

Simulasi aliran fluida elektrolit dalam proses poles elektrokimiawi produk stent kardiovaskular

Muhammad Faisal Abror^{a,d,1}, Eko Pujiyulianto^{b,d}, Muslim Mahardika^{a,d}, Suyitno^{c,d},
Urip Agus Salim^{a,d}, Budi Arifvianto^{a,d,2}

^aDepartemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika 2, Yogyakarta, 55281, Indonesia

^bTeknik Mesin, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera (ITERA)
Jl. Terusan Ryacudu, Lampung Selatan, Lampung 35365, Indonesia

^cDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar,
Jl. Kapten Suparman 39, Magelang 56116, Indonesia

^dCenter for Innovation of Medical Equipment and Devices (CIMEDs), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Teknik utara, Yogyakarta, 55281, Indonesia

¹muhammadfaisalabrор@ugm.ac.id

²budi.arif@ugm.ac.id

ABSTRACT

Stents are devices that are often used as an alternative for treating stroke. Some methods of making stents still require final treatment to reduce surface roughness. One method to reduce surface roughness is electropolishing. However, this method still leaves problems related to flow turbulence. Flow turbulence will reduce the effectiveness of chemical polishing. Therefore, a final post-production process is required to obtain a standard stent surface. In this research, electropolishing is carried out as a finishing technique in the form of an Ansys simulation. Next, the velocity contour, velocity flow direction, and velocity on each stent surface are studied. The results showed that polishing perforated stents using electrodes to make electrolyte flow has the potential to cause turbulence. Turbulent flow also forms at the outer and combined electrodes, located only outside the stent. Meanwhile, the area under the outside of the stent (BO) has the highest flow compared to other areas. An alternative is when the outer surface wants to be polished, use a speed that is not too high so that the bottom of the stent is not polished quickly. Furthermore, prefer to use high speed when the stent's inside wants to be polished too. Although this surface finishing technique is promising for stent processing, duration and other factors also need to be considered in its application because it will affect the result.

Keywords: Poles elektrokimiawi, *Stent* Kardiovaskular, Simulasi, Ansys, Permukaan, Aliran

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Stent adalah perangkat yang dimasukkan ke pembuluh darah untuk mengembalikan aliran darah menjadi normal dan mencegah efek serius akibat penyempitan pembuluh darah [1]. Penyempitan pembuluh darah ini diakibatkan oleh tumpukan sel, lemak, kalsium dan zat lain yang terakumulasi sehingga terjadi endapan. Endapan tersebut yang nantinya akan memicu isemik serbal sementara dan *stroke* [1]. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan *stent* yang memiliki desain struktur yang sesuai dengan pembuluh darah. Beberapa karakteristik *stent* yang perlu dipertimbangkan adalah bahan, bentuk, pola [2] dan kekasaran permukaannya [3]. Bahan yang biasa digunakan pada *stent* berbeda beda, mulai dari baja tahan karat, paduan NiTi, paduan cobalt-cromium, paduan

Fe, Mg dan Zn [2]. *Stent* memiliki bentuk struktur berongga, silindris kecil, yang dibentuk menjadi cincin berurutan menggunakan berbagai penyangga dan komponen penghubung [1]. Selain itu, beberapa pola *stent* kardiovaskular yang umum digunakan adalah pola sel terbuka, pola sel tertutup, pola zig-zag, pola sinusoidal, dan pola berlian [2]. Kekasaran permukaan juga sangat berpengaruh pada sifat mekanik *stent* [3].

Beberapa proses produksi yang lazim digunakan diantaranya *braided method*, *laser cutting*, *electrospinning* dan teknologi *additive manufacturing* [2]. Tetapi hasil dari beberapa proses tersebut masih diperlukan adanya pengerjaan akhir untuk meningkatkan kualitas permukaan pada *stent*, salah satunya adalah perlakuan permukaan.

Perlakuan permukaan adalah perlakuan akhir yang diterapkan untuk mendapatkan permukaan yang halus dan bebas kontaminasi [1]. Perlakuan permukaan yang dapat digunakan untuk membersihkan dan menghaluskan permukaan, salah satunya adalah pemolesan elektrokimia. Pemolesan elektrokimia adalah proses perawatan permukaan yang melibatkan pemolesan sampel (anoda) dalam elektrolit pekat [4]. Pada dasarnya, proses pemolesan hanya dilakukan dengan merendam spesimen di dalam suatu elektrolit lalu spesimen dihubungkan dengan kutub positif dan elektroda lawan dihubungkan dengan kutub negatif. Selanjutnya, spesimen dialiri arus listrik sehingga terjadi proses pemolesan secara elektrokimia.

Perkembangan teknologi poles elektrokimia dilakukan dengan cara menggerakkan elektrolit dengan menggunakan pengaduk magnet. Hal ini ditujukan agar permukaan yang lebih halus dan proses poles lebih mudah terjadi [5]. Hasil menunjukkan peningkatan kehalusan pada produk elektrokimia. Tetapi metode ini masih meninggalkan masalah dengan timbulnya aliran turbulensi pada saat proses pengadukan. Aliran turbulensi akan menghasilkan efek penghalusan yang tidak seragam [6]. Perkembangan selanjutnya elektrolit dicoba untuk dialirkan agar didapat kekasaran permukaan yang lebih seragam. Meski demikian, aliran yang dialirkan belum banyak dilakukan. Penelitian sebelumnya masih dilakukan dalam spesimen berbentuk plat, belum dilakukan pada geometri yang kompleks. Oleh karenanya, perlu dilakukan studi tentang pengaruh proses poles elektrokimia dengan elektrolit yang dialirkan pada geometri kompleks.

Penelitian ini menginvestigasi aliran elektrolit pada material *stent*. Aliran elektrolit merupakan faktor penting karena efek turbulensi yang muncul akan mengurangi efektifitas pemolesan elektrokimia [7]. Pada penelitian ini dilakukan simulasi aliran elektrolit yang mengalir disekitar *stent* dengan menggunakan software Ansys.

METODE PENELITIAN

1. Model *stent*

Dalam penelitian ini, simulasi aliran poles elektrokimia dilakukan dengan menggunakan Ansys. Gambar 1 menunjukkan model *stent* yang digunakan yaitu (a) berlubang dan (b) tanpa lubang. *Stent* memiliki ukuran diameter luar 3,5 mm, diameter dalam 3,25 mm, dan panjang 9

mm. Ukuran lubang pada *stent* berlubang memiliki panjang 1,62 mm dan tinggi 1,21 mm untuk tiap tiap lubang [8]. Jarak tiap lubang berjarak 0,16 mm.

