
PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KACA PADA NILON TERMOPLASTIK DAUR ULANG TERHADAP KEKUATAN IMPAK

Ayumi Cintika Putri, Siti Wahyuni

Departemen Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Sumatera Utara
Jl. Alumni No. 2 Kampus USU Medan 20155
e-mail: uti_ayumi@yahoo.com

KATA KUNCI

Nilon daur ulang, serat kaca, impak

ABSTRAK

Pendahuluan: Nilon termoplastik merupakan bahan basis gigi tiruan yang lebih diminati daripada resin akrilik karena estetikanya yang baik, cukup kuat dan tidak toksik, namun memiliki kerugian menghasilkan nilon sisa dari pembuangan nilon spru hasil dari proses injeksi nilon yang kemudian menjadi limbah dan dapat mencemari lingkungan. Cara menanggulangi pencemaran lingkungan tersebut dengan mendaur ulang nilon sisa, namun akan terjadi penurunan sifat mekanis yaitu kekuatan impak. Cara untuk menanggulangi penurunan kekuatan ini yaitu dengan penambahan serat kaca dan pencampuran dengan nilon murni. **Metode:** Jenis penelitian ini adalah eksperimental laboratoris dengan *post-test only control group design*. Sampel terdiri dari 27 nilon berbentuk balok dengan ukuran 80 x 12,7 x 3,17 mm (ASTM D256) dan terbagi menjadi tiga kelompok (kelompok A nilon murni, kelompok B nilon daur ulang yang ditambah serat kaca dan kelompok C kombinasi nilon murni dan nilon daur ulang yang ditambah serat kaca). Data dianalisis dengan uji ANOVA satu arah dan dilanjutkan dengan uji LSD. **Hasil:** Terdapat perbedaan kekuatan impak antara kelompok B dan A ($p=0,0001$ $p<0,05$) dan tidak terdapat perbedaan kekuatan impak antara kelompok C dan A ($p=0,073$ $p>0,05$), hal ini berarti bahwa kekuatan impak kelompok B tidak sama baiknya dengan kelompok A, tapi kekuatan impak kelompok C sama baiknya dengan kelompok A. **Simpulan:** Pada penelitian ini terlihat bahwa tidak ada pengaruh penambahan serat kaca pada nilon daur ulang terhadap kekuatan impak dan ada pengaruh penambahan serat kaca pada nilon kombinasi terhadap kekuatan impak.

KEYWORDS

Recycled nylon, fiberglass, impact

ABSTRACT

Introduction: Thermoplastic nylon is a denture base material that is more preferred than acrylic resin because of its more aesthetics, strong enough, and non-toxic, but has the disadvantage of producing residual nylon from the waste of nylon sprue by injection molding of nylon which then becomes waste and can cause environmental pollution. The way to reduce environmental pollution is by recycling the waste nylon but it can decrease its mechanical properties including the impact strength. The way to reduce this decrease is by the addition of glass fibers and mixing them with pure nylon. **Method:** This type of research is an experimental laboratory with a *post-test only control group design*. The sample consisted of 27 a beam-shaped nylon with the size of 80 x 12.7 x 3.17 mm (ASTM D256) and divided into three groups (group A: pure nylon, group B: recycled nylon with adding glass fiber,

group C: combination nylon with adding glass fiber). Data were analyzed by one-way ANOVA and continued with the LSD test. **Results:** There is a difference in impact strength between group B and A ($pvalue=0,0001$, $p<0,05$) and there is no difference in impact strength between group C and A ($pvalue=0,073$, $p>0,05$), which means the impact strength of group B not as good as group A but the impact strength of group C as good as group A. **Conclusion:** In this research, it can be seen that there is no effect of adding glass fiber to recycled nylon and there is an effect of adding glass fiber to combination nylon of impact strength.

