
PENGARUH PENAMBAHAN BAHAN KOMPATIBILISASI PADA NILON DAUR ULANG TERHADAP KEKUATAN FLEKSURAL BASIS GIGI TIRUAN NILON TERMOPLASTIK

Siti Wahyuni, Windy Putri Wijaya

Departemen Prostodonsi, FKG Universitas Sumatera Utara
E-mail : windy.putriwijaya@yahoo.com

KATA KUNCI

Nilon termoplastik, kompatibilisasi, kekuatan fleksural.

ABSTRAK

Pendahuluan : Nilon adalah nama generik dari salah satu tipe golongan termoplastik yaitu poliamida yang digunakan untuk pembuatan basis gigi tiruan fleksibel. Nilon dimanipulasi dengan proses *injection moulding* yang akan menghasilkan basis gigi tiruan dan nilon sisa. Nilon sisa (limbah nilon) dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena ketidakmampuan untuk terurai dalam jangka waktu yang singkat. Daur ulang merupakan salah satu cara untuk mengurangi limbah nilon tetapi akan menyebabkan penurunan sifat mekanis nilon termasuk kekuatan fleksural. Penambahan bahan kompatibilisasi diketahui dapat memperbaiki sifat mekanis dan pada penelitian ini bahan kompatibilisasi yang digunakan adalah nilon murni. **Metode :** Jenis penelitian ini adalah *experimental laboratoris* dan dilaksanakan di Fakultas Kedokteran Gigi USU, FMIPA USU dan Magister Mesin USU. Sampel terdiri dari 27 batang berukuran 64x10x3,3 mm (ISO 20795-1) dan terbagi menjadi tiga kelompok (kelompok A 100% nilon murni, Kelompok B 100% nilon daur ulang dan kelompok C 60% nilon murni sebagai bahan kompatibilisasi dengan 40% nilon daur ulang). Data dianalisis dengan uji Kruskal-Wallis dan Mann-Whitney. **Hasil :** Berdasarkan uji Kruskal-Wallis hasil menunjukkan perbedaan yang signifikan diantara tiga kelompok. Post-hoc tes menggunakan Mann-Whitney menunjukkan perbedaan yang signifikan diantara kelompok A dan B ($p=0,001$, $p<0,05$) sedangkan diantara kelompok A dan C tidak terdapat perbedaan yang signifikan ($p=0,270$, $p>0,05$) **Simpulan :** Penambahan nilon murni sebagai bahan kompatibilisasi pada nilon daur ulang dapat meningkatkan kekuatan fleksural nilon daur ulang.

KEYWORDS

Nylon thermoplastic, compatibilizer, flexural strength.

ABSTRACT

Introduction: Nylon is the generic name of one of the thermoplastic types, polyamide which is used as a flexible denture base. Nylon is manipulated by injection moulding processing resulting the denture base and residual nylon. The residual (waste) nylon can cause environmental pollution due to its inability to decompose in a short time. Recycling is one of the ways to reduce the waste but it can diminish its mechanical properties including the flexural strength. By adding compatibilizer is known to improve the mechanical properties and in this research, pure nylon was used as compatibilizer. Method: This research was experimental laboratory which conducted at Faculty of Dentistry, Faculty of Mathematics and Natural Science and Master of Engineering Universitas Sumatera Utara. Samples consisted of 27 rods with the size 64 x 10 x 3,3 mm (ISO 20795-1) and divided into three groups (group A: 100 % pure nylon, group B: 100% recycled nylon and group C: combination between 60% pure nylon as a

*compatibilizer with 40% recycled nylon. Data obtain was analyzed by using Kruskal-Wallis and Mann-Whitney test. **Result:** Analysis with the Kruskal-Wallis test show a significant differences between the three groups. The post hoc test with Mann-Whitney test show a significant difference between the Group A and B ($pvalue=0,001$, $p<0,05$) whereas there is no significant difference between the group A and C ($pvalue=0,270$, $p>0,05$). **Conclusion:** Adding pure nylon as a compatibilizer to a recycled nylon can improved the flexural strength of recycled nylon.*

