

## ORIGINAL ARTICLE

# Perbandingan Efektivitas dan Keamanan Fakoemulsifikasi Torsional dan Transversal terhadap Densitas Sel Endotel pada Katarak Sedang-Keras

Nasrul Ihsan, Amir Shidik, Tjahjono D. Gondhowiardjo, Ahmad Fuady  
Departemen Ilmu Kesehatan Mata, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia  
Rumah Sakit Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta, Indonesia  
E-mail: nashruli@gmail.com

## ABSTRAK

**Tujuan:** Mengetahui efektivitas dan keamanan fakoemulsifikasi torsional dan transversal dilihat melalui parameter intraoperatif berupa *phaco time* dan parameter perioperatif berupa perubahan kepadatan sel endotel kornea dan ketebalan sentral kornea.

**Metode:** Penelitian prospektif ini menggunakan pasien katarak dengan NO 3-4 (LOCS III) yang telah dibagi menjadi dua kelompok torsional (Ozil IP®) atau transversal (Ellips FX®) menggunakan randomisasi. Keluaran utama yang dinilai adalah lama *phaco time*, *endothelial cell density* (ECD), *central corneal thickness* (CCT), tajam penglihatan jauh dikoreksi pada hari 1, 7, dan 30 hari pasca operasi.

**Hasil:** Penelitian ini menggunakan data 61 subjek dengan data karakteristik dasar yang setara. Lama *phaco time* kelompok torsional (CDE) hanya satu pertiga lama *phaco time* kelompok transversal (EFX). Besar rerata penurunan ECD pada kelompok torsional dan transversal adalah 7.9% dan 8.9%. Rerata perubahan CCT pada kelompok torsional 37.75  $\mu\text{m}$  dan kelompok transversal 42.67  $\mu\text{m}$ . Tidak ada perbedaan bermakna secara statistik pada penurunan ECD dan perubahan CCT antara kedua kelompok.

**Simpulan:** *Phaco time* kelompok torsional lebih rendah dibandingkan dengan kelompok transversal. Oleh karena adanya perbedaan algoritma pada setiap mesin berbeda dalam menghitung *phaco time*, perbandingan efektivitas antara kedua mesin tidak dapat dibandingkan secara langsung. Namun, dapat dinilai secara tidak langsung berdasarkan penilaian terhadap perubahan ECD dan CCT. Sehingga efektivitas dan keamanan antara kelompok torsional dan transversal dinilai setara.

**Kata Kunci:** Fakoemulsifikasi, torsional, transversal, kepadatan sel endotel, ketebalan kornea sentral

Operasi fakoemulsifikasi dapat memberikan waktu pemulihan lebih cepat, prediktibilitas yang tinggi, dan dapat melebihi ekspektasi pasien.<sup>1,2</sup> Energi ultrasound yang digunakan pada operasi fakoemulsifikasi menciptakan jack hammer

effects yang dapat menghancurkan materi lensa dan juga dapat merusak jaringan kornea seperti corneal burn, edema kornea, dan penurunan kepadatan sel endotel (ECD).<sup>3,4</sup>

Pada operasi fakoemulsifikasi tanpa komplikasi juga tetap dapat terjadi

penurunan sel endotel. Besar penurunan ECD dapat terjadi sekitar 4-24%.<sup>5</sup>

Kemungkinan yang terburuk komplikasi akibat adanya kerusakan sel endotel hebat adalah terjadinya *bullous keratopathy*, dimana tindakan keratoplasti merupakan satu-satunya tindakan yang dapat memperbaiki tajam penglihatan pasien tersebut. Oleh karena itu efisiensi penggunaan energi ultrasound sangat penting.

