IJD 2005; 12 (2):59-65
Diterbitkan di Jakarta

Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Indonesia

ISSN 1693-9697

KEKUATAN GESER DAN POLA PATAHAN *LOOP SPACE MAINTAINER* YANG DIBUAT DENGAN TEKNIK *SPOT WELDING* ELEKTRIK

Elin Karlina *, Ellyza Herda **, Heriandi Sutadi***

* Bagian ITMKG Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran Bandung.
** Bagian IMKG Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia Jakarta.
***Bagian IKGA Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia.

Elin Karlina, Ellyza Herda, Heriandi Sutadi. Kekuatan geser dan pola patahan loop space maintainer yang dibuat dengan teknik spot welding elektrik. Indonesian Journal of Dentistry 2005; 12(2):59-65.

Abstract

The aim of this research was to study the effect of spot variations on shear strength of spot welds in an electric loop space maintainer. Stainless steel wire of 0.8 mm diameter and nickel chromium crown for lower second molar of temporary teeth were used. A loop 1 cm wide, made of 3.5 cm stainless steel wire, was welded with 3 dots on the crown using an electric spot welder. Each dot for each group took different spot variations from 1 X – 4 X. A loop space maintainer made with the usual materials and techniques as applied at the IKGA FKG UI Clinic was used as a control, with a torch as heat source. Ten specimens each were prepared for shear testing and three specimens each for metallography. Universal testing machine was used for shear strength testing at a crosshead speed of 0.5 mm/min, and SEM/EDS was used for metallography and fractography. The data were statistically analyzed with one-way ANOVA at $p = 0.05$, and Tukey post hoc test. The results show that the shear strength of the welded loop space maintainer was higher than that of a soldered loop space maintainer, although the difference was not statistically significant with spot variation 1 X. SEM/EDS analysis suggests that a new alloy forms at the contact area of welded and soldered loop space maintainer. Fractography of the joints suggests that welds are better than soldered joints, with higher ductility and toughness, as can be seen from the dimpled pattern of the welded joint and cleavage patterns in the control joints. In conclusion, the loop space maintainer is better made by welding than by soldering.

Key words : spot welding electric, loop space maintainer, joint weld

Pendahuluan

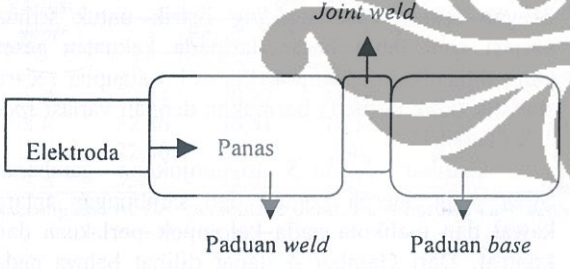
Hilangnya gigi sulung terlalu cepat sebelum waktunya (premature) karena pencabutan akan menyebabkan bergesernya gigi tetangga ke arah ruangan kosong tersebut. Untuk mencegah terjadinya pergeseran itu digunakan suatu alat yang disebut *space maintainer*.[1,2] Terdapat berbagai jenis *space maintainer* dan salah satu jenis yang sering digunakan yaitu *loop space maintainer* karena disainnya cukup sederhana.[1] *Loop space maintainer* seringkali dibuat dengan memadukan kawat dan mahkota logam dengan teknik penyolderan.

Penyolderan yaitu prosedur menyatukan dua atau lebih logam menggunakan bahan solder yang mempunyai titik leleh di bawah atau diatas 450^{0}C.

Titik leleh bahan solder harus 50^0 – 100^0 C lebih rendah daripada titik leleh logam yang akan disatukan. Salah satu sumber panas yang dapat digunakan untuk memanaskan bahan solder ialah menggunakan torch. Dalam memanaskan bahan solder dibutuhkan keahlian khusus karena tidak boleh *underheating* maupun *overheating* karena dari keduanya akan didapatkan hasil penyolderan yang kurang baik. Pada pemanasan bahan solder kemungkinan akan terbentuk lapisan oksida yang akan menghambat pengaliran bahan solder cair pada celah diantaran logam yang akan disatukan. Usaha untuk mencegah atau menghilangkan terbentuknya lapisan oksida tadi ialah dengan penggunaan *flux*. Jarak optimal antara kedua logam yang disatukan yaitu 0,13 mm.[3-8]

