

Fabrikasi *Mirror-like Surface* Bahan *Commercially-pure* Titanium (CP-Ti) Menggunakan Metode *Electropolishing* Untuk Aplikasi Biomedis

M.A. Setyawan^{1,*}, G.S. Prihandana², M. Mahardika¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta 55281 Telp. +62-274-521673

²Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Kampus C Mulyorejo, Surabaya – 60115
e-mail: *1 mandresetyawan@gmail.com

Abstrak

Microfilter adalah sebuah perangkat *micro-dialysis* yang telah terbukti efisien dalam membuang limbah metabolik seperti urea, asam urat, dan kreatinin dari darah. Perangkat *microfilter* dibuat dengan merakit metal *structural layer* dan membran *nanoporous polyethersulfone*. Dalam penelitian ini, metal *structural layer* yang desainnya telah dimodifikasi dengan mengadopsi bentuk *maze-shaped* difabrikasi menggunakan wire-EDM. Kemudian metode *electropolishing* diimplementasikan pada metal *structural layer* bahan *commercially-pure* titanium (CP-Ti) untuk menghasilkan kualitas permukaan yang mengkilap atau *mirror-like surface*. *Mirror-like surface* dibutuhkan untuk mencegah *biofouling*, yaitu mengendapnya komponen darah pada bagian dinding atau *side-wall* pada metal *structural layer*. *Mirror-like surface* berhasil diperoleh pada parameter tegangan 20 V, gap 10 mm, penambahan 20 vol.% ethanol pada larutan elektrolit dan waktu proses 5 menit. *Surface roughness* minimum yang terukur menggunakan *stylus profilometer* adalah $R_a = 0,227 \mu\text{m}$.

Kata kunci: *Electropolishing, Titanium, Microfilter, Mirror-like surface, Ethylene Glycol.*

Abstract

Microfilter is a micro-dialysis device that has been proven to be efficient in removing metabolic wastes such as urea, uric acid, and creatinine from the blood. Microfilter devices are made by assembling metal structural layers and nanoporous polyethersulfone membranes. In this study, a metal structural layer has been modified by adopting a maze-shaped shape fabricated using wire-EDM. Then the electropolishing method is implemented in the structural metal layer of commercially pure titanium (CP-Ti) to produce a mirror-like surface. Mirror-like surface is needed to prevent biofouling, which is to settle the blood component on the wall or side walls in the metal structural layer. Mirror-like surface was successfully obtained on 20 V voltage parameters, 10 mm gap, adding 20 vol.% Ethanol to electrolyte solutions and a 5 minute process time. The minimum surface roughness measured using a stylus profilometer is $R_a = 0.227 \mu\text{m}$.

Keywords: *Electropolishing, Titanium, Microfilter, Mirror-like surface, Ethylene Glycol.*

1. PENDAHULUAN

Dialisis merupakan suatu terapi yang dikembangkan untuk menolong pasien dengan penyakit ginjal stadium akhir, namun pasien harus menjalani terapi dialisis tersebut dirumah sakit selama kurang lebih 4 jam, tiga kali per minggu (To et al., 2015). Untuk mengurangi

frekuensi terapi dialisis di rumah sakit, dikembangkanlah *Wearable Artificial Kidney* (WAK), sebuah alat dialisis yang dapat dioperasikan saat dikenakan oleh pasien. WAK tersebut lebih fleksibel dan *portable* dibandingkan dengan mesin terapi dialisis konvensional. Selain itu, terapi menggunakan WAK dapat dilakukan kapanpun dan dimanapun pasien berada, sehingga tidak mengganggu aktifitas sehari-hari. Dengan demikian, WAK dapat meningkatkan kualitas hidup pasien gagal ginjal (Gu dan Miki, 2009).

WAK terdiri dari dua komponen utama: *dialyzer* adalah salah satu komponen pada sistem dialisis yang menentukan performa dan efektifitas dari proses filtrasi darah dan *dialysate filter* yang berfungsi memisahkan cairan *dialysate* dengan zat sisa metabolisme agar cairan *dialysate* dapat digunakan kembali dalam proses filtrasi darah (Gu dan Miki, 2009).