Elektroda yang digunakan nantinya akan berbentuk silinder yang berlubang (*hollow*) serta silinder pejal. Silinder berlubang digunakan sebagai elektroda luar yang nantinya akan memoles bagian luar *stent* seperti Gambar 2(b) dengan ukuran diameter luar 8,5 mm dan diameter dalam 8 mm sedangkan silinder pejal digunakan sebagai elektroda dalam yang nantinya akan memoles bagian dalam *stent* seperti Gambar 2(a) dengan ukuran elektroda 2 mm. Gambar 2 menunjukkan peletakan elektroda dengan tiga model penempatan yaitu pada bagian (a) dalam *stent*, (b) pada bagian luar *stent*, dan (c) gabungan antara elektroda dalam dan elektroda luar.

2. Alat yang digunakan

Alat yang digunakan pada simulasi dalam penelitian ini antara lain:

- a. Laptop Asus VivoBook Flip 14 dengan Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz 2.71 GHz, 64-bit operating system, x64-based processor
- b. *Software Ansys 2023 R2 Student Version.*
- c. *Software Autodesk Inventor Profesional 2023*

3. Desain wadah proses poles elektrokimia

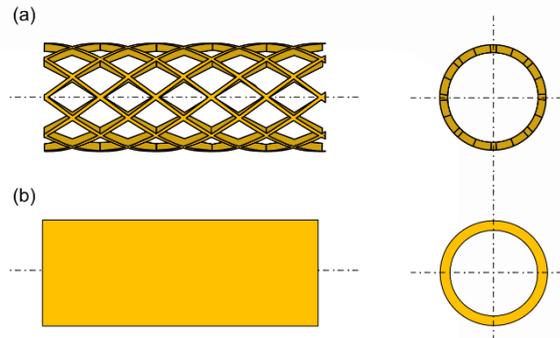
Wadah elektrolit ditunjukkan pada Gambar 4 yang disimulasikan. Input berada di sisi kiri, lalu akan melewati spesimen pada bagian tengah, dan elektrolit dikeluarkan dari sisi kanan. Ukuran wadah berbentuk persegi dengan panjang, lebar, tinggi 200 mm × 60 mm × 60 mm. Selanjutnya panjang pipa 312 mm, diameter input 20 mm, dan diameter output pipa 40 mm seperti pada Gambar 4.

4. Desain eksperimen (DoE)

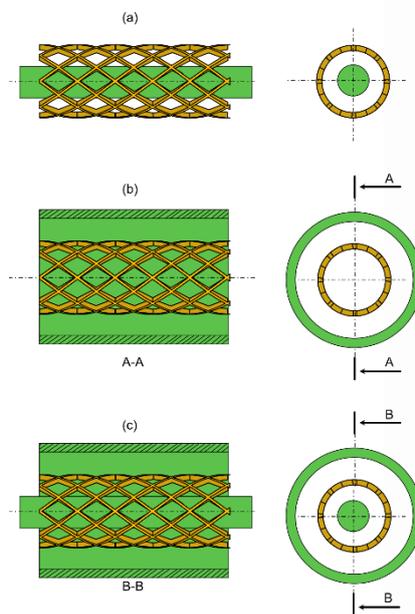
Desain eksperimen secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3. Selain itu, daerah permukaan dibedakan menjadi empat daerah seperti pada Tabel 1. Dipilihnya daerah ini karena daerah tersebut yang nantinya akan berinteraksi dengan tubuh, TO dan BO berinteraksi dengan pembuluh arteri sedangkan TI dan BI berinteraksi dengan darah, sehingga daerah ini yang akan menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Selanjutnya, dipilih beberapa titik yang

nantinya akan dianalisis diantaranya titik pertama daerah input *stent* atau bagian depan, titik kedua adalah bagian tengah *stent*, dan titik

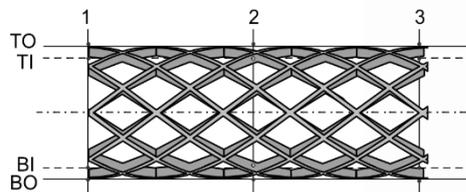
ketiga adalah bagian output *stent* seperti pada gambar 3.



Gambar 1. Model *stent* yang digunakan (a) berlubang dan (b) tanpa lubang



Gambar 2. Variasi penempatan elektroda yang digunakan pada simulasi ini (a) dalam *stent* , (b) pada bagian luar *stent* , dan (c) gabungan



Gambar 3. Daerah permukaan serta lokasi titik

Tabel 1. Daerah permukaan yang dianalisis

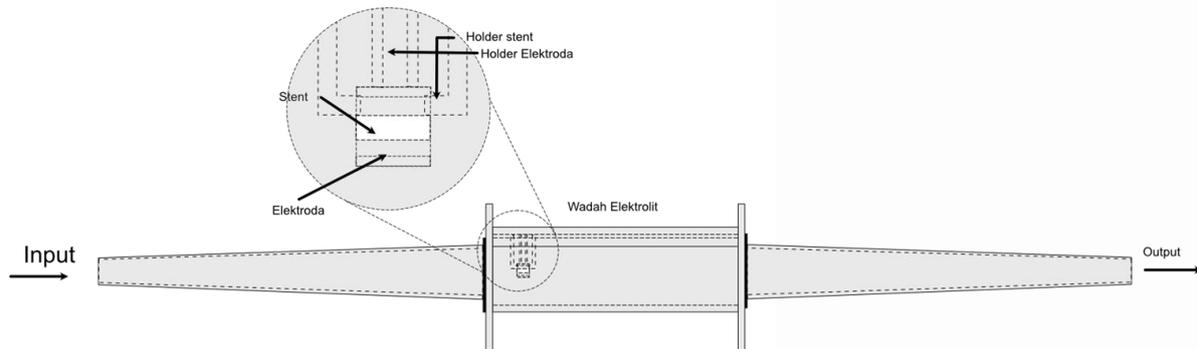
Daerah	Singkatan
Atas dan luar	TO (<i>top, outside</i>)
Atas dan dalam	TI (<i>top, inside</i>)
Bawah dan dalam	BI (<i>bottom, inside</i>)
Bawah dan luar	BO (<i>bottom, outside</i>)

5. Spesifikasi elektrolit

Cairan elektrolit yang digunakan dalam simulasi adalah Asam fosfat H_3PO_4 dengan *density* 1710 kg/m^3 . Asam fosfat memiliki nilai C_p 1340 J/(kg.K) . Secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi asam fosfat

Parameter	spesifikasi
<i>Density</i>	1710 kg/m^3
C_p	1340 J/(kg.K)
<i>Thermal Conductivity</i>	0.5 W/m K
<i>Viscosity</i>	0.0305 kg/m s



Gambar 4. Desain wadah poles elektrokimiawi

Tabel 3. Tabel Desain eksperimen (DoE)

