

**PENGARUH LAMA PEMANASAN PASCA POLIMERISASI DENGAN
MICROWAVE TERHADAP MONOMER SISA DAN KEKUATAN
TRANSVERSA PADA REPARASI PLAT GIGI TIRUAN
RESIN AKRILIK**

Adrianto Budiharjo*, Endang Wahyuningtyas**, Erwan Sugiarno**
*Program Studi Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis FKG UGM
**Bagian Prostodonsia FKG UGM

ABSTRAK

Reparasi plat gigi tiruan lepasan yang patah biasanya dilakukan dengan menggunakan bahan resin akrilik polimerisasi dingin karena lebih mudah dan lebih cepat, tetapi penggunaan bahan ini kadang kembali mengalami keretakan pada bagian yang telah direparasi. Hal ini disebabkan karena kekuatan transversa resin akrilik polimerisasi dingin lebih rendah dibanding kekuatan transversa resin akrilik polimerisasi panas akibat tingginya jumlah monomer sisa *methylmethacrylate*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* terhadap monomer sisa dan kekuatan transversa pada reparasi plat gigi tiruan resin akrilik

Penelitian ini menggunakan 40 balok empat persegi panjang (65x10x2,5 mm) resin akrilik polimerisasi panas yang direparasi dengan resin akrilik polimerisasi dingin. Sampel dibagi menjadi empat kelompok, yang terdiri dari sepuluh sampel dalam tiap kelompok. Urutan pembagian kelompok berdasarkan pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* yaitu selama 2, 3 dan 4 menit, serta kelompok keempat sebagai kontrol. Setelah sampel selesai dibuat sesuai dengan ketentuannya, seluruh sampel dilakukan pengukuran kekuatan transversa dengan menggunakan *United Testing Machine* (Pearson Panke Equipment Ltd., London). Pengukuran jumlah monomer sisa dilanjutkan pada patahan batang sampel dengan terlebih dahulu dilakukan proses *reflux*, kemudian dilakukan analisa dengan alat *Gas Chromatograph* (Shimadzu, Japan). Data dianalisis dengan ANAVA satu jalur dan dilanjutkan uji *Least Significant Difference* (LSD).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: 1) Terdapat perbedaan signifikan pada jumlah monomer sisa antara lama pemanasan *microwave* ($p < 0,05$); 2) Terdapat perbedaan yang signifikan pada kekuatan transversa antara lama pemanasan *microwave* ($p < 0,05$). Kesimpulan penelitian ini adalah: 1) Lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* berpengaruh menurunkan jumlah monomer sisa pada reparasi plat gigi tiruan resin akrilik; 2) Lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* berpengaruh menaikkan kekuatan transversa pada reparasi plat gigi tiruan resin akrilik.

Kata kunci: reparasi, resin akrilik, *microwave*, monomer sisa, kekuatan transversa

ABSTRACT

Repair of fractured denture usually done using cold cured acrylic because it is easier and faster, but sometimes cracks do shown again in the repaired section. This is due to cold cured acrylic's transverse strength is lower than heat cured one, as a result of the high amount of methylmethacrylate as residual monomer. The aim of this study was to investigate the effect of post-polymerization heat duration using microwave on residual monomer and transverse strength of repaired acrylic resin denture base.

This study used forty rectangular samples (65x10x2.5 mm) of heat cured acrylic resin which were repaired with cold cured acrylic resin. Samples were divided into four groups which consisted of ten samples each. The sequence of the groups were in accordance of their post-polymerization heat duration using microwave which were 2, 3 and 4 minutes, well as the fourth group acted as control After samples were made in accordance with their provisions, they had their transverse strength measured using Universal Testing Machine (Pearson Panke Equipment Ltd., London). Measurement of the amount of residual monomer in the fractured samples were done with Gas Chromatograph (Shimadzu, Japan), by first reflux was performed. The data were analyzed to one-way ANOVA and continued by Least Significant Difference (LSD).

The results showed that: 1) There was a significant difference in the amount of residual monomer between post-polymerization heat duration using microwave ($p < 0.05$); 2) There was a significant difference in transverse strength between post-polymerization heat duration using microwave ($p < 0.05$). The conclusions of this study were: 1) The post-polymerization heat duration using microwave decreased the amount of residual monomer of repaired acrylic resin denture base; 2) The post-polymerization heat duration using microwave increased the transverse strength of repaired acrylic resin denture base.

Keywords: repair, acrylic resin, microwave, residual monomer, transverse strength

PENDAHULUAN

Resin akrilik saat ini masih merupakan pilihan untuk pembuatan plat gigi tiruan lepasan karena harganya relatif murah, mudah direparasi, proses pembuatannya mudah dan menggunakan peralatan sederhana, serta memiliki warna stabil dan mudah dipoles¹. Selain sebagai plat gigi tiruan, resin akrilik juga digunakan sebagai bahan reparasi². Sebagai bahan plat gigi tiruan, resin akrilik harus mempunyai beberapa sifat, antara lain: tidak beracun, tidak larut dalam cairan mulut, bahan penghantar panas yang rendah dan mudah direparasi jika patah³.