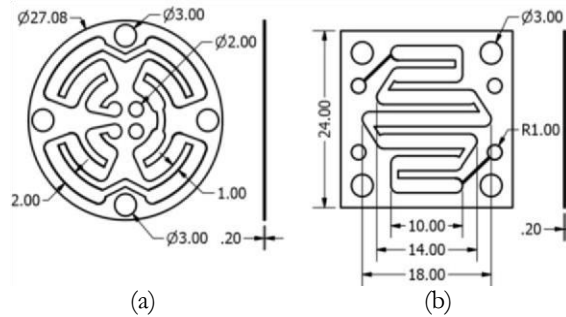
Salah satu focus pengembangan WAK dewasa ini adalah pada bagian *microfilter* yang digunakan sebagai *dialyzer*. *Microfilter* tersebut terdiri dari dua bagian utama. Bagian pertama adalah struktur *layer* yang terbuat dari bahan metal, berfungsi sebagai ruang mikro (*micro chamber*) yang digunakan sebagai tempat aliran darah dan atau aliran cairan pemisah zat sisa (*dialysate*). Bagian kedua adalah membran yang terbuat dari *polyethersulfone* (PES), berfungsi sebagai pemisah zat sisa dan nutrisi dalam darah (Gu dan Miki, 2009).

Ota et al (2017), melakukan penelitian *invitro* untuk mengevaluasi performa *microfilter*. Namun, hasil penelitian ini menunjukkan terjadinya penurunan performa *dialysis* yang disebabkan oleh menempelnya partikel darah dan zat sisa metabolisme pada dinding (*sidewall*) struktur *layer* karena tingkat kekasaran permukaan (*surface roughness*) yang tidak sesuai.

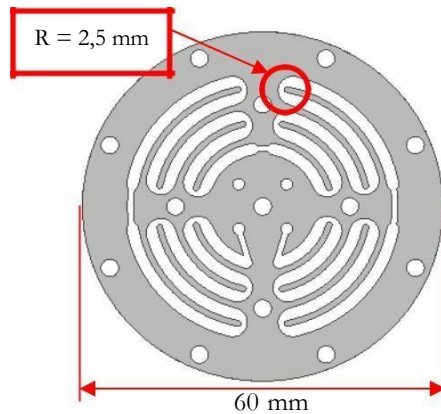
Sifat permukaan (*surface properties*) dari material *implant* berperan sangat penting terhadap biokompatibilitas, fungsi dan keselamatan dalam penggunaannya. Oleh karena itu, *surface treatment* telah diaplikasikan pada material *implant* untuk memperbaiki tekstur permukaan maupun sifat kimiawi sehingga tidak membahayakan lingkungan biologis disekitar *implant*. Di antara berbagai jenis *surface treatment*, *electropolishing* (EP) merupakan metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan biokompatibilitas material *implant*. *Electropolishing* ini juga dapat diaplikasikan pada benda dengan bentuk yang kompleks (Sajjad dkk, 2014).

Penelitian ini difokuskan pada bagian lapisan material yang terbuat dari bahan titanium. Titanium menjadi bahan biomaterial yang populer dibidang aplikasi medis. Titanium dan paduannya cocok untuk digunakan sebagai material *implant* karena sifat tahan karatnya yang baik dan rasio *strength-to-weight* yang tinggi dibandingkan dengan *stainless steel* dan paduan Co-Cr (Mahyudin dan Hermawan, 2016). Karena digunakan pada proses *dialysis*, struktur lapisan titanium ini harus memiliki tingkat kekasaran permukaan yang sesuai agar tidak menghambat aliran darah.

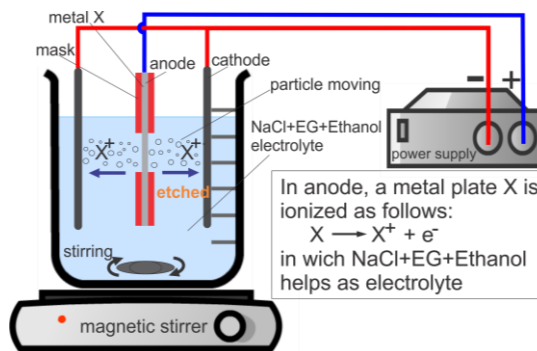
Pada penelitian ini, dilakukan proses *electropolishing* untuk memperhalus permukaan bagian sisi samping dialiser berbahan titanium. Permukaan sisi samping yang halus diharapkan dapat mengurangi terjadinya pengendapan komponen darah pada permukaan *side-wall* struktur *layer* yang disebut *biofouling*.