PENDAHULUAN

Gigi tiruan sebagian lepasan memiliki salah satu komponen penting yaitu basis. Basis merupakan bagian dari gigi tiruan yang bersandar pada jaringan lunak didalam rongga mulut yang berfungsi untuk menggantikan tulang alveolar yang hilang, menerima gaya fungsional dari proses pengunyahan dan mendistribusikannya ke jaringan pendukung struktur rongga mulut serta mendukung anasir gigi tiruan.¹

Berdasarkan data dari Unit Jasa Industri (UJI) Dental FKG USU pada tahun 2018, bahan basis nilon termoplastik 19,06% lebih diminati daripada bahan basis resin akrilik. Nilon merupakan nama generik dari polimer termoplastik yang tergolong dalam kelas poliamida. Poliamida tersebut dibentuk melalui reaksi kondensasi antara *diamine* dan *dibasic acid* yang memberikan variasi dari poliamida dengan sifat fisis dan mekanis yang tergantung pada ikatan antara asam dan amida.²⁻⁴

Nilon termasuk bahan termoplastik tipe semi *crystalline* yang memiliki susunan rantai molekular teratur.^{2,5} Kelebihan nilon termoplastik adalah bersifat fleksibel, tidak

mudah patah, tidak memiliki cangkolan logam sehingga estetikanya baik, ringan, bebas dari monomer sisa.^{3,6} Kekurangan nilon termoplastik adalah biaya pembuatan yang mahal, penyerapan air yang tinggi, kontaminasi bakteri, rentan mengalami perubahan warna, permukaannya sulit untuk dipoles sehingga menghasilkan permukaan yang lebih kasar.^{2,4,6}

Nilon termoplastik dimanipulasi dengan menggunakan teknik injeksi ke dalam mold menggunakan injektor yang biasa disebut sebagai teknik *injection molding*. Teknik manipulasi dengan *injection molding* menghasilkan basis gigi tiruan yang lebih stabil, tetapi kerugian dari teknik ini adalah biaya yang lebih mahal dan adanya pembuangan spru (nilon sisa) hasil injeksi basis gigi tiruan.^{2,7,8}

Berdasarkan data dari UJI Dental FKG USU pada tahun 2015, diperoleh data rata-rata sisa spru yang dibuang ialah sebesar 19,5% dari berat total basis gigi tiruan yang diperoleh. Pembuangan spru hasil injeksi tersebut lama-kelamaan akan menumpuk menjadi limbah sisa nilon yang dapat mencemari lingkungan. Sisa produksi nilon yang sulit didegradasi

dan biaya pembuatan bahan bakunya yang mahal mendorong perlunya dilakukan pengelolaan nilon sisa melalui daur ulang. Salah satu metode daur ulang yang mudah digunakan dan biayanya murah yaitu metode mekanis. Namun, daur ulang pada nilon sisa dapat berdampak pada peningkatan penyerapan air dan penurunan sifat mekanis nilon, salah satunya adalah kekuatan impact.⁹ Hal ini disebabkan karena terpotongnya rantai polimer sehingga mengakibatkan penurunan berat molekul yang diperantarai air.⁹

Soja dkk (2013) mendaur ulang nilon sisa dan hasil dari FTIR (*Fourier Transformed Infrared Spectroscopy*) menunjukkan bahwa nilon daur ulang mengalami degradasi polimer karena ikatan antara C-C terpotong sehingga menyebabkan rantai kimianya menjadi pendek.¹⁰ Peydro MA dkk (2012) menyatakan nilon daur ulang mengalami penurunan kekuatan impact dari 45,09 J/m² menjadi 28,09 J/m². Penurunan kekuatan impact ini diakibatkan sifat pemutusan rantai molekul yang terjadi karena pemrosesan berulang. Rantai molekul yang lebih pendek dan lebar mengakibatkan ikatan rantai yang lebih lemah sehingga kekuatannya mengalami penurunan.¹¹ Untuk menanggulangi terjadinya penurunan kekuatan impact dilakukan pencampuran dengan nilon murni dan dengan penambahan serat kaca sebagai bahan kompatibilisasi.

Penambahan nilon murni ke dalam nilon daur ulang dimaksudkan untuk memperbaiki

struktur nilon daur ulang menjadi lebih baik. Penelitian Bucella dkk (2012) menunjukkan pada analisis *terminal group*, terlihat peningkatan berat molekul ketika nilon murni ditambahkan pada nilon daur ulang dan reaksi kimia terjadi antara *chain extender* dengan ikatan amida sehingga menghasilkan struktur nilon yang lebih baik.¹² Aldini (2016) melakukan penelitian pengaruh penambahan nilon murni pada nilon daur ulang terhadap kekuatan impact yang menunjukkan hasil kekuatan impact meningkat dari 42,78 x 10⁻³ J/mm² menjadi 61,89 x 10⁻³ J/mm².¹³

