



Pengukuran Diameter Selubung Nervus Optikus (*Optic Nerve Sheath Diameter*) Berbasis Ultrasonografi: Metode Pemantauan Tekanan Intrakranial Non-invasif Selanjutnya?

Andy Santoso Hioe

RS Santo Vincentius Singkawang, Kalimantan Barat, Indonesia

ABSTRAK

Pemantauan tekanan intrakranial dibutuhkan sebagai upaya untuk menghindari kerusakan otak sekunder. Pemeriksaan baku emas untuk pemantauan ini masih bersifat invasif dan meningkatkan risiko infeksi dan perdarahan. Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan non-invasif yang dapat menggambarkan tekanan intrakranial secara kontinu. Salah satu pemeriksaan tersebut adalah pengukuran diameter selubung nervus optikus berbasis ultrasonografi. Pemeriksaan ini telah terbukti mempunyai sensitivitas dan spesifisitas yang baik dan berkorelasi baik dengan tekanan intrakranial. Pemeriksaan ini juga murah, aman, cepat, dan dapat diulang.

Kata kunci: ONSD, tekanan intrakranial, ultrasonografi

ABSTRACT

Intracranial pressure monitoring is important to prevent secondary brain injury. The "gold standard" measurement is still invasive and with infection and haemorrhage risks. Hence, non-invasive measurement of intracranial pressure is needed. One of the measurements is ultrasonographic measurement of optic nerve sheath diameter. This method has been proven to have high sensitivity and specificity and has a good correlation to intracranial pressure. It is also a low-cost, safe, quick, and easily repeatable measurement. **Andy Santoso Hioe. Ultrasonographic Measurement of Optic Nerve Sheath Diameter – the Next Non-invasive Intracranial Pressure Monitoring?**

Keywords: Intracranial pressure, ONSD, ultrasonography

PENDAHULUAN

Peningkatan tekanan intrakranial merupakan salah satu penyebab utama kerusakan otak sekunder dengan morbiditas dan mortalitas tinggi. Didefinisikan sebagai tekanan sebesar ≥ 20 mmHg, peningkatan tekanan intrakranial dapat disebabkan oleh cedera kepala, perdarahan intraserebral, perdarahan subaraknoid, hidrosefalus, meningitis, stroke, dan lain-lain.¹ Gejala-gejala klinis peningkatan tekanan intrakranial berupa nyeri kepala, penurunan kesadaran, dan muntah, tidak dapat menggambarkan derajat peningkatan.^{1,2}

Standar utama pengukuran tekanan intrakranial saat ini adalah menggunakan kateter intraventrikular yang dihubungkan ke monitor untuk memperlihatkan nilai rata-rata tekanan intrakranial.¹⁻³ Teknik yang diperkenalkan sekitar tahun 1980 ini terbukti paling akurat mengukur tekanan intrakranial dan dapat digunakan untuk drainase cairan

serebrospinal terapeutik dan akses obat.² Namun, teknik invasif ini memiliki risiko tinggi seperti infeksi dan perdarahan otak yang dapat memperparah keluaran. Insiden infeksi otak berkisar antara 1-20% dan komplikasi perdarahan otak dapat mencapai 6-7%.¹ Selain itu, risiko "salah tempat" (*misplacement*) kateter, penentuan titik nol yang berbeda-beda, dan tersumbatnya kateter oleh debris juga menjadi hambatan akurasi pengukuran menggunakan kateter intraventrikular.¹

Oleh karena itu, fokus utama peneliti di bidang *neurocritical care* dalam beberapa tahun terakhir adalah menemukan cara pengukuran tekanan intrakranial non-invasif dengan tingkat akurasi tinggi. Beberapa metode yang telah diteliti antara lain *CT-scan*, MRI (*magnetic resonance imaging*), dan penghantaran tekanan intrakranial tak langsung (*indirectly transmitted ICP*), dan ultrasonografi.¹

CT-scan kepala merupakan metode

pengukuran tekanan intrakranial non-invasif yang umum, namun pemeriksaan ini tidak dapat memantau perubahan tekanan intrakranial secara kontinu mengingat paparan radiasinya. MRI juga dapat mengukur tekanan intrakranial secara tidak langsung, namun pemeriksaan ini mahal dan menguras waktu, sehingga kurang aplikatif dalam keadaan gawat darurat. Pengukuran tekanan intrakranial dengan pendekatan respons membran timpani bergantung pada patensi *aqueductus cochlea*, dan pengukuran tekanan intrakranial berbasis telinga kurang aplikatif secara klinis.²