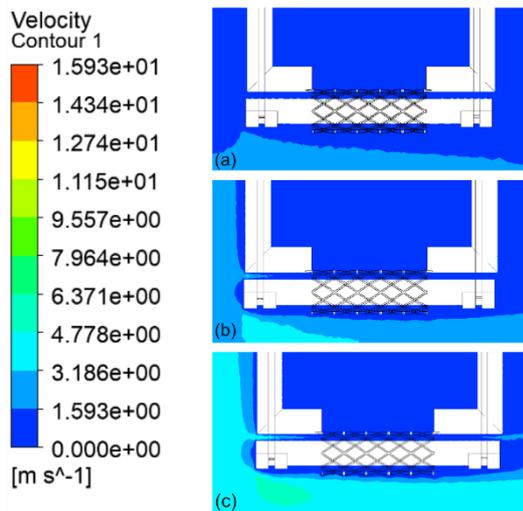
No.	Kecepatan	Bentuk <i>stent</i>	Letak elektroda
1	5 m/s	Berlubang	Dalam
2	5 m/s	Berlubang	Luar
3	5 m/s	Berlubang	Gabungan
4	10m/s	Berlubang	Dalam
5	10 m/s	Berlubang	Luar
6	10 m/s	Berlubang	Gabungan
7	15 m/s	Berlubang	Dalam
8	15 m/s	Berlubang	Luar
9	15 m/s	Berlubang	Gabungan
10	5 m/s	Tanpa Lubang	Dalam
11	5 m/s	Tanpa Lubang	Luar
12	5 m/s	Tanpa Lubang	Gabungan
13	10m/s	Tanpa Lubang	Dalam
14	10 m/s	Tanpa Lubang	Luar
15	10 m/s	Tanpa Lubang	Gabungan

No.	Kecepatan	Bentuk <i>stent</i>	Letak elektroda
16	15 m/s	Tanpa Lubang	Dalam
17	15 m/s	Tanpa Lubang	Luar
18	15 m/s	Tanpa Lubang	Gabungan

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kecepatan aliran elektrolit pada elektroda dalam

Gambar 5 dan 7 menunjukkan kontur kecepatan aliran elektrolit dengan variasi kecepatan input 5, 10, 15 m/s dengan elektroda diletakkan di bagian dalam. Pada Gambar 6 dan 8 menunjukkan arah aliran elektrolit. Pada daerah di atas *stent*, jika dilihat dari kontur, kecepatan yang terbaca tidak terlalu tinggi bahkan nol. Hal ini dikarenakan pada bagian atas *stent* terdapat *holder* sehingga elektrolit yang harusnya melewati bagian atas *stent* menjadi terpecah dan bagian atas *stent* menjadi tidak teraliri elektrolit dengan sempurna. Hal yang sama terjadi pada *stent* tanpa lubang pada Gambar 7. Gambar 7 tampak bahwa bila kecepatan dinaikkan, bagian permukaan bawah *stent* semakin tampak kontur kecepatannya.



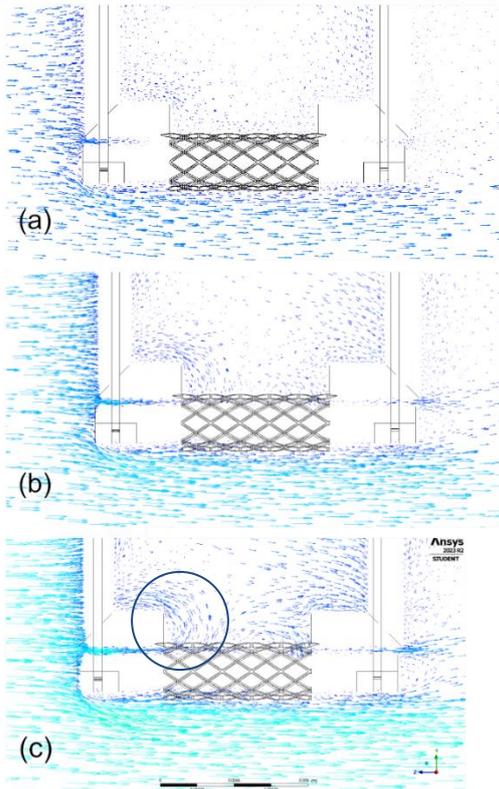
Gambar 5. Kontur kecepatan aliran elektrolit *stent* berlubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda dalam

Berbeda jika dilihat dari arah vektor alirannya. Arah aliran elektrolit pada bagian atas *stent* tampak makin terlihat saat kecepatan alirannya dinaikkan. Selain itu, elektrolit yang berasal dari dalam keluar dari *stent* tersebut jika dilihat dari *stent* dengan lubang. Hal ini dikarenakan bentuk

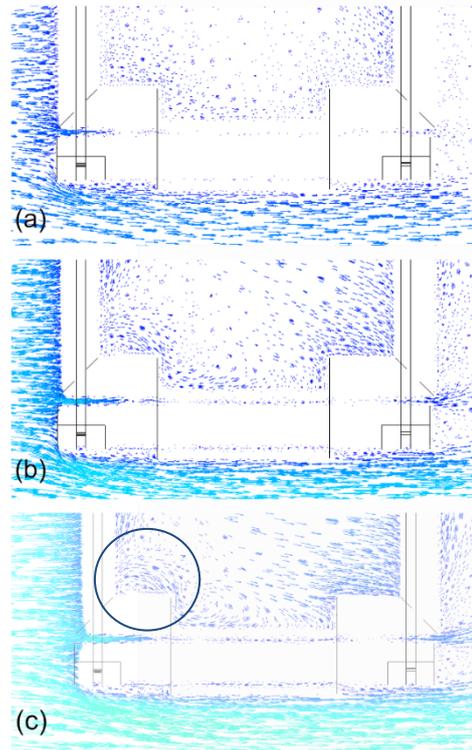
stent yang berlubang, memungkinkan elektrolit keluar ke celah-celah lubang *stent*. Seperti pada Gambar 6(c), arah aliran ini menimbulkan aliran turbulensi pada bagian atas *stent*. Berbeda jika dibandingkan dengan bentuk *stent* tanpa lubang seperti pada Gambar 8. Pada Gambar 8 tampak elektrolit mengalir dari bagian atas *holder* dan mengenai bagian permukaan atas *stent*. Terlihat pula dalam gambar ini terjadinya aliran turbulen tetapi pada bagian *holder*, bukan pada daerah *stent*.