Penambahan bahan kompatibilisasi berupa serat kaca juga dapat mengurangi tingkat penyerapan air sehingga dapat mencegah penurunan kekuatan mekanis akibat proses daur ulang.^{6,14} Hasil adhesi yang optimal antara serat kaca dan matriks polimer dapat dicapai dengan penambahan *silane coupling agent* yang secara kimia mengikat serat kaca dan matriks polimer menjadi lebih kuat sehingga tercapai densitas yang optimal. Densitas yang optimal ini terjadi karena dengan penambahan *silane*, serat kaca dapat mengisi rongga kosong pada matriks polimer dan terjadi ikatan kimia antara serat kaca dan nilon termoplastik.^{15,16} Penambahan serat kaca dapat meningkatkan kekuatan impact pada poliamida daur ulang. Hal ini sejalan dengan penelitian Soja (2013) mengenai penambahan serat kaca pada poliamida daur ulang yang menunjukkan hasil kekuatan impact pada poliamida daur ulang sebesar 8,4

kJ/m^2 meningkat menjadi $9,4 \text{ kJ/m}^2$ setelah ditambahkan serat kaca.¹⁰

Serat kaca jenis E-glass dengan bentuk potongan kecil adalah jenis serat kaca yang paling banyak digunakan dalam bidang kedokteran gigi. Hal ini disebabkan jenis E-glass memiliki kandungan aluminium yang tinggi, namun kandungan alkalis dan boron-silikatnya rendah serta potongan kecil dapat terdistribusi lebih merata.¹⁷ Serat kaca memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat berikatan dengan matriks poliamida, biokompatibel, tidak bersifat karsinogenik, memiliki kualitas estetis yang baik, mudah dimanipulasi serta dapat mengurangi tingkat penyerapan air dan mencegah penurunan kekuatan mekanis.^{17,18} Namun, serat kaca memiliki kekurangan yaitu dapat menyebabkan kekakuan serta meningkatkan kekasaran permukaan seiring dengan penambahan jumlah serat kaca pada nilon termoplastik. Semakin panjang serat yang digunakan maka ikatan adhesi akan semakin lemah dan semakin banyak serat yang digunakan juga akan menyulitkan penyatuan antara serat dengan nilon termoplastik.¹⁹ Oleh karena itu, peneliti melakukan penelitian untuk melihat pengaruh penambahan serat kaca potongan kecil ukuran 3,2 mm dengan konsentrasi 1% pada nilon termoplastik daur ulang dan nilon kombinasi terhadap kekuatan impak bahan basis gigi tiruan.

METODE

Rancangan penelitian yang digunakan adalah eksperimental laboratoris dengan *post-test only control group design*. Penelitian ini dilakukan di Unit Jasa Industri Dental Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara dan Laboratorium Polimer Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Sampel pada penelitian ini adalah nilon berbentuk balok dengan ukuran $80 \times 12,7 \times 3,17 \text{ mm}$ (ASTM D256) dibagi menjadi 3 kelompok dan tiap kelompok berjumlah 9 sampel. Kelompok A adalah nilon murni sebagai kontrol, kelompok B adalah 100% nilon daur ulang yang ditambah serat kaca ukuran 3,2 mm dengan konsentrasi 1%, kelompok C nilon kombinasi 60% nilon murni dengan 40% nilon daur ulang yang ditambah serat kaca ukuran 3,2 mm dengan konsentrasi 1%.

Nilon spru di daur ulang dengan metode mekanis yang terdiri dari tahap pemisahan dengan zat terkontaminasi, pemotongan dan proses pengeringan. Serat kaca disilanisasi dengan cara ditambahkan *silane coupling agent* lalu didiamkan 40 menit pada suhu ruang dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 115°C selama 1 jam. Pencampuran serat kaca dengan nilon di dalam *cartridge* dilakukan secara selapis demi selapis dengan tujuan agar serat kaca tercampur merata.

Nilon termoplastik dimanipulasi dengan menggunakan teknik injeksi ke dalam mold menggunakan injektor yang biasa disebut sebagai teknik *injection molding*. Teknik ini

memanfaatkan aliran nilon pada fase cair, dimana nilon telah dilelehkan pada suhu 235°C selama 10-15 menit dengan *furnace* elektrik. Selanjutnya, nilon yang telah meleleh ditekan ke dalam kuvet oleh *plugger* di bawah tekanan yang diberikan oleh pres hidrolis atau manual. Tekanan *injection molding* dijaga selama 3-5 menit kemudian kuvet beserta *cartridge* segera dilepaskan. Kuvet kemudian dibiarkan dingin pada suhu kamar selama 15-20 menit, setelah proses polimerisasi sempurna, bahan basis dikeluarkan dari kuvet dan spru dibuang

menggunakan pisau atau *disc* khusus. Selanjutnya sampel dihaluskan dengan kertas pasir yang dipasangkan pada *rotary grinder* dan dipoles dengan *coarse pumice*.