Salah satu kelemahan bahan resin akrilik adalah mudah patah, terutama bila jatuh atau gigi tiruan terlempar pada saat penderita bersin atau batuk, tetapi dapat pula terjadi pada saat dipergunakan untuk mengunyah, atau tergigit benda keras, misalnya: tulang atau batu kecil. Gigi tiruan yang patah dapat dikembalikan ke bentuk semula dengan cara direparasi⁴. Fraktur yang sering terjadi adalah pada bagian *midline* gigi tiruan rahang atas, sedangkan fraktur

yang sering terjadi pada gigi tiruan yang telah direparasi adalah pada bagian sambungan antara material baru dan lama⁵.

Syarat hasil reparasi diantaranya adalah harus menghasilkan kekuatan yang cukup pada kekuatan transversa maupun kekuatan impak. Kekuatan hasil reparasi tersebut antara lain dipengaruhi oleh teknik penyambungan, bentuk preparasi kedua ujung yang akan disambung dan bahan reparasi yang dipergunakan⁴.

Penggunaan resin akrilik polimerisasi dingin secara umum telah digunakan untuk bahan reparasi karena lebih mudah dan lebih cepat, tetapi penggunaan bahan ini kadang kembali mengalami keretakan pada bagian yang telah direparasi. Hal ini disebabkan karena kekuatan transversa resin akrilik polimerisasi dingin lebih rendah dibanding kekuatan transversa resin akrilik polimerisasi panas sehingga kekuatan reparasi tidak maksimal⁶. Derajat polimerisasi resin akrilik polimerisasi dingin rendah sehingga banyak monomer *methylmethacrylate* (MMA) yang tidak

bereaksi dan membentuk rantai polimer, maka akan melemahkan kekuatan mekanis dari resin akrilik tersebut^{7,8}. Di dalam rongga mulut, resin akrilik akan berinteraksi dengan substansi endogenik seperti enzim saliva, protein, polisakarida dan bakteri, serta substansi eksogenik seperti bahan makanan; penyerapan air oleh saliva; tekanan oleh pengunyahan; fluktuasi suhu dan kimia selama proses makan. Perubahan secara kimia, fisika dan biomekanika dari resin akrilik akan terjadi sehingga akan semakin meningkatkan kerentanan resin akrilik polimerisasi dingin terhadap fraktur⁹.

Pengurangan monomer sisa dapat meningkatkan kekuatan mekanis resin akrilik, sehingga perlakuan tambahan pasca polimerisasi dilakukan untuk mengurangi monomer sisa, yaitu dengan dua cara: pemanasan *microwave* dan perendaman dalam air panas^{10,11}. Proses pelepasan monomer sisa merupakan proses yang tergantung pada faktor suhu, sehingga difusi zat monomer sisa ke dalam cairan akan meningkat apabila terjadi kenaikan suhu^{12,13}. Perendaman resin akrilik dalam air panas 50°C selama 60 menit sebagai perlakuan pasca polimerisasi akan meningkatkan pelepasan *methylmethacrylate* dan *formaldehyde*¹⁴. Namun karena waktu perendaman yang memakan waktu cukup lama, dilakukan percobaan perlakuan

pasca polimerisasi resin akrilik dengan menggunakan pemanasan *microwave*, dan hasilnya monomer sisa yang dihasilkan dari resin akrilik polimerisasi dingin berkurang hingga seperempat hanya dalam waktu 3 menit¹⁵. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* terhadap monomer sisa dan kekuatan transversa pada reparasi plat gigi tiruan resin akrilik.

METODE PENELITIAN

Subyek penelitian berupa 40 sampel resin akrilik polimerisasi panas yang direparasi dengan resin akrilik polimerisasi dingin berbentuk balok berukuran 65x10x2,5 mm. Pematangan batang uji dilakukan pada *gap* tengah selebar 3 mm dengan *carborundum disc* kemudian dibentuk preparasi *dovetail* berbentuk huruf "T" dengan kedalaman 2,5 mm. Reparasi pada batang uji yang patah dilakukan dengan resin akrilik polimerisasi dingin dan dipoles.

Subjek penelitian dibagi menjadi 4 kelompok, 1 kelompok kontrol dan 3 kelompok perlakuan, yaitu kelompok I (sepuluh sampel resin akrilik dengan lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* 2 menit), kelompok II (sepuluh sampel resin akrilik dengan lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* 3 menit), kelompok III (sepuluh

sampel resin akrilik dengan lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* 4 menit) dan kelompok IV (sepuluh sampel resin akrilik tanpa pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* sebagai kontrol).