2. Kecepatan aliran elektrolit pada elektroda luar

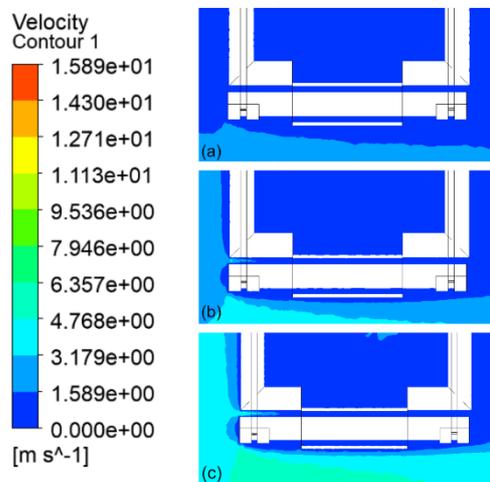
Gambar 9 dan 11 menunjukkan kontur kecepatan aliran elektrolit dengan variasi kecepatan input 5, 10, 15 m/s dan elektroda yang digunakan adalah elektroda luar. Gambar 10 dan 12 menunjukkan arah aliran elektrolit. Pada daerah atas *stent*, jika dilihat dari konturnya, tampak kesamaan seperti elektroda dalam. Tetapi pada saat kecepatan dinaikkan hingga 15 m/s, tampak perbedaan kontur seperti pada Gambar 9(c). Hal ini disebabkan aliran elektrolit baru terlihat masuk ke rongga rongga bagian atas *stent* berlubang sehingga kontur menunjukkan perbedaan warna pada daerah tersebut. Berbeda jika dilihat pada *stent* tanpa lubang, pada *stent* tanpa lubang tampak perbedaan kontur mulai terlihat pada kecepatan 10 m/s seperti Gambar 11(b). Selanjutnya, kedua jenis *stent* menunjukkan kesamaan kontur aliran pada bagian dalam *stent*. Gambar 9 (c) menunjukkan elektrolit mengalir dengan sempurna pada bagian dalam karena tidak adanya penghalang. Selain itu didapati juga hal yang sama pada bagian bawah *stent*. Pada bagian bawah *stent* tampak kontur aliran mengalir permukaan *stent* dengan sempurna.



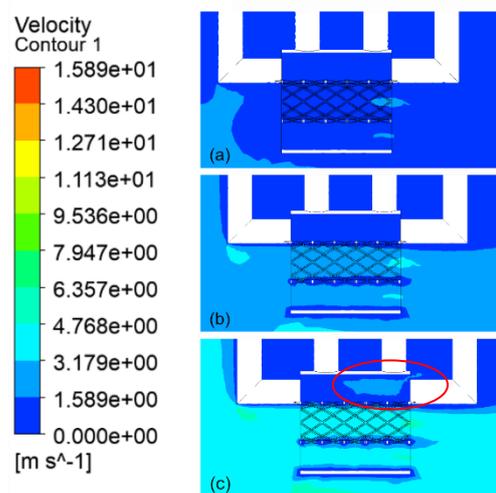
Gambar 6. Arah aliran elektrolit *stent* berlubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda dalam



Gambar 8. Arah aliran elektrolit *stent* tanpa lubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda dalam



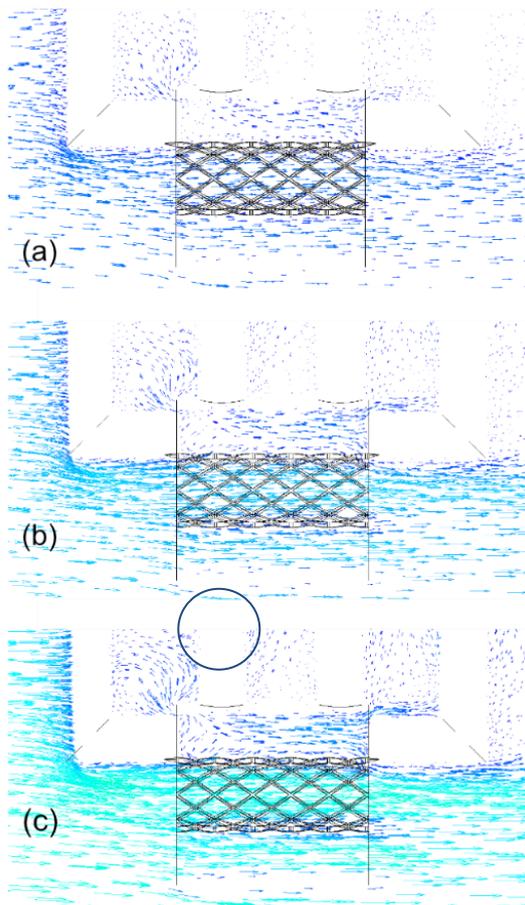
Gambar 7. Kontur kecepatan aliran elektrolit *stent* tanpa lubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda dalam



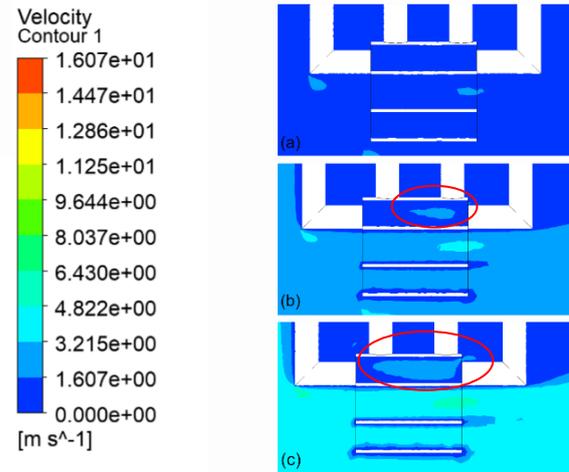
Gambar 9. Kontur kecepatan aliran elektrolit *stent* berlubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda luar

Arah aliran elektrolit pada bagian atas *stent* tampak teraliri elektrolit dari kecepatan 5 m/s. Meskipun nilainya tidak sebesar seperti pada daerah dalam dan luar *stent*, tetapi ini menunjukkan model berikut dapat digunakan untuk proses pemolesan elektrokimia. Selain itu, kedua bentuk *stent* tidak didapati daerah turbulensi seperti pada elektroda dalam. Hal ini disebabkan pada daerah terjadinya turbulensi pada elektroda dalam (Gambar 6(c) dan 8(c))

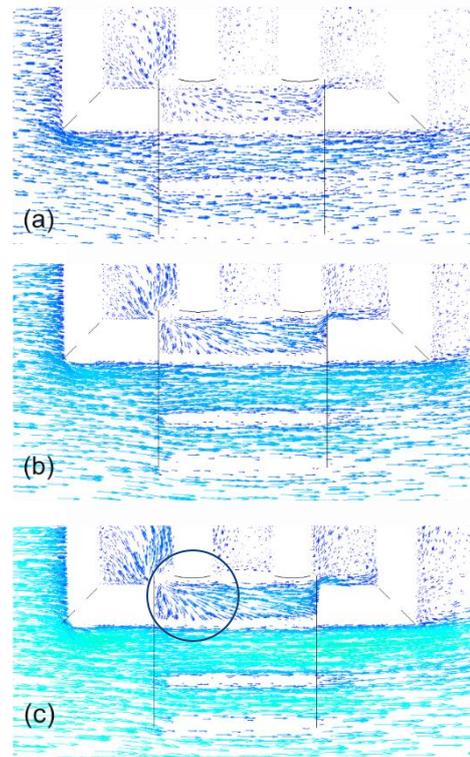
tertutupi oleh elektroda luar seperti pada Gambar 12(c). Karena itu aliran turbulensi menjadi tidak terbentuk. *Stent* tanpa lubang terlihat aliran lebih tebal. Ini disebabkan pada *stent* tanpa lubang aliran elektrolit dari atas tidak dapat turun sehingga elektrolit terlihat mengalir dominan pada daerah atas *stent*. Arah aliran terlihat berbeda jika dilihat dari *stent* dengan lubang.