Gambar 1.a. Desain *Structural Layer* (Setyawan dkk, 2016) b. Desain *Structural Layer* (Gu dan Miki, 2009)



Gambar 2. *Structural layer* titanium



Gambar 3. *Experimental set-up* proses *electropolishing* plat titanium

2. METODE PENELITIAN

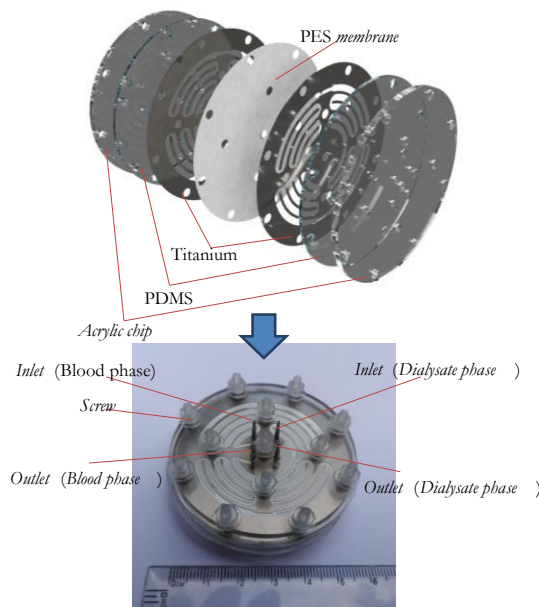
2.1. Desain Dialiser

Plat titanium (CP-Ti) dengan ketebalan 200 μm (Nilaco Co., Japan) digunakan sebagai *structural layer* dalam *microfilter*, penulis telah berhasil membuat *structural layer* dengan *adsorption area* yang lebih luas. Pada penelitian yang dilakukan oleh Gu dan Miki (2009), *structural layer* memiliki total *adsorption area* sebesar 144 mm^2 . Gambar 1b menunjukkan desain *structural layer*

yang dibuat oleh Gu dan Miki (2009). Penulis menggunakan luas area *structural layer* yang sama dan memodifikasi bentuk dari *adsorption area*, yang mengadopsi bentuk *maze*. Harapannya, dengan luas *adsorption area* yang lebih luas, maka dapat meningkatkan performa sistem dialisis pada *microfilter* dengan menyaring lebih banyak zat sisa metabolisme. Total luas *adsorption area* pada *structural layer* yang penulis desain adalah 192 mm² (Gambar 1a). 30% lebih luas dibandingkan dengan desain sebelumnya (Gambar 1b).

Pada penelitian ini, penulis mengembangkan desain *structural layer* hasil dari penelitian pada tahun 2016. Diameter *structural layer* 50 - 60 mm dipilih dengan tujuan untuk memperluas area difusi pada setiap lapisnya. Dimensi diameter dibatasi tidak terlalu besar karena ukuran *microfilter* berpengaruh terhadap fleksibilitasnya sebagai ginjal buatan yang *portable*. Selain itu, konsep WAK ke depannya diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan *Implantable Artificial Kidney* (IAK), sehingga ukuran *microfilter* tidak melebihi ukuran ginjal manusia (Gu dan Miki, 2009). Hal tersebut juga yang menjadi alasan dipilihnya bentuk lingkaran, sehingga pada pengembangannya untuk IAK nantinya akan lebih aman bagi organ-organ lain di dalam tubuh ketika diimplan, dibanding dengan bentuk persegi yang memiliki sisi yang menyudut sehingga rentan bagi organ di sekitarnya.

Rancangan *structural layer* titanium pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 2. Pada rancangan tersebut, didapat total area penyerapan sebesar 792,928 mm². Selain itu, perbaikan juga dilakukan pada *curved area* (lingkaran merah). Desain kurva pada Gambar 1a masih menggunakan *curvature radius* 1 mm, kemudian diubah menjadi 2,5 mm (Gambar 2). Perubahan radius pada *curved area* ini didasari dari penelitian Ota et al (2016) bahwa *curved area* 2,5 mm lebih meminimalkan terjadinya *biofouling* dibandingkan dengan 1 mm.



Gambar 4. Skema perakitan unit *microfilter*

Tabel 1. Parameter *electropolishing*.