Pemanasan pasca polimerisasi *microwave* dilakukan dengan ketentuan jumlah batang uji pada tiap kotak ialah 3 buah dan pada tiap kali pemanasan hanya ditempatkan 2 kotak¹⁶. Pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* ini dilakukan dengan daya 800W dan waktu yang telah ditentukan pada tiap-tiap kelompok, kecuali kelompok kontrol¹⁶. Seluruh batang uji direndam dalam air suling selama 48 jam pada suhu 37°C sebelum dilakukan uji kekuatan transversa dan uji jumlah monomer sisa¹⁷. Perendaman ini bertujuan untuk memperoleh kondisi yang sama dengan kondisi rongga mulut dan *equilibrium water sorption*².

Uji kekuatan transversa dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine*. Uji ini dilakukan dengan meletakkan subjek penelitian pada papan penyangga dengan jarak tumpuan 2 titik sejauh 50 mm (l), kemudian sampel dibebani tepat di tengahnya sampai patah. Setelah dilakukan pematahan, pada layar monitor akan menunjukkan suatu angka (P) yang merupakan berat beban yang dikenakan untuk mematahkan sampel resin akrilik. Selanjutnya data pengukuran yang

diperoleh dimasukkan ke dalam rumus (S) yang digunakan untuk menghitung nilai kekuatan transversa setiap sampel resin akrilik. Besarnya nilai kekuatan transversa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut¹⁸:

$$S = \frac{3 P l}{2 b d^2}$$

Keterangan:

S : kekuatan transversa (MPa)

l : jarak tumpuan pendukung (mm)

P : berat beban yang dikenakan (kg)

b : lebar bahan uji (mm)

d : tebal bahan uji (mm)

Untuk menentukan jumlah monomer sisa, seluruh batang uji dilakukan proses *reflux*. Seluruh batang uji yang telah patah setelah menjalani uji kekuatan transversa dipotong-potong kecil kemudian dihaluskan. Kemudian tiap sampel direndam dalam labu destilasi dengan *ethyl acetate* 10 mL untuk proses *leaching* monomer sisa dari plat resin akrilik yang telah dihaluskan. *Reflux* ini dilakukan dengan pemanas minyak 220°C selama 1 jam dengan pendingin air. Larutan yang didapat kemudian dilakukan analisa dengan alat *Gas Chromatograph*.

Alat *Gas Chromatograph* diatur sesuai dengan standar NMAM untuk analisis *methylmethacrylate*¹⁹. Teknik yang digunakan ialah *Flame Ionization Detector*

(FID) yang spesifik untuk kelompok hidrokarbon. Separasi dengan *gas chromatography* merupakan proses elusi. Proses elusi merupakan proses kimia organik dan analitik yang akan mengekstraksi satu material dari material lainnya dengan cara dilarutkan di dalam *solvent* (pelarut). Dalam *gas chromatography* untuk analisis *methylmethacrylate*, *carrier gas* (Helium) akan bertindak sebagai *eluent* yang membawa analit (*methylmethacrylate*) dan pelarut (karbon disulfida) bergerak dalam kolom-kolom dan mengalami proses elusi. Pergerakan analit di dalam kolom bergantung pada waktu yang dibutuhkan dalam *stationary phase* dan afinitas dari analit pada *stationary phase*. Pada detektor, *chromatogram* dengan gambaran beberapa puncak analit akan muncul sesuai dengan lamanya waktu dari analit pada *stationary phase*, sehingga didapatkan waktu retensi dan luas area retensi sebagai parameter dalam perhitungan konsentrasi sampel yang dicari. Untuk mengetahui puncak pada grafik yang timbul sebagai MMA digunakan teknik *spiking*²⁰. Perhitungan standar MMA dilakukan hingga menghasilkan persamaan linier sehingga didapatkan konsentrasi tiap sampel untuk mencari massa MMA dalam PMMA²¹. Perhitungan standar MMA akan menghasilkan nilai a dan b pada persamaan linier $y=ax+b$.

Setelah didapatkan nilai y dari area MMA pada *chromatogram* uji pengukuran jumlah monomer sisa maka dilakukan perhitungan persentase berat MMA dalam sampel reparasi plat resin akrilik dalam satuan gram.

Kondisi alat *Gas Chromatograph* diatur sebagai berikut :

- | | |
|-----------------------|---|
| a. Kolom | : CBP1 30m |
| b. Suhu kolom | : 60-110°C |
| c. Suhu injeksi | : 240°C |
| d. Gas pembawa | : He dengan
kecepatan
10 mL/menit |
| e. <i>Range</i> | : 10 ² |
| f. <i>Attenuation</i> | : 8 |
| g. Kegiatan gas | : 10 mm/menit |
| h. Volume cuplikan | : 1 µL |

Analisis data yang digunakan untuk mengetahui pengaruh lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* terhadap jumlah monomer sisa dan kekuatan transversa pada reparasi plat resin akrilik adalah dengan uji ANAVA satu jalur dan dilanjutkan dengan uji LSD.

