



Pengaruh Tekanan *Sandblasting* Al_2O_3 pada Metode *Sandblasting* dan *Acid Etching* terhadap Kekasaran Permukaan *Titanium Alloy*

Effect of Sandblasting Al_2O_3 Pressure in Sandblasting Method and Acid Etching on Surface Roughness of Titanium Alloy

Albert,¹ Christian A. Prawira,² Fergy C. Maitimu,¹ Lia H. Andayani³

¹Departemen Periodonti Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

²Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

³Departemen Ilmu Kesehatan Gigi Masyarakat dan Pencegahan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

Email: Albert@trisakti.ac.id

Received: February 12, 2025; Accepted: August 1, 2025; Published online: August 7, 2025

Abstract: Dental implants are a popular solution for missing teeth, relying on osseointegration for success. Surface roughness plays a crucial role in this process and can be enhanced through methods like sandblasting and acid etching. This was a laboratory and experimental study with pre-test and post-test group design to evaluate the effects of these treatments on titanium plates. Five groups (n=5) were treated with either 98% H_2SO_4 etching alone or a combination of Al_2O_3 sandblasting at pressures of 500 to 800 kPa followed by 98% H_2SO_4 etching. Surface roughness was measured using a surface roughness tester and scanning electron microscopy (SEM). Results showed that sandblasting before acid etching produced greater roughness than acid etching alone. The highest roughness was observed at 500 kPa sandblasting. The 600 kPa group showed a lower increase, while the 700 kPa group had an increase, and the 800 kPa group showed a decrease. ANOVA results indicated no significant differences in post-test values ($p=0.602$) or in the change from pre-test to post-test ($p=0.671$). In conclusion, the optimal roughness was achieved in the 500 kPa Al_2O_3 sandblasting followed by 98% H_2SO_4 etching group, suggesting its potential for improving implant osseointegration.

Keywords: aluminium oxide; sulfuric acid etching; surface roughness; sandblasting; titanium alloy

Abstrak: Implan gigi merupakan pilihan perawatan yang sering dipilih untuk menggantikan gigi hilang, yang dapat berhasil dengan terbentuknya osseointegrasi. Metode *sandblasting* dan *acid etching* diketahui dapat meningkatkan kekasaran implan gigi yang dapat meningkatkan proses osseointegrasi. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan desain *pre-test* dan *post-test*. Sampel plat titanium dibagi menjadi lima kelompok (n=5), dengan perlakuan *acid etching* menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) 98%, serta kombinasi *sandblasting* aluminium oksida (Al_2O_3) dan *acid etching* H_2SO_4 98% pada tekanan *sandblasting* 500 kPa, 600 kPa, 700 kPa, dan 800 kPa. Kekasaran permukaan dianalisis menggunakan *surface roughness tester* dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil penelitian mendapatkan kekasaran permukaan lebih tinggi pada sampel yang diberi perlakuan *sandblasting* sebelum *acid etching* dibandingkan dengan *acid etching* saja. Kelompok dengan tekanan *sandblasting* 500 kPa menunjukkan peningkatan kekasaran terbesar (13,8%), menurun pada tekanan 600 kPa, meningkat kembali pada 700 kPa, dan kembali menurun pada tekanan 800 kPa. Hasil uji ANOVA menunjukkan tidak terdapat perbedaan bermakna antar nilai *post-test* ($p=0,602$) serta selisih nilai *post-test* dan *pre-test* ($p=0,671$). Simpulan penelitian ini ialah tekanan *sandblasting* Al_2O_3 sebesar 500 kPa dilanjutkan dengan *acid etching* H_2SO_4 98% menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang paling optimal.

Kata kunci: aluminium oksida; etsa asam sulfat; kekasaran permukaan; *sandblasting*; *titanium alloy*

PENDAHULUAN

Kehilangan gigi dapat menyebabkan gangguan fungsi mastikasi, fonetik, dan estetik.^{1,2} Kehilangan gigi dapat disebabkan oleh berbagai hal, seperti karies gigi, penyakit periodontal, atau trauma.³ Salah satu perawatan yang dapat dilakukan untuk menangani kehilangan gigi ialah implan gigi, yaitu perangkat yang ditanam secara bedah pada tulang alveolar rahang.⁴ Perawatan ini merupakan restorasi yang paling dapat menggantikan fungsi gigi seperti estetika dan mastikasi. Kelebihan restorasi ini ialah mengurangi risiko karies, tidak membuat sensitivitas pada gigi tetangga, meningkatkan pemeliharaan tulang pada daerah edentulous, dan tingkat kesuksesan yang sangat tinggi.⁵ Titanium menjadi bahan pilihan untuk pembuatan implan gigi karena memiliki biokompatibilitas yang baik, sifat mekanis yang kuat, dan resisten terhadap korosi.⁶ Terdapat beberapa grade untuk titanium berdasarkan *American Standard Testing and Materials* (ASTM) dan *titanium alloy* yang digunakan untuk implan gigi ialah titanium grade 5. Titanium grade 5 disebut juga dengan Ti-6Al-4V dikarenakan terdapat 6% kandungan aluminium dan 4% kandungan vanadium pada *titanium alloy* tersebut.^{7,8}