Selain pemeriksaan non-invasif di atas, pengukuran diameter selubung nervus optikus (*optic nerve sheath diameter*) menjadi salah satu teknik yang sedang diteliti.^{3,4} Selubung nervus optikus terhubung dengan lapisan meninges dan terisi cairan serebrospinal, sehingga pemeriksaan ini dapat menggambarkan secara tidak langsung

Alamat Korespondensi email: andysantosohioe@gmail.com



perubahan tekanan intrakranial. Pengukuran diameter selubung nervus optikus dengan pendekatan ultrasonografi mempunyai beberapa keuntungan potensial sebagai pemeriksaan yang kontinu, praktis dan ekonomis, tanpa risiko radiasi.^{3,5}

Anatomi Selubung Nervus Optikus

Selubung nervus optikus merupakan bagian dari lapisan meninges yang menyelubungi nervus optikus sampai ke bulbus okuli. Selubung ini dapat dibagi menjadi tiga segmen, yaitu segmen bulbar, segmen mid-orbital, dan segmen intrakanalikular. Segmen bulbar nervus optikus mempunyai pembesaran ruang subaraknoid (ampulla);⁶ sebagian besar komposisi segmen ini adalah trabekula-trabekula araknoid yang saling bertautan. Ruang subaraknoid pada segmen mid-orbital lebih kecil daripada segmen retrobulbar. Komposisi segmen mid-orbital sebagian besar terisi septa-septa lebar yang menjalar ke berbagai arah dan pilar-pilar berbentuk bulat yang menempel pada lapisan dura dan pia mater. Segmen intrakanalikular tersusun oleh satu atau dua pilar dengan diameter lebih besar daripada pilar segmen mid-orbital. Pada segmen ini juga dapat ditemukan trabekula-trabekula. Ruang subaraknoid pada segmen bulbar merupakan yang terlebar dari ketiga segmen dan mempunyai susunan trabekula yang padat. Ruang tersebut kemudian menyempit pada segmen mid-orbital dan makin menyempit pada segmen intrakanalikular.⁶

Selain memiliki arsitektur mikroskopis yang hampir mirip dengan lapisan meninges di sistem saraf pusat, selubung ini juga dialiri cairan serebrospinal pada ruang subaraknoid. Cairan serebrospinal yang dihasilkan oleh pleksus koroideus mengalir dari ventrikel-ventrikel di otak, melalui kanalis dan foramen-foramen. Setelah melewati foramen Luschka dan foramen Magendie, cairan serebrospinal memasuki sisterna magna, lalu menuju sisterna suprasellar (*chiasmatal cistern*) sampai ke ruang subaraknoid selubung nervus optikus. Karena ruang subaraknoid selubung ini terhenti di belakang bulbus okuli, cairan serebrospinal kembali mengalir ke sisterna agar dapat diserap oleh vili araknoid. Meskipun terdapat sistem penyerapan cairan serebrospinal di lapisan dura nervus optikus, sistem ini terbukti tidak adekuat untuk menyerap kelebihan cairan serebrospinal tersebut.⁷

Mengingat kompartemen-kompartemen cairan serebrospinal terhubung satu sama lain, tekanan di seluruh kompartemen tersebut adalah sama. Jika terjadi peningkatan tekanan intrakranial, kompartemen cairan serebrospinal terdilatasi; selubung nervus optikus juga mengalami dilatasi terutama pada segmen bulbar karena segmen tersebut mempunyai komplians yang tinggi.⁸

PEMBAHASAN

Pengukuran Diameter Selubung Nervus Optikus Non-invasif

Dilatasi selubung nervus optikus saat tekanan intrakranial meningkat telah diketahui dari beberapa penelitian patologi.⁸ Sebelum adanya pemeriksaan radiologi, papilledema dapat menunjukkan peningkatan tekanan intrakranial, namun kondisi tersebut terlihat setelah peningkatan tekanan intrakranial terjadi dalam beberapa jam atau hari. Dilatasi selubung nervus optikus telah diteliti terjadi dalam beberapa detik, sehingga peningkatan tekanan intrakranial dapat diketahui sedini mungkin.^{5,9}

Dilatasi selubung nervus optikus dapat dinilai secara tidak langsung dari pencitraan *CT-scan* kepala, MRI, atau ultrasonografi.^{1,9,10} *CT-scan* kepala, dikombinasikan dengan gejala dan tanda klinis, dapat menjadi petunjuk awal diagnosis dan penentuan penatalaksanaan selanjutnya. *CT-scan* juga dapat melihat abnormalitas otak lain seperti kelainan bentuk sisterna dan ventrikel, *midline shift*, hematoma, dan diferensiasi substansia grisea/alba. Sekhon, *et al*,⁹ menunjukkan bahwa pengukuran diameter selubung nervus optikus dengan modalitas *CT scan* mempunyai nilai prediksi yang lebih kuat dibandingkan gambaran CT tradisional dari hipertensi intrakranial (hilangnya gambaran sisterna dan sulkus, kompresi ventrikel, herniasi otak). Selain itu, *CT scan* tersedia di sebagian besar rumah sakit.¹⁰