HASIL PENELITIAN

Penelitian tentang pengaruh lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* terhadap monomer sisa dan kekuatan transversa pada reparasi plat gigi tiruan akrilik telah dilakukan di Laboratorium Analisis Instrumental Fakultas Teknik Kimia dan Laboratorium

Ilmu Bahan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Hasil rerata jumlah monomer sisa sampel reparasi plat resin akrilik dapat dilihat pada tabel 1, sedangkan hasil rerata kekuatan transversa sampel reparasi plat resin akrilik dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Rerata dan Standar Deviasi Jumlah Monomer Sisa pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik (gr)

Kelompok	$\bar{X} \pm SD$
Kontrol	0,0081087141 \pm 0,00277414018
Microwave 2 menit	0,0032613777 \pm 0,00077728864
Microwave 3 menit	0,0017928147 \pm 0,00038200348
Microwave 4 menit	0,0006877533 \pm 0,00022488253

Data yang tercantum pada tabel 1 menunjukkan rerata jumlah monomer sisa yang paling sedikit adalah kelompok *microwave* 4 menit, yaitu sebesar 0,0006877533 \pm 0,00022488253 dan yang paling banyak adalah kelompok kontrol, yaitu sebesar 0,0081087141 \pm 0,00277414018.

Tabel 2. Rerata dan Standar Deviasi Kekuatan Transversal pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik (MPa)

Kelompok	$\bar{X} \pm SD$
Kontrol	5,1228 \pm 0,23002
Microwave 2 menit	5,5044 \pm 0,21219
Microwave 3 menit	6,9120 \pm 0,32907
Microwave 4 menit	8,3748 \pm 0,85683

Pada tabel 2 nilai rerata kekuatan transversa yang tertinggi adalah kelompok *microwave* 4 menit, yaitu sebesar 8,3748 \pm 0,85683 dan yang terendah adalah

kelompok kontrol, yaitu sebesar 5,1228 \pm 0,23002.

Data penelitian dianalisis dengan uji ANAVA satu jalur pada tiap perlakuan untuk mengetahui pengaruh lama pemanasan *microwave* terhadap jumlah monomer sisa dan terhadap kekuatan transversa. Syarat yang harus dipenuhi dalam uji ANAVA adalah normalitas dan homogenitas pada data penelitian. Data kemudian dianalisis dengan uji normalitas *Shapiro-Wilk* untuk mengetahui distribusi normal populasi data penelitian.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas Jumlah Monomer Sisa pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik

Uji Shapiro-Wilk	
Kelompok	Probabilitas
Kontrol	0.066
Microwave 2 menit	0.339
Microwave 3 menit	0.189
Microwave 4 menit	0.869

Hasil uji normalitas dengan *Shapiro-Wilk* pada tabel 3 menunjukkan bahwa data jumlah monomer sisa sampel reparasi plat resin akrilik memiliki nilai $p > 0,05$ maka populasi data memiliki distribusi yang normal.

Tabel 4. Hasil Uji Normalitas Kekuatan Transversal pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik

Uji Shapiro-Wilk	
Kelompok	Probabilitas
Kontrol	0.368
Microwave 2 menit	0.320
Microwave 3 menit	0.444
Microwave 4 menit	0.086

Hasil uji normalitas dengan *Shapiro-Wilk* pada tabel 4 menunjukkan bahwa data kekuatan transversa sampel reparasi plat resin akrilik memiliki nilai $p > 0,05$ maka populasi data memiliki distribusi yang normal.

Analisa varian dilakukan dengan berasumsi bahwa varian antar kelompok bersifat homogen. Hipotesis nol dalam analisis homogenitas varian adalah varian antar kelompok bersifat homogen atau tidak ada perbedaan varian antar kelompok. Data penelitian kemudian dianalisis dengan uji *Levene* dan dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5. Hasil Uji *Levene* Jumlah Monomer Sisa pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik

Nilai	Derajat bebas 1 (df ₁)	Derajat Bebas 2 (df ₂)	Probabilitas (p)
8,089	3	36	0,052

Hasil uji *Levene* pada tabel 5 menunjukkan nilai $p > 0,05$, oleh karena itu asumsi homogenitas dinyatakan terpenuhi yang berarti varian populasi bersifat homogen.