<i>Parameter</i>	<i>Value</i>
<i>Voltage</i>	10, 20, 30 V
<i>Anode</i>	Commercially-pure Titanium (Nilaco Co., Japan)
<i>Electrolyte solution</i>	Ethanol (0, 10, 20 vol. %) 1.0 M NaCl 99.0 % ethylene glycol
<i>Time</i>	5 minutes
<i>Working gap</i>	10 mm
<i>Cathode</i>	Stainless Steel 316L

2.2. Fabrikasi Structural Layer

Material titanium *sheet* dipotong sesuai dengan pola desain menggunakan *wire*-EDM. Kondisi permukaan hasil dari proses EDM biasanya kurang baik dan memerlukan proses *polishing* untuk mendapatkan *surface finish* yang mengkilap (Wong et al, 1998). Metode *electropolishing* dipilih karena cocok untuk *structural layer* yang tipis dan memiliki bentuk geometri yang kompleks.

Metode *electropolishing* digunakan untuk memproses berbagai jenis material yang bersifat konduktor listrik. Proses tersebut menggunakan prinsip Faraday, yaitu jika ada dua logam elektroda direndam dalam larutan elektrolit dan dihubungkan dengan sumber arus DC, maka partikel logam akan terlepas dari *anode* dan kemudian akan tertarik ke *cathode* (Gambar 3).

Pengujian *electropolishing* dilakukan dengan melakukan berbagai percobaan dengan berlandaskan pada beberapa jurnal penelitian untuk mendapatkan parameter (*gap*, waktu pemesinan, konsentrasi elektrolit dan voltase pada *power supply*) yang menghasilkan *mirror-like surface* pada bagian *side-wall structural layer* titanium. Nominal *surface roughness* untuk permukaan mengkilap atau *glossy* berada diantara 0,15 hingga 2 μm R_{max} (Wong dkk, 1998). Sedangkan menurut penelitian Ota dkk (2016), *biofouling* menurun secara drastis pada permukaan dengan nilai R_a kurang dari 1 μm .

Prosedur percobaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: benda kerja berupa plat titanium dengan tebal 0,2 mm dipotong dengan ukuran 50 × 10 mm benda kerja dibersihkan menggunakan methanol selama 5 menit menggunakan *ultrasonic bath* untuk menghilangkan *impurity*.

Dari hasil *try and error* didapatkan parameter yang akan digunakan untuk *electropolishing* struktur *layer* seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

2.3. Perakitan *microfilter*

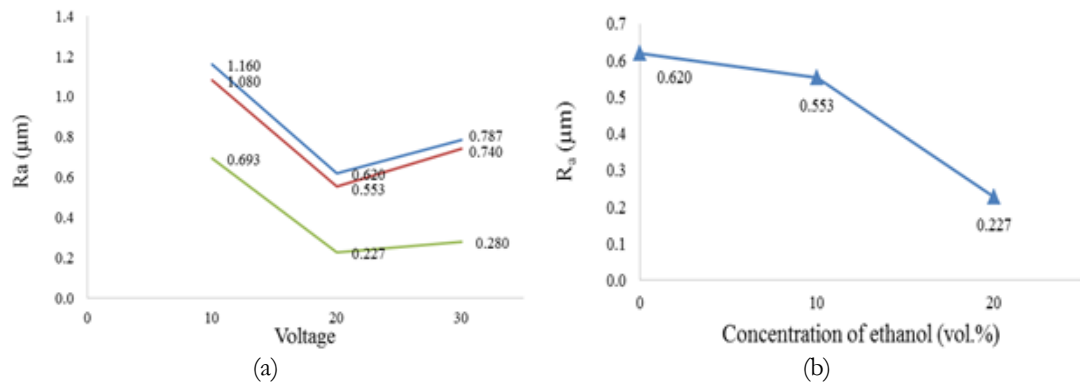
Structural layer titanium yang telah berhasil di-*electropolishing* dirakit dengan komponen lain yaitu membran PES, *Polydimethylsiloxane* (PDMS) dan akrilik. Satu unit *microfilter* terdiri dari 1 buah membran PES dan dua buah lapisan struktur. Untuk menghindari kebocoran, unit *microfilter* dimampatkan dan dikencangkan menggunakan 13 buah sekrup. Skema perakitan *microfilter* ditunjukkan oleh Gambar 4.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Nilai Ra spesimen Ti setelah proses *electropolishing*.

