

PENGARUH JARAK DAN LAMA PEREGANGAN TERHADAP BESAR DAN PENURUNAN GAYA TARIK CLOSED COIL SPRING NIKEL TITANIUM

Wetti Magdalena Santiaji*, Soekarsono Hardjono** Christnawati**

*Program Studi Ortodonsia Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis
Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

**Bagian Ortodonsia Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

ABSTRAK

Closed coil spring NiTi telah banyak digunakan dan dikembangkan karena besar gaya ringan dan konstan dalam jangka panjang untuk pergerakan gigi, kesehatan jaringan periodontal terjaga, penutupan ruang terjadi secara cepat dan konsisten. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik dan penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi dalam simulasi retraksi gigi kaninus, dengan rerata kecepatan retraksi gigi kaninus sebesar 2 mm/bulan.

Penelitian eksperimental dilakukan pada 25 *closed coil spring* NiTi yang terbagi menjadi 5 kelompok jarak peregangan awal yaitu 21 mm (kelompok A), 23 mm (kelompok B), 25 mm (kelompok C), 27 mm (kelompok D), dan 29 mm (kelompok E). Sampel direndam dalam saliva buatan pH normal (6,75) yang disimpan pada inkubator dengan suhu 37°C. Masing-masing sampel diukur besar gaya tariknya menggunakan *Tensile Testing Machine* pada minggu ke-0, minggu ke-4, minggu ke-8 dan minggu ke-12. Pengurangan jarak peregangan pada tiap kelompok sebesar 2 mm dilakukan pada minggu ke-4 dan ke-8. Besar penurunan gaya tarik diketahui dari selisih pengukuran gaya awal dan gaya akhir pada 0-4 minggu, 4-8 minggu dan 8-12 minggu. Data dianalisis menggunakan uji statistik Analisis Variansi Dua Jalur dan dilanjutkan uji *Post Hoc Multiple Comparisons* (LSD) ($p < 0,05$).

Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik dan penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi ($p < 0,05$). Kesimpulan : Besar gaya tarik *closed coil spring* nikel titanium meningkat dengan bertambah panjang jarak peregangan, dan menurun dengan makin lamanya waktu peregangan dalam 4 minggu. Jarak peregangan tertentu menghasilkan penurunan gaya tarik yang konstan. Jarak peregangan makin panjang melebihi superelastis NiTi akan mengalami penurunan gaya tarik semakin besar.

Kata kunci : *closed coil spring* NiTi, besar gaya tarik, penurunan gaya tarik, jarak peregangan, lama peregangan

ABSTRACT

NiTi closed coil springs have been widely developed and used because of the light and constant forces they produced in the long term for teeth movement, periodontal tissue health, space closure occurs rapidly and consistently. This study was to determine the effect of stretching distance and duration of the NiTi closed coil springs to the tensile force and decreased tensile strength of the NiTi closed coil spring in simulated canine retraction, with rate of canines retracted by 2 mm/month.

The experimental study was involving 25 NiTi closed coil springs, divided into 5 groups with initial stretching distances of 21 mm (group A), 23 mm (group B), 25 mm (group C), 27 mm (group D) and 29 mm (group E). Samples were immersed in neutral artificial saliva at pH 6.75 which was stored in an incubator at 37° C. Each sample was measured using *Tensile Testing Machine* at initial week, 4th week, 8th week and 12th week. Reducing the distance stretch of 2 mm each group performed at 4th week and 8th. Large reduction of the difference in tensile force measurement known initial and end force at 0-4 weeks, 4-8 weeks and 8-12 weeks. Data were analyzed by two-way Analysis of Variance test followed by *Post Hoc Multiple Comparisons* (LSD) test ($p < 0,05$).