Tabel 6. Hasil Uji *Levene* Kekuatan Transversal pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik

Nilai	Derajat bebas 1 (df ₁)	Derajat Bebas 2 (df ₂)	Probabilitas (p)
15,143	3	36	0,066

Hasil uji *Levene* pada tabel 6 menunjukkan nilai $p > 0,05$, oleh karena itu

asumsi homogenitas dinyatakan terpenuhi yang berarti varian populasi bersifat homogen.

Data penelitian dianalisis dengan uji ANAVA satu jalur seperti pada tabel 7 untuk mengetahui pengaruh lama pemanasan *microwave* terhadap jumlah monomer sisa pada sampel reparasi plat resin akrilik. Pada tabel 8 juga dilakukan uji ANAVA satu jalur untuk mengetahui pengaruh lama pemanasan *microwave* terhadap kekuatan transversa pada sampel reparasi plat resin akrilik.

Tabel 7. Hasil Uji ANAVA Satu Jalur Jumlah Monomer Sisa pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat (SS)	Derajat Bebas (df)	Rerata Kuadrat (MS)	F	Probabilitas (p)
Antara lama pemanasan <i>microwave</i>	321.148	3	107.049	21.422	0.000

Hasil uji ANAVA satu jalur pada tabel 7 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada jumlah monomer sisa antara lama pemanasan *microwave* ($p < 0,05$).

Tabel 8. Hasil Uji ANAVA Satu Jalur Kekuatan Transversal pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat (SS)	Derajat Bebas (df)	Rerata Kuadrat (MS)	F	Probabilitas (p)
Antara lama pemanasan <i>microwave</i>	65.707	3	21.902	53.163	0.000

Hasil uji ANAVA satu jalur pada tabel 8 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada kekuatan transversal antara lama pemanasan *microwave* ($p < 0,05$).

Data kemudian diuji dengan *Least Significant Difference* (LSD) untuk melihat perbedaan antar kelompok perlakuan satu dengan yang lainnya, seperti pada tabel 9 dan tabel 10.

Tabel 9. Hasil Uji LSD Jumlah Monomer Sisa pada Sampel Reparasi Plat Resin Akrilik

LSD	Kontrol	Microwave 2 menit	Microwave 3 menit	Microwave 4 menit
Kontrol	-	0,000*	0,000*	0,000*
Microwave 2 menit	-	-	0,151	0,014*
Microwave 3 menit	-	-	-	0,276
Microwave 4 menit	-	-	-	-

Keterangan: * menunjukkan perbedaan yang bermakna ($p < 0,05$)

Hasil uji LSD pada tabel 9 menunjukkan perbedaan jumlah monomer sisa antar kelompok lama pemanasan *microwave* sebagai berikut:

- 1) Kelompok kontrol menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) dengan kelompok *microwave* 2 menit, *microwave* 3 menit dan *microwave* 4 menit.
- 2) Kelompok *microwave* 2 menit menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) dengan kelompok *microwave* 4 menit.
- 3) Kelompok *microwave* 2 menit menunjukkan perbedaan tidak signifikan ($p > 0,05$) dengan kelompok *microwave* 3 menit.

- 4) Kelompok *microwave* 3 menit menunjukkan perbedaan tidak signifikan ($p > 0,05$) dengan kelompok *microwave* 4 menit.

Tabel 10. Hasil Uji LSD Kekuatan Transversa pada Sampel Re-parasi Plat Resin Akrilik

LSD	Kontrol	Microwave 2 menit	Microwave 3 menit	Microwave 4 menit
Kontrol	-	0,087	0,000*	0,000*
Microwave 2 menit	-	-	0,000*	0,000*
Microwave 3 menit	-	-	-	0,000*
Microwave 4 menit	-	-	-	-

Keterangan: * menunjukkan perbedaan yang bermakna ($p < 0,05$)

Hasil uji LSD pada tabel 10 menunjukkan perbedaan kekuatan transversa antar kelompok lama pemanasan *microwave* sebagai berikut:

- 1) Kelompok kontrol menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) dengan kelompok *microwave* 3 menit dan *microwave* 4 menit.
- 2) Kelompok *microwave* 2 menit menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) dengan kelompok *microwave* 3 menit dan *microwave* 4 menit.
- 3) Kelompok *microwave* 3 menit menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) dengan kelompok *microwave* 4 menit.