Gambar 10. Arah aliran elektrolit *stent* berlubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda luar



Gambar 11. Kontur kecepatan aliran elektrolit *stent* tanpa lubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda luar



Gambar 12. Arah aliran elektrolit *stent* berlubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda dalam

3. Kecepatan aliran elektrolit pada elektroda gabungan

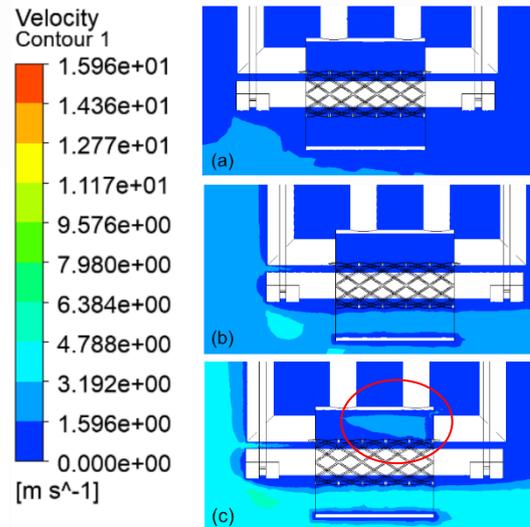
Gambar 13 dan 15 menunjukkan kontur kecepatan aliran elektrolit dengan variasi kecepatan input 5, 10, 15 m/s dan elektroda yang digunakan adalah elektroda gabungan. Gambar 14 dan 16 menunjukkan aliran elektrolit. Pada kontur alirannya, terlihat kesamaan pada *stent* berlubang dan tanpa lubang. Daerah atas *stent*

tidak teraliri elektrolit sedangkan bagian bawah *stent* teraliri. Tetapi saat kecepatan aliran dinaikkan menjadi 15 m/s, kontur pada bagian atas *stent* baru tampak. Hal ini hampir sama seperti yang terjadi pada elektroda luar. Aliran elektrolit baru terlihat masuk ke rongga rongga bagian atas *stent* berlubang sehingga kontur menunjukkan perbedaan warna pada daerah tersebut seperti pada Gambar 13(c). Hal yang sama tampak pada *stent* tanpa lubang seperti tampak pada Gambar 15 (c), tetapi ukuran kontur *stent* berlubang tampak lebih besar dari pada *stent* tanpa lubang. Hal ini disebabkan lubang pada *stent* sehingga kecepatan pada daerah dalam *stent* keluar ke bagian atas.

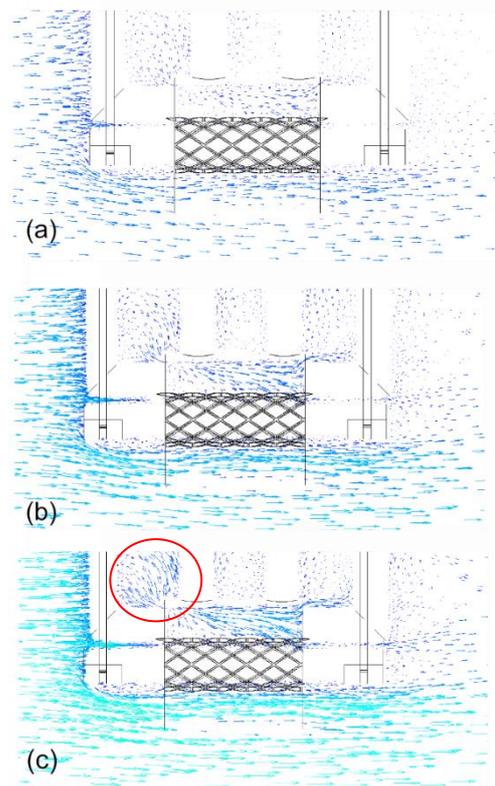
Jika dilihat dari arah alirannya, arah aliran tampak semakin jelas saat kecepatan aliran dinaikkan. Selain itu tampak juga aliran berada dibagian atas *stent*, dan bentuknya hampir mirip dengan elektroda luar. Terlihat juga aliran pada bagian atas *stent* tampak lebih dominan pada bagian belakang *stent*. Hal ini menunjukkan daerah atas *stent* bagian belakang dapat teraliri elektrolit, tetapi pada bagian depan *stent* masih sedikit dialiri elektrolit. Kedua bentuk *stent* tidak menunjukkan daerah turbulensi yang jelas. Hal ini mungkin dikarenakan terdapat elektroda luar yang menutup daerah turbulensi seperti pada elektroda dalam. Hal ini menyebabkan pada daerah tersebut tidak mengalami turbulensi. Turbulensi tampak terbentuk diluar *stent*, yaitu pada daerah *holder stent* dan elektroda seperti pada Gambar 14(c) dan 16(c).

4. Kecepatan aliran pada masing masing titik

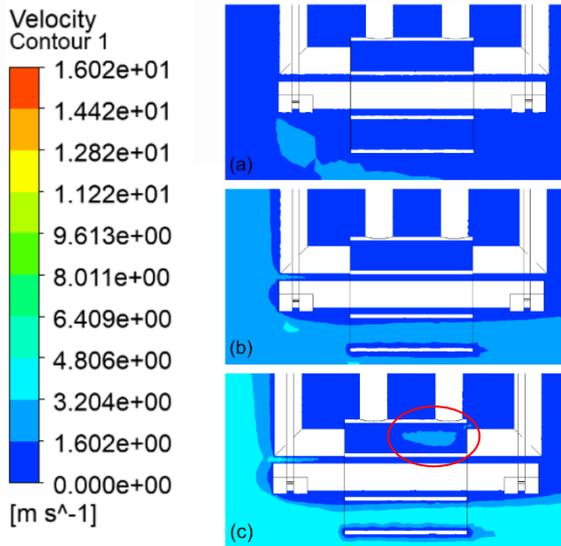
Gambar 17 menunjukkan kecepatan elektrolit yang mengalir pada permukaan *stent* tanpa lubang dengan elektroda dibagian luar *stent*. Pada Gambar 17 dapat terlihat bahwa kecepatan aliran pada titik TO 1 dan 3 nilainya selalu nol. Hal ini menunjukkan bahwa *holder stent* membuat aliran menjadi terpecah sehingga pada daerah tersebut alirannya menjadi nol.