The results showed there was an effect of stretching distance and duration of the NiTi closed coil springs to the tensile force and decreased tensile strength ($p < 0,05$). Conclusion : The tensile force increased by longer stretching distance of NiTi and decreased by longer stretching duration in 4 weeks. Certain stretching distance resulted in a constant decreased tensile force and stretching distance longer than the superelasticity of NiTi resulted to the greater decreased of tensile force.

Keywords : *closed coil spring* NiTi, tensile force, decreased tensile force, stretching distance, stretching duration

PENDAHULUAN

Perawatan ortodontik bertujuan untuk mendapatkan oklusi gigi optimal dengan adaptasi fisiologis dan fungsi normal, perbaikan dentofasial dengan estetis yang baik dan kestabilan hasil perawatan¹. Pergerakan gigi optimal dalam perawatan ortodontik cekat dapat tercapai dengan pemakaian gaya ringan dan kontinyu. Perawatan ortodontik cekat dengan pencabutan gigi, membutuhkan teknik untuk menggerakkan gigi ke ruang pencabutan. Beberapa alat yang digunakan untuk penarikan atau retraksi gigi kaninus antara lain rantai elastomerik, modul elastomerik, ligatur aktif, dan *closed coil spring* NiTi^{2,3}.

Closed coil spring NiTi merupakan alat tambahan dalam perawatan ortodontik cekat yang dapat digunakan sebagai alternatif dalam pergerakan gigi, seperti penutupan ruang pencabutan, retraksi gigi kaninus, mesialisasi gigi molar, retraksi gigi individual, penutupan ruang regio anterior, dan penarikan gigi impaksi. *Closed coil spring* NiTi memberikan gaya optimal yang tidak merusak kesehatan jaringan periodontal, dan bersifat konstan dalam jangka waktu lama⁴. Penggunaan *coil spring* NiTi berkembang pesat karena mempunyai sifat *springback* dan superelastis dibandingkan dengan *stainless steel*. NiTi merupakan *alloy* ortodontik yang menarik perhatian karena mempunyai dua sifat unik, yaitu memori bentuk (*shape memory*) dan superelastisitas⁵.

Besar gaya optimal untuk retraksi gigi kaninus memberikan respon periodontal yang aman dan rasa sakit yang minimal berkisar antara 150-250 gram⁶. Jarak penutupan ruang pencabutan dengan pencabutan gigi premolar pertama pada perawatan ortodontik cekat, umumnya sebesar 25 mm⁷. Jarak peregangan tersebut tidak bersifat konstan karena adanya rentang ukuran lebar mesiodistal gigi yang berbeda, dan pergerakan gigi saat retraksi gigi kaninus. Penelitian menggunakan *closed coil spring* NiTi dengan besar gaya 150 gram, menunjukkan rerata kecepatan retraksi gigi kaninus dengan pencabutan gigi premolar pertama sebesar 2,07 mm/bulan⁸, sedangkan penelitian lain dengan besar gaya awal 200 gram menunjukkan rerata sebesar 1,85 mm/bulan⁹. Penelitian tersebut menunjukkan rerata kecepatan retraksi gigi kaninus sebesar 2 mm/bulan.

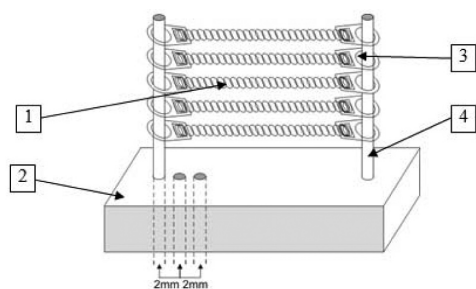
Besar gaya aktif yang masih ada antar kunjungan kontrol pasien perlu diketahui saat aplikasi gaya konstan *closed coil spring* NiTi. Pergerakan gigi akan mencapai posisi baru dalam waktu sekitar 3 minggu karena kadang-kadang terjadi *undermining resorption* yang membutuhkan waktu 7-14 hari. Berdasarkan hal tersebut, maka kontrol perawatan ortodontik umumnya dilakukan minimal 3 minggu atau 4-6 minggu sekali¹⁰. Para klinisi diharapkan memiliki pengetahuan mengenai besar gaya yang diaplikasikan pada setiap tipe sistem gaya yang diberikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik dan penurunan gaya tarik *closed coil spring* nikel titanium.