Perkembangan teknologi fakoemulsifikasi meliputi perkembangan *power modulation*, gerakan phaco tip, *infusion systems*, dan teknologi femtosecond.<sup>6</sup>

Gerakan phaco tip berkembang dari gerakan longitudinal sederhana menjadi gerakan torsional dan transversal. Gerakan torsional dan transversal dapat menciptakan *shearing effects* yang dapat meningkatkan proses emulsifikasi materi lensa sehingga energi ultrasound yang digunakan lebih sedikit dan energi panas yang terbentuk juga lebih sedikit.<sup>5,6</sup>

Mesin fakoemulsifikasi torsional saat ini disertai teknologi Intelligent Phaco (IP) pada mesin Infiniti Ozil IP® (Alcon Laboratories, Fort Worth, TX, USA). Teknologi ini menyempurnakan gerakan torsional dalam mengatasi *clogging* pada *phaco tip*. Teknologi torsional dapat menciptakan penggunaan ultrasound hingga 20% dibandingkan dengan gerakan longitudinal.<sup>5,7</sup> Fakoemulsifikasi transversal merupakan gerakan kombinasi antara gerakan longitudinal-temporal. Kombinasi gerakan ini membuat fakoemulsifikasi transversal memiliki risiko lebih kecil terjadinya *clogging*. Teknologi ini dimiliki oleh mesin Ellips FX® (Abbott Medical Optics, Santa Ana, CA, USA).

Hingga saat ini, hanya terdapat dua penelitian sebelum ini yang membandingkan secara langsung menggunakan klasifikasi LOCS III *nucleus opacities* 1-4.<sup>5,7</sup> Tujuan penelitian ini adalah ingin mengetahui perbandingan efektivitas dan keamanan kedua mesin

terhadap sel endotel kornea terbatas pada kelompok katarak sedang-keras (LOCS III grade 3-4).

## METODE PENELITIAN

### Pasien

Penelitian ini menggunakan 65 kasus katarak menggunakan metode consecutive random sampling dengan 4 subjek dilakukan eksklusi karena subjek tidak dapat memenuhi waktu kontrol terakhir. Kriteria inklusi penelitian ini adalah pasien usia minimal 40 tahun, katarak senilis imatur, nuclear opacification (NO) 3-4 (LOCS III), sedangkan kriteria eksklusi adalah pasien dengan ECD kurang dari 1500 sel/mm<sup>2</sup>, glaukoma, distrofi kornea, lensa dislokasi, sindrom pseudoexfoliation, riwayat trauma, operasi kornea mata, atau inflamasi intraokular. Seluruh subjek telah dijelaskan dan menandatangani surat persetujuan penelitian. Etik penelitian telah disetujui oleh Komite Etik Fakultas Kedokteran Indonesia dan Rumah Sakit Cipto Mangunkusumo (RSCM).

Randomisasi blok dilakukan menggunakan lempar koin menjadi dua kelompok, kelompok I adalah torsional dan kelompok II adalah transversal. Penelitian berlangsung selama bulan Oktober hingga Desember 2015. Estimasi jumlah minimal sampel penelitian ditentukan 28 subjek pada setiap kelompok, dimana menggunakan kesalahan tipe 2 sebesar 20%,  $x_1-x_2=15$  sel/mm<sup>2</sup>, dan standar deviasi 20.<sup>5</sup>

### Alur Pemeriksaan

Pemeriksaan preoperatif dilakukan pemeriksaan mata menyeluruh pada pasien, termasuk tajam penglihatan jauh dengan dan tanpa koreksi, klasifikasi katarak LOCS III, kepadatan sel endotel, dan ketebalan kornea (NonCon Robo® NSP-9900, Konan Medical, Hyogo, Japan).

Parameter intraoperatif berupa phaco time diambil dari data yang tercantum pada mesin pada setiap akhir operasi, dengan CDE untuk kelompok torsional dan EFX untuk kelompok transversal.

Pengukuran ECD dan CCT dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap kali kedatangan. Setiap kedatangan 1 hari, 7 hari, dan 30 hari pasca operasi, subjek dilakukan pemeriksaan tajam penglihatan dengan dan tanpa koreksi.

### Tindakan Fakoemulsifikasi

Seluruh operasi dilakukan oleh satu orang operator (AS) di Kirana-Rumah Sakit Cipto Mangunkusumo. Operasi menggunakan insisi 2.75 mm dan *ophthalmic viscoelastic device* Sodium hyaluronate 3.0%–chondroitin sulfate 4.0% (VisCoat®). Operator membuat *curvilinear rhexis* 5.5-6 mm. Fakoemulsifikasi menggunakan teknik *stop and chop* untuk setiap subjek. Setelah nukleus telah selesai diaspirasi, dilanjutkan aspirasi korteks dan OVD setelah pemasangan lensa tanam (IOL). Kedekatan insisi dipastikan dengan uji Seidel yang negatif.