Kekurangan *CT scan* kepala untuk mengukur diameter selubung nervus optikus antara lain mempunyai sensitivitas dan spesifisitas rendah dan meningkatkan paparan radiasi, sehingga tidak dapat sering diulang.^{1,9} Dalam penelitian Sekhon, *et al*, modalitas ini mempunyai spesifisitas rendah, sehingga rentan terhadap hasil positif palsu. Kemungkinan penyebab rendahnya spesifisitas tersebut karena perbedaan populasi pasien,

perbedaan kemampuan modalitas itu sendiri atau gabungan dari keduanya.⁹

MRI juga dapat mengukur selubung nervus optikus. Dengan pencitraan mirip *CT scan*, MRI dapat mengukur dilatasi selubung nervus optikus dengan lebih akurat dan menghindari paparan radiasi. Selain itu, MRI juga dapat mengukur peningkatan tekanan intrakranial melalui penilaian elastansi intrakranial dengan cara mengukur fluktuasi volume dan tekanan intrakranial yang terjadi setiap siklus jantung.¹ Kekurangan pemeriksaan MRI dalam mengukur selubung nervus optikus salah satunya memerlukan teknik koreksi untuk mencegah artefak akibat *chemical shift* atau pergerakan bola mata. Selain itu, pemeriksaan ini membutuhkan waktu yang cukup lama, sehingga tidak cocok digunakan saat darurat. Pemeriksaan ini juga membutuhkan biaya besar.^{1,8}

Ultrasonografi sebagai Pendekatan Pengukuran Tekanan Intrakranial Non-invasif

Untuk menutupi kekurangan-kekurangan pemeriksaan non-invasif lainnya, beberapa peneliti melakukan pendekatan ultrasonografi untuk mengukur tekanan intrakranial. Doppler transkranial dan pengukuran diameter selubung nervus optikus menjadi perhatian karena efisiensi, efektivitas, dan biayanya rendah.³⁻⁵

Metode Doppler transkranial (*transcranial Doppler/TCD*) dapat mengukur tekanan intrakranial dengan menilai sirkulasi dan dinamika serebrovaskular. Melalui jendela-jendela tengkorak (*cranial windows*), TCD menilai peningkatan tekanan intrakranial secara tak langsung melalui penilaian indeks pulsatilitas (*pulsatility index*) dan tekanan perfusi otak (*cerebral perfusion pressure*).¹ Beberapa keuntungan TCD sebagai alat pengukur tekanan intrakranial non-invasif, sama seperti pendekatan lain yang berbasis ultrasonografi seperti biaya relatif rendah, relatif bebas risiko, mobilitas tinggi, dapat diulang, dan cocok dalam kondisi gawat darurat.¹¹

Namun, masih banyak hal yang perlu dikembangkan dari pendekatan TCD ini karena beberapa kekurangan seperti reduksi transmisi sinyal melalui tulang tengkorak, linearitas dan stabilitas sinyal selama



pemeriksaan. Selain itu, pendekatan ini hanya terbatas untuk deteksi perubahan tekanan intrakranial akibat perubahan vasogenik, yang berarti menurunnya akurasi jika perubahan tekanan intrakranial disebabkan oleh gangguan sirkulasi cairan serebrospinal atau karena meningkatnya volume parenkim otak.¹¹ Disebutkan pula 8% populasi mempunyai jendela akustik tengkorak (*cranial acoustic window*) yang tidak adekuat untuk mengukur insonasi arteri.¹¹

Pendekatan ultrasonografi lain yang diminati akhir-akhir ini adalah pengukuran diameter selubung nervus optikus berbasis USG. Pemeriksaan ini pertama kali dicetuskan oleh Hansen dan Helmke yang mengamati adanya peningkatan diameter selubung nervus optikus pada kondisi-kondisi yang menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan intrakranial.⁹ Pada penelitian *in vitro* mereka menggunakan spesimen nervus optikus beserta selubungnya; diameter selubung nervus optikus bertambah saat selubung tersebut disuntik dengan gelatin hangat agar menyerupai kondisi fisiologis. Pada daerah P3 yang terletak 3 mm dari bulbus okuli, mereka mendapatkan distensi selubung nervus optikus maksimal dibandingkan sepanjang nervus optikus.⁸ Daerah ini juga merupakan daerah dengan fluktuasi maksimum diameter selubung nervus optikus. Hal ini dikaitkan dengan tidak meratanya distribusi trabekula araknoid dan rendahnya kepadatan trabekula araknoid pada ruang retrobulbar.¹²