METODE PENELITIAN

Penelitian eksperimental laboratoris dilakukan di dua tempat yaitu Laboratorium Riset Terpadu Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan Laboratorium Bahan dan Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penelitian di Laboratorium Bahan dan Teknik Jurusan Teknik Mesin menggunakan alat *Tensile Testing Machine* (TTM) untuk mengukur besar gaya tarik *closed coil spring* NiTi. Penelitian ini menggunakan perendaman dalam saliva buatan dengan pH normal (6,75) dan suhu sebesar 37°C dalam inkubator, yang disimpan di Laboratorium Riset Terpadu FKG UGM Yogyakarta.

Sampel penelitian adalah *closed coil spring* nikel titanium sebanyak 25 buah dengan diameter kawat 0,01 inci, diameter lumen 0,03 inci dan panjang 12 mm yang dilengkapi pengait pada kedua sisinya. Setiap sampel diletakkan pada papan balok akrilik berjumlah 5 buah, yang masing-masing memiliki 2 tonggak dengan jarak peregangan tertentu. Setiap papan balok akrilik mewakili satu kelompok yang terdiri atas 5 buah *closed coil spring*. Setiap papan balok dibuat dua buah lubang pada salah satu sisi tonggak dengan selisih masing-masing 2 mm dan 4 mm dari jarak peregangan awal (gambar 1). **Top of Form**



- Keterangan :
1. Closed coil spring
 2. Papan balok akrilik
 3. Eyelet
 4. Tonggak

Gambar 1. Sampel diregangkan dan ditahan dengan dua tonggak terpisah pada balok akrilik.

Sampel dibagi menjadi 5 kelompok yaitu A, B, C, D dan E. Kelompok A dengan jarak peregangan awal 21 mm (minggu ke-0), 19 mm (minggu ke-4), dan 17 mm (minggu ke-8). Kelompok B dengan jarak peregangan awal 23 mm (minggu ke-0), 21 mm (minggu ke-4), dan 19 mm (minggu ke-8). Kelompok C dengan jarak peregangan awal 25 mm (minggu ke-0), 23 mm (minggu ke-4), dan 21 mm (minggu ke-8). Kelompok D dengan jarak peregangan awal 27 mm (minggu ke-0), 25 mm (minggu ke-4), dan 23 mm (minggu ke-8). Kelompok E dengan jarak peregangan awal 29 mm (minggu ke-0), 27 mm (minggu ke-4), dan 25 mm (minggu ke-8).

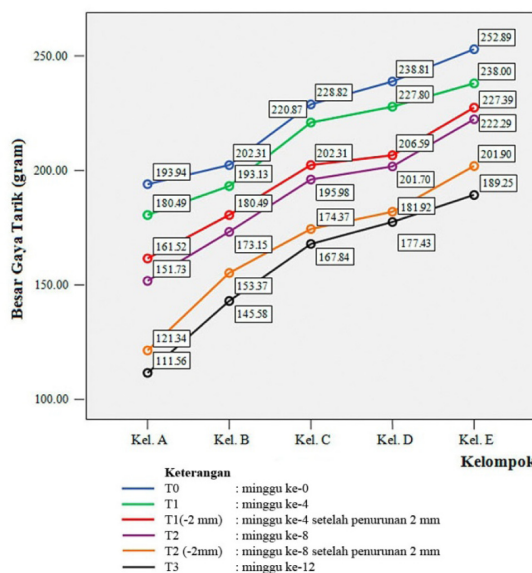
Pengukuran jarak peregangan *closed coil spring* pada TTM dilakukan menggunakan *sliding kaliper* dan *dial indicator* yang terintegrasi dengan TTM. Subjek ditarik hingga jarak kedua *eyelet* sama dengan jarak kedua tonggak pada tiap papan balok akrilik sesuai kelompoknya. Sampel dikembalikan pada papan balok dengan jarak peregangan seperti semula, dan dimasukkan ke dalam kotak plastik berisi saliva buatan untuk disimpan pada inkubator suhu 37°C. Pengukuran besar gaya tarik dilakukan kembali pada minggu ke-4, 8, dan 12. Pengukuran kembali subjek dengan jarak peregangan berkurang sebesar 2 mm tiap kelompok (pengukuran kedua) pada minggu ke-4 dan ke-8, dilakukan setelah semua sampel terukur pada pengukuran pertama. Penurunan gaya tarik *closed coil spring* dihitung berdasarkan selisih hasil pengukuran besar gaya tarik pada 0-4 minggu, 4-8 minggu dan 8-12 minggu.

Pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik dan penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi diketahui dengan uji statistik Analisis Variansi (Anava) Dua Jalur, dilanjutkan uji *Multiple Comparisons*, tingkat kemaknaan $p < 0,05$. Deskriptif persentase penurunan besar gaya tarik *closed coil spring* NiTi tiap 4 minggu selama 12 minggu, diketahui dengan perhitungan berdasarkan rumus¹¹:

$$\frac{\text{Selisih rerata gaya awal – gaya akhir}}{\text{Rerata gaya awal}} \times 100\%$$

HASIL PENELITIAN

1. Besar Gaya Tarik Closed Coil Spring



Gambar 2. Grafik besar gaya tarik *closed coil spring* NiTi antar kelompok pada 0 -12 minggu.

Besar gaya tarik *closed coil spring* tiap kelompok pada minggu ke-0, 4, 8 dan 12 terlihat pada gambar 2. Pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik *closed coil spring* NiTi tiap kelompok, terlihat pada rangkuman Anava Dua Jalur (Tabel 1), yang menunjukkan adanya pengaruh bermakna jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik *closed coil spring* NiTi ($p < 0,05$), namun interaksi antara jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik pada semua kelompok tidak bermakna. Jarak peregangan di tiap kelompok

yang terdapat perbedaan bermakna, terlihat pada analisis *Post Hoc Multiple Comparisons* dengan uji *Least Significant Difference* (Tabel 2). Jarak peregangan tertentu di tiap kelompok dan lama peregangan tiap 4 minggu selama 0-12 minggu, menunjukkan keseluruhan mempunyai perbedaan bermakna terhadap besar gaya tarik *closed coil spring* NiTi ($p < 0,05$).

Tabel 1. Rangkuman Anava Dua Jalur jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik

Kel.	Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rerata Kuadrat	F	p
A	Jarak peregangan (JP)	25192,960	2	12596,48	1126,795	0,000**
	Lama peregangan (LP)	908,710	1	908,71	81,290	0,000**
	JP – LP	22,448	2	11,22	1,000	0,381
B	Jarak peregangan (JP)	11708,140	2	5854,07	2542,160	0,000**
	Lama peregangan (LP)	492,640	1	492,64	213,930	0,000**
	JP – LP	4,590	2	2,29	0,990	0,384
C	Jarak peregangan (JP)	14447,480	2	7223,74	1948,400	0,000**
	Lama peregangan (LP)	360,600	1	360,60	97,260	0,000**
	JP – LP	3,920	2	1,96	0,530	0,6
D	Jarak peregangan (JP)	14418,650	2	7209,32	1267,570	0,000**
	Lama peregangan (LP)	346,800	1	346,80	60,980	0,000**
	JP – LP	66,860	2	33,43	5,880	0,08
E	Jarak peregangan (JP)	12558,200	2	6279,10	583,790	0,000**
	Lama peregangan (LP)	887,370	1	887,37	82,500	0,000**
	JP – LP	131,630	2	65,82	6,120	0,07

closed coil spring NiTi.