Keberhasilan implan gigi dilihat dari terbentuknya osseointegrasi, yaitu fenomena terbentuknya hubungan struktural dan fungsional langsung antara sistem muskuloskeletal dan bahan implan.^{9,10} Permukaan bahan implan berperan penting untuk memastikan tercapainya osseointegrasi yang optimal. Terdapat berbagai metode modifikasi untuk meningkatkan kekasaran permukaan *titanium alloy* yang terbukti efektif untuk meningkatkan osseointegrasi.^{11,12} Metode yang sangat sering digunakan ialah *sandblasting* dan *acid etching* (SA). Kedua metode ini sering digabungkan untuk mengubah permukaan *titanium alloy* pada tingkat makro dan mikro.¹³ Selain itu, perlakuan *acid etching* setelah *sandblasting* juga dapat menghilangkan sisa-sisa partikel abrasif yang menempel pada permukaan bahan implan setelah dilakukan *sandblasting*.¹⁴ Partikel yang digunakan untuk *sandblasting* pada penelitian ini ialah Al₂O₃ yang menunjukkan bahwa Al₂O₃ menghasilkan kekasaran permukaan dan osseointegrasi bahan implan terbaik dibandingkan partikel abrasif lainnya.¹⁵ Selain itu, penelitian oleh Ozel et al¹⁶ juga menunjukkan bahwa biomaterial titanium setelah *sandblasting* Al₂O₃ lebih cocok untuk kolonisasi sel, yang merupakan prasyarat penting untuk memicu dan mempertahankan osseointegrasi yang baik dari waktu ke waktu.

Meskipun tingkat keberhasilan implan gigi tinggi, sekitar 10% dari kasus implan mengalami kegagalan.¹⁷ Guglielmotti et al¹⁸ menyatakan bahwa persentase kegagalan tertinggi terjadi pada tiga tahun pertama setelah pemasangan implan gigi, yaitu sebesar 84%. Kegagalan tertinggi dari tiga tahun pertama tersebut terjadi pada tahun pertama dengan persentase kegagalan sebesar 90%, yang disebabkan karena tidak tercapainya osseointegrasi yang optimal, sehingga implan gigi tidak dapat bertahan stabil di dalam tulang. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai peningkatan osseointegrasi, salah satunya dengan modifikasi permukaan implan gigi. Salah satu penelitian menunjukkan bahwa metode *sandblasting and acid etching* (SA) meningkatkan pertumbuhan osseointegrasi, produksi faktor osseointegrasi, sitokin, dan *growth factors*, serta meningkatkan kontak antara bahan implan dan tulang.¹⁶ Anbarzadeh et al¹⁹ menggunakan metode SA yang dilanjutkan dengan metode *anodizing*, menunjukkan bahwa kekasaran permukaan *titanium alloy* meningkat seiring tingginya tekanan *sandblasting*, akan tetapi, tekanan yang digunakan hanya mencapai 500 kPa. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan *sandblasting* Al₂O₃ pada metode SA dengan tekanan *sandblasting* lebih dari 500 kPa terhadap kekasaran permukaan *titanium alloy* sebagai bahan dasar implan gigi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan rancangan kelompok *pre-test* dan *post-test* untuk mengevaluasi kekasaran permukaan *titanium alloy* pada metode modifikasi *sandblasting* Al₂O₃ dan *acid etching* H₂SO₄ 98% dengan tekanan *sandblasting* yang berbeda. Sampel berupa plat *titanium alloy* dengan ukuran 10 x 10 x 2 mm. Jumlah sampel setiap kelompok ialah lima buah dengan lima kelompok perlakuan sebagai berikut: Kelompok I,

acid etching H_2SO_4 98% (tanpa sandblasting); kelompok II, sandblasting 500 kPa + acid etching H_2SO_4 98%; kelompok III, sandblasting 600 kPa + acid etching H_2SO_4 98%; kelompok IV, sandblasting 700 kPa + acid etching H_2SO_4 98%; dan kelompok V, sandblasting 800 kPa + acid etching H_2SO_4 98%

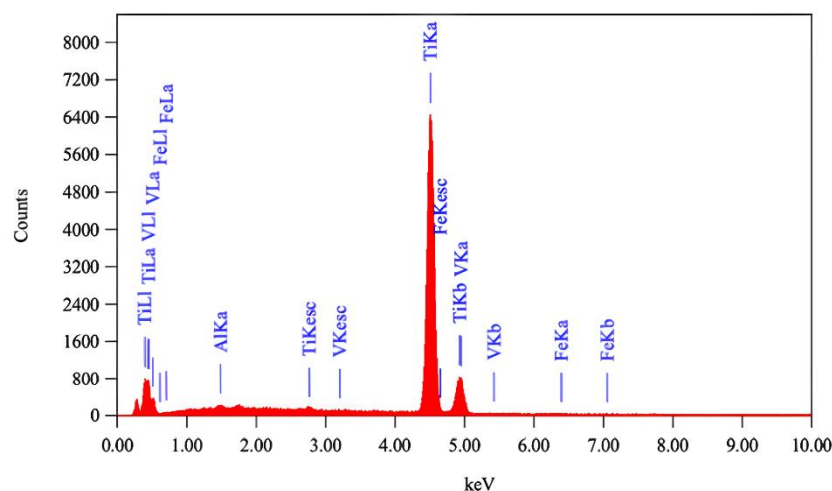
Penelitian diawali dengan pengukuran kekasaran permukaan plat *titanium alloy* sebelum perlakuan dengan *surface roughness tester*. Sampel diletakkan pada *glass plate* dan difiksasi dengan *double tape*. Kemudian *stylus* diletakkan pada tiga sisi berbeda dari sampel sehingga didapatkan tiga nilai kekasaran permukaan pada satu sampel (R_{a1} , R_{a2} , dan R_{a3}). Ketiga nilai ini dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai kekasaran satu sampel. Pengukuran dilakukan pada setiap sampel untuk mendapatkan rerata nilai kekasaran permukaan untuk setiap kelompok. Kemudian, sampel diberikan perlakuan sandblasting dengan partikel Al_2O_3 berukuran 75 μm . Sandblaster diberi jarak 15 mm terhadap sampel dengan sudut 90° , lalu partikel ditembakkan kepada sampel selama 15 detik pada seluruh permukaan. Perlakuan ini dilakukan pada setiap kelompok sampel.