- 4) Kelompok kontrol menunjukkan perbedaan tidak signifikan ($p > 0,05$) dengan kelompok *microwave* 2 menit.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian pada tabel 1 menunjukkan perubahan jumlah monomer sisa pada sampel reparasi plat resin akrilik setelah dilakukan pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* dalam tiga waktu pemanasan yang berbeda. Jumlah monomer sisa berkurang setelah lama pemanasan selama 2 menit, 3 menit dan 4 menit pada sampel reparasi plat resin akrilik. Rerata jumlah monomer sisa paling rendah adalah kelompok sampel reparasi plat resin akrilik dengan lama pemanasan *microwave* 4 menit, sedangkan jumlah monomer sisa paling tinggi adalah pada kelompok kontrol. Pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* akan mengurangi jumlah monomer sisa pada resin akrilik. Gelombang elektromagnetik yang dikeluarkan oleh *microwave oven* akan menghasilkan pergerakan molekuler di dalam resin akrilik sehingga menyebabkan kenaikan suhu di dalam resin akrilik dan sekitarnya. Panas yang dihasilkan selama proses pemanasan oleh *microwave oven* akan menghasilkan polimerisasi adisi lebih lanjut sehingga mengurangi jumlah monomer sisa yang ada. Monomer sisa juga akan mengalami pergerakan ke cairan di sekitar resin

akrilik serta mengalami proses penguapan diakibatkan suhu yang panas di dalam *microwave oven*. Proses pelepasan monomer sisa merupakan proses yang tergantung pada faktor suhu, sehingga difusi zat monomer sisa ke dalam cairan akan meningkat apabila terjadi kenaikan suhu, yang dalam penelitian ini dilakukan dengan pemanasan dengan *microwave*^{12,13}.

Uji ANAVA satu jalur pada tabel 7 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada jumlah monomer sisa sampel reparasi plat resin akrilik antara lama pemanasan dengan *microwave* ($p < 0,05$). Hal ini terjadi karena pemanasan dengan *microwave* akan menyebabkan proses polimerisasi adisi berlanjut pada sampel reparasi plat resin akrilik, selain itu peningkatan suhu dapat menyebabkan penguapan monomer sisa sehingga jumlah monomer sisa berkurang. Molekul monomer akan bergerak karena *internal heat* yang dihasilkan oleh gelombang elektromagnetik *microwave oven* sehingga meningkatkan derajat konversi monomer²². Proses polimerisasi berlangsung secara eksothermik, sehingga suhu yang meningkat menyebabkan penguapan monomer sisa²³.

Hasil uji LSD jumlah monomer sisa antar kelompok pada sampel reparasi plat resin akrilik setelah pemanasan dengan *microwave* menunjukkan per-

bedaan yang signifikan antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan serta antara kelompok *microwave* 2 menit dengan kelompok *microwave* 4 menit. Hal ini karena perlakuan pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* akan menyebabkan pengurangan jumlah monomer sisa. Resin akrilik memiliki *glass transition temperature* sebesar 125°C , *glass transition temperature* (T_g) merupakan temperatur ketika terjadi pergerakan molekuler sehingga keseluruhan rantai polimer bergerak. Pergerakan rantai polimer akan menghasilkan polimerisasi adisi lebih lanjut dan difusi zat monomer sisa ke cairan sekitar, sehingga mengurangi jumlah monomer sisa. Pada penelitian ini kelompok *microwave* 2 menit belum mencapai T_g sehingga memiliki perbedaan jumlah monomer sisa yang signifikan dengan kelompok *microwave* 4 menit yang seharusnya telah mencapai T_g . *Microwave oven* akan mencapai suhu 100°C dalam rentang lama pemanasan 1-2 menit tergantung daya dan frekuensi *microwave oven*²⁴.

Hasil uji LSD juga menunjukkan perbedaan tidak signifikan pada jumlah monomer sisa antara kelompok *microwave* 2 menit dan kelompok *microwave* 3 menit serta kelompok *microwave* 3 menit dan kelompok *microwave* 4 menit. Perbedaan yang tidak signifikan pada jumlah

monomer sisa ini disebabkan karena perbedaan jumlah monomer sisa yang terlalu sedikit sehingga pada perhitungan statistika menunjukkan adanya perbedaan yang tidak signifikan. Pada kelompok lama pemanasan *microwave* 2 menit dan 3 menit, hal yang mungkin terjadi ialah belum tercapainya T_g atau pergerakan molekuler baru saja terjadi sehingga menunjukkan perbedaan penurunan jumlah monomer sisa yang tidak signifikan bila dibandingkan dengan kelompok dengan lama pemanasan *microwave* 4 menit.

