

**STUDI UJI KUAT TARIK BERAGAM KAWAT ORTODONTIK
(STUDI LITERATUR)**

Andrew Edbert Sukendar*, Ken Edinata*, Angela Evelynna*

*Faculty of Dentistry, Maranatha Christian University,
Jl. Surya Sumantri No.65, Sukawarna, Kec. Sukajadi, Kota Bandung 40164, Jawa Barat,
Indonesia

andrewedbert20@gmail.com

ABSTRAK

Dalam kedokteran gigi, kawat ortodontik seringkali digunakan dalam perawatan ortodontik. Kawat ortodontik yang digunakan memiliki komposisi berbeda-beda yang mempengaruhi kemampuan kuat tarik kawat sehingga operator memerlukan pengetahuan tentang kemampuan kuat tarik pada kawat ortodontik. Kemampuan kawat ortodontik mengindikasikan kemampuan kawat untuk digunakan sebagai kawat yang akan diaplikasikan kepada pasien. Dengan kemampuan kawat berbeda-beda pada setiap jenisnya, maka penggunaannya juga berbeda-beda. Tujuan studi literatur ini untuk menganalisis perbedaan kemampuan kuat tarik pada berbagai macam kawat ortodontik. Metode yang digunakan merupakan studi literatur dengan mengumpulkan data melalui Pubmed, Ajodo, Google Scholar, dan Mendeley, hingga ditemukan 71.618 jurnal yang akan diseleksi kembali berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, sehingga diperoleh sekitar 7 jurnal yang akan dilakukan analisis. Hasil analisis ini menemukan bahwa kawat *stainless steel* memiliki kemampuan kuat tarik dengan nilai tertinggi dibandingkan dengan semua kawat yang digunakan dalam penelitian ini.

Kata kunci: *Ultimate tensile strength, yield strength, orthodontic wires, stainless steel, nickel titanium, cobalt chromium, titanium molybdenum alloys, multistranded wires*

ABSTRACT

In dentistry, orthodontic wire are often used in orthodontic treatment. The orthodontic wire has different compositions that affect the tensile strength of the wire. Operators need knowledge about the tensile strength of orthodontic wire. The orthodontic wire tensile strength indicates the ability of the wire to be used in orthodontic treatment. With different wire capabilities in each type, each type orthodontic wires use is also different. The purpose of this literature study is to analyze differences in the tensile strength of various orthodontic wires. The method used is a literature study by collecting data through Pubmed, Ajodo, Google Scholar, Mendeley, and 71,618 journals are found which will be reevaluated and selected based on the inclusion and exclusion criteria, so that approximately seven journals will be analyzed. The results of this

analysis found that stainless steel wire has the highest tensile strength ability compared to all wires used in this study.

Keywords: *Ultimate tensile strength, yield strength, orthodontic wires, stainless steel, nickel titanium, cobalt chromium, titanium molybdenum alloys, multistranded wires*

PENDAHULUAN

Ilmu kedokteran gigi ortodontik adalah cabang kedokteran gigi yang berkaitan dengan studi tentang pertumbuhan kompleks kraniofasial, perkembangan oklusi, dan pengobatan kelainan dentofasial.¹ Pada jaman sekarang, perawatan ortodontik telah dikenal secara luas; banyak masyarakat sudah menyadari akan pentingnya perawatan ortodontik terutama terhadap pengaruh yang dapat diberikan oleh perawatan ortodontik. Tujuan perawatan ortodontik adalah untuk meningkatkan kesehatan dan fungsi mulut, estetika, dan kualitas hidup individu.² Cabang ilmu kedokteran gigi ortodontik diketahui tidak hanya bertumpu pada kemampuan dan pengetahuan operator tetapi juga bergantung terhadap pengetahuan serta pemilihan material yang akan digunakan.^{2,3}

Perawatan ortodontik menggunakan banyak alat sebagai media yang akan digunakan oleh operator. Alat alat ini yang nanti akan diaplikasikan di dalam rongga mulut.⁴ Alat digunakan dalam perawatan ortodontik menggunakan banyak komponen braket ortodontik, karet ortodontik, material cetak, material luting, etsa, bonding, dan kawat ortodontik.^{1,3,4}

Perawatan ortodontik menggunakan komponen kawat yang merupakan hal yang penting dalam perawatan, Kawat harus memiliki kekuatan yang baik agar dapat memberikan hasil yang optimal dalam perawatan ortodontik, yang di desain untuk memberikan aktivasi berupa gaya pada gigi yang malposisi untuk bergerak ke dalam lengkung rahang yang ideal dan beroklusi dengan baik, Kawat dimasukkan ke dalam slot braket atau tube pada gigi, maka kawat akan memberikan gaya yang akan di transmisikan ke gigi, gaya tersebut tergantung pada beberapa parameter dari kawat yang digunakan dan hubungan antara braket dan kawat.^{3,5,6} Tetapi seiring berjalannya waktu banyak kawat dengan material yang berbeda beda, sehingga memberikan pilihan bagi operator untuk memilih kawat seperti apa yang akan digunakan. Kawat kawat yang beredar dan digunakan oleh operator pada saat ini contohnya seperti *Nickel Titanium (NiTi)*, *Thermal Nickel Titanium (Thermal NiTi)*, *Titanium Molybdenum Alloys (TMA)*, *Stainless Steel (SS)*, *Chrome Cobalt (CC)* dan kawat lilit (*Multistranded Wires*). Masing-masing tipe kawat memiliki komponen yang berbeda beda sehingga memiliki sifat mekanis yang berbeda beda juga.