Tahap selanjutnya ialah acid etching. Larutan H_2SO_4 yang telah dipanaskan sampai 60°C dituang pada 25 wadah yang berbeda untuk memastikan bahwa tidak ada sampel yang tertukar. Setiap sampel lalu dimasukkan pada wadah hingga terendam selama 60 menit di dalam oven. Selanjutnya sampel dibilas dengan air selama 1 menit sebanyak lima kali pengulangan. Sampel kemudian dikeringkan di dalam inkubator dengan suhu 37°C hingga sampel kering. Setelah perlakuan sandblasting dan acid etching pada sampel, dilakukan pengukuran kekasaran permukaan kembali dengan *surface roughness tester*. Kemudian, dua buah sampel dipilih untuk dilakukan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Morfologi sampel akan terlihat pada layar komputer dengan perbesaran 500x, 1000x, dan 5000x.

Uji normalitas dilakukan dengan Shapiro-Wilk karena sampel berjumlah 25 buah, kemudian dilanjutkan dengan uji homogenitas Levene pada data penelitian. Uji ANOVA satu jalan digunakan untuk melihat perbedaan nilai antar kelompok setelah perlakuan dan selisih nilai sebelum perlakuan dan setelah perlakuan.

HASIL PENELITIAN

Gambar 1 memperlihatkan hasil pengujian *Energy-Dispersive Spectroscopy* (EDS) pada sampel sebelum perlakuan (*pre-test*). Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa kandungan pada sampel penelitian ini ialah Titanium (Ti), Aluminium (Al), Vanadium (V), dan Besi (Fe).



Gambar 1. Hasil Uji EDS sampel (*pre-test*)

Tabel 1 memperlihatkan persentase unsur yang terkandung dalam sampel melalui pengujian EDS. Kandungan tertinggi diperoleh dari unsur titanium (99,15%), diikuti dengan vanadium (0,48%), kemudian aluminium (0,30%), dan yang terendah ialah besi (0,07%).

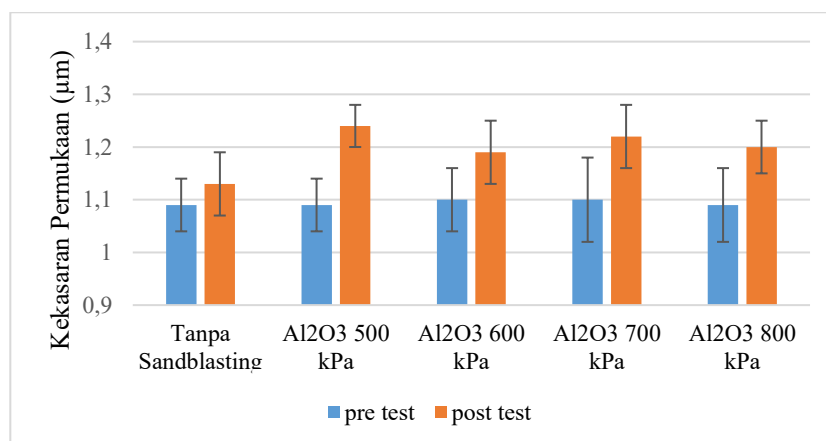
Tabel 1. Unsur yang terkandung pada sampel (*pre-test*)

Unsur	Mass%	Atom%
Al	0,30	0,53
Ti	99,15	98,96
V	0,48	0,45
Fe	0,07	0,06
Total	100,00	

Tabel 2 dan Gambar 2 memperlihatkan hasil pengujian kekasaran permukaan *titanium alloy* sebelum dan setelah perlakuan. Pada semua kelompok baik dengan maupun tanpa *sandblasting* diperoleh peningkatan nilai kekasaran permukaan. Peningkatan kekasaran permukaan tertinggi didapatkan pada kelompok *sandblasting* 500 kPa sedangkan peningkatan kekasaran permukaan terendah didapatkan pada kelompok *sandblasting* 600 kPa.

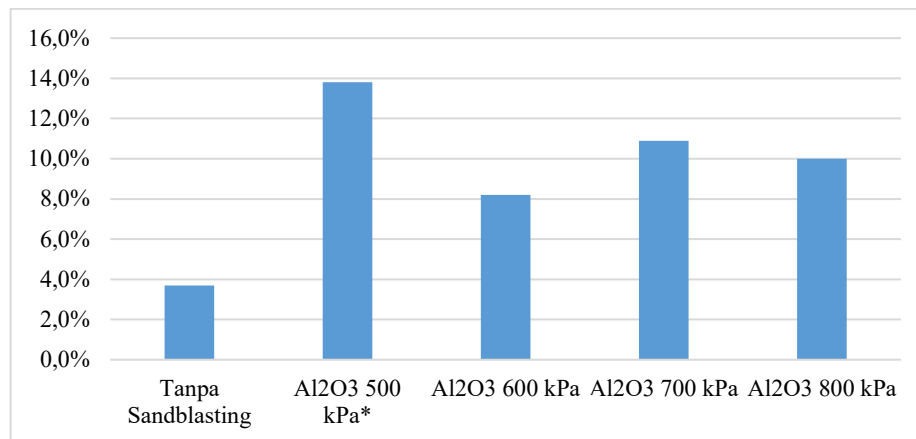
Tabel 2. Nilai kekasaran permukaan sebelum dan setelah perlakuan

Kelompok perlakuan	Rerata ± Simpangan Baku (μm)	
	Sebelum perlakuan	Setelah perlakuan
Tanpa <i>Sandblasting</i>	1,09 ± 0,05	1,13 ± 0,06
Al ₂ O ₃ 500 kPa + H ₂ SO ₄ 98%	1,09 ± 0,05	1,24 ± 0,04
Al ₂ O ₃ 600 kPa + H ₂ SO ₄ 98%	1,10 ± 0,06	1,19 ± 0,06
Al ₂ O ₃ 700 kPa + H ₂ SO ₄ 98%	1,10 ± 0,08	1,22 ± 0,06
Al ₂ O ₃ 800 kPa + H ₂ SO ₄ 98%	1,09 ± 0,07	1,20 ± 0,05