Pengujian kekuatan impak dilakukan dengan mesin *izod* dengan sampel sebelumnya dibuatkan takik. Sampel ditempatkan dengan posisi vertikal di salah satu ujung alat penguji, dengan posisi takik searah datangnya beban. Kunci lengan pemukul dilepas dan lengan pemukul membentur sampe hingga patah. Energi yang tertera pada alat penguji dibaca dan dicatat.

HASIL

Tabel 1. Nilai rerata (J/m) dan standar deviasi kekuatan impak nilon murni, nilon daur ulang yang ditambah serat kaca dan nilon kombinasi yang ditambah serat kaca

No. sampel	Kelompok A (Nilon murni)	Kelompok B (Nilon daur ulang yang ditambah serat kaca)	elompok C (Nilon kombinasi yang ditambah serat kaca)
1.	281,44	137,42	234,33
2.	258,84	171,81	301,53
3.	335,14	134,39	258,73
4.	261,49	107,30	207,70
5.	234,21	129,37	214,98
6.	245,43	105,49	245,52
7.	301,97	152,61	248,88
8.	337,17	173,24	295,46
9.	238,21	128,95	275,29
$\bar{x} \pm SD$ (Joule/meter)	$\bar{x} \pm SD= 277,10 \pm 39,60$	$\bar{x} \pm SD= 137,84 \pm 24,41$	$\bar{x} \pm SD= 249,16 \pm 28,90$

Berdasarkan analisis univarian pada tabel 1 didapatkan rerata dan standar deviasi (SD) dari kekuatan impak nilon murni (kelompok A) adalah 277,10±39,60 J/m. Rerata dan SD dari kekuatan impak nilon daur ulang yang ditambah serat kaca (kelompok B) adalah 137,84±24,41 J/m. Rerata dan SD dari kekuatan impak nilon kombinasi yang ditambah serat kaca (kelompok C) adalah 249,16±28,90 J/m.

Dari hasil uji ANOVA satu arah pada tabel 2 diperoleh nilai p= 0,0001 (p< 0,05) yang berarti ada perbedaan kekuatan impak yang bermakna minimal pada 2 kelompok, selanjutnya dilakukan uji LSD (*Least Significant Different*). Hasil uji LSD pada tabel 3 menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna kelompok A dan kelompok B p= 0,0001 (p< 0,05) dengan selisih rerata 139,257 J/m, kelompok B dan kelompok C

$p = 0,0001$ ($p < 0,05$) dengan selisih rerata 111,315 J/m, sedangkan kelompok A dan kelompok C menunjukkan tidak adanya perbedaan $p = 0,073$ ($p > 0,05$), dengan selisih reratanya hanya 27,942 J/m (Tabel 3), dengan kata lain kelompok C menghasilkan nilai kekuatan impak yang sama baiknya dengan kelompok A, namun hasil kekuatan impak pada kelompok B tidak sama baik dengan kelompok A. Hal ini berarti bahwa tidak ada pengaruh penambahan serat kaca pada nilon daur ulang (kelompok B) dan ada pengaruh penambahan serat kaca pada nilon kombinasi (kelompok C) terhadap kekuatan impak.

Tabel 2. Hasil uji ANOVA

Kelompok	Kekuatan Impak (J/m)		
	n	$\bar{x} \pm SD$	p
A (Nilon Murni)	9	277,10±39,60	0,0001*
B (Nilon Daur Ulang + Serat Kaca)	9	137,84±24,41	
C (Nilon Kombinasi + Serat Kaca)	9	229,16±34,67	

Tabel 3. Hasil uji LSD

	n	Selisih Rerata	p
Kelompok A- Kelompok B	9	139,257	0,0001*
Kelompok A- Kelompok C	9	27,942	0,073
Kelompok B- Kelompok C	9	111,315	0,0001*

PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian ini pada setiap kelompok sampel terdapat nilai kekuatan impak yang berbeda-beda, walaupun masih

dalam cakupan data yang normal. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yang tidak bisa dikendalikan saat proses pembuatan sampel selama penelitian, seperti adanya porositas internal saat proses injeksi, penyebaran serat kaca yang tidak merata pada sampel, serta perubahan suhu saat pemrosesan.