Sifat mekanis adalah sifat yang berhubungan dengan gaya dan energi serta efeknya pada suatu benda. Semua sifat mekanis diukur berdasarkan kemampuan bahan untuk tidak berubah bentuk atau patah setelah dikenakan suatu gaya.⁷ Sifat mekanis yang sangat penting pada logam seperti kawat adalah kuat tarik (*Tensile Strength*).⁸ Kuat tarik (*Tensile Strength*) adalah kemampuan benda ketika dikenai dua gaya yang diarahkan menjauhi satu sama lain dalam garis lurus yang sama. Beban yang diberikan cenderung meregangkan atau memanjangkan subjek yang di berikan perlakuan.⁹ Kuat tarik sangat penting untuk logam karena aspek ini menunjukkan kemampuan bahan untuk mengalami deformasi perubahan bentuk dibawah

tegangan tarik hingga momen fraktur dan mengindikasikan kemampuan kerja dari logam tersebut.^{8,9} Pengujian kuat tarik merupakan pengujian yang dilakukan agar diketahui kekuatan maksimum suatu material.¹⁰

Kuat tarik berperan penting karena semakin tinggi kuat tarik yang dapat diberikan kawat, semakin tinggi pula gaya yang dapat diberikan oleh kawat tersebut yang digunakan dalam penggunaan klinis. Gaya ini yang nanti akan dihasilkan oleh kawat untuk menggerakkan gigi geligi untuk bergerak mengikuti kemampuan deformasi elastis kawat setelah di aktivasi.^{1,8,11} Seperti uraian di atas, kawat yang telah di aktivasi akan mengalami deformasi elastis dan berusaha untuk kembali ke bentuk awal kawat sebelum di aktivasi dan memberikan gaya yang akan mempengaruhi posisi gigi hingga bergerak menuju posisi yang diinginkan oleh operator.¹² Maka dari itu, semakin rendah kemampuan kuat tarik suatu kawat semakin cepat pula kawat mengalami deformasi plastis dimana kawat tidak akan kembali ke bentuk semula dan tidak akan memberikan gaya apapun yang dapat menggerakkan gigi terutama kawat yang berada di dalam rongga mulut terus mengalami deformasi akibat beban pengunyahan.^{12,13} Hal ini yang akan menjadi masalah apabila operator tidak mengetahui tentang kemampuan kuat tarik suatu kawat dimana kemampuan kawat tersebut tidak akan maksimal setelah diaplikasikan di dalam rongga mulut terutama bahan dari kawat tersebut juga mempengaruhi kemampuan kawat yang akan di aktivasi.¹³

Berdasarkan hal yang sudah diuraikan di atas maka akan dilakukan penelitian studi literatur berjudul “Studi Uji Kuat Tarik Macam Macam Kawat Ortodontik” untuk memperdalam pengetahuan tentang macam macam kemampuan kuat tarik pada kawat ortodonti yang sekarang beredar di pasaran karena kuat tarik suatu logam kawat sangat penting diketahui, terutama untuk mengetahui kemampuan yang dapat diberikan kawat tersebut.

Identifikasi masalah penelitian ini adalah “Berapakah nilai kuat tarik dari macam macam kawat ortodonti?”

Studi literatur ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai kuat tarik dari macam macam kawat ortodonti yang biasa digunakan di praktik kedokteran gigi ortodonti.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi literatur yang dilakukan dengan mengumpulkan dan membandingkan data dari jurnal hasil penelitian yang telah dilakukan. Pencarian referensi artikel atau jurnal ilmiah dilakukan dengan Pubmed, Ajodo, Google Scholar, dan Mendeley untuk memperoleh literatur paling relevan sesuai identifikasi masalah. Keseluruhan kombinasi kata kunci yaitu: *Orthodontic, Wire, Multistranded, Tensile Strength, Kuat Tarik, Kawat, Mechanical properties, Sifat mekanik, NiTi, Nickel Titanium, SS, Stainless Steel, Termal NiTi, TMA, Titanium Molybdenum Alloys, CC, Cobalt Chromium.*

Kriteria inklusi pada penelitian ini adalah: (1) Studi perbedaan kemampuan kuat tarik dari berbagai jenis kawat; (2) Studi membandingkan data uji kuat tarik dari penelitian sebelumnya; (3) Artikel riset berbahasa indonesia dan inggris; (4) Artikel yang digunakan merupakan jurnal yang terbit kurang dari 20 tahun terakhir.

HASIL ANALISIS KUAT TARIK BERAGAM KAWAT ORTODONTIK

Studi literatur ini dilakukan dengan menganalisis jurnal serta artikel penelitian yang diperoleh melalui media pencarian elektronik google scholar, Pubmed, Mendeley, dan Ajodo yang diterbitkan sekitar tahun 2001-2021 dengan memasukkan kata kunci berupa “*Orthodontic, Wire, Multistranded, Tensile Strength, Kuat Tarik, Kawat, Mechanical properties, Sifat mekanik, NiTi, Nickel Titanium, SS, Stainless Steel, Termal NiTi, TMA, Titanium Molybdenum Alloys, CC, Cobalt Chromium*”. Berdasarkan pencarian tersebut diperoleh 71.618 jurnal yang diseleksi kembali berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, sehingga diperoleh sekitar 7 jurnal yang dilakukan pengkajian.

Berdasarkan analisis terhadap 7 jurnal ilmiah tersebut, diperoleh berbagai hasil penelitian dengan data relevan serta sesuai dengan tujuan penelitian; yang kemudian dirangkum dalam Tabel 1. Hasil analisis ini berisi penelitian terdahulu yang melakukan pengukuran pada kawat ortodontik yang menunjukkan bahwa adanya perbedaan kuat tarik terhadap kawat ortodontik dengan jenis berbeda, tapi juga disebutkan bahwa ada perbedaan pada jenis sama tapi diambil dari pabrik berbeda.

