona oksidasi atau zona pencampuran dari semburan api, dan bukan zona reduksi mungkin juga dapat mempengaruhi permukaan hasil tuangan logam tersebut, karena tingginya suhu yang dibutuhkan pada saat *casting* besar kemungkinan menimbulkan terperangkapnya udara (gas Hidrogen maupun Oksigen) akan lebih tinggi (Karlina, 2003).

Kemungkinan lain yang dapat mempengaruhi terjadinya porositas adalah pembentukan inti dari butiran-butiran padat yang terjadi bersamaan dengan gelembung-gelembung gas pada saat awal beku di dinding *mold* . Selain itu ketidakmampuan udara di dalam *mold* untuk keluar melalui pori-pori bahan tanam dan rendahnya temperatur pengecoran atau temperatur *mold* , juga dapat menyebabkan porositas pada permukaan ketiga bahan tuang tersebut. Keadaan tersebut menyebabkan pemadatan terjadi sebelum udara yang terperangkap mampu melepaskan diri. Insiden udara yang terperangkap ini dapat meningkat oleh karena bahan tanam modern yang padat. Faktor-faktor tersebut akan memperlambat pengeluaran gas dari *mold* selama pengecoran. Masalah-masalah di atas pada dasarnya dapat dihindari dengan menaati prosedur pengecoran sesuai aturan dan prinsip dasar, melalui pembakaran yang benar, temperatur *mold* dan pengecoran yang benar. Tekanan cor yang cukup tinggi, dan rasio cairan : bubuk yang benar. Selain itu ketebalan bahan tanam antara ujung model malam dengan ujung bumbung tuang tidak boleh lebih dari 6 mm (Phillips, 2004). Kelemahan lain dalam penelitian ini adalah penggunaan bahan tanam yang berbeda, untuk Ag aloi dan Cu aloi menggunakan bahan tanam gipsum sedangkan NiCr aloi menggunakan Bahan tanam phospat bonded. Karakteristik yang berbeda pada masing-masing bahan tanam tersebut, dimungkinkan juga mempengaruhi hasil porositas pada ketiga logam tuang tersebut. Peralatan dan teknik yang digunakan untuk penelitian ini juga terbatas misalnya teknik pemulasan pada masing-masing sampel yang tidak dihomogenkan dengan penghitungan waktu, sehingga tidak dapat memastikan seberapa banyak serbuk logam yang terbuang. Berdasarkan

faktor-faktor yang telah disebutkan diatas, mungkin dapat mempengaruhi hasil perbandingan antara jumlah porositas Ag aloi dengan Cu aloi dan Ag aloi dengan NiCr aloi, sehingga hasil yang diperoleh tidak ada beda yang signifikan.



BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Cu aloi memiliki tingkat porositas yang lebih besar dibandingkan dengan Ag aloi dan NiCr aloi
2. NiCr aloi mempunyai tingkat porositas terendah diantara Cu aloi dan Ag aloi

6.2.Saran

Berdasar penelitian yang dilakukan, peneliti memberikan saran:

1. Perlu penelitian mengenai karakteristik densitas dan titik lebur masing-masing logam tuang.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan bahan logam tuang yang lain.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan metode yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Chatfield, C. 1983. *Statistics for technologi*. 3th edition. London: Champan and Hall.
- Combe,E.C. 1992. *Sari Dental Material*. Terjemahan drg. Slamet Tarigan, dari *Notes on Dental Materials*. Jakarta : Balai Pustaka
- Committee, ASTM. 1989. *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia: ASTM Publisher
- Craig, R. G and J. M. Powers. 2002. *Restorative Dental Materials*. St Louis : Mosby inc
- Hanafiah K. A. 1993. *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi*. Jakarta : Rajawali Pers
- <http://r-curtis.umds.ac.uk/bds3a/metallurgy.HTM>
- http://www.nipera.org/dental_1.cfm#1.2propertiesofnickel
- Irawan, B. K. Wakasa dan M. Yamaki. 2002. "Paduan Ni-Cu-Mn sebagai logam alternatif kedokteran gigi : efek perendaman dalam larutan 0.1% Sodium Sulfida". Dalam *Jurnal kedokteran gigi Universitas Indonesia vol.9 no.3*. Jakarta
- Jang, K. S. S. J. Youn and Y. S. Kim. 2001. "Comparison Of castability and surface roughness of commercially pure titanium and cobalt-chromium denture framework". *The Journal of Prostetic Dentistry*. Vol. 10 no. 1. Jakarta
- Karlina, E dan B. Irawan. 2003. "Titanium sebagai logam Kedokteran Gigi (Tinjauan sifat Castability, Biocompatibility dan Ikatan Titanium-Keramik)". Dalam *Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Indonesia vol.10 no.1*. Jakarta
- Lyman, T. 1961. *Metals Handbook Properties and Selection of Metals ASM vol 1*. Ohio: Metals Park
- Mc.Cabe, J.F. 1990. *Applied Dental Materials*. London : Blackwell Scientific Publication
- Mc. Lean, J. W. 1979. The Future of restorative Materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. Vol. 42 no.2. London