Loop space maintainer dapat dibuat dengan teknik penyolderan dan dengan teknik *welding*. *Welding* yaitu prosedur penyatuan dua atau lebih logam dengan bantuan panas, tekanan atau keduanya tanpa penggunaan bahan solder.[4] Terdapat beberapa teknik *welding* salah satunya ialah *resistance welding*. Pada *resistance welding* dikenal adanya *fluid state* dan *solid state* tergantung dari keadaan logam pada saat disatukan. Pada *fluid state* dikenal adanya *spot welding* listrik dan laser *welding*. Pada *spot welding* listrik digunakan alat *spot welder* elektrik dilengkapi dua elektroda yang akan menjepit logam yang disatukan. Elektroda yang telah diberi arus listrik akan menghasilkan panas yang kemudian akan diterima logam dan digunakan untuk terjadinya *interdiffusion* antara logam yang disatukan.[5,9]

Bagian-bagian pada unit hasil *welding* secara umum dapat digambarkan dalam bentuk skema pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema bagian-bagian material yang di*welding* pada *spot welding* listrik

Sambungan antara logam-logam yang disatukan dinamakan *joint weld* sedangkan sambungan antara logam-logam yang disolder disebut *joint* solder.[10]

Salah satu cara untuk menentukan kualitas suatu bahan ialah dengan melihat gambaran patahannya yaitu berupa pola fraktur. Secara umum terdapat 4 jenis pola fraktur yaitu *dimple, cleavage, fatigue* dan dekohesif. Pada pola fraktur *dimple* tampak adanya gambaran *cup and cone*. Pola fraktur ini menunjukkan bahwa bahan tersebut kuat dan tangguh. Pada pola fraktur *cleavage* tampak bahwa fraktur terjadi sepanjang *cleavage plane* dan gambaran pola fraktur ini menunjukkan bahwa bahan bersifat *brittle* artinya bahan tersebut kuat tetapi tidak ulet. Selain keempat pola fraktur tadi masih terdapat pola fraktur lain yang dimasukkan kedalam jenis unik diantaranya yaitu *quasi cleavage*. Pada pola *quasi cleavage* terlihat adanya gambaran campuran antara *dimple* dan *cleavage* dan pola ini menunjukkan bahwa bahan tersebut kuat dan tangguh tetapi tidak setangguh pada pola *dimple*.[11] Menurut penelitian yang dilakukan oleh Smith dkk (1972) didapatkan bahwa *joint weld* yang dihasilkan bersifat ulet begitu pula menurut penelitian yang dilakukan oleh Bertrand dkk (2001).[12,13] NaBadalung dan Nicholls (1998) menemukan bahwa *joint weld* yang dihasilkan menunjukkan gambaran pola fraktur *quasi cleavage* begitu pula pada penelitian yang dilakukan oleh Chai dan Chou (1998) didapatkan bahwa pada *joint weld* ditemukan gambaran baik pola fraktur *dimple* maupun *cleavage*.[14,15]

Pada penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak disimpulkan bahwa kekuatan ikatan yang dihasilkan dari teknik *welding* lebih tinggi daripada teknik penyolderan. Preston dan Reisbick (1975) membandingkan besarnya *ultimate tensile strength* (UTS) antara dua logam yang disambung dengan *laser welding* dan penyolderan. Dari penelitiannya disimpulkan bahwa nilai UTS pada logam yang disambung dengan *laser welding* pada umumnya lebih tinggi daripada penyolderan.[16] Hasil tersebut sesuai dengan pendapat yang disampaikan oleh Smith dkk (1972), NaBadalung dan Nicholls (1998), Wang dan Chang (1998), Chai dan Chou (1998) dan Liu dkk (2002)[12,13,17,15,18]. Menurut Phillips (1982) kekuatan mekanis yang dihasilkan pada teknik penyolderan sebanding dengan hasil laser *welding*.[3]

Pada penelitian ini dilakukan uji kekuatan geser terhadap spesimen untuk melihat kekuatan ikatan *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *spot welding* listrik. Selain itu juga dilakukan pengamatan gambaran mikro daerah kontak pada *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *welding* dan daerah sambungan pada *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik penyolderan antara kawat dan mahkota berikut uji EDS pada daerah tersebut. Uji patahan dilakukan pada spesimen yang telah dilakukan uji geser dengan

maksud untuk mendapatkan informasi tentang sifat *joint weld* dan *joint* solder yang dihasilkan.