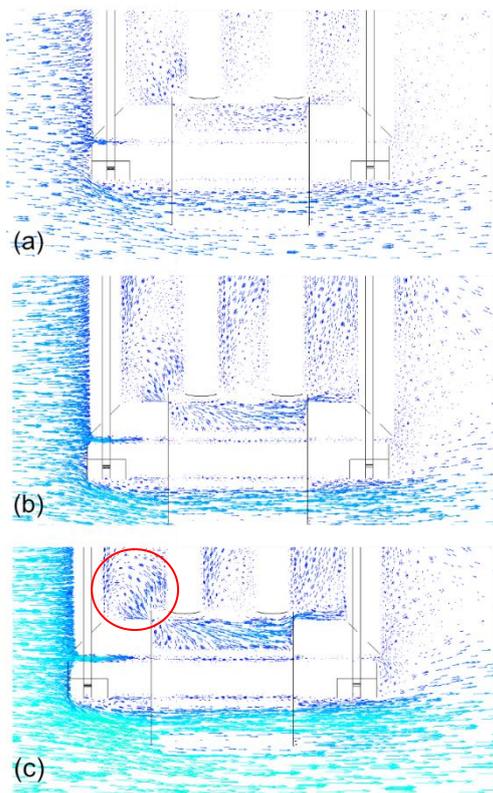
Gambar 13. Kontur kecepatan aliran elektrolit *stent* berlubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda gabungan



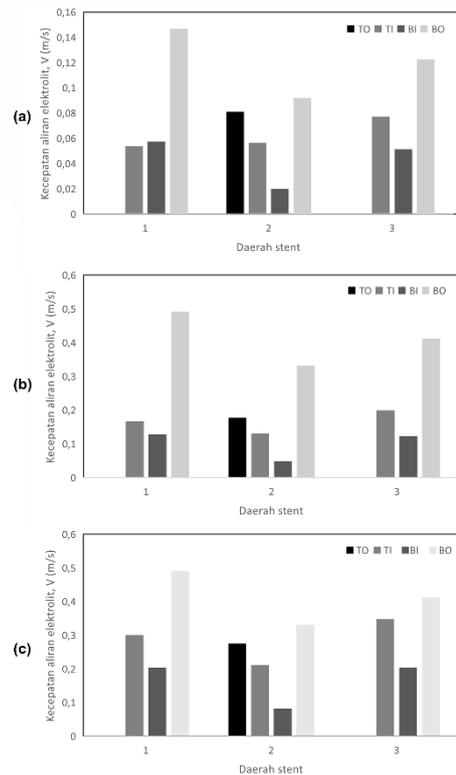
Gambar 14. Arah aliran elektrolit *stent* berlubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda gabungan



Gambar 15. Kontur kecepatan aliran elektrolit *stent* tanpa lubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda gabungan



Gambar 16. Arah aliran elektrolit *stent* tanpa lubang dengan kecepatan aliran (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda gabungan



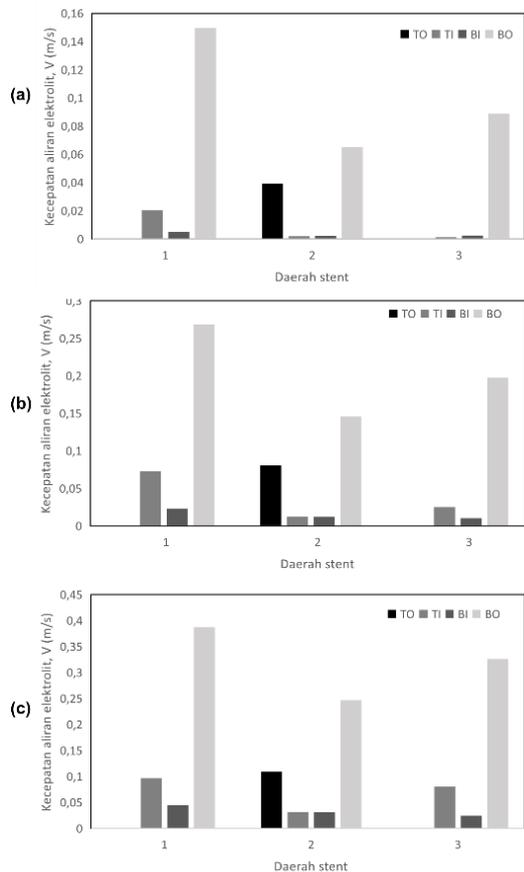
Gambar 17. Kecepatan pada masing masing daerah permukaan *stent* tanpa lubang dengan kecepatan (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda luar

Titik BO adalah daerah yang paling tinggi dilalui elektrolit untuk masing masing kecepatannya. Hal ini dikarenakan pada daerah BO, aliran tidak mengalami tabrakan sehingga aliran elektrolit dari *inlet* masih tinggi. Daerah TI dan BI memiliki kesamaan pada masing masing daerah. Terlihat nilai kecepatan pada daerah TI selalu lebih tinggi daripada BI. Hal ini disebabkan daerah TI segaris lurus dengan *input* aliran elektrolit. Daerah TI adalah daerah yang memiliki kecepatan lebih tinggi dari pada daerah BI. Tetapi pada Gambar 17(a) pada daerah 1 tampak nilai BI lebih tinggi dari pada nilai TI tetapi selisihnya tidak terlalu besar. Pada Gambar 17 nilai kecepatan tertinggi ada pada Gambar 17(c) daerah BO1 dengan kecepatan 0,491147 m/s.

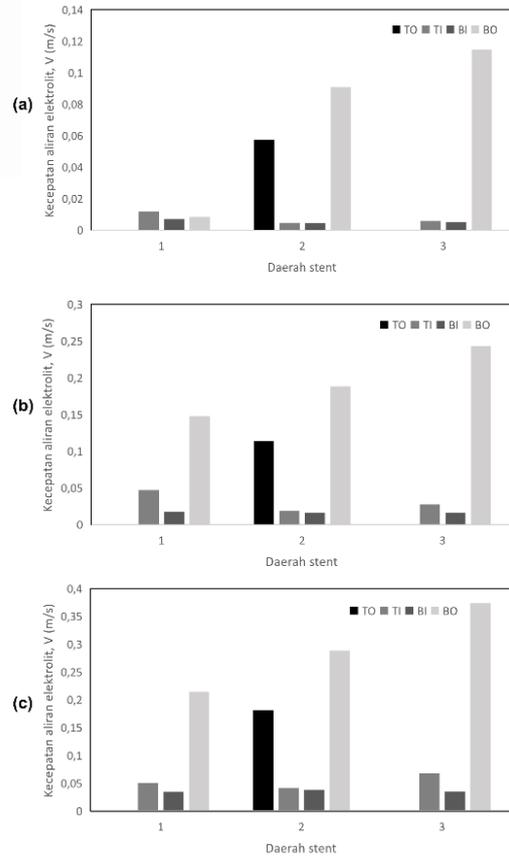
Gambar 18 menunjukkan kecepatan aliran elektrolit pada permukaan *stent* dengan elektroda dalam. Hasil pembacaan pada daerah TO memiliki grafik yang sama, yaitu nilai pada daerah 1 dan 3 nilainya nol dan kecepatan pada daerah TO hanya terbaca pada daerah 2. pada daerah 1 memiliki kesamaan pada masing masing kecepatan, tetapi pada daerah 2 nilainya hampir sama. Hal ini dikarenakan terdapat elektroda dibagian dalam *stent* sehingga kecepatan pada bagian dalam *stent* (daerah TI dan BI) memiliki kecepatan yang cenderung sama. Pola yang sama tampak pada daerah BO

dengan kecepatan tertinggi di daerah 1 lalu menurun di daerah 2, kemudian naik kembali di daerah 3. nilai kecepatan tertinggi pada model elektroda bagian dalam adalah pada Gambar 18(c) daerah BO1 dengan kecepatan 0,386966 m/s.