No.	E (vol. %)	Voltage (V)	Gap (mm)	Time (minutes)	R _a 1 (μm)	R _a 2 (μm)	R _a 3 (μm)	R _a mean (μm)
1	0	10	10	5	1,14	1,12	1,22	1,160
2	0	20	10	5	0,58	0,60	0,68	0,620
3	0	30	10	5	0,80	0,88	0,68	0,787
4	10	10	10	5	0,94	0,90	1,40	1,080
5	10	20	10	5	0,62	0,60	0,44	0,553
6	10	30	10	5	0,70	0,74	0,78	0,740
7	20	10	10	5	0,62	0,78	0,68	0,693
8	20	20	10	5	0,20	0,22	0,26	0,227
9	20	30	10	5	0,30	0,26	0,28	0,280

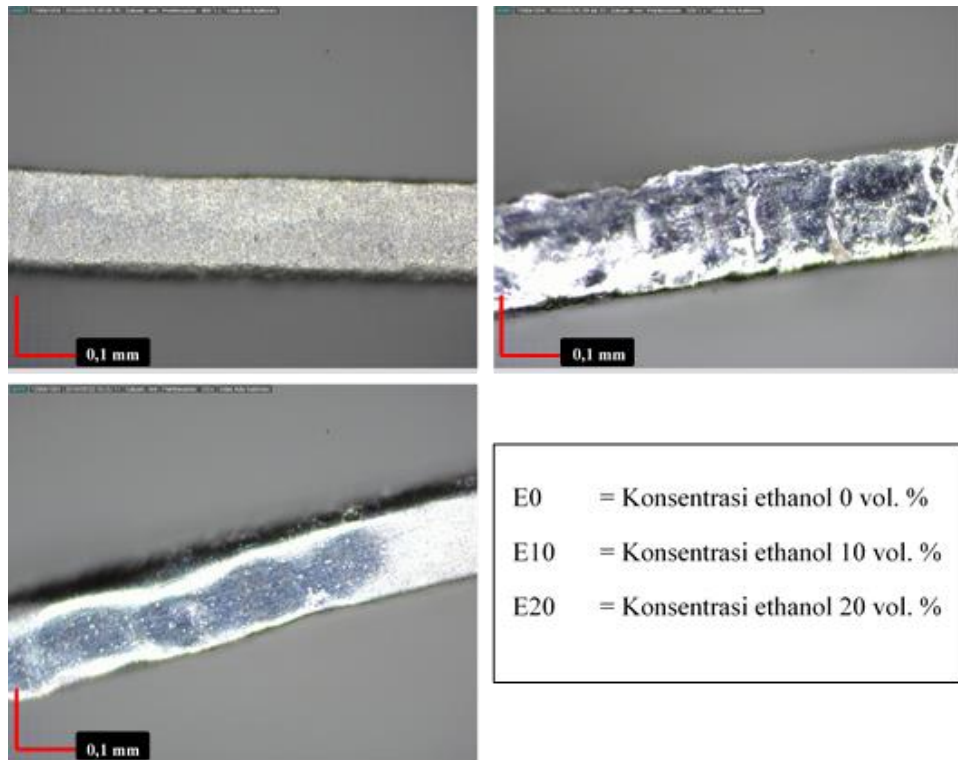
Tabel 2 menunjukkan data hasil pengukuran Nilai R_a spesimen Ti setelah proses *electropolishing* menggunakan *stylus* profilometer.



Gambar 5. Nilai Ra spesimen Ti menggunakan stylus: (a) sebagai fungsi penambahan konsentrasi ethanol terhadap tegangan, dan (b) sebagai fungsi penambahan konsentrasi ethanol terhadap tegangan konstan 20 V.

Gambar 5a menunjukkan nilai Ra dari spesimen titanium setelah proses *electropolishing* sebagai fungsi penambahan konsentrasi ethanol pada larutan elektrolit terhadap tegangan. Dapat dilihat pada grafik bahwa penambahan ethanol pada larutan elektrolit ethylene glycol-NaCl dapat menurunkan nilai kekasaran permukaan *sidewall*. Nilai kekasaran terendah diperoleh dengan menambahkan 20 vol. % ethanol. Seperti yang terlihat pada Gambar 5b ketika tegangan dipertahankan pada 20 V dan konsentrasi ethanol bertambah, nilai *surface roughness* turun hingga R_a = 0,227 μm.

Namun pada Gambar 5a saat tegangannya dinaikkan menjadi 30 V, nilai *surface roughness* sedikit meningkat. Maka tegangan 20 V adalah yang paling optimal untuk mendapatkan nilai kekasaran yang paling rendah.