Bahan dan Cara Kerja

Spesimen berupa *loop space maintainer* yang dibuat dari kawat dan mahkota logam. Kawat yang digunakan yaitu kawat baja tahan karat tipe 18 – 8 merek Dentaurum dengan diameter 0,8 mm sedangkan mahkota yang digunakan yaitu mahkota *Nickel Chromium* yang biasa digunakan sebagai restorasi gigi molar dua sulung bawah. Bentuk spesimen dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Bentuk spesimen

Gambar 3. Pembuatan spesimen dengan teknik *spot welding* listrik

Kawat dipotong sepanjang 3,5 cm kemudian dibentuk *loop* dengan lebar 1 cm. Untuk pengujian mekanis dilakukan uji geser pada masing-masing 10 *buah* spesimen untuk 4 kelompok perlakuan dan 1 kelompok kontrol. Perlakuan yang dilakukan yaitu pemberian *spot welding* dengan variasi *spot* 1 X – 4 X untuk masing-masing titik. *Spot welding* listrik dilakukan menggunakan *spot welder* listrik merek Rocky Mountain tipe 600-1 dengan diameter spot 1 mm dan sambungan antara kawat dan mahkota dibuat masing-masing 3 titik untuk setiap spesimen (Gambar 3). Kontrol dibuat dengan teknik penyolderan menggunakan *torch* sebagai sumber panas. Bahan solder yang digunakan merek Dentaurum dipotong sepanjang 3 mm yang kemudian diletakkan pada daerah kontak antara kawat *loop* dan mahkota logam. Bahan solder kemudian dipanaskan sampai meleleh setelah sebelumnya diberi selapis tipis *flux* merek Oral flux. Spesimen yang telah didapat kemudian di*mounting* untuk uji geser. Pengujian mekanis dilakukan pada permukaan lingual untuk penyesuaian dengan alat uji geser yang menggunakan *Universal Testing Machine* merek Shimadzu AG 5000 E dengan kecepatan uji 0,5 mm permenit. Selanjutnya permukaan patahan diamati untuk mendapatkan pola/ gambaran patahannya menggunakan Scanning Electron Microscop (SEM) merek Leo 420 I dan Energy Dispesive X-Ray Spectrophotometry (EDS) merek Oxford 300 series. Data kekuatan geser dianalisis dengan uji ANOVA satu arah dan Tukey *post hoc*.

Spesimen untuk pengamatan gambaran mikro dibuat masing-masing 1 buah untuk keempat kelompok perlakuan dan 1 buah untuk kontrol. Cara pembuatannya sama seperti spesimen untuk uji geser. Pengamatan struktur mikro dilakukan pada daerah kontak dan sambungan antara kawat dan mahkota dengan cara memotong spesimen arah serviko oklusal tepat pada *spot* menggunakan *diamond disc* merek Edenta. Pengamatan dilakukan menggunakan SEM/EDS.

Hasil

Hasil pengujian mekanis yang dilakukan pada kelompok perlakuan dan kontrol dapat dilihat pada Tabel 1. Besar kekuatan geser yang dihasilkan dengan teknik *spot welding* listrik untuk semua variasi *spot* lebih besar daripada kekuatan geser yang dihasilkan kelompok kontrol walaupun secara statistik tidak berbeda bermakna dengan variasi *spot* 1 X (Tabel 1).