PENDAHULUAN

Basis gigi tiruan mempunyai fungsi sebagai pendukung anasir gigi tiruan sehingga basis gigi tiruan menerima tekanan fungsional dari pengunyahan untuk mendukung struktur rongga mulut. Daya tahan dan sifat-sifat dari suatu basis gigi tiruan sangat dipengaruhi oleh bahan basis gigi tiruan tersebut^{1,2}. Nilon termoplastik merupakan salah satu contoh bahan golongan poliamida dan digunakan untuk pembuatan basis gigi tiruan fleksibel. Gigi tiruan fleksibel sangat diminati saat ini karena merupakan alternatif yang baik untuk gigi tiruan konvensional (PMMA). Gigi tiruan fleksibel memberikan estetis, kenyamanan saat pemakaian dan bebas alergi karena cangkolan yang digunakan adalah *non-logam*. Nilon termoplastik merupakan hasil kondensasi antara *diamine* dan *dibasic acid*. Nilon mempunyai polimer *crystalline* sedangkan PMMA adalah *amorphous* sehingga nilon memiliki ikatan rantai yang teratur dan orientasi paralel yang sempurna yang mengakibatkan peningkatan dalam sifat-sifat mekanisnya^{3,4,5,6}.

Salah satu sifat mekanis adalah kekuatan fleksural. Kekuatan fleksural adalah

kemampuan suatu bahan untuk meregang yang didapatkan saat tercapainya *ultimate flexibility* dari suatu bahan sebelum *proportional limit*. Jika beban mastikasi masih dibawah *proportional limit*, maka deformasi permanen tidak terjadi dan bahan tersebut akan kembali ke dimensi awalnya. Akan tetapi, jika beban mastikasi melebihi *proportional limit* maka bahan tersebut akan bersifat ireversibel^{7,8,9}. Menurut Wang dkk. (2003) kekuatan fleksural yang tinggi dibutuhkan oleh suatu material untuk tahan terhadap tekanan pengunyahan yang dapat mengakibatkan deformasi permanen⁷.

Nilon termoplastik dimanipulasi dengan menggunakan teknik *injection moulding*, yaitu menggunakan teknik injeksi ke dalam mold menggunakan *injector* yang akan menghasilkan basis gigi tiruan dan nilon sisa. Nilon sisa akan berakhir di tempat pembuangan sampah dan menyebabkan pencemaran lingkungan karena bahan sulit untuk terurai dalam jangka waktu yang singkat^{10,11}. Hal ini dapat diatasi dengan cara mendaur ulang nilon sisa menjadi nilon yang dapat digunakan kembali sebagai bahan basis gigi tiruan fleksibel. Akan tetapi, proses daur ulang akan menyebabkan terjadinya degradasi

sifat mekanis termasuk kekuatan fleksural. Soja dkk. (2013) meneliti efek yang ditimbulkan dari daur ulang mekanik pada nilon sisa dan didapatkan hasil pada *Fourier Transformed Infrared Spectroscopy* (FTIR) menunjukkan ratio *methyl* CH₃ meningkat, sementara *methylene* CH₂ menurun. Hal ini terjadi akibat pemotongan pada ikatan C-C sehingga menghasilkan ikatan yang lebih pendek dengan kelompok *methylene* yang lebih sedikit. Terjadinya pemotongan C-C ini akan berdampak pada sifat mekanis dan fisis polimer. Penambahan bahan kompatibilisasi modifikasi yaitu berupa nilon murni diketahui dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis nilon daur ulang¹².

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan kompatibilisasi nilon murni 60% pada 40% nilon daur ulang terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan nilon termoplastik

METODE

Rancangan penelitian yang digunakan adalah ekperimental laboratoris. Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2018 dan dilakukan di Unit Jasa Industri Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara, FMIPA Universitas Sumatera Utara dan Magister Mesin Universitas Sumatera Utara. Sampel pada penelitian ini adalah nilon berbentuk batang dengan ukuran 64x10x3.3 mm (ISO 20795-1) dibagi menjadi tiga kelompok dan tiap kelompok berjumlah 9 sampel. Kelompok A adalah 100% nilon

murni, kelompok B adalah 100% nilon daur ulang, dan kelompok C adalah kombinasi 60% nilon murni sebagai bahan kompatibilisasi dengan 40% nilon daur ulang.