** : $p < 0,05$

Tabel 2. Rangkuman uji LSD antar jarak dan lama peregangan pada besar gaya tarik *closed coil spring* NiTi.

Kelompok	Variabel	Antar Jarak dan Waktu	p
A	Jarak peregangan	21mm – 19mm	0,000**
		21mm – 17mm	0,000**
		19mm – 17mm	0,000**
	Lama peregangan	T awal – T akhir	0,000**
B	Jarak peregangan	23mm – 21mm	0,000**
		23mm – 19mm	0,000**
		21mm – 19mm	0,000**
	Lama peregangan	T awal – T akhir	0,000**
C	Jarak peregangan	25mm – 23mm	0,000**
		25mm – 21mm	0,000**
		23mm – 21mm	0,000**
	Lama peregangan	T awal – T akhir	0,000**
D	Jarak peregangan	27mm – 25mm	0,000**
		27mm – 23mm	0,000**
		25mm – 23mm	0,000**
	Lama peregangan	T awal – T akhir	0,000**
E	Jarak peregangan	29mm – 27mm	0,000**
		29mm – 25mm	0,000**
		27mm – 25mm	0,000**
	Lama peregangan	T awal – T akhir	0,000**

** : $p < 0,05$

T awal – T akhir : waktu peregangan awal dan akhir tiap 4 minggu selama 12 minggu

2. Besar Penurunan Gaya Tarik *Closed Coil spring*

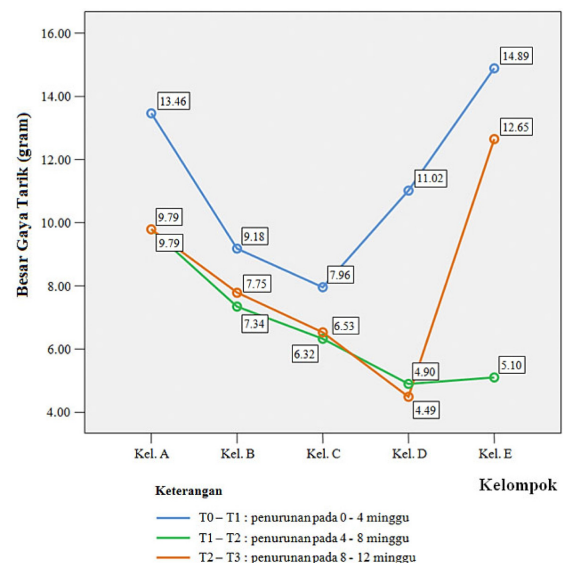
Besar penurunan gaya tarik *closed coil spring* antar kelompok dengan waktu peregangan tertentu, dapat dilihat pada gambar 3. Pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi, terlihat pada hasil rangkuman Anava Dua Jalur (Tabel 3). Jarak dan lama peregangan mempunyai perbedaan bermakna terhadap penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi. Interaksi keduanya juga mempunyai perbedaan bermakna terhadap penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi. Hasil uji LSD antar kelompok menunjukkan adanya perbedaan bermakna pada interaksi antar kelompok A dengan B, C dan D, kelompok B dan E, kelompok C dan E, serta kelompok D dan E. Perbedaan bermakna juga terdapat antar lama peregangan (Tabel 4). Besar penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi dalam persentase, secara deskriptif terlihat pada tabel 5.

Tabel 3. Rangkuman Anava dua jalur jarak dan lama peregangan pada penurunan gaya tarik

Sumber variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rerata Kuadrat	F	P
Jarak peregangan	257,80	4	64,45	9,61	0,000**
Lama peregangan	275,12	2	137,56	20,51	0,000**
Jarak peregangan – Lama peregangan	183,74	8	22,97	3,42	0,003**

closed coil spring NiTi.

** : $p < 0,05$



Gambar 3. Grafik penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi antar kelompok.