Hasil penelitian pada tabel 2 menunjukkan perubahan kekuatan transversa pada sampel reparasi plat resin akrilik setelah dilakukan pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* dalam tiga waktu pemanasan yang berbeda. Kekuatan transversa meningkat setelah lama pemanasan selama 2 menit, 3 menit dan 4 menit pada sampel reparasi plat resin akrilik. Rerata kekuatan transversa paling tinggi adalah kelompok sampel reparasi plat resin akrilik dengan lama pemanasan *microwave* 4 menit, sedangkan kekuatan transversa paling rendah adalah pada kelompok kontrol. Pada tiap ikatan rantai polimer linier terdapat suatu gaya induksi interatom yang merupakan suatu ikatan polar yang disebut dengan gaya *van der Waals*, gaya ini memiliki ikatan yang lemah diban-

dingkan dengan ikatan primer diantara rantai polimer itu sendiri. Proses pemanasan pasca polimerisasi akan menghasilkan polimerisasi adisi lebih lanjut karena ikatan polar akan rusak sehingga terjadi pergerakan rantai polimer. Rantai polimer akan terbentuk semakin panjang dan bercabang sehingga menghasilkan kekuatan transversa yang semakin meningkat. Percabangan rantai polimer akan memberikan suatu ikatan diantara rantai-rantai linier sehingga membentuk jaringan tiga dimensi yang lebih kuat²⁵. Pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* akan mengurangi jumlah monomer sisa sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanis dari resin akrilik^{10,11}.

Uji ANAVA satu jalur pada tabel 8 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada kekuatan transversa sampel reparasi plat resin akrilik antara lama pemanasan dengan *microwave* ($p < 0,05$). Monomer sisa pada resin akrilik mengindikasikan bahwa tidak terjadi proses polimerisasi secara sempurna (derajat polimerisasi rendah) sehingga tidak tercapai berat molekul polimer yang optimal. Ketika berat molekul yang diinginkan tidak tercapai, maka tidak akan terjadi keseimbangan kekuatan antara ikatan polar dan ikatan kovalen pada rantai polimer sehingga akan mempengaruhi kekuatan mekanis rantai poli-

mer. Monomer sisa pada resin akrilik akan melemahkan kekuatan mekanis dari resin akrilik, sehingga dengan pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* jumlah monomer sisa akan berkurang kemudian akan meningkatkan kekuatan mekanis dari resin akrilik, salah satunya kekuatan transversa. Polimerisasi resin akrilik sebagai bahan basis gigi tiruan hasil yang diharapkan ialah keseluruhan monomer berubah menjadi polimer sehingga menghasilkan kekuatan mekanis yang optimal².

Hasil uji LSD kekuatan transversa antar kelompok pada sampel reparasi plat resin akrilik setelah pemanasan dengan *microwave* menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan, kecuali antara kelompok kontrol dengan kelompok *microwave* 2 menit. Pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* akan menyebabkan pemanasan dielektrik sehingga molekul monomer dalam resin akrilik akan bergerak membentuk rantai polimer sehingga meningkatkan derajat konversi dari monomer. Rantai polimer yang lebih panjang dan bercabang akan meningkatkan kekuatan mekanis dari resin akrilik. Molekul monomer yang bergerak akibat pemanasan pasca polimerisasi akan meningkatkan derajat konversi dari monomer²⁶. Pada kelompok *microwave* 2 menit resin akrilik belum mencapai T_g sehingga diperkirakan pada

kelompok ini belum terjadi penurunan jumlah monomer sisa yang cukup signifikan untuk meningkatkan kekuatan mekanis, diantaranya kekuatan transversa dan kekuatan impak dari resin akrilik. Pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* selama 3 menit akan meningkatkan kekuatan mekanis dari reparasi plat gigi tiruan²⁷.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* berpengaruh menurunkan jumlah monomer sisa pada reparasi plat gigi tiruan resin akrilik.
2. Lama pemanasan pasca polimerisasi dengan *microwave* berpengaruh menaikkan kekuatan transversa pada reparasi plat gigi tiruan resin akrilik.

SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh lama pemanasan pasca polimerisasi *microwave* terhadap kekuatan impak pada reparasi plat gigi tiruan resin akrilik.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memperhatikan pengukuran suhu dalam *microwave oven* pada tiap lama pemanasan pasca

polimerisasi reparasi plat gigi tiruan resin akrilik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nirwana I., 2005, Kekuatan Transversal Resin Akrilik Hybrid Setelah Penambahan Glass Fiber dengan Metode Berbeda, *Dental Journal (Majalah Kedokteran Gigi)*, vol.38 no.1
2. Powers, J.M., Sakaguchi, R.L., 2006, *Craig's Restorative Dental Materials*, 12th ed., h.524, Elsevier, St.Louis
3. Anusavice, K.J., 2003, *Phillips' Science of Dental Materials*, 11th ed., h.165-166;721-722, WB Saunders, USA
4. Doerjadibrata, 2005, *Kekuatan Transversal Hasil Reparasi Beberapa Macam Basis Gigi Tiruan dengan Bahan Reparasi Resin Triad Visible Light Cured*, <http://www.adln.lib.unair.ac.id>, diunduh tanggal 21 April 2013
5. Stipho, H.D., 1998, Repair of Acrylic Resin Denture Base Reinforced with Glass Fiber, *J.Prosthet Dent.*, 80: 546-550
6. Nagai, Eiichi, 2001, Repair of Denture Base Resin Using Woven Metal and Glass Fiber: Effect of Methylene Chloride Pretreatment, *J.Prosthet Dent.*, 85: 496-500
7. Darvell, B.W., 2006, *Materials Science for Dentistry*, 8th ed., h.102, Woodhead Publishing Ltd, Hong Kong
8. Van Noort, R., 2007, *Introduction to Dental Materials*, h.43, Mosby/Elsevier, USA
9. Bettencourt, A.F., Neves, C.B., de Almeida, M.S., Pinheiro, L.M., Oliveira, S.A., Lopes, L.P., Castro, M.F., 2010, Biodegradation of Acrylic Based Resins: A Review, *Dent. Mater.*, 26(5):e171
10. Urban, V.M., Cass, Q.B., Oliveira, R.V., Giampaolo, E.T., Machado, A.L., 2006, Development and application of methods for determination of residual monomer in dental acrylic resins using high performance liquid chro-