**Gambar 2.** Grafik nilai rerata kekasaran permukaan *titanium alloy* sebelum dan setelah perlakuan

Gambar 3 memperlihatkan persentase kenaikan kekasaran permukaan setelah perlakuan. Peningkatan tertinggi (13,8%) pada kelompok *sandblasting* 500 kPa dan *acid etching* H₂SO₄ 98%, diikuti kelompok 700 kPa (10,9%), kelompok 800 kPa (10,0%), dan kelompok 600 kPa (8,2%). Walaupun terjadi peningkatan nilai kekasaran permukaan pada kelompok tanpa *sandblasting* (hanya *acid etching* saja), tetapi peningkatan nilai kekasaran permukaan lebih tinggi pada kelompok dengan perlakuan *sandblasting*. Kelompok dengan peningkatan nilai kekasaran tertinggi diperoleh pada kelompok sampel *sandblasting* Al₂O₃ dengan tekanan 500 kPa dan *acid etching* H₂SO₄ 98% dengan kenaikan sebesar 13,8%.

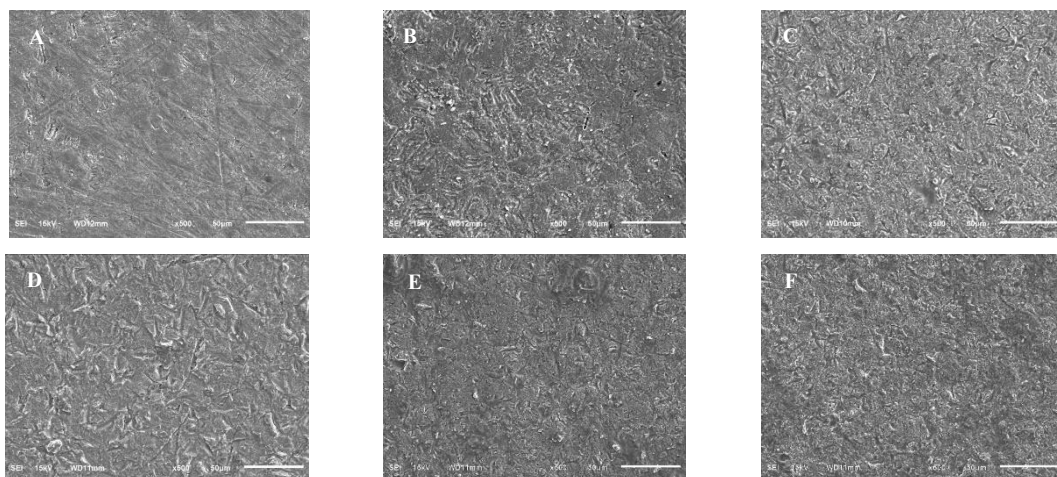
Uji normalitas dilakukan dengan Shapiro-Wilk karena sampel berjumlah 25 buah. Hasil uji normalitas yang didapatkan pada seluruh kelompok baik sebelum perlakuan maupun setelah perlakuan ialah $p > 0,05$. Uji homogenitas Levene juga menunjukkan hasil $p > 0,05$ baik pada kelompok sebelum perlakuan maupun setelah perlakuan yang menunjukkan data berdistribusi secara normal dan tersebar secara homogen.



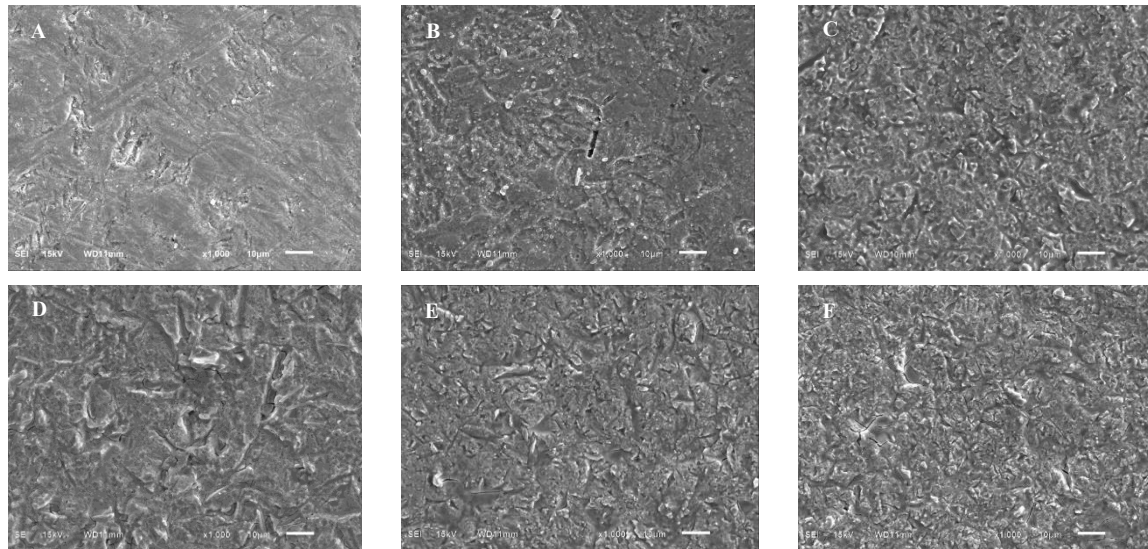
Gambar 3. Grafik nilai kenaikan kekasaran permukaan *titanium alloy* setelah perlakuan

Pengujian dilanjutkan dengan uji ANOVA satu jalan sebanyak dua kali, yaitu menggunakan nilai setelah perlakuan dan selisih nilai sebelum dan setelah perlakuan. Hasil uji ANOVA satu jalan pada nilai setelah perlakuan menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan bermakna antar kelompok ($p > 0,05$) dengan nilai $p = 0,630$. Selain itu, hasil uji ANOVA satu jalan pada selisih nilai sebelum dan setelah perlakuan juga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan bermakna dengan nilai $p = 0,141$ ($p > 0,05$).