Tabel 1. Hasil Analisis Uji Kuat Tarik pada Kawat Ortodontik

| Penulis/ Tahun | Material | Dimensi (inch) | Bentuk | Alat yang digunakan | YS (MPa) <i>Mean ± SD</i> | UTS (MPa) <i>Mean ± SD</i> |
|--|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---|--|---|
| Juvvadi <i>et al</i> (2010) ¹⁴ | SS | 0,017 x 0,025 | <i>Rectangular</i> | Universal Testing Machine | 1886,33 ± 23,86 | 2047,6 ± 50,6 |
| | TMA | 0,017 x 0,025 | | | 1116,67 ± 93,78 | 1180 ± 85,56 |
| Rucker <i>et al</i> (2002) ¹⁵ | SS | 0,017 x 0,025 | <i>Rectangular</i> | Universal Mechanical Testing Machine (Instron, Canton, Mass) | 1540 ± 60 | 1950 ± 10 |
| | SS Coaxial | 0,018 | <i>Coaxial (6 Strand Twisted)</i> | | 1120 ± 20 | 1520 |
| | SS Braided | 0,017 x 0,025 | <i>Braided</i> | | 1010 ± 20 | 1290 ± 10 |
| | NiTi | 0,017 x 0,025 | <i>Rectangular</i> | | 310 ± 20 | 1000 ± 30 |
| | NiTi Coaxial | 0,018 | <i>Coaxial (6 Strand Twisted)</i> | | 360 ± 10 | 1240 ± 10 |
| | NiTi Braided | 0,017 x 0,025 | <i>Braided</i> | | 180 | 800 |
| Vestryng <i>et al</i> (2006) ¹⁶ | TMA TP Orthodontics | 0,017 x 0,025 | <i>Rectangular</i> | Universal Testing Machine 4467, Instron, Bucks, United Kingdom | 1254 | 1371 |
| | TMA Ormco | 0,017 x 0,025 | | | 926 | 1161 |
| | TMA G&H Wire Company | 0,017 x 0,025 | | | 772 | 940 |
| | TMA Ortho Organizer | 0,017 x 0,025 | | | 769 | 1192 |
| | TMA GAC | 0,017 x 0,025 | | | 875 | 1281 |
| | TMA Rocky Mountains | 0,017 x 0,025 | | | 927 | 1066 |
| | TMA American Orthodontics | 0,017 x 0,025 | | | 1011 | 1090 |
| | TMA Dentaurum | 0,017 x 0,025 | | | 848 | 930 |
| | SS 3M Unitek | 0,017 x 0,025 | | | 1832 | 2170 |

| Penulis/ Tahun | Material | Dimensi (inch) | Bentuk | Alat yang digunakan | YS (MPa) <i>Mean ± SD</i> | UTS (MPa) <i>Mean ± SD</i> |
|--|-----------------------------|-------------------|--------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|
| | SS TP Orthodontics | 0,017 x 0,025 | | | 1670 | 1926 |
| | SS Ormco | 0,017 x 0,025 | | | 1699 | 1986 |
| | SS G&H Wire Company | 0,017 x 0,025 | | | 1543 | 1846 |
| | SS Ortho Organizers | 0,017 x 0,025 | | | 1966 | 2153 |
| | SS GAC | 0,017 x 0,025 | | | 1791 | 2218 |
| | SS 3M Unitek | 0,017 x 0,025 | | | 1894 | 2345 |
| | SS Rocky Mountains | 0,017 x 0,025 | | | 1631 | 1939 |
| | SS American Orthodontics | 0,017 x 0,025 | | | 1884 | 2165 |
| | SS Dentaurum | 0,017 x 0,025 | | | 1556 | 1813 |
| Kusy <i>et al</i> (2001) ¹⁷ | CC Blue | 0,017 x 0,025 | <i>Rectangular</i> | Instron Machine | 991 ± 32 | 1630 ± 32 |
| | CC Yellow | 0,017 x 0,025 | <i>Rectangular</i> | | 1094 ± 41 | 1734 ± 10 |
| | CC Green | 0,016 | <i>Round</i> | | 1051 ± 44 | 1937 ± 10 |
| | CC Red | 0,016 | <i>Round</i> | | 1026 ± 141 | 1973 ± 55 |
| Krishnan <i>et al</i> (2004) ¹⁸ | SS | 0,017 x 0,025 | <i>Rectangular</i> | Universal Testing Machine (1195, Instron, Canton, Mass) | 1640 ± 70 | 2100 ± 40 |
| | TMA | 0,017 x 0,025 | | | 1010 ± 90 | 1250 ± 70 |
| Vena <i>et al</i> (2007) ¹⁹ | SS Ormco | 0,017 x 0,025 | <i>Rectangular</i> | MTS 810 Material Testing System (MTS Corporation, Minneapolis, Minnesota) | 2028,2 ± 83 | 2098,1 ± 77,2 |
| | SS Ormco | 0,019 x 0,025 | | | 1953,9 ± 67 | 2041,7 ± 63,4 |

Keterangan:

NiTi : Nikel – Titanium

SS : *Stainless Steel*

MPa : Megapaskal

TMA : *Titanium Molybdenum Alloy*

CC : *Cobalt Chromium*

YS : *Yield Strength*

UTS : *Ultimate Tensile Strength*

Secara umum penelitian-penelitian ini dilakukan dengan menggunakan berbagai macam kawat. Kriteria pemilihan kawat meliputi diameter kawat yang digunakan serupa dan tidak diberikan perlakuan sebelumnya. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan perlakuan berupa penarikan pada kawat hingga kawat terputus saat mencapai titik maksimal penarikan yang dapat diberikan.