Tabel 4. Rangkuman Uji LSD antar kelompok dan antar lama peregangan terhadap penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi.

Variabel	Antar Kelompok	p
Jarak Peregangan	Kel. A - Kel. B	0,003**
	Kel. A - Kel. C	0,000**
	Kel. A - Kel. D	0,000**
	Kel. A - Kel. E	0,885
	Kel. B - Kel. C	0,227
	Kel. B - Kel. D	0,177
	Kel. B - Kel. E	0,005**
	Kel. C - Kel. D	0,886
	Kel. C - Kel. E	0,000**
	Kel. D - Kel. E	0,000**
Lama Peregangan	(T0-T1) - (T1-T2)	0,000**
	(T0-T1) - (T2-T3)	0,000**
	(T1-T2) - (T2-T3)	0,039**

** : $p < 0,05$

Tabel 5. Persentase penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi.

Waktu	Besar Persentase Penurunan Gaya (%)				
	Kelompok A	Kelompok B	Kelompok C	Kelompok D	Kelompok E
T0-T1	6,94	4,54	3,47	4,61	5,89
T1-T2	6,06	4,07	3,12	3,37	2,24
T2-T3	8,06	5,08	3,74	2,46	6,26

PEMBAHASAN

Perawatan ortodontik dengan pencabutan gigi premolar pertama umumnya melewati tahap 1) *leveling*; 2) retraksi gigi kaninus (untuk *sliding mechanics*); 3) retraksi gigi insisivus, dan 4) *detailing*.¹² *Closed coil spring* NiTi dengan panjang awal 12 mm yang diregangkan sepanjang 25 mm menghasilkan rerata besar gaya awal 200 gram, sesuai besar gaya ideal untuk pergerakan gigi dalam penutupan ruang pencabutan.¹¹ Jarak peregangan tersebut tidak bersifat konstan karena tergantung berbagai variabel, salah satunya ukuran lebar mesiodistal gigi. Rerata ukuran lebar mesiodistal gigi yang berbeda-beda menyebabkan jarak penutupan ruang pencabutan berkisar 21-29 mm (Gambar 2).

Pada penelitian ini jarak peregangan berkisar antara dua hingga tiga kali mula-mula, dari panjang awal 12 mm. Peregangan 2-3 kali dari panjang awal akan menghasilkan gaya optimal.^{13,14} Besar gaya tarik *closed coil spring* NiTi pada penelitian ini dengan jarak peregangan awal 21-29 mm, masih dalam batas rentang gaya optimal untuk terjadinya pergerakan gigi kaninus. Rerata kecepatan retraksi gigi kaninus sebesar 2 mm/bulan ditunjukkan dengan simulasi pengurangan jarak peregangan *closed coil spring* sebesar 2 mm/4minggu. Kelompok A hingga kelompok E mempunyai rentang besar gaya 100-

250 gram. Gaya optimal yang diperlukan untuk menggerakkan gigi secara ortodontik adalah besar gaya yang cukup merangsang aktivitas selular tanpa menyebabkan kerusakan pembuluh darah pada ligamen periodontal.¹⁰

Gambar 3 menunjukkan *closed coil spring* mengalami penurunan gaya tarik pada semua kelompok dari minggu ke-0 hingga ke-12, dengan penurunan terbesar pada 4 minggu pertama. Penurunan gaya tarik terjadi seiring berjalannya waktu. Kelompok A mengalami penurunan gaya lebih besar daripada kelompok B, C dan D. Hal ini terjadi karena *closed coil spring* NiTi dengan panjang mula-mula 12 mm, belum mengalami fenomena relaksasi dari superelastis NiTi pada jarak peregangan 21 mm. Besar gaya konstan dapat tercapai pada jarak peregangan dan waktu tertentu.⁴ Besar gaya konstan diperoleh dengan melakukan aktivasi terlebih dahulu pada jarak tertentu. Aktivasi yang sedikit tidak akan menunjukkan sifat superelastis sehingga besar gaya konstan kurang terlihat.¹⁴