Gambar 4 dan 5 menunjukkan gambaran SEM pada daerah kontak dan sambungan antara kawat dan mahkota pada kelompok perlakuan dan kontrol. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada daerah kontak antara kawat dan mahkota tampak terbentuknya *interdiffusion zone / joint weld*. Tampak pula bahwa *joint weld* berkontak baik dengan kawat maupun mahkota. Hasil uji EDS pada daerah tersebut menunjukkan terbentuknya suatu paduan baru (*joint weld*) dengan komposisi yang berbeda dengan komposisi awal bahan baik kawat maupun mahkota (Tabel 2 dan 3). Dari Tabel 2 dapat dilihat pula bahwa untuk setiap variasi *spot*

Tabel 1. Nilai rerata besar kekuatan geser pada *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *spot welding* listrik dan kontrol

Variasi *spot*	Besar kekuatan geser (MPa) ± SD
1 X	48,99 ± 4,19
2 X	52,38 ± 2,99
3 X	52,80 ± 3,64
4 X	54,27 ± 3,45
Kontrol	44,71 ± 1,73

Tabel 2. Hasil uji EDS pada *joint weld loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *welding*

Kawat	Variasi *spot*	Elemen (wt %) Fe	Cr	Ni	Si	C
Bulat	1 X	35,39	14,97	48,78	0,45	0,42
	2 X	6,65	13,93	48,38	0,97	0,05
	3 X	5,43	18,20	15,58	0,50	0,28
	4 X	62,38	17,87	18,64	0,61	0,50

Keterangan : wt % = persentase berat, Fe = Ferum, Cr = Krom

Tabel 3. Hasil analisis unsur bahan standar

Bahan	Elemen (wt %) Fe	Cr	Ni	Si	C	Ag	Cu	Zn
Kawat	72,32	18,15	8,93	0,46	0,15	-	-	-
Mahkota	-	5,91	93,57	0,23	0,29	-	-	-
Solder	-	-	-	-	0,63	64,97	6,47	27,93

Keterangan : wt % = persentase berat, Fe = Ferum, Cr = Krom, Ni = Nikel, Si = Silikon, C = Karbon, Ag = Perak, Cu = Tembaga, Zn = Seng

Tabel 4. Hasil uji EDS pada daerah sambungan kontrol

Elemen (wt %) Fe	Cr	Ni	Si	C	Ag	Cu	Zn	O
10,23	3,18	2,58	0,32	0,03	53,26	23,60	1,43	5,37

Keterangan : wt % = persentase berat, Fe = Ferum, Cr = Krom, Ni = Nikel, Si = Silikon , C = Karbon,

Tabel 5. Hasil uji EDS patahan loop space maintainer yang dibuat dengan teknik welding

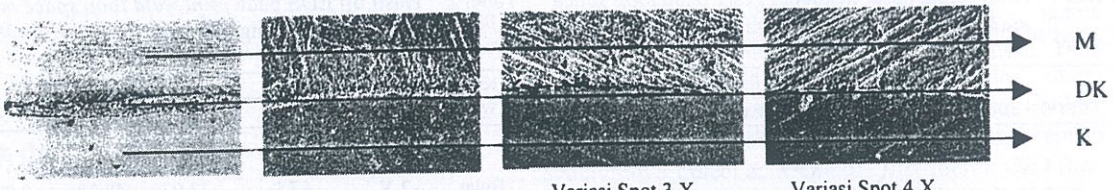
Variasi *spot*	Elemen (wt %) Fe		Cr		Ni		Si		C	
	K	M	K	M	K	M	K	M	K	M
1 X	32,84	20,27	11,60	8,24	55,08	70,88	0,19	0,29	0,29	0,32
2 X	22,86	16,51	10,36	7,51	66,10	75,33	0,35	0,26	0,33	0,39
3 X	22,40	20,94	8,46	8,20	68,08	70,19	0,16	0,28	0,90	0,39
4 X	33,57	15,55	13,11	17,88	52,37	64,46	0,40	0,87	0,55	1,24

Keterangan : wt % = persentase berat, Fe = Ferum, Cr = Krom, Ni = Nikel, Si = Silikon, C = Karbon , K = Kawat, M = Mahkota