Nilon sisa didaur ulang dengan teknik mekanik yang meliputi beberapa tahap yaitu pemotongan, pemisahan kontaminan, pencucian dan pengeringan. Nilon dimanipulasi dengan teknik *injection moulding* yaitu dengan cara dilelehkan dan diinjeksikan ke dalam kuvet di bawah tekanan. Kuvet disiapkan untuk proses injeksi kemudian silinder pemanas dinyalakan hingga panas suhu 225°C. Setelah itu *cartridge* dimasukkan ke dalam silinder pemanas selama 11 menit agar butiran termoplastik dalam *cartridge* mencair. Bahan dalam *cartridge* diinjeksi ke dalam cetakan dengan penekanan sebesar 6-8 bar. Setelah 5 menit, tekanan dilepas dan kuvet dikeluarkan dari alat injeksi dan dibiarkan dingin pada suhu kamar. Kemudian kuvet dibuka, selanjutnya lempeng termoplastik dikeluarkan dari gips menggunakan *hook* dan *mallet*.

Sampel yang telah dipolis direndam terlebih dahulu didalam aquades menggunakan *glass beaker* dan didiamkan di inkubator pada suhu 37 selama 50 jam untuk mendapatkan keadaan yang sama dengan rongga mulut. Setelah 50 jam sampel diangkat untuk dilakukan pengujian kekuatan fleksural.

Sampel diletakkan pada grip pengujian dengan jarak antara titik tumpuan 50 mm.

sampel diberikan pembebanan dengan mengalami kegagalan atau *maximum strain* kecepatan 5mm/min sampai sampel 5.0% dicapai kemudian grafik diamati.

HASIL

Tabel 1. Nilai rerata kekuatan fleksural dan standar deviasi tiga kelompok

No. sampel	Kekuatan Fleksural		
	Kelompok A (100% nilon murni)	Kelompok B (100% nilon daur ulang)	Kelompok C (60% nilon murni+40% nilon daur ulang)
1.	49,26 **	38,74 **	41,20 **
2.	50,53	41,75	53,24
3.	51,70	45,91	55,43 *
4.	54,57	50,90	42,82
5.	57,04 *	48,13	54,89
6.	52,76	42,69	44,47
7.	53,78	42,11	45,42
8.	55,72	47,03	52,05
9.	54,23	51,40 *	55,20
$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$ 53,29 \pm 2,48	$\bar{x} \pm SD$ 45,41 \pm 4,36	$\bar{x} \pm SD$ 49,41 \pm 5,83

Tabel 1 menunjukkan hasil nilai kekuatan fleksural, rerata, dan standar deviasi tiap kelompok. Nilai rerata kekuatan fleksural yang tertinggi terdapat pada kelompok A (100% nilon murni) yaitu 53,29 \pm 2,48 MPa dan yang terendah terdapat pada kelompok B (100% nilon daur ulang) yaitu 45,41 \pm 4,36 MPa.

Tabel 2. Hasil uji Kruskal-Wallis

Kelompok	Kekuatan Fleksural		
	n	$\bar{x} \pm SD$	p
A	9	53,29 \pm 2,48	0,009*
B	9	45,41 \pm 4,36	
C	9	49,41 \pm 5,83	

Berdasarkan hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan hasil perbedaan yang signifikan antara tiga kelompok A,B dan C ($p=0,009$, $p<0,05$) (Tabel 2).