Kelompok B, C dan D mengalami penurunan besar gaya tarik relatif konstan tiap 4 minggu, dengan kelompok C mengalami penurunan gaya tarik paling stabil pada tiap 4 minggu selama 12 minggu. Tekanan yang diaplikasikan pada fase austenit akan menyebabkan terjadinya fase awal martensit dan jika tekanan dipertahankan maka fase martensit akan bertahan. Tekanan yang dikurangi akan menyebabkan fase martensit tidak stabil dan kembali ke fase austenit, sehingga menjadi superelastis.¹⁵ Fase perubahan tersebut berhubungan dengan kurva superelastis yang menunjukkan adanya besar gaya konstan.¹⁴ Pada gambar 3 terlihat bahwa semua kelompok mengalami penurunan gaya tarik paling rendah pada periode 4-8 minggu. Sifat superelastis *closed coil spring* NiTi terjadi pada periode ini yang menghasilkan besar gaya konstan dengan penurunan gaya tarik paling sedikit, sehingga *closed coil spring* dapat digunakan kembali pada jadwal kontrol pasien di minggu ke-4. Penurunan gaya *coil spring* terjadi secara cepat sampai enam minggu, setelah itu gaya bersifat stabil karena adanya relaksasi konstan.¹⁶

Besar penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi yang relatif kecil antara 2,46-8,06% pada jarak peregangan 17-29 mm (Tabel 5) terkait dengan sifat superelastis dan *shape memory*. Sifat ini menunjukkan adanya kurva beban (*loading curve*) non linier, yaitu sebuah

kawat busur menghasilkan gaya yang kurang lebih sama saat dibelokkan pada rentang relatif kecil atau besar. NiTi mempunyai struktur kristal unik, yaitu austenit dan martensit. Perubahan dari fase austenit ke martensit dapat dilakukan dengan menurunkan suhu atau mengubah tekanan pada kawat. Perubahan dari martensit ke austenit, yang terjadi saat kurva *unloading* austenit, sangat penting untuk pertimbangan besar gaya yang akan diterima gigi. Kurva deaktivasi yang makin horisontal, menunjukkan *load deflection ratio* yang rendah, sehingga gaya makin kontinu untuk pergerakan gigi.¹⁷

Kelompok B, C dan D mengalami fenomena relaksasi dari superelastisitas NiTi, sedangkan kelompok E mengalami penurunan besar gaya karena telah kehilangan sifat superelastisnya. Proses *irreversible* terjadi jika terdapat tarikan berlebihan dalam waktu lama yang memicu kepadatan dislokasi dan menghambat fase martensit, sehingga terjadi peningkatan kerusakan bahan yang berakibat hilangnya sifat superelastis.¹⁵ Penurunan gaya tarik *coil spring* NiTi dianggap signifikan secara klinis jika terdapat penurunan gaya sebesar 10% atau lebih selama 3 bulan.¹⁷ Penelitian ini memperoleh hasil penurunan gaya tarik *closed coil spring* NiTi sebesar 2,46-8,06% (Tabel 5) tiap 4 minggu selama 0-12 minggu, sehingga menunjukkan bahwa sifat superelastis NiTi berfungsi dengan baik.

KESIMPULAN

Hasil penelitian mengenai pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap besar gaya tarik dan penurunan *closed coil spring* nikel titanium, mengambil kesimpulan:

1. Jarak peregangan *closed coil spring* nikel titanium makin panjang maka besar gaya tarik meningkat, sedangkan peregangan makin lama maka besar gaya tarik menurun.
2. Jarak peregangan awal *closed coil spring* nikel titanium sebesar 21 mm dan 29 mm mengalami penurunan gaya tarik yang besar. Jarak peregangan awal pada rentang 23 mm hingga 27 mm menghasilkan penurunan gaya tarik yang konstan. Lama peregangan periode 0-4 minggu mengalami penurunan terbesar gaya tarik *closed coil spring* nikel titanium dan periode 4-8 minggu mengalami kestabilan.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan dan kesimpulan di atas, maka disarankan :