Metode yang digunakan secara keseluruhan menggunakan metode sama, yaitu dilakukan Uji Kuat Tarik (*Tensile Test*) dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTS), dimana pada saat pengujian kawat diletakkan pada alat UTS kemudian akan diberikan gaya tarik pada dua sisi yang menjauhi ujung satu dan ujung lainnya hingga kawat mengalami titik *stress* maksimal yang dapat diterima kawat yang diuji. Hasil dari pengujian disamaratakan menjadi satuan *megapascal* (MPa).

PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis terhadap penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa kuat tarik yang dimiliki setiap kawat ortodontik memiliki perbedaan; hal ini dapat dihubungkan dengan adanya pengaruh dari perbedaan komposisi atau kandungan dari setiap kawat ortodontik serta diameter yang digunakan; ada juga faktor dari perbedaan tempat pembuatan kawat kawat yang digunakan pada pengujian.

Uji Kuat Tarik Beragam Kawat Ortodontik

Kemajuan terbaru dalam paduan kawat ortodontik telah menghasilkan susunan kawat bervariasi yang menunjukkan spektrum sifat luas. Sejak tahun 1930-an, satu-satunya kawat ortodontik yang tersedia pada saat itu terbuat dari emas. Karena kebutuhan operator terhadap kawat dengan karakteristik tertentu seperti elastisitas lebih tinggi, rendah korosi, dan harga terjangkau, maka sejak itu terciptalah beberapa kawat yang muncul dengan beberapa paduan lain dengan karakteristik diinginkan telah diadopsi dalam ortodontik. Ini termasuk kobalt-kromium, nikel-titanium, TMA, *stainless steel*, dan kawat multistranded.^{20,18}

Pergerakan gigi dan perubahan jaringan terkait adalah hasil dari sistem gaya yang diterapkan dan respon jaringan terhadapnya. Kawat ortodontik perlu karakteristik yang disiapkan untuk digunakan secara klinis. Seiring berjalannya waktu, komposisi dan karakteristik material diperlukan untuk beberapa kasus dan beberapa kawat tidak menyediakan karakteristik khusus ini. Penelitian tentang kemampuan kuat tarik adalah salah satu langkah awal untuk memahami perilaku kawat dalam situasi klinis dan merupakan bagian integral dari karakterisasi paduan kawat.¹⁴ Produksi kawat pada pabrik berbeda memungkinkan memberikan perbedaan signifikan pada kuat tarik, karena komposisi, prosedur pembuatan, dan sifat mekanis berbeda dari pabrik tersebut.⁴

Secara ideal, kawat didisain untuk memberikan gaya ringan dan terus-menerus untuk pergerakan pada gigi. Beberapa gaya akan mengurangi potensi ketidaknyamanan pada pasien, hialinasi jaringan, dan merusak jaringan. Ketika gaya diberikan, kawat secara elastis memberikan gaya dalam periode beberapa minggu hingga beberapa bulan.^{21,22} Analisis yang dilakukan membuktikan adanya perbedaan kuat tarik pada setiap jenis kawat ortodontik yang memberikan opsi pada operator untuk memilih, dari semua jenis kawat tersedia, yang paling sesuai dengan tuntutan situasi klinis tertentu.²⁰

Analisis Perbedaan Kuat Tarik Beragam Kawat Ortodontik

Pada bahasan perbedaan kuat tarik macam-macam kawat ortodontik, maka diperoleh analisis bahwa kawat ortodontik memberikan nilai kuat tarik berbeda. Penelitian-penelitian yang dilakukan menjelaskan bahwa adanya perbedaan tempat pembuatan dan perbedaan komposisi dapat menyebabkan perbedaan sifat mekanik kawat ortodontik.

Analisis yang dilakukan membuktikan bahwa adanya perbedaan pada hasil uji kuat tarik pada setiap kawat. Rucker *et al* (2002), Juvvadi *et al* (2010), Krishnan *et al* (2004), Vestrynge *et al* (2006), dan Rucker *et al* (2002) melaporkan bahwa kemampuan kuat tarik luluh (YS) dari kawat SS ber-diameter 0,017" x 0,025" bergerak dari 1540 – 1894 MPa dan kemampuan kuat tarik maksimal (UTS) bergerak dari 1846 – 2345 MPa. Dalam penelitian ini, Kawat SS dari pabrik berbeda digunakan dan menunjukkan beragam hasil kuat tarik berbeda-beda. Kawat SS yang memiliki UTS tertinggi, yaitu 2345 Mpa, yaitu kawat SS 3M Unitek dan kawat SS yang memiliki UTS terendah, yaitu 1846 Mpa, yaitu kawat SS G&H Wire Company.^{14-16,18}

Kemudian penelitian yang dilakukan uji kuat tarik pada kawat berbasis titanium, yaitu NiTi. Pada penelitian yang dilakukan Devaprasad *et al* (2012) meneliti 2 kawat NiTi dari pabrik berbeda, yaitu NiTi 3M Unitek dan NiTi American Orthodontist dengan diameter 0,016" berbentuk *round*. Hasil uji kuat tarik menunjukkan nilai UTS pada kawat NiTi 3M Unitek, yaitu $1169 \pm 9,8$ MPa, dan pada kawat NiTi American Orthodontist, yaitu $1080 \pm 5,6$ MPa. Pada penelitian serupa yang dilakukan oleh Rucker *et al* (2002), Kawat NiTi dengan diameter 0,016" memberikan hasil YS sekitar 440 ± 10 MPa dan UTS sekitar 1440 ± 10 MPa. Kemudian, kawat NiTi berdiameter 0.018" memberikan hasil YS sekitar 490 ± 50 MPa dan hasil UTS sekitar 1670 ± 30 MPa. Dalam penelitian sama dilakukan juga kuat tarik pada kawat NiTi ber-diameter 0,017" x 0,025" dan memberikan hasil lebih kecil daripada kawat berbentuk *round* yaitu untuk YS sekitar 310 ± 20 MPa dan UTS sekitar 1000 ± 30 MPa.^{23,15}