Pengaturan mesin untuk mesin torsional (Infiniti® platform) adalah: power 100% torsional dengan IP power on; flow rate 30 ml/min; tinggi botol 100 cmH<sub>2</sub>O; the vacuum was 350 mmHg. Pengaturan mesin transversal (WhiteStar Signature® platform) adalah: power 40% transversal; flow rate 30 ml/min; tinggi botol 100 cmH<sub>2</sub>O; vacuum 350 mmHg.

Pengaturan ini tidak berubah selama penelitian ini berlangsung. Terapi pasca operasi sama untuk selueuh subjek penelitian.

### Analisis Statistik

Analisis statistik menggunakan program SPSS software® (v22.0) for Macintosh® (IBM Corporation, Armonk, NY, USA). Uji normalitas data menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Analisis parameter dilakukan pada satu kelompok dan antara

kedua kelompok menggunakan uji T-test berpasangan dan tidak berpasangan. Jika ditemukan sebaran data tidak normal, maka perhitungan menggunakan uji Wilcoxon dan Mann-Whitney.

## HASIL

Awal penelitian didapatkan total 65 subjek untuk dilakukan analisis (kelompok I, 31 mata; kelompok II, 34 mata). Kemudian 4 subjek (1 subjek kelompok I, dan 3 subjek kelompok II) tidak dapat memenuhi evaluasi terakhir dan dilakukan eksklusi. Sehingga didapatkan 30 subjek kelompok torsional dan 31 subjek kelompok transversal.

Rerata usia penelitian ini adalah 63±10 dan 62±8.2 tahun pada kelompok I dan II. Sebagian besar subjek memiliki kriteria katarak NO3. Rerata ECD kelompok I adalah 2741.9± 248 sel/mm<sup>2</sup> dan kelompok II adalah 2695.4 ±241 cells/mm<sup>2</sup>. Rerata CCT sebelum operasi adalah 488 ±26 µm dan 486 ±35 µm, pada kelompok I dan II. Tidak ada perbedaan signifikan secara statistik pada kedua data dasar tersebut.

Lama phaco time kelompok torsional (CDE) jauh lebih pendek dari kelompok transversal (EFX). Nilai median CDE kelompok torsional ditemukan 13 detik dan EFX kelompok transversal mencapai 47 detik. Perbedaan parameter intraoperatif ini dapat terjadi akibat adanya perbedaan algoritma perhitungan *phaco time* setiap mesin.

Satu subjek penelitian ini mengalami komplikasi intraoperasi berupa *posterior capsule rupture* (PCR). Subjek tersebut tetap masuk dalam analisis penelitian. Selain itu terdapat 5 subjek (2 kelompok torsional dan 3 kelompok transversal yang tidak dapat dilakukan pengukuran ECD pada hari pertama pasca operasi, namun pada subjek tersebut dapat diambil nilai CCT pada 1 hari pasca operasi.

**Tabel 1.** Perbandingan karakteristik subyek antara kedua kelompok

	Torsional n (%)	Transversal n (%)	Nilai p
<b>Jenis kelamin</b>			
Pria (%)	13 (43.3)	14 (45.2)	0.886+
Wanita (%)	17 (56.7)	17 (54.8)	
<b>Derajat katarak (LOCS III)</b>			a
NO3 (%)	20 (74.1)	23 (69.7)	0.464+
NO4 (%)	7 (25.9)	10 (30.3)	
<b>Usia</b>			
Mean ± SD	62.30 ±10.3	62.79 ±8.6	0.97*
<b>UCVA</b>			
Median (min;max)	0.20 (0.00;0.50)	0.13(0.00;0.40)	0.294**
<b>ECD (sel/mm<sup>2</sup>)</b>			
Mean ±SD	2722.31 ±253.02	2680.01 ±230.42	0.446*
<b>CCT</b>			
Median (min;max )	480 (450;539)	479 (423;552)	0.595**

+Uji Chi-Square; \*Uji T tidak berpasangan;\*\*Uji Mann-Whitney

Perubahan ECD selama kunjungan subjek pasca operasi (hari ke-1,7,dan30) dibandingkan antara kedua kelompok. Tidak ditemukan adanya perbedaan yang bermakna antara kedua kelompok ( $p>0.05$ ). Rerata penurunan ECD pada 30 hari pasca operasi pada kedua grup adalah 7.9% dan 8.9%, kelompok torsional dan transversal, tidak ada perbedaan secara bermakna antara kedua kelompok.