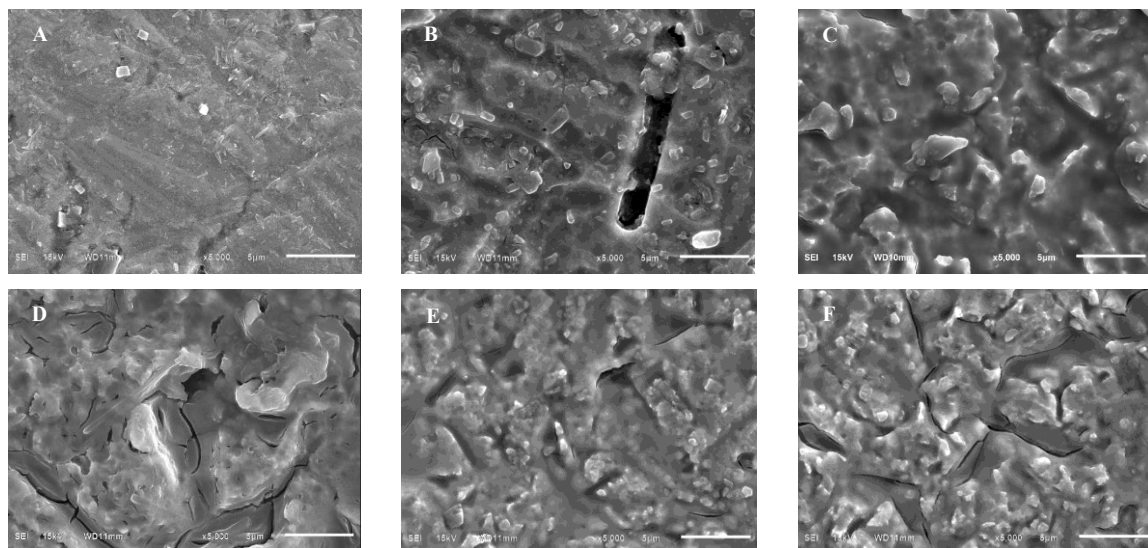
Berdasarkan hasil pengujian SEM sampel pada perbesaran 500x (Gambar 4), 1000x (Gambar 5), dan 5000x (Gambar 6), tampak bahwa morfologi sampel pada kelompok *pre-test* menunjukkan hanya terdapat sedikit porus dan guratan-guratan yang dangkal, serta permukaan yang cenderung homogen dibandingkan dengan kelompok-kelompok lainnya. Hasil uji SEM pada kelompok tanpa *sandblasting* (hanya *acid etching*) menunjukkan permukaan yang lebih kasar dan iregular dibandingkan kelompok *pre-test*. Pada kelompok ini juga sudah mulai terlihat adanya guratan-guratan yang lebih dalam dan terlihat sedikit porus pada permukaan. Hasil uji SEM pada kelompok *sandblasting* 500 kPa menunjukkan gambaran yang lebih kasar dan iregular dibandingkan kelompok *pre-test* dan tanpa *sandblasting* dengan guratan-guratan yang lebih dalam dan porus yang lebih banyak dibandingkan dengan kelompok tanpa *sandblasting*. Pada gambaran kelompok *sandblasting* 600 kPa, terlihat bahwa permukaan juga lebih kasar dan lebih berporus dengan guratan-guratan yang lebih dalam dibandingkan kelompok *pre-test* dan tanpa *sandblasting*, tetapi permukaan terlihat lebih halus dan homogen dibandingkan dengan kelompok *sandblasting* 500 kPa.



Gambar 4. Hasil uji SEM dengan perbesaran 500x pada sampel: A) sebelum perlakuan; B) tanpa *sandblasting*; C) *sandblasting* 500 kPa; D) *sandblasting* 600 kPa; E) *sandblasting* 700 kPa; dan F) *sandblasting* 800 kPa



Gambar 5. Hasil uji SEM dengan perbesaran 1000x pada sampel: A) sebelum perlakuan; B) tanpa *sandblasting*; C) *sandblasting* 500 kPa; D) *sandblasting* 600 kPa; E) *sandblasting* 700 kPa; dan F) *sandblasting* 800 kPa



Gambar 6. Hasil uji SEM dengan perbesaran 5000x pada sampel: A) sebelum perlakuan; B) tanpa *sandblasting*; C) *sandblasting* 500 kPa; D) *sandblasting* 600 kPa; E) *sandblasting* 700 kPa; dan F) *sandblasting* 800 kPa

Pada hasil uji SEM kelompok *sandblasting* 700 kPa, dapat dilihat bahwa gambaran hampir serupa dengan kelompok *sandblasting* 500 kPa, tetapi terlihat sedikit lebih halus. Hasil uji SEM kelompok *sandblasting* 800 kPa terlihat sangat menyerupai kelompok *sandblasting* 700 kPa dengan permukaan yang ireguler dan kasar, serta terlihat guratan-guratan yang dalam dan porus-porus yang tersebar hampir pada seluruh permukaan.

BAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan *titanium alloy* (Ti-6Al-4V) sebelum dan setelah diberi perlakuan, yaitu *sandblasting* dan *acid etching*. Perlakuan yang diberikan kepada sampel bertujuan untuk meningkatkan kekasaran permukaan *titanium alloy* yang merupakan bahan dasar dari implan gigi. Komposisi bahan dasar tersebut ialah Titanium (Ti), Aluminium (Al), Vanadium (V), dan Besi (Fe).^{12,20} Sebelum diberikan perlakuan, dilakukan uji EDS pada sampel plat *titanium alloy* untuk memastikan bahwa komposisi *titanium alloy* yang digunakan pada penelitian ini sudah sesuai dengan komposisi *titanium alloy* yang digunakan sebagai bahan dasar implan. Hasil uji EDS menunjukkan bahwa

komposisi *titanium alloy* yang digunakan sudah sesuai dengan tujuan utama penelitian ini.