Pada penelitian sama, pada kawat berbasis titanium, yaitu TMA yang dilakukan oleh Juvvadi *et al* (2010) dengan kawat dengan dimensi 0,017" x 0,025". Kawat TMA menghasilkan nilai YS sekitar $1116,67 \pm 93,78$ MPa dan UTS sekitar $1180 \pm 85,56$ MPa. Kemudian dilakukan ada juga penelitian serupa yang dilakukan oleh Vestrynge *et al* (2006) pada kawat TMA yang dibuat pada pabrik berbeda dan menunjukkan hasil berbeda-beda, kisaran nilai uji kuat tarik yang didapatkan pada penelitian ini, yaitu untuk YS sekitar 769 – 1254 MPa dan UTS didapat sekitar 930 – 1371 MPa dengan nilai YS dan UTS tertinggi pada kawat TMA TP Orthodontics. Pada penelitian ini dibuktikan bahwa adanya faktor pengaruh dari tempat pembuatan kawat itu sendiri hal ini dikaitkan dengan adanya perbedaan komponen pada kawat TMA tidak tertulis pada kemasan yang menyebabkan adanya perbedaan kuat tarik pada kawat yang diuji. Pada penelitian Krishnan *et al* (2004) dengan kawat TMA dengan dimensi 0,017" x 0,025" memberikan hasil YS sekitar 1010 ± 90 MPa dan 1250 ± 70 MPa.^{14,16,18}

Analisis yang dilakukan Kusy *et al* (2001) pada kawat CC dengan menggunakan 4 tipe kawat CC, yaitu CC biru, CC kuning, CC hijau, dan CC merah menghasilkan hasil berbeda-beda. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian dengan menggunakan 2 dimensi berbeda, yaitu 0,016" dan 0,017" x 0,025" pengujian kawat CC dengan dimensi 0,017" x 0,025" hanya CC biru dan CC kuning. Hasil dari penelitian pada 4 jenis kawat CC ini menunjukkan hasil sesuai dengan urutan keuletan kawat yang digunakan, yaitu dari yang paling ulet: biru, kuning, hijau dan merah. Kawat CC hijau dan kuning memiliki hasil YS cukup serupa. Sesuai informasi dari pabrik

bahwa kawat CC merah memang memiliki UTS tertinggi diantara paduan lainnya, dan CC biru adalah yang paling ulet.¹⁷

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Rucker *et al* (2002) dilakukan penelitian pada berbagai macam bentuk kawat. Salah satu bentuk kawat yang diteliti yaitu kawat *multistranded*, ada 2 tipe kawat *multistranded* yang digunakan yaitu kawat SS dan NiTi dengan masing masing 2 jenis *multistranded* yaitu *coaxial 6 strand twisted* dan *braided 9 strand*. Pada penelitian ini membuktikan bahwa tidak ada satupun kawat *multistranded* yang mampu menyaingi kemampuan elastis kawat *singlestrand*. Kawat *multistranded* memiliki kekuatan rendah namun memiliki *stiffness* lebih tinggi.¹⁵

Pada penelitian Vena *et al* (2007) dilakukan pengujian kuat tarik untuk membedakan karakteristik 2 ukuran kawat SS *rectangular*. Hasil yang didapatkan bahwa terdapat perbedaan kemampuan kuat tarik pada perbandingan 2 ukuran kawat SS *rectangular*. Meskipun menurut Vena *et al* (2007) kekuatan kawat yang diuji lebih tinggi pada pengujian ini dibandingkan studi lainnya hasil yang dihasilkan masing-masing kawat SS memberikan angka konsisten. Pada penelitian ini juga disimpulkan bahwa material dengan kekuatan tinggi memiliki *springback* berjumlah besar.¹⁹

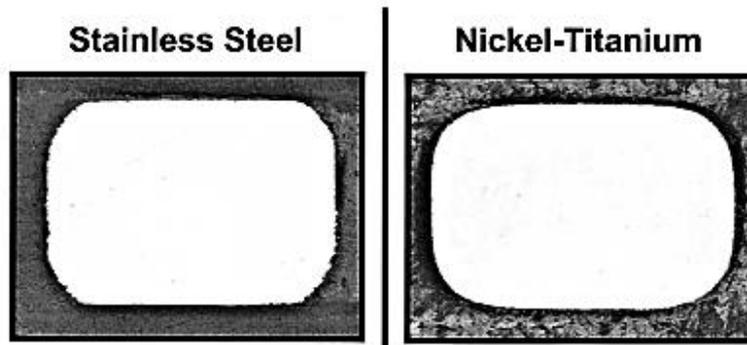
Pada analisis Tabel 1 pengujian kuat tarik pada macam-macam paduan kawat yang telah dilakukan pada studi terdahulu menunjukkan adanya perbedaan kemampuan pada setiap kawat yang diuji meskipun memiliki paduan sama. Namun, perbedaan yang diberikan pada setiap kawat yang diuji memiliki nilai konsisten. Kawat SS menunjukkan hasil uji kuat tarik tertinggi dibandingkan semua paduan kawat yang diuji dengan hasil UTS 1846 – 2345 MPa.^{23,14-19,24}