Nilon termoplastik dimanipulasi dengan teknik *injection molding* yang dalam proses pengerjaannya akan terbentuk porositas internal akibat dari masuknya udara selama prosedur pemanasan. Semakin banyak porositas internal suatu bahan, maka akan semakin mengurangi sifat mekanisnya karena adanya udara yang terperangkap menyebabkan bahan tidak sepenuhnya padat sehingga bahan semakin mudah mengalami fraktur.^{19,20}

Pencampuran serat kaca yang dilakukan sebelum pemanasan nilon menyebabkan distribusi serat kaca yang tidak merata pada setiap sampelnya setelah nilon diinjeksikan. Penyebaran serat kaca yang tidak merata mengakibatkan lokasi penyerapan beban tidak sama pada setiap sampelnya sehingga dapat mempengaruhi kekuatan impak.^{21,22}

Di samping itu, kekuatan impak nilon juga sangat bergantung pada derajat kristalisasi. Salah satu faktor yang dapat mengganggu derajat kristalisasi adalah adanya perubahan suhu ketika manipulasi bahan nilon. Hal ini disebabkan karena ketika *cartridge* dipindahkan dari *furnace* ke injektor, dapat terjadi perubahan suhu yang tidak dapat

dikontrol.² Hal ini sejalan dengan pendapat Kohli (2013) yang menyatakan bahwa metode *molding* dapat memengaruhi sampai dengan 50% derajat kristalisasi nilon termoplastik yang mengakibatkan perubahan pada kekuatan mekanisnya.²

Selain itu, pengerjaan sampel untuk setiap kelompok tidak dapat dikerjakan dalam waktu yang bersamaan. Pada setiap kuvet hanya dapat dihasilkan 2 buah sampel, sehingga pada waktu injeksi dapat terjadi perbedaan kualitas sampel yang dihasilkan. Kelebihan bahan basis gigi tiruan nilon pada waktu injeksi dapat menyebabkan kemungkinan ikut terbuangnya lebih banyak kandungan serat kaca yang terdapat dalam nilon.

Hasil uji ANOVA satu arah pada tabel 2 terlihat bahwa ada perbedaan kekuatan impact yang bermakna pada minimal 2 kelompok dengan $p=0,0001$ ($p<0,05$). Hasil uji LSD pada tabel 3 menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna antara beberapa kelompok, yaitu kelompok nilon murni (kelompok A) dengan nilon daur ulang yang ditambah serat kaca (kelompok B) dengan nilai $p=0,0001$ ($p<0,05$) serta kelompok nilon kombinasi yang ditambah serat kaca (kelompok C) dengan nilon daur ulang yang ditambah serat kaca (kelompok B) dengan nilai $p=0,0001$ ($p<0,05$). Hasil uji LSD juga menunjukkan tidak adanya perbedaan antara kelompok A dengan kelompok C dengan nilai $p=0,073$ ($p>0,05$).

Berdasarkan uji statistik diperoleh hasil

penambahan serat kaca pada nilon kombinasi (kelompok C) menunjukkan peningkatan kekuatan impact yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan serat kaca pada nilon daur ulang (kelompok B). Hal ini terlihat dari nilai kekuatan impact nilon daur ulang yang ditambah serat kaca (kelompok B) berbeda signifikan dengan nilai kekuatan impact nilon murni (kelompok A) dengan selisih rerata 139,257 J/m, sedangkan nilai kekuatan impact nilon kombinasi yang ditambah serat kaca (kelompok C) tidak berbeda dari nilai kekuatan impact nilon murni (kelompok A) dengan selisih rerata hanya 27,942 J/m, dengan kata lain kelompok C menghasilkan nilai kekuatan impact yang sama baiknya dengan kelompok A, namun hasil kekuatan impact pada kelompok B tidak sama baik dengan kelompok A. Hal ini berarti bahwa tidak ada pengaruh penambahan serat kaca pada nilon daur ulang (kelompok B) dan ada pengaruh penambahan serat kaca pada nilon kombinasi (kelompok C) terhadap kekuatan impact.