Berdasarkan hasil uji kekasaran permukaan dengan *surface roughness tester*, terdapat peningkatan nilai kekasaran pada kelompok dengan perlakuan *acid etching* saja. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Chauhan et al²¹ yang menunjukkan bahwa terdapat peningkatan nilai kekasaran permukaan *titanium alloy* setelah diberikan perlakuan *acid etching* dengan asam sulfat pada suhu 40°C-100°C. Nilai tertinggi yang didapatkan pada suhu 40°C dan menurun sesuai dengan peningkatan suhu, tetapi terdapat penurunan proliferasi sel pada suhu 40°C sehingga pada penelitian ini digunakan suhu 60°C. Selain itu, hasil ini juga sejalan dengan penelitian oleh Al-Radha⁸ yang menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kekasaran permukaan *titanium alloy* setelah dilakukan *acid etching* selama 60 menit. *Acid etching* bekerja dengan menghilangkan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan *titanium alloy* dan menciptakan porositas permukaan *titanium alloy* pada tingkat mikro, yang disebut dengan *micropits*. Porositas ini menyebabkan struktur menjadi lebih kasar sehingga terjadi peningkatan nilai kekasaran permukaan.^{22,23} Oleh karena itu, didapatkan pada hasil uji kekasaran permukaan bahwa permukaan *titanium alloy* akan menjadi lebih kasar setelah diberi perlakuan *acid etching* dibandingkan dengan permukaan *titanium alloy* yang tidak diberi perlakuan.

Berdasarkan hasil uji kekasaran permukaan didapatkan juga bahwa terdapat peningkatan nilai kekasaran permukaan *titanium alloy* pada kelompok yang diberi perlakuan *sandblasting* sebelum *acid etching*, bahkan peningkatan nilai kekasaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok yang hanya diberikan *acid etching*. Hal ini selaras dengan penelitian oleh Szmukler-Moncler et al¹¹ yang mendapatkan bahwa nilai kekasaran permukaan yang menggunakan metode SA lebih tinggi dibandingkan dengan metode *acid etching* saja. Penelitian tersebut mendapatkan perbedaan sebesar 0,6 µm pada perbandingan kedua kelompok dimana nilai kekasaran kelompok dengan perlakuan *acid etching* saja mencapai 0,90 ±0,12 µm sedangkan nilai kekasaran kelompok dengan perlakuan *sandblasting* dan *acid etching* mencapai 1,53±0,11 µm. Namun, pada penelitian ini tidak disebutkan jenis larutan asam yang digunakan, jenis partikel, dan ukuran partikel yang digunakan. Hal ini terjadi karena *sandblasting* menyebabkan partikel-partikel abrasif yang menyentuh permukaan *titanium alloy* mengirimkan impuls ke daerah tersebut sehingga didapatkan permukaan dengan tekstur berbeda.²⁴ *Sandblasting* menciptakan kekasaran pada tingkat makro sedangkan *acid etching* menghasilkan kekasaran pada tingkat mikro. Oleh karena itu, kedua metode ini sering digabungkan untuk mendapatkan kekasaran pada tingkat makro dan mikro. *Sandblasting* menyebabkan *remodel* pada struktur makro sedangkan *acid etching* menghasilkan *micropits*.¹³ Metode gabungan ini menyebabkan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *acid etching* saja, sesuai dengan hasil yang didapatkan pada penelitian ini.

Penelitian mengenai *sandblasting* dan *acid etching* pada permukaan *titanium alloy* dengan tekanan berbeda oleh Anbarzadeh dan Mohammadi¹⁹ disertai dengan *anodizing* setelah diberi perlakuan *acid etching* menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan meningkat seiring peningkatan tekanan *sandblasting*. Tekanan *sandblasting* pada penelitian tersebut terbatas pada 500 kPa. Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan berupa *sandblasting* dan *acid etching* tanpa diikuti *anodizing* dan tekanan yang diberikan dimulai dari 500 kPa hingga 800 kPa. Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, nilai kekasaran tertinggi diperoleh pada kelompok sampel *sandblasting* Al₂O₃ dengan tekanan 500 kPa dan *acid etching* H₂SO₄ 98% dengan nilai kekasaran permukaan sebesar 1,24±0,04 µm dari yang sebelumnya 1,09±0,05 µm (peningkatan sebesar 13,8%). Pada kelompok sampel *sandblasting* dan *acid etching* dengan tekanan 600 kPa, didapatkan nilai kekasaran permukaan meningkat hanya sebesar 8,2 %, yaitu dari 1,10±0,06 µm menjadi 1,19±0,06 µm. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekasaran jika dibandingkan dengan kelompok sampel *sandblasting* dan *acid etching* dengan tekanan 500 kPa, akan tetapi, terjadi peningkatan kembali pada kelompok sampel *sandblasting* dan *acid etching* dengan tekanan 700 kPa dengan nilai kekasaran permukaan sebelum perlakuan 1,10±0,08 µm menjadi 1,22±0,06 µm setelah perlakuan (peningkatan 10,9%). Namun, pada kelompok sampel

sandblasting dan *acid etching* dengan tekanan 800 kPa terjadi penurunan kembali dengan nilai kekasaran permukaan sebelum perlakuan $1,09 \pm 0,07 \mu\text{m}$ menjadi $1,20 \pm 0,05 \mu\text{m}$ setelah perlakuan (peningkatan 10,0%). Hasil ini tidak sejalan penelitian oleh Anbarzadeh dan Mohammadi¹⁹ yang menunjukkan semakin tinggi tekanan *sandblasting* maka nilai kekasaran semakin tinggi; hal ini dikarenakan tekanan pada penelitian tersebut tidak lebih dari 500 kPa. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian oleh Begg et al²⁵ yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan pada kekasaran permukaan setelah dilakukan *sandblasting* yang semakin tinggi hingga tekanan 448 kPa, kemudian peningkatan menurun pada tekanan 552 kPa. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan *sandblasting* lebih dari 500 kPa tidak menghasilkan kekasaran yang lebih tinggi dibandingkan tekanan *sandblasting* kurang dari 500 kPa.