Pada beberapa penelitian, pengukuran diameter selubung nervus optikus dilakukan pada posisi terlentang dengan elevasi kepala 30°, dilakukan pada kedua mata dengan dua sampai empat kali sampel pengukuran. Pengukuran diameter selubung nervus optikus menggunakan *probe* linier 5-13 MHz sampai ditemukan gambaran paling jelas dari selubung nervus optikus dengan mode biner (*Binary mode, B-mode*). Pengukuran diameter dilakukan 3 mm dari papilla mata.^{3,5,8,13,14}

Robba, *et al*, menemukan adanya hubungan kuat antara hasil pengukuran tekanan intrakranial dari pengukuran selubung nervus optikus dan hasil pengukuran dengan metode invasif. Pengukuran diameter selubung nervus optikus juga mempunyai variabilitas intra- dan antar-operator yang rendah.¹²

Rajajee, *et al*, juga menyampaikan bahwa pengukuran diameter selubung nervus optikus berbasis ultrasonografi mempunyai nilai prediksi negatif (NPV) yang tinggi, sehingga berguna untuk menyingkirkan adanya hipertensi intrakranial pada pasien unit rawat intensif dengan komorbid neurologis dan medis multipel. Dalam penelitian Rajajee, *et al*, pengukuran dapat dilakukan pada kasus-kasus pasien yang mengalami kerusakan otak akut (*acute brain injury*) seperti perdarahan subaraknoid, trauma, perdarahan intraserebral, tumor otak, dan malfungsi dari *VP shunt*. Di tangan operator berpengalaman, spesifisitas dan sensitivitas pengukuran berbasis ultrasonografi ini dapat mencapai masing-masing 96% dan 94%. Rajajee, *et al*, juga menyebutkan tiap pengukuran ini dapat dilakukan dalam dua menit, sebuah variabel penting dalam kegawatdaruratan neurologi.⁵

Dalam penelitiannya, del Saz-Saucedo, *et al*, menyatakan bahwa teknik pengukuran ini mempunyai *false negative rate* 5,3%, menunjukkan kemampuan yang baik untuk menegakkan diagnosis. Selain itu, terdapat korelasi positif moderat antara pengukuran diameter selubung nervus optikus dan tekanan intrakranial yang diukur dengan pungsi lumbal, terutama pada nilai tekanan intrakranial derajat ringan dan sedang, sedangkan pada derajat kenaikan tekanan intrakranial berat, korelasi ini berkurang. Hal ini karena pada beberapa penelitian *in vitro* selubung nervus optikus, terdapat efek langit-langit (*ceiling effect*) dan terbatasnya distensibilitas selubung nervus optikus pada nilai tekanan intrakranial sangat tinggi.¹³ Mereka juga dapat membuktikan bahwa diameter selubung nervus optikus dapat berkurang signifikan dan segera setelah peningkatan tekanan intrakranial ditangani dengan pungsi lumbal terapeutik. Hal ini menandakan respons cepat nilai diameter selubung nervus optikus terhadap perubahan cepat dari tekanan intrakranial.¹³

Pemeriksaan selubung nervus optikus berbasis ultrasonografi bukan berarti tanpa kekurangan. Meskipun mempunyai variabilitas intra- dan antar-operator yang rendah, namun pada dasarnya pemeriksaan ultrasonografi merupakan pemeriksaan *operator-dependent*. Tak jarang ditemukan artefak di sekitar selubung, sehingga diperlukan pengalaman untuk mengukur

selubung tersebut.¹³ Pemeriksaan ini tidak dapat dilakukan pada pasien dengan kelainan dan atau penyakit mata. Selain itu, belum ada kesepakatan mengenai nilai batas diameter selubung nervus optikus untuk menentukan peningkatan tekanan intrakranial. Sekhon, *et al*, juga menyatakan salah satu keterbatasan pengukuran ini adalah distensi selubung nervus optikus membutuhkan dinamika aliran cairan serebrospinal yang normal. Dengan adanya hidrosefalus obstruktif yang mengikuti kejadian cedera kepala, nilai distensi selubung nervus optikus dapat menjadi *bias*.⁹ Jeon, *et al*, menyebutkan pula perbedaan etnis juga menjadi faktor perancu (*confounding factor*) penentuan diameter selubung nervus optikus secara optimal. Dalam penelitiannya, Jeon, *et al*, memaparkan nilai-nilai normal diameter selubung nervus optikus dari beberapa negara yang mempunyai rentang berbeda.¹⁴ Meskipun beberapa penelitian terkait pengukuran selubung nervus optikus berbasis ultrasonografi ini tidak melaporkan efek samping selama pemeriksaan, namun tetap perlu diperhatikan efek-efek yang dapat terjadi saat memanipulasi bola mata dengan *probe* USG seperti mual, muntah, respons vagal, atau cedera bola mata.⁵