Perubahan CCT diukur pada satu hari pasca operasi. Terdapat perbedaan CCT yang signifikan antara satu hari pasca operasi dan pre-operasi pada setiap kelompok ( $p<0.001$ ). Pada perbandingan antara kedua kelompok, tidak ada perbedaan bermakna secara statistik ( $p>0.05$ ).

Meskipun perbedaan penurunan ECD tidak berbeda bermakna secara statistik, namun pada tampilan grafik sebaran data boxplot dapat terlihat adanya deviasi nilai

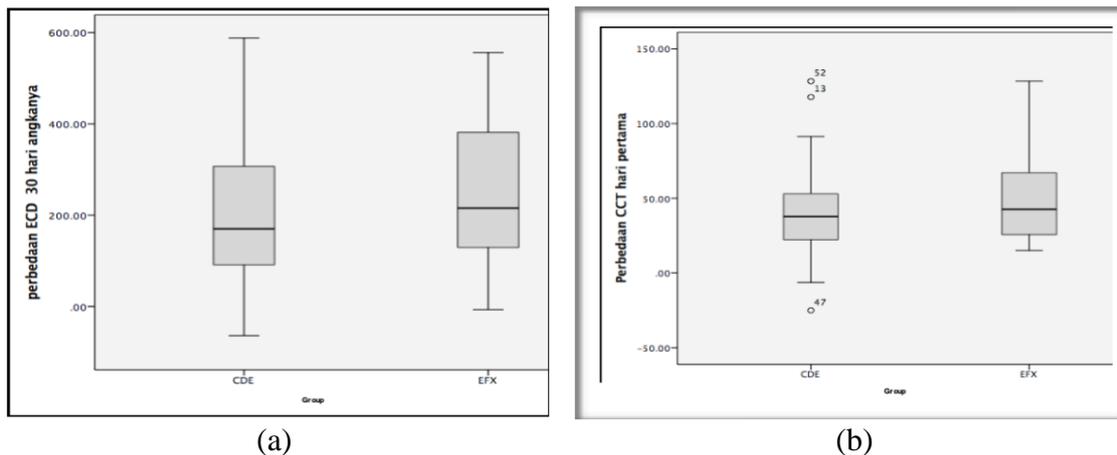
minimum dan maksimum penurunan ECD lebih besar pada kelompok torsional (Gambar 1).

Berbeda dengan grafik sebaran data boxplot ECD, pada grafik perubahan CCT kelompok transversal memiliki deviasi nilai minimum dan maximum lebih besar dari kelompok torsional. Akan tetapi pada kelompok transversal tidak memiliki nilai ekstrim dan torsional memiliki 3 nilai ekstrim.

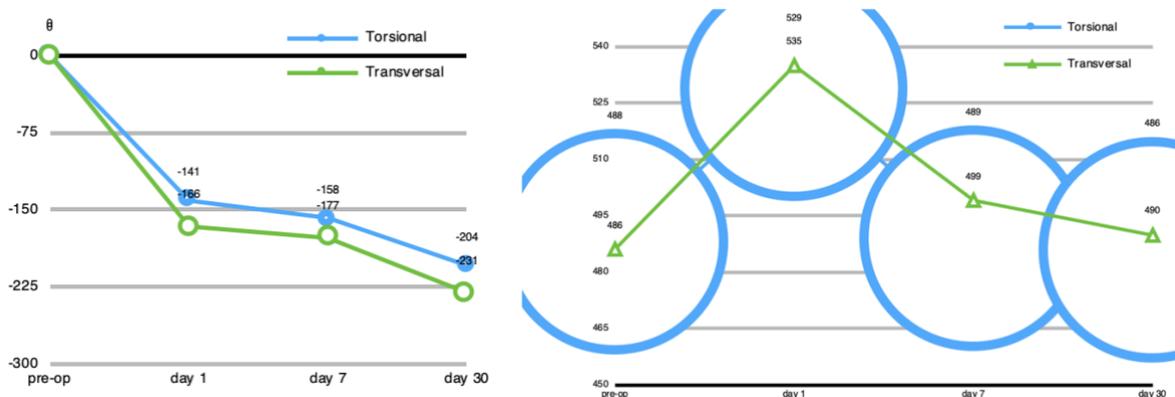
**Tabel 2.** Penurunan ECD 30 hari setelah operasi