- Ochave, S. C. G. J. A. T. G. Punsalan dan B.P. Regala. 1993. *Pengantar Metode Penelitian*. Alih bahasa Alimuddin Tuwu. Jakarta : UI Press
- Phillips, RW. 1991. *Science of Dental Materials*. 9th Edition. Philadelphia: W.B Saunders Company.
- Phillips, R. W. 2004. *Buku Ajar Ilmu Bahan Kedokteran Gigi*. Jakarta : EGC Penerbit buku kedokteran
- Soekartono, R. H. 2001. "Tehnik Higroskopis Pada Bahan Tanam Phosphate Bonded Untuk Ketepatan Tepi Hasil Tuang Logam Campur NiCr". Dalam *Majalah Kedokteran Gigi (Dental Journal) vol.34 no.3a Agustus*. Surabaya
- Surdia, T dan K. Chijiwa. 1982. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- Surdia, T dan S. Saito. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- Van Vlack, L. H. 1990. *Element of materials Science and engineering 6th ed*. Michigan : Addison-wesley Publishing Company
- Wilson, H. J. M. A. Mansfield. J. R. Heath and D. Spence. 1987. *Dental Technology and Materials for Students*. Oxford : Blackwell Scientific Publications



Lampiran 1

Alat dan Bahan

A. Alat



Gambar 4. Oven



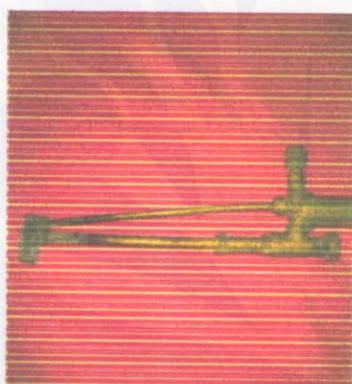
Gambar 5. Centrifugal Casting Machine



Gambar 6. Mikroskop Optik



Gambar 7. Mesin Pulas



Gambar 8. Alat Penyembur Api



Gambar 9. Layar Monitor dan Kaca Skala

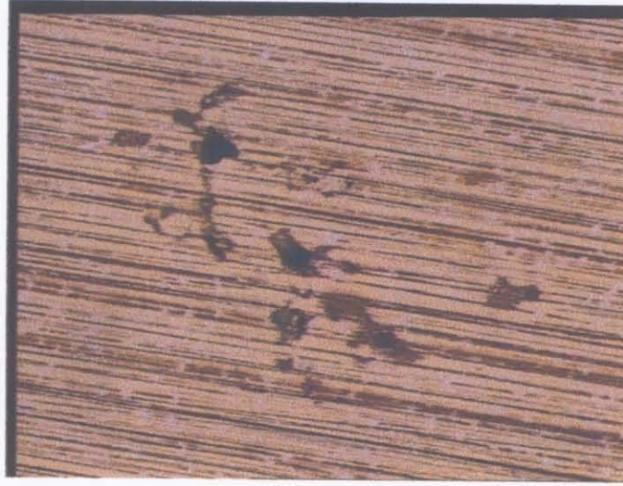


Gambar 10

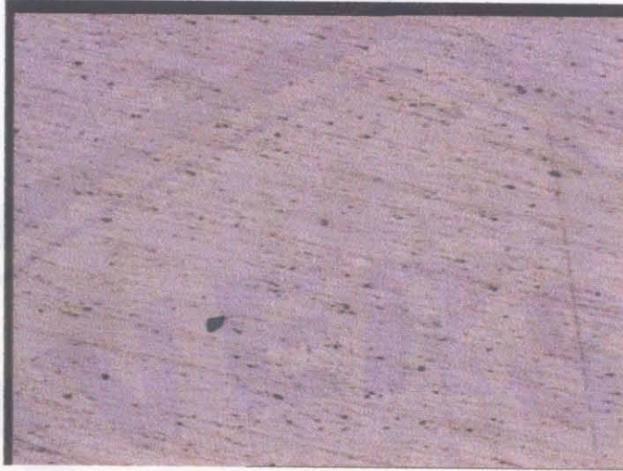