Perbedaan rerata tiap kelompok sampel menunjukkan kekuatan impact yang tertinggi secara berurut yaitu nilon murni, nilon kombinasi yang ditambah serat kaca dan nilon daur ulang yang ditambah serat kaca. Perbedaan ini terjadi akibat faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan impact mengalami perubahan akibat dari proses daur ulang yaitu terjadinya perubahan pada berat molekul dan derajat kristalisasi yang dapat meningkatkan penyerapan air dan dapat

menurunkan kekuatan impak nilon.

Adanya penurunan nilai kekuatan impak pada kelompok B dan kelompok C dibandingkan nilai kekuatan impak kelompok A disebabkan oleh reaksi pemotongan rantai C-C pada nilon daur ulang yang diperantarai oleh air dan kontaminan lainnya. Dalam penelitian ini, partikel air dapat diikat nilon melalui proses pencucian dan pemanasan. Meskipun setelah dicuci nilon dikeringkan pada desikator, ikatan antara partikel H dari molekul air (H_2O) dengan nilon tidak akan putus dengan sempurna. Di sisi lain, kontaminasi uap air ketika nilon dipanaskan akan turut meningkatkan jumlah ikatan partikel air dengan nilon. Reaksi tersebut mengakibatkan pemotongan rantai C-C sehingga ikatan *methylene* (CH_2) pada nilon termoplastik berkurang, sementara ikatan *methyl* (CH_3) bertambah. Akibatnya, rantai polimer yang terbentuk menjadi lebih pendek dan lebar juga menyebabkan ikatan rantai kimianya menjadi tidak teratur sehingga ruang intermolekul merenggang dan mengurangi kekuatan nilon.^{10,23} Rantai yang pendek dan lebar akan menyebabkan terjadinya penurunan berat molekul nilon termoplastik sehingga kekuatan impak nilon termoplastik mengalami penurunan. Hal ini sejalan dengan penelitian Achilias (2012) yang menyatakan bahwa kontaminasi air dapat menyebabkan pemotongan rantai ketika nilon termoplastik di daur ulang.⁹ Soja dkk (2013) yang menganalisis struktur molekul sampel

nilon daur ulang secara mekanis menggunakan FTIR menyatakan bahwa ratio *methyl* ($-CH_3-$) akan meningkat, sementara *methylene* ($--CH_2--$) akan menurun akibat adanya pemotongan pada ikatan C-C dan ini berdampak pada penurunan kekuatan impak dari $12,1 \text{ kJ/m}^2$ menjadi $8,4 \text{ kJ/mm}^2$.¹⁰ Peydro dkk (2001) mengemukakan kontaminasi partikel pada matriks nilon daur ulang juga dapat mengakibatkan penurunan kekuatan impak yaitu dari $45,09 \text{ J/m}^2$ menjadi $28,61 \text{ J/m}^2$.¹¹

Proses daur ulang yang menyebabkan struktur rantai menjadi tidak teratur dan ruang intermolekul yang merenggang mengakibatkan perlunya penambahan serat kaca untuk dapat mengisi rongga kosong matriks polimer nilon sehingga dapat meningkatkan kekuatan impak bahan basis gigi tiruan nilon.¹⁶ Penambahan serat kaca pada nilon daur ulang dan nilon kombinasi dapat mempertahankan kekuatan impak pada nilon. Adanya pengaruh penambahan serat kaca pada nilon daur ulang dan nilon kombinasi terhadap kekuatan impak terjadi karena serat kaca dalam komposisinya mengandung silikon dioksida (SiO_2) dengan persentase tertinggi. Silikon dioksida merupakan senyawa yang terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat serta memiliki struktur kimia yang isotropik yaitu empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral disekitar atom pusat silikon yang menyebabkan SiO_2 memiliki kekuatan yang tinggi. Silikon dioksida yang terkandung

dalam serat kaca inilah yang menjadikan serat kaca menjadi kuat dan mampu menyerap beban yang diterima oleh bahan basis gigi tiruan nilon berupa beban tiba-tiba yang diterima saat basis gigi tiruan terjatuh. Transfer beban terjadi akibat adanya adhesi antara permukaan serat kaca dengan matriks polimer bahan basis gigi tiruan nilon. Saat beban berhasil ditransfer dari bahan basis gigi tiruan nilon ke serat kaca, maka terjadi peningkatan kekuatan impak sehingga basis gigi tiruan tidak mudah patah.²⁴ Selain itu, bahan basis gigi tiruan nilon memiliki densitas 1,04-1,22 gr/cm³ sedangkan serat kaca memiliki densitas yang tinggi yaitu 2,79 gr/cm³. Adhesi yang baik antara serat kaca dan matriks polimer bahan basis gigi tiruan nilon akan menyebabkan densitas serat kaca dapat mengisi ruang intermolekul yang merenggang akibat proses daur ulang sehingga dapat meningkatkan kekuatan impak.¹⁶ Hal ini sejalan dengan penelitian Soja (2013) yang menunjukkan hasil kekuatan impak meningkat dari 12,1 kJ/m² menjadi 13,4 kJ/m² pada poliamida daur ulang yang ditambahkan serat kaca.¹⁰