Gambar 6. Image permukaan spesimen Ti hasil electropolishing saat tegangan konstan 20 V

Hasil ini didukung dengan Gambar 6 yang menunjukkan *image* permukaan spesimen titanium hasil *electropolishing* saat tegangan disetting konstan pada 20 V. Penambahan ethanol sebanyak 20 vol. % menghasilkan kualitas permukaan yang paling mengkilap atau disebut juga *mirror-like surface*.

Donghyun et al, (2015) melakukan penelitian tentang efek penambahan ethanol dalam larutan elektrolit ethylene glycol-NaCl pada *electropolishing* titanium (GR.2 ASTM B 265). Pada penelitian tersebut dihasilkan bahwa penambahan ethanol lebih dari 20 vol. % menyebabkan pertukaran elektron antara Ti^{4+} dan Cl^- menjadi *non-uniform*. Penambahan 20 vol. % ethanol pada larutan elektrolit ethylene glycol-NaCl adalah konsentrasi ethanol yang paling optimal untuk *electropolishing* titanium karena dapat mempertahankan ketebalan lapisan $TiCl_4$ yang cukup pada *working electrode*.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan proses *surface finish electropolishing* pada plat *commercially-pure titanium* (CP-Ti) di- dalam larutan elektrolit ethylene glycol-NaCl ditambahkan dengan ethanol pada temperatur ruang dan beberapa variasi tegangan. Permukaan *side-wall* plat titanium dengan tebal 200 μm telah berhasil diperbaiki kualitasnya menjadi *mirror-like finish* dengan menambahkan 20 vol. % ethanol kedalam larutan elektrolit ethylene glycol-NaCl. Nilai R_a 0,227 μm berhasil diperoleh dengan mengkombinasikan konsentrasi E20 dengan tegangan 20 V. Permukaan halus pada *side-wall* titanium hasil *electropolishing* memungkinkan untuk aplikasinya yaitu kontak dengan darah dalam *micro-fluidic channel*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S., (2009), *Manual of Clinical Dialysis*, Springer International Publishing, DOI: 10.1007/978-0-387-09651-3, eBook ISBN 978-0-387-09651-3.
- Azar, A.T., (2013). *Modeling and Control of Dialysis Systems*. Springer. ISBN 978-3-642-27457-2.
- Baroroh, D. K., (2014), *Optimasi Electropolishing pada Pembuatan Multi-layered Microfilter dengan Pendekatan Full Factorial Design*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Besterfield, D. H.,(2013), *Quality Improvement-9th edition*, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, ISBN-13: 978-0-13-262441-1.
- Cheng, C. Li, S. Zhao, W. Wei, Q. Nie, S. Sun, S. Zhao, C. The hydrodynamic permeability and surface property of Polyethersulfone ultrafiltration membranes with mussel-inspired polydopamine coatings. *J. Membr. Sci.* 2012, 417–418, 228.
- Donghyun, K., Kyungsik S., Dahye S., Yonghwan K., Wonsub C., (2015), Effect of added ethanol in ethylene glycol–NaCl electrolyte on titanium electropolishing, *Corrosion science* 98 (2015) p 494-499, <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.05.057>
- El-Hofy, H. A. (2005). *Advanced Machining Processes: Nontraditional and Hybrid Machining Processes*, 1st ed. New York: McGraw-Hill. DOI: 10.1036/0071466940
- Gu, Y. and Miki, N. (2007). A microfilter utilizing a polyethersulfone porous membrane with nanopores. *J. Micromech. Microeng.*, 17, 2308–2315.
- Gu, Y. and Miki, N. (2009). Multilayered microfilter using a nanoporous PES membrane and applicable as the dialyzer of a wearable artificial kidney. *J. Micromech. Microeng.* 19, 065031. doi:10.1088/0960-1317/19/6/065031
- Gu, Y. and Miki, N., (2007), Microfilter Fabricated with PDMS and PES Membrane Applicable for Implantable Artificial Kidney, *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, IEEE NEMS 2007*, 4160441, pp 63 - 67.
- Gura, V., Rivara, M.B., Bieber, S., dkk, A wearable artificial kidney for patients with end-stage renal disease. *JCI Insight.* 2016;1(8):e86397. doi:10.1172/jci.insight.86397.
- Ito, H., Prihandana, G. S., Sanada, I., Hayashi, M., Kanno, Y., & Miki, N. (2013). No-dialysate micro hemodialysis system. In *17th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, MicroTAS 2013*. (Vol. 2, 1326-1328). Chemical and Biological Microsystems Society.
- Lase, W.N. (2011). *Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Hidup Pasien Gagal Ginjal Kronis yang Menjalani Hemodialisa di RSUP. H. Adam Malik Medan*. Skripsi. Fakultas Keperawatan Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Mahyudin, F. dan Hermawan H., (2016), *Biomaterials and Medical Devices: A Perspective from an Emerging Country*, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-14845-8.
- Montgomery, D. C., (2009), *Design and Analysis of Experiments*, 5th ed., John Wiley & Sons Inc., New York.
- National Kidney Foundation, (2002), *KDOQI Clinical Practice Guidelines for Chronic Kidney Disease: Evaluation, Classification, and Stratification*, *Am J Kidney*, 39: suppl 1.
- Nugroho, Y.B. (2013). pembuatan cnc electro chemical machining serta pengujian permesinan pada pembuatan multi-layered microfilter dengan benda kerja stainless steel 204