- Keterangan** :
- A. *Spatula*
 - B. *Pisau Model*
 - C. *Straight Handpiece*
 - D. *Contra Angle*
 - E. *Pisau Malam*
 - F. *Tali Bur*
 - G. *Alat Pulas*
 - H. *Diamond Disk*
 - I. *Casting Ring*
 - J. *Crucible Former*
 - K. *Master Mold*
 - L. *Glass Plate*
 - M. *Mangkok Karet (Bowl)*
 - N. *Lampu Spiritus*
 - O. *Nierbekken*

B. Bahan**Gambar 11**

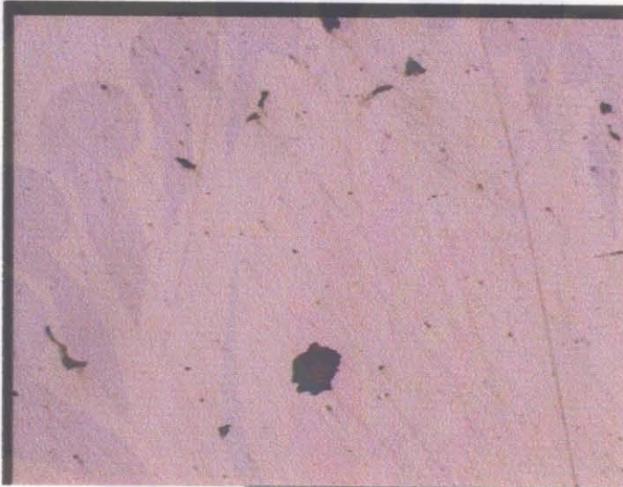
- Keterangan :**
- A.** Besin super
 - B.** Spiritus
 - C.** Malam Cor Biru
 - D.** NiCr aloi (Durabond)
 - E.** Cu aloi (Orden)
 - F.** Investment Duroterm
 - G.** Ag aloi (Washi)
 - H.** Borax



Cu Aloi



Ag Aloi



NiCr Aloi

Lampiran 3. Contoh Penghitungan**Kode 1 Cu no. 1**

$$P_p(i) = \frac{P_i}{P_T} \times 100\%$$

$$P_i = 14$$

$$P_T = 100$$

$$\begin{aligned} P_p(i) &= \frac{14}{100} \times 100\% \\ &= 14\% \end{aligned}$$

Kode 1 Ag no. 1

$$P_p(i) = \frac{P_i}{P_T} \times 100\%$$

$$P_i = 13$$

$$P_T = 100$$

$$\begin{aligned} P_p(i) &= \frac{13}{100} \times 100\% \\ &= 13\% \end{aligned}$$

Kode 1 NiCr no. 1

$$P_p(i) = \frac{P_i}{P_T} \times 100\%$$

$$P_i = 4$$

$$P_T = 100$$

$$\begin{aligned} P_p(i) &= \frac{4}{100} \times 100\% \\ &= 4\% \end{aligned}$$

Lampiran 4. Hasil dan Analisa Data**Kode 1 Cu**

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	14	14	12,60	2,302
2	15	15		
3	13	13		
4	12	12		
5	9	9		
Jumlah	63			