Berdasarkan grafik hasil uji kekasaran permukaan, dapat dilihat bahwa nilai dengan selisih tertinggi didapatkan pada kelompok sampel *sandblasting* Al_2O_3 dengan tekanan 500 kPa dan *acid etching* H_2SO_4 98%. Akan tetapi, hasil data uji ANOVA Satu Jalan dengan selisih nilai sebelum dan setelah perlakuan menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan kekasaran yang bermakna untuk seluruh kelompok. Selain itu, hasil uji ANOVA Satu Jalan dengan nilai setelah perlakuan, tidak mendapatkan perbedaan kekasaran yang bermakna antar kelompok.

Hasil uji SEM pada perbesaran 500x, 1000x, dan 5000x juga sesuai dengan hasil penelitian oleh Al-Radha⁸ dan Chauhan et al²¹ yang menyatakan bahwa kelompok *acid etching* saja menunjukkan gambaran yang lebih kasar dan ireguler dibandingkan kelompok *pre-test*. Hal ini disebabkan oleh *micropits* dan porositas yang terbentuk akibat *acid etching* sehingga kekasaran permukaan *titanium alloy* juga meningkat. *Micropits* dan porositas tersebut dapat terlihat dengan jelas pada perbesaran 5000x. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Kohler et al²⁶ yang menunjukkan gambaran kasar serta terdapat *micropits* dan porositas setelah *titanium alloy* direndam dengan H_2SO_4 dalam suhu 60°C dalam waktu 1 jam. Selain itu, dapat dilihat dari hasil uji SEM pada kelompok perlakuan *sandblasting* bahwa permukaan *titanium alloy* jauh lebih kasar ireguler dibandingkan kelompok tanpa *sandblasting*. Hal ini juga sejalan dengan penelitian oleh Schupbach et al¹⁴ yang menunjukkan topografi permukaan lebih kasar pada kelompok *sandblasting* dan *acid etching* dibandingkan dengan kelompok *acid etching* saja. Porositas dan guratan-guratan yang terbentuk lebih banyak dan dalam bila dilihat melalui SEM pada kelompok perlakuan *sandblasting*. Dapat dilihat juga melalui hasil uji SEM pada perbesaran 1000x bahwa kelompok *sandblasting* 500 kPa menciptakan permukaan paling ireguler dibandingkan dengan kelompok *sandblasting* lainnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan *sandblasting* sebelum *acid etching* meningkatkan kekasaran permukaan *titanium alloy* dengan nilai kekasaran tertinggi pada kelompok sampel tekanan *sandblasting* 500 kPa, yaitu $1,24 \pm 0,04 \mu\text{m}$. Nilai tersebut termasuk dalam kategori kasar (R_a 1-2 μm) yang merupakan nilai rerata kekasaran sebagian besar komersial implan gigi saat ini.²⁷ Peningkatan kekasaran permukaan ini akan membantu meningkatkan respon osteogenik dan pertumbuhan tulang dengan peningkatan proliferasi, adhesi, dan diferensiasi osteoblas sehingga osseointegrasi akan menjadi lebih baik.^{5,8} Penggabungan kedua metode ini juga sangat baik karena selain meningkatkan kekasaran permukaan yang lebih tinggi, *acid etching* dapat menghilangkan sisa-sisa partikel yang menempel pada permukaan *titanium alloy* akibat *sandblasting*.¹⁴ Perlu diteliti lebih lanjut apakah *acid etching* masih dapat menghilangkan sisa-sisa partikel pada permukaan *titanium alloy* akibat *sandblasting* dengan efektif pada tekanan *sandblasting* 500 kPa hingga 800 kPa.

SIMPULAN

Perlakuan *sandblasting* Al_2O_3 dan *acid etching* H_2SO_4 98% dapat meningkatkan nilai kekasaran permukaan *titanium alloy* lebih tinggi dibandingkan perlakuan *acid etching* H_2SO_4 98% saja. Peningkatan tekanan *sandblasting* tidak selalu meningkatkan kekasaran permukaan dan nilai kekasaran yang paling optimal didapatkan pada kelompok sampel *sandblasting* Al_2O_3 dengan tekanan 500 kPa dan *acid etching* H_2SO_4 98%.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan pada studi ini