Pencampuran nilon murni kedalam nilon daur ulang juga dapat memengaruhi kekuatan impak, selain dari mekanisme penambahan serat kaca. Kemampuan nilon daur ulang dalam mempertahankan kekuatan impaknya setelah dikombinasikan dengan nilon murni diakibatkan oleh proses *chain extension*. *Chain extension* adalah hasil reaksi *post-kondensasi* antara polimer yang terdegradasi

dan *chain extender* tertentu. Dalam penelitian ini, yang bertindak sebagai *chain extender* adalah nilon termoplastik murni. *Chain extender* akan bergabung dengan ikatan amida rantai nilon yang telah mengalami pemutusan pada saat proses daur ulang. Akibatnya, rantai yang mulanya pendek dan lebar mengalami proses pemanjangan. Sejalan dengan hal tersebut, berat molekul nilon termoplastik akan bertambah sehingga kekuatan impak turut mengalami peningkatan. Hal ini sesuai dengan dengan penelitian yang dilakukan Bucella dkk (2012) yang menyatakan penambahan nilon murni pada nilon daur ulang akan menghasilkan struktur nilon yang lebih baik. Pada analisis *terminal group*, peningkatan berat molekul terjadi ketika nilon murni ditambahkan pada nilon daur ulang dan reaksi kimia terjadi antara *chain extender* dengan ikatan amida. Secara teori, ikatan ini akan menghilangkan efek degradasi dan meningkatkan berat molekul.¹²

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh penambahan serat kaca pada nilon daur ulang terhadap kekuatan impak dan ada pengaruh penambahan serat kaca pada nilon kombinasi terhadap kekuatan impak. Pada penelitian ini terlihat bahwa penambahan serat kaca ukuran 3,2 mm dengan konsentrasi 1% pada nilon kombinasi 60% murni dan 40% daur ulang menghasilkan nilai kekuatan impak yang