Kode 2 Cu

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	25	25	18,20	5,215
2	20	20		
3	20	20		
4	12	12		
5	14	14		
Jumlah	91			

Kode 3 Cu

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	44	44	23,40	12,837
2	26	26		
3	18	18		
4	19	19		
5	10	10		
Jumlah	117			

Kode 4 Cu

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	24	24	19,80	4,207
2	21	21		
3	19	19		
4	22	22		
5	13	13		
Jumlah	99			

Kode 5 Cu

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	15	15	18,20	4,438
2	18	18		
3	21	21		
4	24	24		
5	13	13		
Jumlah	91			

Kode 1 Ag

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	13	13	12,80	3,271
2	18	18		
3	12	12		
4	12	12		
5	9	9		
Jumlah	64			

Kode 2 Ag

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	13	13	13,60	4,879
2	9	9		
3	17	17		
4	20	20		
5	9	9		
Jumlah	68			

Kode 3 Ag

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	7	7	11,60	2,966
2	11	11		
3	12	12		
4	15	15		
5	13	13		
Jumlah	58			

Kode 4 Ag

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	14	14	14,00	2,739
2	16	16		
3	17	17		
4	13	13		
5	10	10		
Jumlah	70			

Kode 5 Ag

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	13	13	14,60	4,037
2	9	9		
3	14	14		
4	19	19		
5	18	18		
Jumlah	73			

Kode 1 NiCr

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	4	4	8,80	5,805
2	5	5		
3	18	18		
4	6	6		
5	11	11		
Jumlah	44			

Kode 2 NiCr

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	20	20	16,20	8,136
2	22	22		
3	24	24		
4	9	9		
5	6	6		
Jumlah	81			

Kode 3 NiCr

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	12	12	8,20	5,586
2	3	3		
3	16	16		
4	4	4		
5	6	6		
Jumlah	41			

Kode 4 NiCr

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	7	7	7,00	3,162
2	11	11		
3	3	3		
4	9	9		
5	5	5		
Jumlah	35			

Kode 5 NiCr

Field No.	Point Count	Point Content (%)	Average (%)	Standard Deviasi
1	20	20	12,00	6,519
2	18	18		
3	7	7		
4	6	6		
5	9	9		
Jumlah	60			

1. Uji Normalitas

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Ag	5	13.3200	1.1628	11.60	14.60
NiCr	5	10.4400	3.7132	7.00	16.20
Cu	5	18.4400	3.8946	12.60	23.40

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Ag	NiCr	Cu
N		5	5	5
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	13.3200	10.4400	18.4400
	Std. Deviation	1.1628	3.7132	3.8946
Most Extreme Differences	Absolute	.195	.271	.275
	Positive	.135	.271	.163
	Negative	-.195	-.177	-.275
Kolmogorov-Smirnov Z		.436	.605	.616
Asymp. Sig. (2-tailed)		.991	.857	.843

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

2. Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

% Porositas

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.640	2	12	.235

3. Anova

ANOVA

% Porositas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	164.181	2	82.091	8.126	.006
Within Groups	121.232	12	10.103		
Total	285.413	14			



4. Post Hoc Test : Uji Tukey dan LSD

Multiple Comparisons

Dependent Variable: % Porositas
Tukey HSD

(I) Bahan Logam Tuang	(J) Bahan Logam Tuang	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Ag	NiCr	2.8800	2.0102	.356	-2.4831	8.2431
	Cu	-5.1200	2.0102	.062	-10.4831	.2431
NiCr	Ag	-2.8800	2.0102	.356	-8.2431	2.4831
	Cu	-8.0000*	2.0102	.005	-13.3631	-2.6369
Cu	Ag	5.1200	2.0102	.062	-.2431	10.4831
	NiCr	8.0000*	2.0102	.005	2.6369	13.3631

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

% Porositas

Tukey HSD^a

Bahan Logam Tuang	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
NiCr	5	10.4400	
Ag	5	13.3200	13.3200
Cu	5		18.4400
Sig.		.356	.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.