1. Perlu penelitian lebih lanjut pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap penurunan gaya tarik *closed coil spring* nikel titanium dengan bermacam ukuran *pitch angle coil*.
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap besar dan penurunan gaya tarik *closed coil spring* nikel titanium panjang 9 mm.
3. Perlu penelitian lebih lanjut pengaruh jarak dan lama peregangan terhadap penurunan gaya tarik *closed coil spring* nikel titanium dengan perbedaan suhu dan pH saliva buatan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Graber TM, Vanarsdall R. Orthodontics, Current Principles and Techniques. 3th ed. St. Louis: Mosby; 2000. p.117.
2. Natrass C, Ireland AJ, Sherriff M. The effect of environmental factors on elastomeric chain and nickel titanium coil springs. *Eur J Orthod*. 1998; 20:169-176.
3. Dixon V, Read MJF, Worthington HV, Mandall NA. A randomized clinical trial to compare three methods of orthodontic space closure. *J Orthod*. 2002; 29:31-6.
4. Maganzini AL, Wong AM, Ahmed MK. Forces of various nickel titanium closed coil springs, *Angle Orthod*. 2010; 80(1):182-7.
5. Manhartsberger C, Seidenbusch W. Force delivery of Ni-Ti coil spring. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1996; 109(1):8-21.
6. Samuels RHA, Rudge SJ, Mair LH. A clinical study of space closure with nickel titanium closed coil springs and an elastic module, *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1998; 114(1):73-9.
7. Natrass C, Ireland AJ, Sherriff M. An investigation into the placement of force delivery systems and the initial forces applied by clinicians during space closure. *Eur J Orthod*. 1997; 24:127-131.
8. Sowmya KS, Chandrlekha, Uma HL, Kumari S, Padmini MN, Shashikala. [Comparison of active tie backs and nickel titanium coil springs in canine retraction](http://orthocj.com/2011/.../comparison-of-active-tie), *orthocj.com/2011/.../comparison-of-active-tie*, diunduh pada 12/01/2012.
9. [Bokas J, Woods M](#). A clinical comparison between nickel titanium springs and elastomeric chains. *Aust Orthod J*. 2006; 22(1):39-46.

10. Proffit WR, Fields HW, Sarver DM, Contemporary Orthodontics. 4th ed., Mosby Co., St.Louis, 2007. p.276, 339-42.
11. Santos AC, Tortamano A. An in vitro comparison of the force decay generated by different commercialy available NiTi closed coil spring, Braz Oral Res.2007; 21(1):51-7
12. Deguchi T, Imai M, Sugawara Y, Ando R, Kushima K, Yamamoto TT. Clinical evaluation of a low-friction attachment device during canine retraction. Angle Orthod.2007; 77(6):968-72
13. Fraunhofer JA, Bonds PW, Johnson BE. Force generation by orthodontic coil spring.Angle Orthod.1993;63(2):145-8.
14. Tripolt H, Burstone CJ, Bantleon P, Manschiebel W. Force characteristics of nickel titanium tension coil spring.Am J Orthod Dentofac Orthop.1999; 115(5):498-507.
15. Fernandes DJ, Peres, RV, MendesAM, Elias CN. Understanding the Shape-Memory Alloys Used in Orthodontics, 2011. ISRN Dentistry. p.1-6.
16. Nightingale C, Jones SP.A clinical investigaton of force delivery systems for orthodontic space closure. J Orthod.2003; 30:229-6.
17. Bourke A, Daskalogiannakis J, Tompson B, Watson P.Force characteristics of nickel-titanium open-coil springs. Am J Orthod Dentofac Orthop.2010;138(2):142-7.