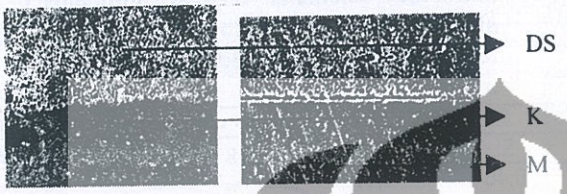
Tabel 6. Hasil uji EDS patahan kontrol

Bahan	Elemen (wt %) Fe	Cr	Ni	Si	C	Ag	Cu	Zn
Kawat	0,91	0,71	-	0,14	1,48	67,56	6,34	22,86
Mahkota	-	0,95	0,95	-	-	65,05	4,94	28,11

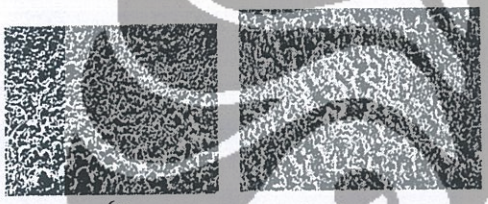
Keterangan : wt % = persentase berat, Fe = Ferum, Cr = Krom, Ni = Nikel, Si = Silikon, C = Karbon, Ag = Perak, Cu = Tembaga, Zn = Seng



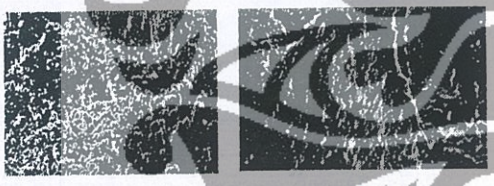
Gambar 4. Gambaran SEM daerah kontak *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *welding*, perbesaran 2000 X
Keterangan : M= Mahkota, K= Kawat, DK= Daerah Kontak



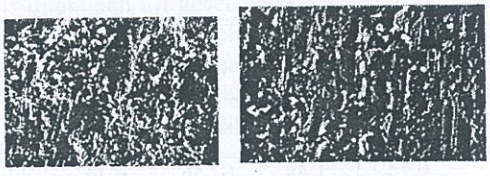
Gambar 5. Gambaran SEM daerah sambungan kontrol, perbesaran 2000 X
Ket: M=Mahkota, K=Kawat, DS=Daerah Sambungan



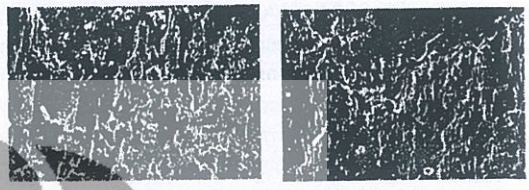
Gambar 6 : Gambaran SEM patahan hasil *welding* variasi *spot* 1 X, perbesaran 2000 X
a) kawat, b) mahkota



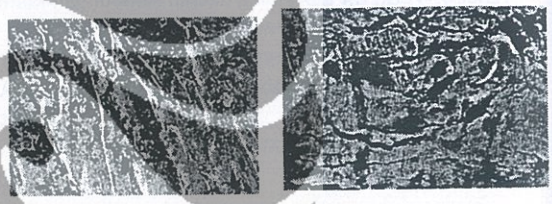
Gambar 7 : Gambaran SEM patahan hasil *welding* variasi *spot* 2 X, perbesaran 2000 X
a) kawat, b) mahkota



Gambar 8 : Gambaran SEM patahan hasil *welding* variasi *spot* 3 X, perbesaran 2000 X
a) kawat, b) mahkota



Gambar 9. Gambaran SEM patahan hasil *welding* variasi *spot* 4 X, perbesaran 2000 X
a) kawat, b) mahkota



Gambar 10. Gambaran SEM patahan kontrol , perbesaran 2000 X
a) kawat , b) mahkota

terbentuk *joint weld* dengan komposisi yang berbeda-beda. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa daerah sambungan yang terbentuk (*joint* solder) berkontak baik dengan kawat maupun mahkota. Hasil uji EDS pada daerah tersebut ternyata berbeda komposisinya baik dengan bahan solder, kawat maupun mahkota (Tabel 4 dan 3). Dari Tabel 4 tampak terlihat adanya unsur Oksigen selain unsur-unsur yang terkandung dalam bahan solder, kawat maupun mahkota logam.