Penurunan ECD	Torsional	Transversa l	p
Median (min;max)	170 (-64; 588)	215 (-7; 556)	0.43*
% ±SD	7.9 ± 6.2	8.9 ± 5.5	0.54*

\*Mann-Whitney test; \*\* Independent T test



**Gambar 1.** Grafik *Box plot*; (a) Penurunan ECD 30 hari pasca-operasi dan (b) Perubahan CCT hari pertama pasca-operasi



**Gambar 2.** Perubahan ECD (sel/mm<sup>2</sup>) dan CCT (µm) berdasarkan waktu kunjungan

Perbandingan perubahan ECD dan CCT kedua kelompok selama penelitian memperlihatkan penurunan ECD paling besar terjadi pada hari pertama pasca-fakoemulsifikasi. Rerata penurunan ECD kelompok transversal lebih besar 166 sel/mm<sup>2</sup> dibandingkan dengan torsional sebesar 141 sel/mm<sup>2</sup>. Hal ini juga terjadi pada peningkatan CCT satu hari pasca-fakoemulsifikasi.

**DISKUSI**

Fakoemulsifikasi merupakan teknik operasi katarak yang paling banyak digunakan karena fakoemulsifikasi dapat memberikan keuntungan dalam keamanan, prediktibilitas, dan waktu pemulihan yang lebih baik.<sup>2</sup> Namun energi ultrasound yang digunakan dalam fakoemulsifikasi

berpotensi menurunkan kepadatan sel endotel kornea. Efektivitas penggunaan energi ultrasound sangat penting dalam melindungi sel endotel yang tidak mampu regenerasi. Teknologi torsional dan transversal ini diciptakan untuk mengurangi penggunaan energi ultrasound.<sup>5,7</sup>

Karakteristik dasar subjek penelitian dalam klasifikasi katarak, usia, tajam penglihatan, ECD dan CCT tidak berbeda dan dapat dibandingkan antara kedua kelompok.

Lima subjek terjadi kornea edema pada hari pertama pasca-operasi sehingga tidak dapat dilakukan pengukuran ECD, 2 berasal dari kelompok torsional dan 3 transversal. Edema kornea setelah fakoemulsifikasi dapat disebabkan oleh kerusakan endotel, trauma instrument, atau

*scattering* partikel lensa. Penelitian oleh Assaf<sup>5</sup> dan Atas<sup>7</sup> dkk tidak menyebutkan adanya kesulitan pengukuran ECD pada hari pertama pasca fakoemulsifikasi. Marek dkk,<sup>8</sup> menyebutkan adanya 15 pasien dengan Descemet fold pasca fakoemulsifikasi menggunakan teknologi torsional.

Satu komplikasi intra-operasi berupa *posterior capsule rupture* terjadi pada penelitian ini. Namun hal ini dipikirkan terjadi bukan akibat tidak efektivitasnya salah satu mesin fakoemulsifikasi. Evaluasi terhadap terjadinya komplikasi dilakukan melalui evaluasi video operasi. Penyebab terjadinya komplikasi tersebut adalah luka insisi yang lebih lebar dari diameter phaco tip sehingga terjadi kebocoran aliran irigasi dan mengakibatkan bilik mata depan yang tidak stabil.

Subjek yang mengalami komplikasi merupakan kelompok transversal dengan kekeruhan lensa NO3 dan lama phaco time (EFX) 42 detik. Operator mengatasi hal tersebut dengan vitrektomi manual dan berhasil insersi lensa tanam. Tajam penglihatan pasca operasi adalah 1.0.

Kejadian surge dapat terjadi pasca *occlusion-break* pada *phaco tip*. Mesin torsional dan transversal pada penelitian ini telah memiliki perangkat lunak untuk mengatasi *surge post occlusion-break*. Subjek penelitian Atas dkk<sup>5</sup>, dan Assaf dkk<sup>7</sup>, tidak disebutkan adanya kejadian komplikasi.