SIMPULAN

Pengukuran selubung nervus optikus berbasis ultrasonografi dapat menjadi pengukuran non-invasif tekanan intrakranial yang aman, murah, cepat, dan relatif tersedia di banyak rumah sakit, terutama di unit gawat darurat dan ruang rawat intensif. Pengukuran ini tidak memerlukan peralatan spesifik. Dengan sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi, pengukuran ini dapat menggantikan pengukuran non-invasif lain seperti *CT-scan* kepala dan MRI. Kekurangan pemeriksaan di antaranya dependensi operator, artefak, belum adanya nilai batasan baku, variabilitas karakteristik pasien, dan relevansi pengukuran pada kondisi dinamika aliran cairan serebrospinal yang terganggu dapat menjadi objek penelitian yang dapat meningkatkan akurasi pengukuran ini.



DAFTAR PUSTAKA

1. Kristiansson H, Nissborg E, Bartek J, Andresen M, Reinstrup P, Romner B. Measuring elevated intracranial pressure through noninvasive methods: A review of the literature. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2013;25:375-85
2. Evensen KB, Elde PK. Measuring intracranial pressure by invasive, less invasive or non-invasive means: Limitations and avenues for improvement. *Fluids Barriers CNS.* 2020;17:34
3. Robba C, Santori G, Czosnyka M, Corradi F, Bragazzi N, Padayachy L, et al. Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: A systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2018;44(8):1284-94
4. Robba C, Goffi A, Geeraerts T, Cardim D, Via G, Czosnyka M, et al. Brain ultrasonography: Methodology, basic and advanced principles and clinical applications. A narrative review. *Intensive Care Med.* 2019;45(7):913-27
5. Rajajee V, Vanaman M, Fletcher J, Jacobs TL. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure. *Neurocrit Care.* 2011;15:506-15
6. Killer HE, Laeng HR, Flammer J, Groscurth P. Architecture of arachnoid trabeculae, pillars, and septa in the subarachnoid space of the human optic nerve: anatomy and clinical considerations. *Br J Ophthalmol.* 2003;87:777-81
7. Standing S, editors. *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice.* 41st ed. UK: Elsevier Limited; 2016.
8. Hansen HC, Helmke K. The subarachnoid space surrounding the optic nerves. An ultrasound study of the optic nerve sheath. *Surg Radiol Anat.* 1996;18:323-8
9. Sekhon MS, Griesdale DE, Robba C, McGlashan N, Needham E, Walland K, et al. Optic nerve sheath diameter on computed tomography is correlated with simultaneously measured intracranial pressure in patients with severe traumatic brain injury. *Intensive Care Med.* 2014;40:1267-74
10. Jenjitraanant P, Tunlayadechanont P, Prachanukool T, Kaewlai R. Correlation between optic nerve sheath diameter measured on imaging with acute pathologies found on computed tomography of trauma patients. *Eur J Radiol.* 2020;125:108875
11. Cardim D, Robba C, Bohdanowicz M, Donney J, Cabella B, Liu X, et al. Non-invasive monitoring of intracranial pressure using transcranial doppler ultrasonography: Is it possible? *Neurocrit Care.* 2016;25(3):473-91
12. Robba C, Cardim R, Tajsic T, Pietersen J, Bulman M, Donnely J, et al. Ultrasound non-invasive measurement of intracranial pressure in neurointensive care: A prospective observational study. *PLoS Med.* 2017;14(7):e1002356
13. del Saz-Saucedo P, Redondo-Gonzales O, Mateu-Mateu A, Huertas Arroyo R, Garcia-Ruiz R, Botia-Paniagua E. Sonographic assessment of the optic nerve sheath diameter in the diagnosis of idiopathic intracranial hypertension. *J Neurol Sci.* 2016;261:122-7
14. Jeon JP, Lee SU, Kim SE, Kang SH, Yang JS, Choi HJ, et al. Correlation of optic nerve sheath diameter with directly measured intracranial pressure in Korean adults using bedside ultrasonography. *PLoS One.* 2017;12(9):e0183170