Pada penelitian Vestrynge *et al* (2006) menjelaskan bahwa karena UTS kawat SS merupakan UTS tertinggi maka kawat SS dapat menopang beban maksimum lebih banyak dibandingkan kawat lainnya sebelum fraktur.¹⁶ Kemudian kawat yang memiliki kekuatan terbesar setelah kawat SS adalah kawat CC yang diurutkan sesuai warna dari yang paling kuat, yaitu: CC merah, kuning, hijau dan biru. Kawat NiTi dan TMA memiliki kekuatan di dalam skala sama, dikarenakan kawat NiTi dan TMA sama-sama kawat berbasis titanium sehingga tidak terlihat perbedaan signifikan di antara keduanya. Kawat *multistranded* memiliki nilai terkecil, hal ini dikarenakan kawat *multistranded* memiliki kekakuan tinggi sehingga elastisitas dari kawat *multistranded* sangat rendah, hal ini berkaitan dengan rendahnya kuat tarik kawat *multistranded*.¹⁵

Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perbedaan Nilai Kuat Tarik Beragam Kawat Ortodontik

Dalam Tabel 1 dapat dianalisis bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai kuat tarik pada paduan kawat yang digunakan. Faktor faktor yang mempengaruhi kuat tarik kawat dan dapat diidentifikasi pada Tabel 1 yakni perbedaan pada paduan kawat, ukuran, bentuk, pabrik asal, kondisi kawat, dan *alternative leveling* kawat.

Perbedaan bentuk kawat mempengaruhi perbedaan kemampuan kuat tarik secara signifikan. Kawat dengan penampang bundar akan cenderung memiliki kuat tarik lebih tinggi dibandingkan dengan penampang persegi panjang.



Gambar 1. Potongan transversal penampang kawat SS dan NiTi persegi panjang¹⁵

Rucker *et al* (2002) dalam penelitiannya menemukan bahwa 1,7% hingga 2,0% pada luas penampang kawat persegi panjang menghilang pada setiap sudutnya seperti pada Gambar 1. Hal ini menyebabkan berkurangnya dimensi pada penampang kawat yang menyebabkan menurunnya hasil kuat tarik yang didapatkan oleh kawat tersebut. Maka kawat dengan diameter 0,016” berbentuk bundar memiliki kuat tarik lebih tinggi dibandingkan dengan kawat berbentuk persegi panjang dengan diameter 0,017” x 0,025”.¹⁵

Perbedaan ukuran kawat tentunya mempengaruhi kuat tarik kawat, dalam studi fisika terdapat *size effect law* yang menjelaskan tentang hubungan antara pengaruh ukuran terhadap kekuatan suatu benda. Semakin besar ukuran dari material yang digunakan maka material akan semakin rapuh, sehingga kawat akan menjadi lebih lemah. Namun, tidak menutup kemungkinan material yang memiliki ukuran lebih besar menghasilkan angka lebih besar daripada material dengan ukuran lebih kecil.^{25,26} Menurut penelitian Vestrynge *et al* (2007) dimensi bahan seperti kawat dan braket mungkin lebih kecil dari atau melebihi dimensi yang dinyatakan oleh pabrik. Kawat dan braket ortodontik dipasarkan tanpa informasi pasti tentang toleransi untuk dimensi tinggi dan lebar. Kawat yang lebih kecil menghasilkan kecocokan lebih buruk di slot braket dan menyebabkan hilangnya kontrol selama pergerakan gigi.^{16,27}

Perbedaan paduan kawat mempengaruhi kuat tarik telah diuji pada berbagai studi. Jelas, paduan kawat mempengaruhi kuat tarik kawat tersebut namun ini juga berkaitan dengan pabrik tempat kawat itu dibuat.^{23,16,28} Dalam penelitian Vestrynge *et al* (2006) menyebutkan bahwa kawat ortodontik tentunya memiliki paduan berbeda, paduan kawat tersebut tidak pernah spesifik dan pada beberapa kasus paduan kawat tersebut bahkan tidak ditunjukkan oleh pabrik pembuatan. Hal ini dapat terjadi karena pabrik-pabrik saling berkompetisi untuk memberikan produk berbeda dari pabrik lainnya sehingga pengaruh dari perbedaan pabrik pembuat juga menjadi salah satu faktor pembeda nilai kuat tarik yang didapatkan.¹⁶

Perbedaan kekuatan tarik kawat juga terjadi pada kawat baru dan kawat yang telah dipakai. Penelitian yang dilakukan oleh Devaprasad *et al* (2012) mendapatkan bahwa semakin lama penggunaan pada rongga mulut pasien, kemampuan kuat tarik kawat semakin berkurang. Terdapat penurunan kemampuan kuat tarik pada kawat NiTi sebanyak 5% antara kawat yang belum digunakan dengan kawat 6 bulan pemakaian. Hal ini dikarenakan adanya pelepasan ion di dalam rongga mulut. Nilai ini menunjukkan bahwa degradasi kawat di lingkungan intraoral

lebih menonjol, hasilnya juga dengan jelas menunjukkan bahwa ada perubahan signifikan dalam sifat mekanik kawat ketika periode penuaan intraoral meningkat.²³

Analisis *Yield Strength* dan *Ultimate Tensile Strength* Terhadap Aplikasi Klinis Kawat Ortodontik