Tabel 3. Hasil uji Mann-Whitney

Kelompok	n	p
A dan B	9	0,001*
A dan C	9	0,270
B dan C	9	0,122

Berdasarkan hasil uji Mann-Whitney menunjukkan hasil perbedaan yang signifikan antara kelompok A dan B ($p=0,001$, $p<0,05$) (Tabel 3) sedangkan tidak terdapat perbedaan antara kelompok A dan C ($p=0,270$, $p>0,05$) (Tabel 3) dan antara kelompok B dan C ($p=0,122$, $p>0,05$) (Tabel 3). Kelompok C memiliki nilai kekuatan fleksural yang mendekati kelompok A dan lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok B. Berdasarkan hal tersebut maka dapat disimpulkan ada pengaruh penambahan nilon murni sebagai bahan kompatibilisasi pada nilon daur ulang terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan nilon termoplastik.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan fleksural bervariasi pada tiap kelompok. Hal ini dapat disebabkan oleh mikroporositas yang terbentuk karena udara yang masuk selama proses pemanasan pada saat nilon dimanipulasi melalui proses *injection moulding*. Porositas ini akan menyebabkan suatu bahan menjadi tidak sepenuhnya padat sehingga akan menyebabkan penurunan dari sifat mekanisnya termasuk kekuatan fleksural. Selain itu persentase nilon daur ulang juga dapat memengaruhi nilai kekuatan fleksural. Pada kelompok C persentase nilon daur ulang adalah 40% sedangkan pada kelompok B adalah 100%. Meyabadi (2010) menyatakan bahwa semakin besar persentase nilon daur ulang maka *glass transition temperature* (T_g) mengalami penurunan yang akan menyebabkan ikatan hidrogen melemah sehingga ruang *amorphous* meningkat dan *crystalline* menurun sehingga menyebabkan penurunan dari sifat mekanis nilon¹³. Nilai rerata kekuatan fleksural yang terendah terdapat pada kelompok B dan yang tertinggi terdapat pada kelompok A. Hal ini disebabkan oleh reaksi pemotongan rantai C-C (*chain scission*) yang terjadi pada proses daur ulang. Ikatan yang awalnya panjang yaitu CH₂-CH₂-CH₂ akan terpotong menjadi CH₂ dan CH₃-CH₃ sehingga jumlah CH₃ lebih banyak dari CH₂. Hal ini menyebabkan rantai polimer yang terbentuk pada nilon daur ulang menjadi pendek dan ikatan rantai menjadi lemah dan tidak teratur sehingga

ruang intermolekul meregang. Akibatnya *crystalline* pada nilon daur ulang berkurang dan menurunkan kekuatan fleksural pada nilon.¹² Crespo dkk. (2012) menyatakan kepadatan mengalami penurunan pada proses daur ulang sebanyak 72% dikarenakan penurunan dari berat molekul akibat degradasi yang disebabkan oleh terpotongnya rantai polimer yang akan menyebabkan kekuatan fleksural menurun¹⁴. Kekuatan fleksural yang tidak adekuat akan menyebabkan basis gigi tiruan lebih mudah mengalami deformasi permanen atau mengalami *compressive yield strength* yaitu basis gigi tiruan menjadi longgar tanpa mengalami patah¹⁵.

Kelompok C memiliki nilai kekuatan fleksural yang lebih baik dibandingkan dengan kelompok B. Hal ini disebabkan oleh mekanisme *chain extension* yang terbentuk dengan ditambahkannya bahan kompatibilisasi yaitu berupa 60% nilon murni. *Chain extension* bertujuan untuk mengurangi cabang dari ikatan yang terbentuk sehingga kepadatan dari polimer baru yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan polimer murni. Hal ini tentunya akan meningkatkan kekuatan fleksural bahan. Bucella dkk (2012) menyatakan bahwa terdapat pengaruh penambahan nilon murni ke dalam nilon daur ulang yaitu didapatkan struktur nilon yang lebih baik yang disebabkan karena terjadinya *chain extension*. Mekanisme *chain extension* dapat mempertahankan sifat termal, mekanis,

maupun rheologinya¹⁶. Pelepasan dan pemakaian gigi tiruan akan menimbulkan regangan dari basis gigi tiruan oleh karena itu dibutuhkan kekuatan fleksural yang tinggi agar basis gigi tiruan dapat kembali ke dimensi awalnya tanpa mengalami perubahan atau deformasi permanen¹⁶. Akan tetapi nilai kekuatan fleksural pada kelompok A, B dan C semuanya masih dibawah standar ISO yaitu 65 MPa. Hal ini dapat disebabkan karena nilon mempunyai ikatan linear sehingga menyebabkan nilon mudah menyerap air yang akan menyebabkan penurunan dari kekuatan fleksural¹⁷.