- terisolasi. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ota, T., To, N., Kanno, Y., Miki, N. Evaluation of Biofouling for Implantable Micro Dialysis System. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2016, doi: 10.1109/EMBC.2016.7591103.
- Prihandana, G.S., Ito, H., Sanada, I., Nishinaka, Y., Kanno, Y., Miki, N. Permeability and blood compatibility of nanoporous parylene film-coated polyethersulfone membrane under long-term blood diffusion. J Appl Polym Sci 2014;131:40024. doi:10.1002/app.40024
- Prihandana, G.S., Ito, H., Tanimura, K., Yagi, H., Hori, Y., Soykan, O., dkk. (2014b). Solute diffusion through fibrotic tissue formed around protective cage system for implantable devices. J. Biomed. Mater. Res. B doi:10.1002/jbm.b. 33298
- Prihandana, G.S., Mahardika, M., Nishinaka, Y., Ito, H., Kanno, Y., Miki, N., (2013). Electropolishing of Microchannels and its Application to Dialysis System, Journal of Biomanufacturing, p. 165. doi:10.1016/j.procir.2013.01.
- Prihandana, G.S., Sanada, I., Ito, H., Noborisaka, M., Kanno, Y., Suzuki, T., Miki, N., (2013). Antithrombogenicity of Fluorinated Diamond-Like Carbon Films Coated Nano Porous Polyethersulfone (PES) Membrane. Materials 2013, 6, 4309-4323; doi: 10.3390/ma6104309
- Rosa, J. L., Robin, A., Silva, M. B., Baldan, Carlos A., Peres, Mauro P., (2009), Electrodeposition of copper on titanium wires: Taguchi experimental design approach, Journal of Materials Processing Technology, v. 209, p. 1181-1188.
- Sajjad, H. Ling L., Dominique S., Elaine C. D., Sasha O. (2014). Electrochemical polishing as a 316L stainless steel surface treatment method: Towards the improvement of biocompatibility, Corrosion Science 87 (2014) 89–100, <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2014.06.010>
- Salim, S., (2016), Analisis Proses Polishing Pada Machining Center, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sawhney, G. S., (2007), Fundamentals of Biomedical Engineering, New Age International (P) Ltd., Publishers ,ISBN (13) : 978-81-224-2549-9
- Setyawan, M.A., Sriani, T., and Prihandana, G.S., (2016), Design and Fabrication of Multi-Layered Microfilter by Electropolishing Technique, Applied Mechanics and Materials, Vol. 842, pp. 402 - 406.
- Setyawan, M.A, (2016), Design and Fabrication of Maze-Shaped Multi-Layered Microfilter Using SS 316L by Electropolishing Technique, Skripsi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Silma, A. A., (2017), Perancangan dan Manufaktur Microfilter pada Wearable Artificial Kidney, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- To, N., Sanada, I., Ito, H., Prihandana, G. S., Morita, S., Kanno, Y., & Miki, N. (2015). Water-Permeable Dialysis Membranes for Multi-Layered Microdialysis System. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 3(June), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2015.00070>
- Voort, G.F.V., (2004), Chemical and Electrolytic Polishing, ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures, p 281-293, ISBN 978-0-87170-706-2.
- Wenten, I.G., Khoiruddin, Aryanti, P.T.P., akim, A.N. (2010). Pengantar Teknologi Membran, Diklat, Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, Bandung.