Analisis yang dilakukan membuktikan adanya perbedaan kuat tarik pada setiap jenis kawat ortodontik yang memberikan opsi pada operator untuk memilih, dari semua jenis kawat tersedia, yang paling sesuai dengan tuntutan situasi klinis tertentu.²⁰ Perawatan ortodontik komprehensif biasanya dibagi menjadi tiga fase: (1) *leveling* dan *aligning*, (2) penutupan ruang dan koreksi anterior/ posterior, dan (3) *detailing* dan *finishing*. Berbagai kawat paduan digunakan untuk menghasilkan gaya berhubungan dengan pergerakan gigi. Setelah kawat diaktifkan, gaya pelepasan atau penonaktifan inilah yang menghasilkan pergerakan gigi ortodontik. Dengan perawatan ortodontik saat ini, kawat nikel-titanium sering digunakan untuk fase (1), dengan kawat TMA dan SS paling banyak digunakan. sering digunakan untuk fase (2) dan (3).^{29,30} *Yield strength* dan *ultimate tensile strength* yang didapatkan berbanding lurus dengan modulus elastisitas yang dimiliki pada setiap kawat.^{20,29,30}

Kawat yang memiliki kuat tarik tinggi memiliki gaya besar untuk digunakan pada saat akan dilakukan penutupan ruang dan koreksi pada anterior maupun posterior. Pada penelitian, kawat yang memiliki kekuatan tepat adalah kawat *stainless steel* dan *cobalt chromium* karena memiliki kuat tarik tinggi. Secara klinis, kawat SS dan CC dapat digunakan untuk melakukan penutupan ruang lebih cepat pada gigi posterior dimana dibutuhkan gaya besar.^{15,17,19,30} Kawat seperti NiTi memiliki kekuatan tarik rendah yang jauh lebih rendah dibandingkan kawat lainnya, kawat yang memiliki kekuatan rendah tidak cocok digunakan untuk melakukan penutupan ruang dan koreksi.^{20,30} Walaupun kawat NiTi memiliki kuat tarik rendah namun kawat NiTi dapat memberikan gaya konstan, sehingga sering digunakan pada awal perawatan yang ditujukan untuk melakukan *leveling* dan *aligning* serta koreksi pada gigi yang mengalami *crowding*. *Titanium molybdeum alloys* memiliki kuat tarik lebih rendah daripada *stainless steel* dan sekitar dua kali lipat dari NiTi.^{4,23,15} Kawat TMA dapat menjadi pilihan apabila kekuatan yang diperlukan lebih rendah daripada SS dan lebih tinggi dari NiTi. Menurut Walker *et al* (2007) kawat TMA dan SS sering digunakan untuk fase penutupan ruang dan koreksi serta untuk *detailing* dan *finishing*. TMA dan SS sering digunakan kembali karena memiliki kemampuan memberikan gaya dan *biocompatibility* baik, tidak jarang saat fase *finishing* kawat dibiarkan di dalam rongga mulut selama 12 bulan. TMA dapat menjadi pilihan apabila pasien alergi terhadap nikel.^{3,14,16,30} Kawat *multistranded* memiliki kemampuan kuat tarik rendah, setara dengan kawat nikel titanium. Menurut Kusy *et al* (2002) kawat *multistranded* lebih baik dibandingkan dengan kawat titanium karena dapat menjadi alternatif lebih murah dibanding kawat titanium untuk fase *leveling* awal.^{20,15,31}

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis literatur setiap jenis kawat ortodontik, maka dapat disimpulkan bahwa setiap kawat ortodontik dalam beberapa penelitian memiliki perbedaan hasil signifikan setelah dilakukan uji kuat tarik yang disebabkan karena perbedaan komposisi paduan yang terdapat dalam kandungan kawat, pabrik tempat kawat dibuat, diameter dari kawat, bentuk kawat, kondisi dan *alternate-leveling* kawat; namun terlepas dari faktor tersebut, ditemukan

bahwa kuat tarik tertinggi dicapai oleh kawat *stainless steel* 3M Unitek berukuran 0,017" x 0,025". Hasil analisis yang didapatkan membuktikan bahwa *stainless steel* memiliki *yield strength* dan *ultimate tensile strength* tertinggi dengan perbedaan signifikan. Hal ini membuktikan bahwa kemampuan gaya yang dapat diberikan oleh *stainless steel* jauh lebih baik dibandingkan semua jenis kawat yang diuji. Namun dalam perawatan ortodontik terdapat banyak tahap diperlukan, yaitu: *leveling* dan *aligning*, penutupan ruang dan koreksi anterior/posterior, dan *detailing* dan *finishing* sehingga pada dalam perawatan ortodontik bukan hanya membutuhkan gaya besar namun banyak aspek lainnya yang dibutuhkan. Kawat nikel-titanium dan *multistranded* dapat digunakan untuk *leveling* dan *aligning*, dengan kawat TMA, CC, dan SS dapat sering digunakan untuk penutupan ruang dan koreksi anterior/posterior, dan *detailing* dan *finishing*. Dalam aplikasinya ukuran kawat juga harus menjadi pertimbangan karena kecocokan dengan *bracket* juga dipertimbangkan untuk menghasilkan kinerja optimal dari kawat.