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada pengaruh penambahan bahan kompatibilisasi 60% nilon murni pada 40% nilon daur ulang terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan nilon termoplastik. Kombinasi 60% nilon murni dengan 40% nilon daur ulang menunjukkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan 100% nilon daur ulang. Akan tetapi nilai kekuatan fleksural pada semua kelompok masih dibawah standar ISO yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Carr AB, Brownman DT, *McCracken's Removable Partial Prosthodontics*, 12th ed, Elsevier, Canada, 2011: 103.
2. Togatotop RS, Rumampuk JF, Wowor VNS. Pengaruh perendaman plat resin akrilik dalam larutan kopi dengan berbagai kekentalan terhadap perubahan volume larutan kopi. *e-Gigi* 2017; 5(1): 19-23.
3. Singh JP, Dhiman RK, Bedi RPS, Girish SH. *Flexible denture base material: A viable alternative to conventional acrylic denture base material*. *Contemp Clin Dent* 2011; 2(4): 313-7
4. Shanmur SN, Jagadeesh KN, Kalavathi SD, Kashinath KR. "Flexible dentures" – an alternate for rigid dentures?. *IJDSR* 2010; 1:74-79.
5. Gomes SGF, Cury AADB. *Flexible resin: an esthetic option for partially edentulous patients*. *Rev Gaucha Odontol* 2014;63(1):81-86. Gomes SGF, et al. *Flexible resin: an esthetic option for partially edentulous patients*. *Rev Gaucha Odontol* 2014;63(1):81-86.
6. Kohli S, Bhatia S. *Flexural properties of polyamide versus injection-molded polymetacrylate denture base materials*. *Eur J Prosthodont* 2013; 23(3): 6-10.
7. Wang L, D'Alpino PHP, Lopes LG, Pereira JC. *Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests*. *J Appl* 2003; 11(3): 162-167.
8. Mozarta M, Herda E, Soufyan A. Pemilihan resin komposit dan fiber untuk meningkatkan kekuatan fleksural fiber reinforced composite (FRC). *J PDGI* 2010; 59(1): 29-34.
9. Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's restorative dental material*. 13th ed. Philadelphia :Elsevier 2012: 45-50.
10. Sharma A, Shashidhara HS. *A review: Flexible removable partial dentures*. *IOSR-JDMS* 2014; 13: 58-62.
11. Singh K, Gupta N. *Injection molding technique for fabrication of flexible prosthesis from flexible thermoplastic denture base materials*. *WJD* 2012; 192: 532-538.
12. Soja J, Miskolczi N. *Degradation of reinforced and unreinforced waste polyamides during mechanical recycling*. *HJIC* 2013; 41(2): 131-136.
13. Meyabadi TF, Mojtahedi MMR, Shoustari MSA. *Melt spinning of reused nylon 6: structure and physical properties of as-spun, drawn, and textured filaments*. *J Text I* 2010; 101(6): 527-537.
14. Crespo JE, Parres F, Peydro MA, Navarro R. *Study of rheological, thermal, and mechanical behavior of reprocessed polyamide 6*. *Polym Eng Sci* 2012: 1-10.
15. Hamanaka I, Iwamoto M, Lassila L, Vallittu P, Shimizu H, Takakashi Y. *influence of water sorption on mechanical properties of*

- injection-molded thermoplastic denture base resin. Acta Odontol Scand* 2014; 1-7.
16. Bucella M, Dorigato A, Pasqualini E. *Thermo-mechanical properties of polyamide 6 chemically modified by chain extension with polyamide/ polycarbonate blend. J Polym Res* 2012; 1-9.
17. Takabayashi Y. *Characteristics of denture thermoplastic resins for non-metal clasp dentures. Dent Mater J* 2010; 29(4): 353-61.