Hal yang menarik pada penelitian ini adalah didapatkannya lama phaco time pada kelompok torsional hampir sepertiga lama phaco time kelompok transversal, dengan median 13 detik dan 47 detik pada masing-masing kelompok. Data lama *phaco time* tidak disebutkan dan tidak dibandingkan pada penelitian sebelumnya oleh Assaf dan Atas dkk. Disebutkan alasan mereka tidak mencari data phaco time karena adanya perbedaan mendasar dalam cara menghitung phaco time pada masing-masing mesin.

Perbedaan perhitungan pada mesin torsional dimana terdapat faktor pengali sebesar 0.4 kali dan faktor pengali ini tidak dimiliki oleh mesin transversal. Faktor pengali ini diambil dari perbandingan efektivitas gerakan longitudinal dengan gerakan torsional, bukan dari hasil perbandingan dengan mesin transversal.<sup>5,7,8</sup>

Perbedaan algoritma pada rumus perhitungan *phaco time* setiap mesin menjadikan lama *phaco time* tidak dapat dibandingkan secara langsung untuk menilai efektivitas fakoemulsifikasi. Oleh karena itu, penilaian efektivitas fakoemulsifikasi dibandingkan secara tidak langsung dengan membandingkan keluaran pasca fakoemulsifikasi.

Lama phaco time menjadi salah satu faktor besar penyebab kerusakan sel endotel kornea. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa meskipun data lama phaco time kedua mesin berbeda, namun perubahan sel endotel dan peningkatan CCT tidak berbeda bermakna.

Penurunan ECD pada penelitian ini setara dengan penelitian sebelumnya, Atas dkk<sup>5</sup>, dimana penurunan ECD 6% kelompok torsional dan 7% kelompok transversal. Berbeda dengan penelitian ini, penelitian tersebut menggunakan kriteria kekeruhan lensa NO 1-4 (LOCS III) dengan rerata kekeruhan lensa ringan (NO2).<sup>7</sup> O'Brien dkk<sup>9</sup> mendapatkan penurunan ECD sebesar 7.2% pada fakoemulsifikasi torsional. Perbedaan tingkat kekeruhan katarak berbanding lurus dengan penurunan ECD, semakin keras katarak semakin besar penurunan ECD. Hal ini dibuktikan oleh Tansu dkk<sup>10</sup> yang melakukan penelitian fakoemulsifikasi menggunakan katarak keras (NO 4-5) dengan penurunan ECD mencapai 35%.

Penurunan kepadatan ECD antara kedua kelompok tidak berbeda bermakna secara statistik ( $p > 0.05$ ). Hal ini serupa dengan hasil Atas dkk<sup>7</sup> dan Assaf dkk<sup>5</sup>. Perbedaan ECD dan CCT sebelum dan sesudah fakoemulsifikasi berbeda

bermakna ( $p < 0.001$ ). Namun pada perbandingan penurunan ECD hari ke-1, ke-7, dan ke-30 antara kedua kelompok tidak berbeda bermakna ( $p > 0.05$ ). Besar penurunan ECD pada penelitian ini cukup baik dengan kelompok torsional sebesar 170 sel/mm<sup>2</sup> (8%) dan transversal 215 sel/mm<sup>2</sup> (9%).

Hasil penelitian oleh Assaf dkk<sup>5</sup> sangat baik dimana penurunan ECD hanya 2% dan 1,7% pada torsional dan transversal. Penyebab terjadinya perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan teknik fakoemulsifikasi, viscoelastic yang digunakan, dan katarak lunak.

Perubahan CCT pasca fakoemulsifikasi berkaitan dengan kerusakan yang terjadi pada endotel kornea. Penurunan akut ECD terjadi pada hari pertama pasca fakoemulsifikasi, dengan penurunan ECD kelompok transversal lebih besar dari kelompok torsional. Temuan ini berbanding lurus dengan perubahan CCT yang terjadi lebih besar pada kelompok transversal.