DAFTAR PUSTAKA

1. Silalahi SKY, Nasution ID. Association between the number of bilateral free-end posterior tooth loss and mastication performance in RSGM USU patients. *J Syiah Kuala Dent Soc.* 2023;7(2):118–124. Doi:10.24815/jds.v7i2.30236
2. Elani HW, Batista AFM, Murray TW, Kawachi I, Chiavegatto FADP. Predictors of tooth loss: a machine learning approach. *PLoS One.* 2021;16(6):1–14. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252873>
3. Gabiec K, Bagińska J, Laguna W, Rodakowska E, Kamińska I, Stachurska Z, et al. Factors associated with tooth loss in general population of Białystok, Poland. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(4):1–12. Doi: 10.3390/ijerph19042369
4. Zafar MS, Najeeb S, Khurshid Z. *Dental Implants: Materials, Coatings, Surface Modifications and Interfaces with Oral Tissues* (1st ed). Cambridge: Woodhead Publishing Series in Biomaterials; 2020.
5. Accioni F, Vázquez J, Merinero M, Begines B, Alcudia A. Latest trends in surface modification for dental implantology: innovative developments and analytical applications. *Pharmaceutics.* 2022;14(2):1–38. Doi: 10.3390/pharmaceutics14020455
6. Zhang Y, Gulati K, Li Z, Di P, Liu Y. Dental implant nano-engineering: Advances, limitations and future directions. *Nanomaterials.* 2021;11(10):1–26. Doi: <https://doi.org/10.3390/nano11102489>
7. Jiang P, Zhang Y, Hu R, Shi B, Zhang L, Huang Q, et al. Advanced surface engineering of titanium materials for biomedical applications: From static modification to dynamic responsive regulation. *Bioact Mater.* 2023;27:15–57. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2023.03.006>
8. Al-Radha ASD. The influence of different acids etch on dental implants titanium surface. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences.* 2016; 15(08): 87–91. Doi:10.9790/0853-1508098791
9. Alkentar R, Kladovasilakis N, Tzetzis D, Mankovits T. Effects of pore size parameters of titanium additively manufactured lattice structures on the osseointegration process in orthopedic applications: a comprehensive review. *Crystals.* 2023;13(1):113. Doi: <https://doi.org/10.3390/cryst13010113>
10. Zaid MB, O'Donnell RJ, Potter BK, Forsberg JA. Orthopaedic osseointegration: state of the art. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(22): 977–85. Doi: 10.5435/JAAOS-D-19-00016
11. Szmukler-Moncler S, Blus C, Schwarz DM, Orrù G. Characterization of a macro and micro-textured titanium grade 5 alloy surface obtained by etching only without sandblasting. *Materials.* 2020;13(22):1–11. Doi: 10.3390/ma13225074
12. Nicholson JW. Titanium Alloys for dental implants: a review. *Prosthesis.* 2020;2(2):100–16. Doi: <https://doi.org/10.3390/prosthesis2020011>
13. Kligman S, Ren Z, Chung CH, Perillo MA, Chang YC, Koo H, et al. The impact of dental implant surface modifications on osseointegration and biofilm formation. *J Clin Med.* 2021;10(8):1641. Doi: 10.3390/jcm10081641
14. Schupbach P, Glauser R, Bauer S. Al₂O₃ particles on titanium dental implant systems following sandblasting and acid etching-process. *International Journal of Biomaterials.* 2019;2019(5):1–11. Doi: <https://doi.org/10.1155/2019/6318429>
15. Yurttutan ME, Keskin A. Evaluation of the effects of different sand particles that used in dental implant roughened for osseointegration. *BMC Oral Health.* 2018;18(1):47. Available from: <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-018-0509-3>
16. Ozel GS, Inan O, Acar AS, Iyidogan GA, Dolanmaz D, Yildirim G. Stability of dental implants with sandblasted and acid-etched (SLA) and modified (SLActive) surfaces during the osseointegration period. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2021;15(4):226–31. Doi: 10.34172/joddd.2021.037
17. Kirk PC, Chandran R, Lott J. Late osseointegration failure of implant case. *Journal of Case Reports in Dental Medicine.* 2021;3(2):34–9. Doi: <https://doi.org/10.20956/jcrdm.v3i2.141>
18. Guglielmotti MB, Olmedo DG, Cabrini RL. Research on implants and osseointegration. *Periodontol.* 2019; 79(1):178–89. Doi:10.1111/prd.12254.
19. Anbarzadeh E, Mohammadi B. Investigation of the effects of sandblasting, acid etching, and anodizing parameters in the SLA + anodizing on the surface treatment of titanium dental implant fixtures. *The Physics of Metals and Metallography.* 2023;124(13):1606–19. Doi:10.1134/S0031918X23600793
20. Bammidi R, Prasad KS. Ti-6Al-4V as dental implant. *Journal of Dentistry and Oral Medicine.* 2020;2(1):14–18. *EAS J Dent Oral Med.* 2020;2(1):14–8. Doi: 10.36349/easjdom.2020.v02i01.003
21. Chauhan P, Koul V, Bhatnagar N. Effect of acid etching temperature on surface physiochemical properties and ytocompatibility of Ti6Al4V ELI alloy. *Materials Research Express.* 2019;6(10):1–10. Doi:10.1088/2053-1591/ab3ac5

22. Sasikumar Y, Indira K, Rajendran N. Surface Modification Methods for Titanium and Its Alloys and Their Corrosion Behavior in Biological Environment: A Review. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*. 2019; 5(2):36. Doi:10.1007/s40735-019-0229-5
23. Jemat A, Ghazali MJ, Razali M, Otsuka Y. Effects of surface treatment on titanium alloys substrate by acid etching for dental implant. *Materials Science Forum*. 2015;819:347–52. Doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.819.347
24. Śmielak B, Klimek L, Krześniak K. Effect of sandblasting parameters and the type and hardness of the material on the number of embedded Al₂O₃ grains. *Materials (Basel)*. 2023;16(13):4783. Doi: <https://doi.org/10.3390/ma16134783>
25. Begg H, Riley M, Lovelock HV. Mechanization of the grit blasting process for thermal spray coating applications: a parameter study. *J Therm Spray Technol*. 2015;25(1):12–20. Doi:10.31399/asm.cp.itsc2015p0577
26. Kohler R, Sowards K, Medina H. Numerical model for acid-etching of titanium: Engineering surface roughness for dental implants. *J Manuf Process*. 2020; 59(7): 113–121. Doi:10.1016/j.jmapro.2020.09.014
27. Nicolas-Silvente AI, Velasco-Ortega E, Ortiz-Garcia I, Monsalve-Guil L, Gil J, Jimenez-Guerra A. Influence of the titanium implant surface treatment on the surface roughness and chemical composition. *Materials*. 2020;13(2):314. *Materials*. 2020;13(2):314. Doi:<https://doi.org/10.3390/ma13020314>