Gambar 19 menunjukkan kecepatan pada permukaan *stent* dengan elektroda gabungan. Daerah TO hanya terbaca pada daerah 2, sedangkan daerah 1 dan 3 nilainya masih nol. Pola yang sama muncul pada Gambar 18 bahwa pada daerah TI dan BI nilainya hampir sama pada daerah 2. Hal ini dikarenakan pada Gambar 18 dan 19 terdapat elektroda dalam *stent* sehingga kecepatan cenderung sama. Selanjutnya pola yang berbeda tampak pada Gambar 19 daerah BO dengan kenaikan pada tiap daerah 1, 2 dan 3. Kecepatan tertinggi selanjutnya ada pada Gambar 19 adalah daerah BO3 dengan kecepatan 0,373647 m/s.



Gambar 18 . Kecepatan pada masing masing daerah permukaan *stent* tanpa lubang dengan kecepatan (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda dalam

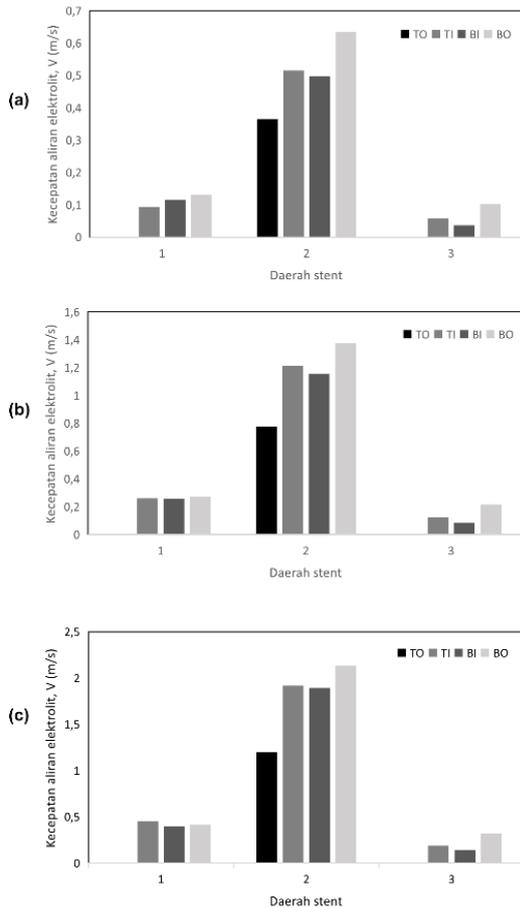


Gambar 19 . Kecepatan pada masing masing daerah permukaan *stent* tanpa lubang dengan kecepatan (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda gabungan

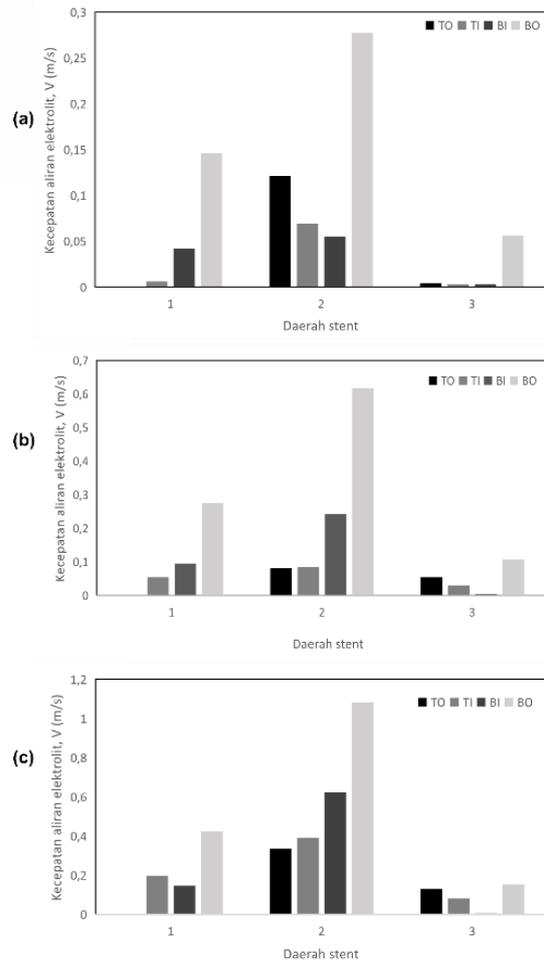
Gambar 20 menunjukkan kecepatan aliran elektrolit pada permukaan *stent* berlubang. Hasilnya menunjukkan perbedaan pada *stent* tanpa lubang. Kecepatan pada daerah 2 dimasing-masing kecepatan mengalami kenaikan yang signifikan. Hal ini disebabkan adanya lubang pada *stent* sehingga kecepatan yang awalnya ada pada bagian tengah *stent* kemudian keluar melalui lubang lubang tersebut sehingga tampak kecepatan mengalami kenaikan pada daerah 2. Kecepatan tertinggi pada Gambar 20 (c) ada pada daerah BO2 dengan kecepatan 2,13016 m/s.

Gambar 21 menunjukkan kecepatan aliran elektrolit pada elektroda dalam dengan *stent* yang berlubang. Hasil menunjukkan perbedaan yang tampak pada Gambar 21 (c) pada daerah TO3. Pada grafik grafik sebelumnya nilai TO1 dan TO3 selalu bernilai nol. Tetapi pada saat menggunakan elektroda dalam, kecepatan pada daerah TO3 mulai tampak. Hal ini dikarenakan lubang pada *stent* yang mengakibatkan kecepatan pada daerah dalam *stent* keluar sehingga kecepatan pada daerah TO3 menjadi tampak. Berbeda pada daerah TO1 masih belum tampak karena letak TO1 yang berada di dekat

holder stent sehingga aliran elektrolit terpecah dan belum sempat melewati daerah tersebut. Kecepatan tertinggi terdapat pada Gambar 21(c) masih pada daerah BO2 dengan kecepatan 1,08301 m/s.