Setelah dilakukan uji geser, kemudian spesimen diamati menggunakan SEM untuk dilihat gambaran patahannya dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6 sampai 10. Pada Gambar 6 tampak gambaran pola *dimple* pada variasi *spot* 1 X begitu pula pada variasi *spot* 2 X (Gambar 7) walaupun disertai adanya porositas terutama pada patahan mahkota. Pada variasi *spot* 3 X dan 4 X (Gambar 8

dan 9) tampak gambaran pola *quasi cleavage* disertai porositas dan inklusi. Pada Gambar 10 tampak bahwa gambaran patahan kontrol memperlihatkan pola *cleavage*. Selain diamati menggunakan SEM, patahan kawat dan mahkota diuji EDS dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6. Dari Tabel 5 tampak bahwa fraktur pada *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *spot welding* elektrik terjadi pada *joint weld* karena baik pada patahan kawat maupun mahkota terlihat semua unsur yang terkandung baik dalam kawat maupun mahkota. Tabel 6 memperlihatkan bahwa fraktur pada kontrol terjadi pada *joint* solder karena baik pada patahan kawat maupun mahkota ditemukan semua unsur yang terkandung dalam bahan solder.

Pembahasan

Dari hasil uji EDS pada *joint weld* (Tabel 2) terlihat bahwa *interdiffusion* terjadi antara kawat dan mahkota pada *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *spot welding* listrik. Dengan teknik ini terbentuk suatu paduan baru dengan komposisi yang berbeda-beda untuk setiap variasi *spot*. Komposisi seluruh paduan baru berbeda dengan komposisi awal bahan baik kawat maupun mahkota (Tabel 3). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Smith dkk (1972) dan Bertrand dkk (2001).[12,13] Dengan terbentuknya paduan baru tersebut menunjukkan bahwa ikatan yang terjadi berupa ikatan antar paduan *weld* dan paduan *base* dalam hal ini antara kawat dan mahkota.

Hasil uji EDS pada *joint* solder (Tabel 4) menunjukkan bahwa pada daerah tersebut terbentuk suatu paduan baru dengan komposisi yang berbeda dengan komposisi awal bahan baik kawat, mahkota maupun bahan solder. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Chaves dkk (1998).[19] Pada *joint* solder tampak adanya unsur Oksigen, hal ini menunjukkan bahwa pada saat bahan solder dipanaskan kemungkinan terjadi oksidasi. Dari hasil analisis unsur bahan solder (Tabel 3) terlihat bahwa kandungan dominannya berupa perak dan seng yang tergolong logam *precious* sedangkan kawat dan mahkota mempunyai kandungan dominan berupa *Nickel* dan *Chromium* yang tergolong logam *base*. Penyatuan dua logam dan golongan yang berbeda sangat berbahaya karena akan terjadi beda potensial yang akan menimbulkan arus galvanis dan terjadi korosi.

Dari gambaran pola patahan kawat maupun mahkota *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *spot welding* listrik tampak adanya pola patahan *dimple* terutama pada variasi *spot* 1 X dan 2 X. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas *joint weld* yang dihasilkan kuat dan tangguh. Pada variasi *spot* 3 X dan 4 X gambarannya memperlihatkan pola patahan *quasi cleavage*. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas *joint weld* yang dihasilkan kuat dan tangguh tetapi tidak setangguh pada variasi *spot* 1 X dan 2 X. Gambaran pola *dimple* yang ditunjukkan oleh variasi *spot* 1 X dan 2 X kemungkinan dapat dihubungkan dengan tingginya kandungan *Nickel* pada paduan baru yang terbentuk (*joint weld*) dibandingkan variasi *spot* 3 X dan 4 X (tabel 2) karena *Nickel* mempunyai peran dalam meningkatkan keuletan.