REFERENSI

1. Oliver RG. Textbook of Orthodontics. 2nd ed. Vol. 30, Journal of Orthodontics. India: Jaypee Brothers; 2003. 169–169 p.
2. Kuijpers-Jagtman AM. Handbook of Orthodontics (2016). 4th ed. Vol. 38, The European Journal of Orthodontics. London: Year Book Medical Publisher; 2016. 339.2-340.
3. Arifiani P, Siregar E. Karakteristik Kawat TMA (Titanium Molybdenum Alloy) dan Penggunaannya dalam Perawatan Ortodonti. Dentino J Kedokt. 2016;2(3):163–71.
4. Xaverius M, Gigi FK. Perbedaan Tensile Strength Kawat Stainless Steel Ortodonti Lepas Universitas Sumatera Utara. Univ Sumatera Utara. 2021;4–10.
5. De Santis R, Dolci F, Laino A, Martina R, Ambrosio L, Nicolais L. The Eulerian buckling test for orthodontic wires. Eur J Orthod. 2008;30(2):190–8.
6. Szuhaneck C, Fleser T, Glavan F. Mechanical behavior of TMA orthodontic wires. Proc 11th WSEAS Int Conf Math Comput Bus Econ MCBE '10, Proc 11th WSEAS Int Conf Math Comput Biol Chem MCBC '10. 2010;7(3):49–53.
7. Anusavice KJ. Phillips' Science of Dental Materials (Anusavice Phillip's Science of Dental Materials) [Internet]. 12th ed. Vol. 12, Elsevier Saunders. USA: Elsevier Saunders; 2021. 588 p. Available from: <https://www.elsevier.com/books/phillips-science-of-dental-materials/shen/978-0-323-69755-2>
8. Wang L, D'Alpino PHP, Lopes LG, Pereira JC. Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests. J Appl Oral Sci. 2003;11(3):162–7.
9. Manappallil J. Basic Dental Materials. 2nd ed. Basic Dental Materials. India: Jaypee Brothers; 2016. 9–21 p.
10. Nadhila Qisthi F, Roeswahjuni N. Analisis Kekuatan Tarik Pada Kawat Niti Se, Thermal Niti Dan Copper Niti Yang Direndam Dalam Saliva Buatan. Fak Kedokt Gigi Univ Brawijaya. 2019;1–9.
11. Staley RN, Reske NT. Orthodontic Materials. 1st ed. Essentials of Orthodontics Diagnosis and Treatment. New York: Thieme; 2013. 317–326 p.
12. Kuijpers-Jagtman AM. Handbook of Orthodontics (2016). 1st ed. Vol. 38, The European Journal of Orthodontics. London: Elsevier Mosby; 2016. 339.2-340.

13. Twelftree CC, Cocks GJ, Sims MR. Tensile properties of orthodontic wire. *Am J Orthod.* 1977;72(6):682–7.
14. Juvvadi SR, Kailasam V, Padmanabhan S, Chitharanjan AB. Physical, mechanical, and flexural properties of 3 orthodontic wires: An in-vitro study. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010;138(5):623–30.
15. Rucker BK, Kusy RP. Elastic properties of alternative versus single-stranded leveling archwires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2002;122(5):528–41.
16. Verstryngge A, Van Humbeeck J, Willems G. In-vitro evaluation of the material characteristics of stainless steel and beta-titanium orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2006;130(4):460–70.
17. Kusy RP, Mims L, Whitley JQ. Mechanical characteristics of various tempers of as-received cobalt-chromium archwires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2001;119(3):274–91.
18. Krishnan V, Kumar KJ. Mechanical properties and surface characteristics of three archwire alloys. *Angle Orthod.* 2004;74(6):825–31.
19. Vena A, Carey J, Badawi H. Clinical Variability in Arch Wires: A Preliminary Study Evaluating Mechanical and Surface Characteristics of Two Different Sized Rectangular Stainless Steel Wires. *Open Biomed Eng J.* 2007;1(1):13–22.
20. Kapila S, Sachdeva R. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1989;96(2):100–9.
21. Hazel RJ, Rohan GJ, West VC. Force relaxation in orthodontic arch wires. *Am J Orthod.* 1984;86(5):396–402.
22. Kusy RP. A review of contemporary archwires: Their properties and characteristics. *Angle Orthod.* 1997;67(3):197–208.
23. Devaprasad AP, Chandrasekaran T. Effects of Intraoral Ageing on Ultimate Tensile Strength and Surface Topography of Superelastic NiTi Wires from Two Different Manufacturers: A Comparative in vivo Study. *J Indian Orthod Soc.* 2012;46:119–25.
24. Aseel E, Ali M. Mechanical Analysis of Orthodontic Wires. *Diyala J Eng Sci.* 2012;05(01):172–80.
25. Bažant ZP, Yu Q. Universal Size Effect Law and Effect of Crack Depth on Quasi-Brittle Structure Strength. *J Eng Mech.* 2009;135(2):78–84.
26. Lan C, Wu J, Bai N, Qiang D, Li H. Size effect on tensile strength of parallel CFRP wire stay cable. *Compos Struct.* 2017;181(96–111):96–111.
27. Cash A, Curtis R, Garrigia-Majo D, McDonald F. A comparative study of the static and kinetic frictional resistance of titanium molybdenum alloy archwires in stainless steel brackets. *Eur J Orthod.* 2004;26(1):105–11.
28. Alobeid A, Hasan M, Al-Suleiman M, El-Bialy T. Mechanical properties of cobalt-chromium wires compared to stainless steel and β -titanium wires. *J Orthod Sci.* 2014;3(4):137–41.
29. Morain DO. Manual of wire bending techniques. 1st ed. Vol. 211, *British Dental Journal.* Tokyo: Quintessence Books; 2011. 47–48 p.
30. Hammad SM, Al-Wakeel EE, Gad ES. Mechanical properties and surface characterization of translucent composite wire following topical fluoride treatment. *Angle Orthod.* 2012;82(1):8–13.

31. Rucker BK, Kusy RP. Theoretical investigation of elastic flexural properties for multistranded orthodontic archwires. *J Biomed Mater Res.* 2002;62(3):338–49.