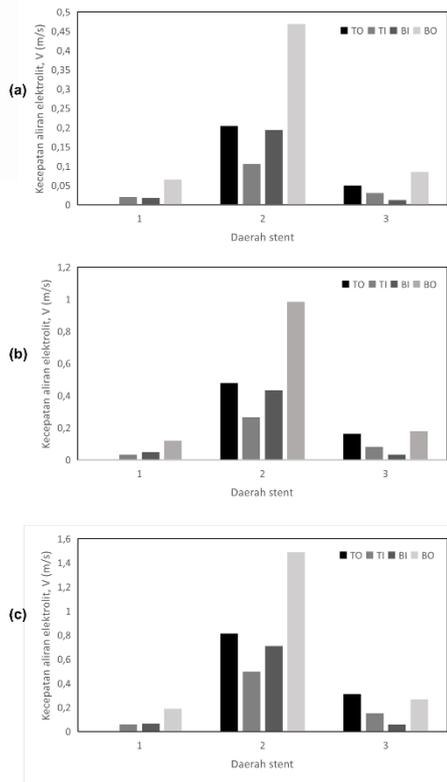


Gambar 20 . Kecepatan pada masing masing daerah permukaan stent berlubang dengan kecepatan (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda luar



Gambar 21 . Kecepatan pada masing masing daerah permukaan stent berlubang dengan kecepatan (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda dalam

Gambar 22 menunjukkan kecepatan aliran elektrolit pada elektroda gabungan dengan stent yang berlubang. Hasil menunjukkan kesamaan pada Gambar 21 bahwa pada grafik grafik yang menggunakan stent berlubang serta terdapat elektroda dibagian dalam stent. Terlihat kecepatan pada daerah TO2 dan BO2 yang paling tinggi. Hal ini disebabkan pada elektroda gabungan, terdapat elektroda pada bagian dalam stent sehingga kecepatan pada TI2 dan BI2 menjadi lebih rendah jika dibandingkan dengan TO2 dan BO2. Selain itu, bentuk lubang pada stent juga memicu aliran pada daerah 2 sehingga elektrolit yang mengalir pada bagian dalam stent ikut keluar menjadikan daerah TO dan BO mengalami peningkatan kecepatan. Hasil lain juga menunjukkan bahwa kecepatan pada daerah TO3 menjadi terlihat. Kecepatan tertinggi terdapat pada Gambar 22(c) masih pada daerah BO2 dengan kecepatan 1,48736 m/s.



Gambar 22 . Kecepatan pada masing masing daerah permukaan *stent* berlubang dengan kecepatan (a) 5 m/s, (b) 10 m/s dan (c) 15 m/s dengan elektroda gabungan

Dari keenam grafik hasil simulasi menunjukkan bahwa daerah yang paling sering teraliri elektrolit adalah daerah BO (bawah luar). Apabila daerah ini sering teraliri elektrolit dengan cepat maka pada bagian BO akan mengalami pengikisan paling banyak dan menjadi daerah paling kritis. Jika dilihat dari polanya, *stent* dengan lubang mengalami kenaikan kecepatan pada daerah BO2 (bawah luar). Hal ini akan menyebabkan penipisan pada daerah tengah *stent* sehingga bagian bawah *stent* menjadi lebih tipis dari pada bagian atas. Tetapi jika dilihat pada *stent* tanpa lubang, polanya tampak lebih dominan BO1 (bawah luar). Karena BO1 yang teraliri elektrolit lebih cepat maka pada bagian bawah terutama pada bagian depan akan mengalami penipisan lebih cepat dari pada daerah lain. Gambaran yang lebih baik akan diperoleh apabila lokasi titik pada Gambar 3 diperbanyak, sehingga semakin banyak lokasi titik akan memberikan gambaran yang lebih utuh dari proses pemolesan *stent* pada masing masing daerah.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa aliran turbulensi terbentuk pada *stent* berlubang dan elektroda dalam. Aliran turbulensi juga

terbentuk pada elektroda luar dan gabungan hanya saja letaknya diluar *stent* sehingga tidak berperpengaruh pada pemolesan *stent* nantiya. Selain itu, bagian atas *stent* tidak terpoles dengan sempurna sedangkan bagian bawah terpoles sempurna. Hal ini dikarenakan pada bagian atas *stent* terdapat holder yang menghalangi aliran elektrolit sehingga mengakibatkan daerah atas menjadi tidak teraliri dengan sempurna sehingga menghasilkan bentuk akhir *stent* yang tebal pada bagian atas sedangkan pada bagian bawah tipis. Alternatif yang mungkin bisa dilakukan adalah pada saat hendak memoles permukaan luar digunakan kecepatan yang tidak terlalu tinggi agar bagian bawah *stent* tidak terpoles dengan cepat. Selanjutnya, pada saat hendak memoles bagian dalam *stent* digunakan kecepatan tinggi. Meski teknik pengerjaan akhir permukaan ini menjanjikan untuk pemrosesan *stent*, tetapi durasi serta faktor lain juga perlu diperhatikan dalam pengaplikasiannya karena akan memengaruhi hasil dari pemolesan nantiya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pak Budi yang telah membimbing saya dalam mengerjakan jurnal ini. Selain itu, kepada orang tua, kakak dan adik yang sudah membantu saya dalam menyelesaikan jurnal ini. Terima kasih juga kepada teman teman CIMED's, yang sudah membantu berbagi masukan dan saran untuk menyelesaikan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Scafa-Udriste, A.-G. Niculescu, A. M. Grumezescu, and E. Badila, "Cardiovascular Stents: A review of past, current, and emerging devices," *Materials*, vol. 14, no. 10, p. 2498, May 2021, doi: 10.3390/ma14102498.
- [2] C. Pan, Y. Han, and J. Lu, "Structural Design of Vascular Stents: A review," *Micromachines*, vol. 12, no. 7, p. 770, Jun. 2021, doi: 10.3390/mi12070770.
- [3] E. Langi *et al.*, "Microstructural and Mechanical Characterization of Thin-Walled Tube Manufactured with Selective Laser Melting for Stent Application," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 30,

no. 1, pp. 696–710, Jan. 2021, doi:
10.1007/s11665-020-05366-9.

- [4] C.-H. Chen *et al.*, “The effect of oxalic acid as the Pre-Activator for the electropolishing of additive manufactured Titanium-Based materials and its characterization,” *Polymers*, vol. 14, no. 19, p. 4198, Oct. 2022, doi: 10.3390/polym14194198.
- [5] A. Kumar, S. Kumar, and M. Das, “Parametric investigation of electropolishing to enhance the surface characteristics of maraging steel with organic electrolytes,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 121, no. 7–8, pp. 5297–5310, Jul. 2022, doi: 10.1007/s00170-022-09695-y.
- [6] Z. Chaghazardi and R. Wüthrich, “Review—Electropolishing of Additive Manufactured metal Parts,” *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 169, no. 4, p. 043510, Apr. 2022, doi: 10.1149/1945-7111/ac6450.
- [7] S. -j. Lee, J. Lai, and Y.-R. Lin, “Simulation Of The Formation Mechanism Of A Viscous Layer For The Electropolishing Process,” *WIT Transactions on Engineering Sciences*, vol. 48, Apr. 2005, doi: 10.2495/ecor050201.
- [8] E. Pujiyulianto and S. Suyitno, “Effect of pulse current in manufacturing of cardiovascular stent using EDM die-sinking,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 112, no. 11–12, pp. 3031–3039, Jan. 2021, doi: 10.1007/s00170-020-06484-3.