Gambaran pola patahan kontrol memperlihatkan gambaran *cleavage*, hal ini menunjukkan bahwa kualitas *joint* solder yang dihasilkan bersifat *brittle* artinya bahan tersebut kuat tetapi tidak tangguh. Untuk lebih mengetahui lebih jelas lagi tentang karakteristik *joint weld* maupun *joint solder* tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Hasil uji EDS baik pada patahan kawat maupun mahkota untuk *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *spot welding* listrik tampak bahwa fraktur terjadi pada *joint weld* (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa ikatan antara *joint weld* baik terhadap kawat maupun mahkota cukup kuat. Dari Tabel 6 terlihat pula bahwa fraktur pada kontrol terjadi pada *joint* solder, hal ini menunjukkan bahwa ikatan antara *joint* solder terhadap kawat maupun mahkota cukup kuat. Besar kekuatan geser yang dihasilkan kontrol ternyata lebih kecil daripada teknik *spot welding* listrik kemungkinan disebabkan karena ikatan antara *joint* solder dengan kawat maupun mahkota lebih rendah dibandingkan ikatan antara *joint weld* dengan kawat maupun mahkota.

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Kekuatan geser yang dihasilkan *loop space maintainer* yang dibuat dengan teknik *spot welding* listrik lebih besar daripada kontrol.
2. Ditinjau dari kualitas bahan sambungan yang dihasilkan ternyata *joint weld* lebih kuat dan tangguh daripada *joint* solder terutama pada variasi *spot* 1 X karena porositas yang terjadi sangat minimal.
3. Dianjurkan untuk menggunakan teknik *spot welding* listrik variasi *spot* 1 X dalam pembuatan *loop space maintainer* karena selain kualitas

bahan sambungan yang dihasilkan jauh lebih tangguh juga pekerjaan lebih mudah dan cepat.

Daftar Pustaka

1. Mathewson RJ, Primosch RE. Fundamentals of Pediatric Dentistry. 3rd ed. St. Louis: Quintessence Publishing Co, Inc. 1995: 326–38
2. Finn SB. Clinical Pedodontics. 4th ed. Philadelphia: WB. Saunders Company. 1973: 342–53
3. Phillips RW. Science of Dental Materials. 8th ed. Philadelphia: WB. Saunders Company 1982: 534– 46
4. Anusavice KJ. Phillip's Science of Dental Materials . 10th ed. Philadelphia: WB. Saunders Company . 1996: 619- 29
5. Darvel BW. Materials Science for Dentistry . 6th ed. Hong Kong: The University of Hong Kong Press . 2000: 414–9
6. O'Brien WJ . Dental Materials and Their Selection . 3rd ed. Chicago: Quintessence Publishing Co, Inc. 2002: 249–57
7. Craig RG. Restorative Dental Materials.10th ed. St. Louis: Mosby 1997: 408–9 , 42 –8
8. Craig RG. Restorative Dental Materials. 11th ed. St. Louis: Mosby . 2002 : 495–9, 543–6.
9. Metals Handbook . 9th ed. Welding, Brazing and Soldering. USA: ASM International. 1983; (6): 1525–34.
10. Welding Handbook . 7th ed. Fundamentals of Welding. Miami Florida : American Welding Society. 1982; (1): 101–40.
11. ASM Handbook . Formerly Ninth Edition . Metals Handbook.. Fractography. USA: ASM International 1992: (12):12–21.
12. Smith DL, Burnett AP dan Gordon TE. Laser Welding of Gold Alloys *J Dent Res* 1972; 51: 161-7.
13. Bertrand C, Petitcorps L, Albingre L.The laser welding technique applied to the non precious dental alloys : procedure and results. *J Brit Dent* 2001; 190: 151–5.
14. NaBadalung DP, Nicholls JI. Laser Welding of a cobalt – chromium removable partial denture alloy. *J Prosth Dent* 1998 ; 79 : 285–90.
15. Chai T dan Chou CK. Mechanical properties of laser – welded cast titanium joints under different conditions. *J Prosth Dent* 1998 ; 79 : 477–83.
16. Preston JD dan Reisbick MH. Laser Fusion of Selected Dental Casting Alloys. *J Prosth Dent* 1975 ; 54 : 232–8.
17. Wang RR dan Chang CT. Thermal modeling of laser welding for titanium dental restorations. *J Prosth Dent* 1998; 79: 335-42.
18. Liu J, Watanabe I, Yoshida K. Joint strength of laser welded titanium. *J Dent Mat* 2002 ; 18 : 143-8.
19. Chaves M, Vermilyea SG, Papazoglou E. Effects of three soldering technique on the strength of high-palladium alloy solder joints. *J Prosth Dent* 1998; 79: 677-84.