lebih baik dibandingkan dengan penambahan serat kaca ukuran 3,2 mm dengan konsentrasi 1% pada nilon daur ulang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Carr AB, Brown DT., *Mc Crackern's Removable Partial Prosthodontics*, 12th ed, Saunders Elsevier, St Louis Missouri, 2011.
2. Kohli S, Bhatia S., Polyamides in dentistry, *International Journal of Scientific Study*, Volume 1, No.1: 20-25, (April-June 2013), diakses 5 Februari 2019.
3. Nandal S, Ghalaut P, Shekhawat H, Gulati M., New era in denture base resins: a review, *Dental Journal of Advance Studies*, Volume 1, No.3: 126-143, (December 2013), diakses 5 Februari 2019, doi: 10.1055/s-0038-1671969.
4. Soygun K, Bolayir G, Boztug A., Mechanical and thermal properties of polyamide versus reinforced PMMA denture base materials, *The Journal of Advanced Prosthodontic*, Volume 5: 153-160, (April 2013), diakses 5 Februari 2019, doi: 10.4047/jap.2013.5.2.153.
5. Klein R., *Laser Welding Of Plastics*, 1st ed, VGH, Wiley, 2011.
6. Vojdani M, Giti R., Polyamide as a denture base material: a literature review, *Journal Dental Shiraz University Medical Science*, Volume 16, No.1: 1-9, (March 2015), diakses 5 Februari 2019.
7. Manappallil JJ., *Basic Dental Materials*, 4th ed, Jaypee Brothers Medical Publisher, New Delhi, 2016.
8. Singh K, Gupta N., Injection molding technique for fabrication of flexible prosthesis from flexible thermoplastic denture base materials, *World Journal of Dentistry*, Volume 3, No.4: 303-307, (October 2012), diakses 5 Februari 2019, doi: 10.5005/jp-journals-10015-1178.
9. Achilias DS et al., *Recent Advances in the Chemical Recycling of Polymers (PP, PS, LDPE, HDPE, PVC, PC, Nylon, PMMA)*, Aristotle University Of Thessaloniki, Greece, 2012.
10. Soja J, Miskolczi N., Degradation of reinforced and unreinforced waste polyamides during mechanical recycling, *Hungarian Journal of Industry and Chemistry Veszprem*, Volume 41, No.2: 131-136, (2013), diakses 5 Februari 2019, doi: 10.1515/513.
11. Crespo JE, Parres F, Peydro MA, Navarro R., Study of rheological, thermal, and mechanical behavior of reprocessed polyamide 6, *Polymer Engineering and Science*: 1-10, (2012), diakses 5 Februari 2019, doi: 10.1002/pen.23307.
12. Buccella M, Dorigato A, Pasqualini E, Caldara M, Fambri L., Thermo-mechanical properties of polyamide 6 chemically modified by chain extension with polyamide/polycarbonate blend, *Journal of Polymer Research*, Volume 19: 1-9, (July 2012), diakses 5 Februari 2019, doi: 10.1007/s10965-012-9935-0.
13. Aldini I., Pengaruh Penambahan Nilon Termoplastik Murni ke Dalam Nilon Termoplastik Daur Ulang Terhadap Kekuatan Impak Bahan Basis Gigi Tiruan, *Skripsi Kedokteran Gigi Program Sarjana Kedokteran Gigi*, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2016, Tidak Dipublikasikan.
14. Ariyani, Tamin HZ, Indra M., Pengaruh penambahan *fiber glass reinforced* terhadap penyerapan air dan stabilitas warna bahan basis gigi tiruan nilon termoplastik, *Dentika Dental Journal*, Volume 17, No. 3: 239-45, (Juli 2013), diakses 5 Februari 2019.
15. Alla RK, Sajjan S, Alluri VR, Ginjupalli K, Upadhya N., Influence of fiber reinforcement on the properties of denture base resins, *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, Volume 4: 91-97, (January 2013), diakses 5 Februari 2019, doi: org/10.4236/jbnb.2013.41012
16. Sitorus Z, Dahar E., Perbaikan sifat fisis dan mekanis resin akrilik polimerisasi panas dengan penambahan serat kaca, *Dentika Dental Journal*, Volume 17, No.1: 24-29, (Juli 2012), diakses 5 Februari 2019.
17. Tandon R, Gupta S, Agarwal SK., Denture base materials: from past to future, *Indian Journal of Dental Science*, Volume 2, No.2: 33-39, (March 2010), diakses 5 Februari 2019.
18. Luz NFM da, Favarão IN, Naves LZ, Abrão M, Kasuya AVB, Fonseca RB., Influence of glass fiber wt% and silanization on mechanical flexural strength of reinforced acrylics, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, Volume 2: 11-15, (February 2014), diakses 5 Februari 2019, doi: org/10.4236/msce.2014.22003.
19. Anusavice K, Shen C, Rawls H., *Phillip's science of dental materials*, 12th ed, Saunders Elsevier, Louis Missouri, 2013.
20. Paleari G, Souza RF De, Pero AC, Ruvolo-filho A, Compagnoni MA., Reliability of a method for evaluating porosity in denture

- base resins, *Gerodontology*, Volume 28: 127-133, (2011), diakses 5 Februari 2019, doi: 10.1111/j.1741-2358.2009.00347.x.
21. Ali M, Safi IN., Evaluation the effect of modified nano-fillers addition on some properties of heat cured acrylic denture base material, *Journal Baghdad College Dental*, Volume 23, No.3: 1-7, (September 2011), diakses 5 Februari 2019.
 22. Kamble VD, Parkhedkar RD, Mowade TK., The effect of different fiber reinforcements on flexural strength of provisional restorative resins: an in-vitro study, *The Journal of Advanced Prosthodontics*, Volume 4: 1-6, (February 2012), diakses 5 Februari 2019, doi: 10.4047/jap.2012.4.1.1.
 23. Sakaguchi Ronald L., Powers John M., *Craig's Restorative Dental Materials*, Saunders Elsevier, Philadelphia, 2012.
 24. Laiy AN, Dahar E., Pengaruh penambahan zirkonium oksida dan serat kaca pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan impak dan transversal, *Jurnal Ilmiah PANNMED*, Volume 12, No.2: 154-160, (September-Desember 2017), diakses 5 Februari 2019, doi: org/10/36911/pannmed.v12i2.19.