- matography, *Biomed. Chromatogr.*, 20:369-376
11. Campanha, N.H., Pavarina, A.C., Giampaolo, E.T., Machado A.L., Carlos I.Z., Vergani, C.E., 2006, Cytotoxicity of hard chairside relines resins: effect of microwave irradiation and water bath postpolymerization treatments, *Int. J. Prosthodont.*, 19(2):195-201
 12. Lamb, D.J., Ellis, B., Priestley, D., 1982, Loss into water of residual monomer from autopolymerizing dental acrylic resin, *Biomaterials*, 3:155-159
 13. Jorge, J.H., Giampaolo, E.T., Vergani, C.E., Machado, A.L., 2006, Effect of post-polymerization heat treatments on the cytotoxicity of two denture base acrylic resins, *J. Appl. Oral Sci.*, 14(3):203-207
 14. Tsuchiya, H., Hoshino, Y., Tajima K., Takagi, N., 1994, Leaching and cytotoxicity of formaldehyde and methyl methacrylate from acrylic resin denture base materials, *J. Prosthet. Dent.*, 71: 618-624
 15. Blagojevic, V., Murphy, V.M, 1999, Microwave polymerization of denture base materials: a comparative study, *J. Oral Rehabil.*, 26:804-808
 16. So, Y.C., Hon Tsoi, J.K., Matinlinna, J.P., 2012, A New Approach to Cure and Reinforce Cold-Cured Acrylics, *Silicon*, 4(3):209-220
 17. Shimizu, H., Ikuyama, T., Hayakawa, E., Tsue, F., Takahashi, Y., 2006, Effect of Surface Preparation Using Ethyl Acetate on The Repair Strength of Denture Base Resin, *Acta Odontol. Scand.*, 64: 159-163
 18. Colvenkar, S.S., Aras, M.A., 2008, In vitro evaluation of transverse strength of repaired heat cured denture base resins with and without surface chemical treatment, *J. Indian Prosthet. Dent.*, 8(2):87-93
 19. NMAM, 1994, *National Institute for Occupational Safety and Health Manual of Analytical Methods*, 4th ed., h.1-4, USA
 20. Dipoyono, H.M., 1991, Silanisasi Monomer Sebagai Upaya Peningkatan Kekuatan Polimer Resin Akrilat, *Disertasi*, Fak.Pascasarjana Univ. Airlangga, Surabaya, h.61-62
 21. Linan, L.Z., Bonon, A., Lima, N.M.N., Filho, R.M., Manenti, F., 2013, Quality Control of Poly(Methyl Methacrylate) to Medical Purpose by Multiple Head space Extraction, *Chemical Engineering Transactions*, 32:1699-1704
 22. Sideridou, I., Achilias, D.S., Kyrikou, E., 2004, Thermal expansion characteristics of light-cured dental resins and resin composites. *Biomaterials*, 25:3087-3097
 23. McCabe, J.F., Walls, A.W.G., 2008, *Applied Dental Materials*, 9th ed., h.5-31,101-109,110-123, Blackwell, UK
 24. Neppelenbroek, K.H., Pavarina, A.C., Spolidorio, D.M., Vergani, C.E., Mima, E.G., Machado, A.L., 2003, Effectiveness of microwave sterilization on three hard chairside relines resins. *Int. J. Prosthodont.*, 16:616-620
 25. Anusavice, K.J., 1996, *Philips' Science of Dental Materials*, h.211-235, WB Saunders, USA
 26. Ferracane, J.L., Greener, E.H., 1986, The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J. Biomed. Mater. Res.*, 20:121-131
 27. Vergani, C.E., Seo, R.S., Pavarina, A.C., 2005, Flexural strength of autopolymerizing denture relines resins with microwave postpolymerization treatment, *J. Prosthet. Dent.*, 93(6):577-583