Perubahan CCT satu hari pasca-operasi tidak berbeda bermakna antara kedua kelompok, 37  $\mu$ m dan 42  $\mu$ m untuk torsional dan transversal. Hasil ini sesuai dengan yang didapatkan oleh Assaf dkk<sup>5</sup>. Berbeda dengan hasil ini, Atas dkk<sup>7</sup> dan Christakis dkk<sup>11</sup> menyebutkan adanya perbedaan perubahan CCT antara kelompok torsional dan transversal.

Penelitian ini menggunakan tiga kali pengukuran ECD dan CCT pada setiap kunjungan pasien dengan tujuan untuk menurunkan bias pengukuran. Sebaran data minimum dan maksimum penurunan ECD kelompok torsional lebih luas dibandingkan dengan data transversal. Namun pada sebaran data minimum dan maksimum perubahan CCT kelompok torsional lebih kecil dari transversal. Hal ini dapat terjadi karena adanya 3 data subjek dengan nilai ekstrim pada kelompok torsional, jika nilai tersebut dimasukkan maka sebaran data minimum dan maksimum kelompok

torsional menjadi lebih luas dari kelompok transversal. Hal ini menjadi sesuai dengan temuan sebaran data perubahan ECD.

Meskipun efektivitas mesin fakoemulsifikasi torsional dan transversal tidak dapat dibandingkan secara langsung, namun dapat dinilai secara tidak langsung dengan mengukur keadaan kornea pasca fakoemulsifikasi. Semakin efektif suatu mesin diharapkan hasil yang lebih baik atau kerusakan endotel lebih minimal. Efektivitas mesin torsional dan transversal pada penelitian ini ditemukan setara tidak berbeda bermakna. Penelitian lanjutan dengan membandingkan parameter intraoperatif seperti lama waktu operasi, volume cairan yang digunakan, atau frekuensi surge mungkin dapat semakin mempertajam penilaian terhadap perbandingan efektivitas kedua mesin.

### Sponsorship

Peneliti tidak memiliki keterikatan terhadap suatu produk atau mesin yang digunakan pada penelitian ini dan tidak mendapat sponsorship dari pihak mana pun.

### REFERENSI

1. Ruit S, Tabin G, Chang D, Bajracharya L, Kline DC, Richheimer W, dkk. A prospective randomized clinical trial of phacoemulsification vs manual sutureless small-incision extracapsular cataract surgery in Nepal. *Am J Ophthalmol.* 2007;143: 32-8
2. Soekardi I, Hutaaruk J. Pendahuluan. *Transisi Menuju Fakoemulsifikasi.* Jakarta: Granit; 2004. p. 1-7
3. Kim DH, Wee WR, Lee JH, Kim MK. The comparison between torsional and conventional mode phacoemulsification in moderate and hard cataracts. *Korean J Ophthalmol : KJO.* 2010;24: 336-40
4. Baradaran-Rafii AMR-K, Eslani M, Kiavash V, Karimian F. Effect of hydrodynamic parameters on corneal endothelial cell loss after phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35: 732-7
5. Assaf A MMR. Comparative analysis of corneal morphological changes after transversal and torsional phacoemulsification through 2.2 mm corneal incision. *Clin Ophthalmol.* 2013;7: 55-61

6. Vasavada AR VV. Fundamentals of Power Modulation. *Cataract & Refractive Surgery Today Europe*. 2014: 69-71
7. Atas M, Demircan S, Karatepe Hashas AS, Gulhan A, Zararsiz G. Comparison of corneal endothelial changes following phacoemulsification with transversal and torsional phacoemulsification machines. *Int J of ophthalmol*. 2014;7: 822-7
8. Rekas M, Montes-Mico R, Krix-Jachym K, Klus A, Stankiewicz A, Ferrer-Blasco T. Comparison of torsional and longitudinal modes using phacoemulsification parameters. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35: 1719-24
9. O'Brien PD, Fitzpatrick P, Kilmartin DJ, Beatty S. Risk factors for endothelial cell loss after phacoemulsification surgery by a junior resident. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30:839–843.
10. Gonen T, Sever O, Horozoglu F, Yasar M, Keskinbora KH. Endothelial cell loss: Biaxial small-incision torsional phacoemulsification versus biaxial small-incision longitudinal phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38(11):1918-24
11. Christakis PG, Braga-Mele RM. Intraoperative performance and postoperative outcome comparison of longitudinal, torsional, and transversal phacoemulsification machines. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38:234–241.