



Pengukuran Oksigenasi Otak dengan NIRS dibandingkan S_{jvO}₂ pada Pasien dengan Penurunan Kesadaran di Instalasi Perawatan Intensif

Bastian Lubis^{1*}, Achsanuddin Hanafie¹, Asmin Lubis¹, Dadik Wahyu Wijaya¹, Jhonsen Indrawan¹, Luwih Bisono¹

1. Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif, Fakultas Kedokteran, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

*penulis korespondensi

DOI: 10.55497/majanestricar.v41i2.280

ABSTRAK

Latar Belakang: Hingga saat ini, standar baku emas untuk memantau oksigenasi otak umumnya menggunakan teknik invasif. Penelitian kedokteran telah berkembang dan selalu berusaha memfokuskan pada area yang dapat diukur secara non-invasif untuk mengurangi segala risiko. *Near-infrared spectroscopy* (NIRS) adalah salah satu teknologi terbaru untuk mengukur oksigenasi otak sebagai pelengkap pemantauan oksigenasi otak lainnya. Pemantauan oksigenasi otak pada pasien tidak sadar di unit perawatan intensif diperlukan untuk merawat pasien dengan masalah medis. Penghapusan beberapa diagnosis banding secara non-invasif, *real-time*, dan berkelanjutan menjadi tujuan utama dari intensivis. Semakin cepat diagnosis yang akurat dibuat, kondisi pasien akan semakin baik.

Metode: Penelitian ini adalah studi observasional analitik dengan desain cross-sectional. Sebanyak tiga puluh pasien dengan berbagai kondisi medis yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi berpartisipasi dalam penelitian ini, dengan persetujuan dari keluarga. Pasien diintubasi dengan ventilasi mekanik, dan menggunakan elektroda NIRS yang ditempatkan di dahi untuk mengukur regional cerebral oxygen saturation (rSO₂), sementara peneliti mengambil sampel darah untuk analisis gas dari vena jugularis dan arteri karotis.

Hasil: Secara statistik, tidak terdapat korelasi signifikan antara *jugular venous oxygen saturation* (S_{jvO}₂) dengan rSO₂ kanan (p=0,379) dan rSO₂ kiri (p=0,041), serta terdapat perbedaan antara rSO₂ kanan dan kiri (p<0,001). Parameter lain yang berhubungan kuat dengan rSO₂ adalah hemoglobin (p=0,009), tekanan arteri rata-rata (p=0,049), kandungan oksigen vena jugularis (p=0,007), dan arteri karotis (p=0,08). rSO₂ sendiri tidak dapat menggantikan S_{jvO}₂ sebagai standar emas untuk pemantauan oksigenasi otak. Namun, hasil rSO₂ juga berkorelasi positif dengan hemoglobin, tekanan arteri rata-rata, kandungan oksigen vena jugularis, dan arteri karotis, yang berarti penurunan rSO₂ dapat disebabkan oleh masalah pengiriman oksigen.

Simpulan: Nilai NIRS tidak dapat digunakan secara tunggal di dalam menilai oksigenasi jaringan serebral melainkan karena juga berkaitan erat dengan faktor lain termasuk nilai S_{jvO}₂.

Kata Kunci: kandungan oksigen; NIRS; oksigenasi otak; rSO₂; S_{jvO}₂



NIRS Measurement of Brain Oxygenation Compared with $SjvO_2$ in Unconscious Patients in Intensive Care Unit

Bastian Lubis^{1*}, Achsanuddin Hanafie¹, Asmin Lubis¹, Dadik Wahyu Wijaya¹, Jhonsen Indrawan¹, Luwih Bisono¹

1. Departement of Anesthesiology and Intensif Care, Faculty of Medicine, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

*corresponding author

DOI: 10.55497/majanestcricar.v4i1i2.280

ABSTRACT

Background: The gold standard for monitoring brain oxygenation typically involves invasive techniques. Medical research has evolved and seeks to explore areas that can be assessed through a non-invasive approach, in line with the principle of doing no harm. Near-infrared spectroscopy (NIRS) is one of the recent technologies used to measure brain oxygenation, complementing other methods of monitoring brain oxygenation. Monitoring brain oxygenation in unconscious patients in the intensive care unit is crucial for managing patients with medical conditions. The primary objective of intensivists is to promptly eliminate potential differential diagnoses through non-invasive, real-time, and continuous monitoring, aiming for an accurate diagnosis as soon as possible to improve the patient's condition.

Methods: The study involved 30 unconscious patients with various medical conditions who participated with family consent. The patients were intubated and mechanically ventilated, while a NIRS electrode was placed on their forehead to measure regional oxygen saturation (rSO_2). Additionally, the author collected blood samples from the jugular vein and carotid artery for gas analysis.

Results: Statistically, there was no significant correlation between jugular venous oxygen saturation ($SjvO_2$) and right rSO_2 ($p=0.379$), or left rSO_2 ($p=0.041$), but a significant difference was observed between right and left rSO_2 ($p<0.001$). Other parameters strongly correlated with rSO_2 were hemoglobin ($p=0.009$), mean arterial pressure ($p=0.049$), oxygen content of the jugular vein ($p=0.007$), and carotid artery ($p=0.08$). In conclusion, rSO_2 alone cannot replace $SjvO_2$ as the gold standard for monitoring brain oxygenation. However, a decrease in rSO_2 may indicate oxygen delivery problems, as it is positively correlated with hemoglobin, mean arterial pressure, oxygen content of the jugular vein, and carotid artery.

Conclusion: NIRS values can not be used singly to assess cerebral tissue oxygenation because of it is closely related to other factors including $SjvO_2$ values.

Keywords: brain oxygenation; NIRS; oxygen content; rSO_2 ; $SjvO_2$

PENDAHULUAN

Hingga saat ini, standar baku emas untuk pemeriksaan gas darah adalah mengukur tekanan parsial oksigen (PaO_2), sebagai penanda status oksigenasi, dan tekanan parsial karbon dioksida (PaCO_2), sebagai penanda kondisi ventilasi pasien (misalnya kegagalan pernafasan yang bersifat kronis dan akut).¹ Semenjak disautoregulasi serebral dapat terjadi pada pasien dengan penurunan kesadaran dan berbagai kondisi klinis lainnya, alat *Near-Infrared Resonance Spectroscopy* (NIRS) diteliti dapat menyediakan informasi yang dipercaya untuk pemeriksaan non-invasif di dalam menilai autoregulasi serebral sekaligus menilai keadaan iskemia serebral. Sensor dari oksimetri serebral dapat menilai progresifitas dari iskemia korda spinalis setelah ligase arteri pada penelitian yang dilakukan pada hewan. NIRS mulai aktif digunakan sebagai alat monitoring hemodinamik. Namun perlu dipertimbangkan lagi sensitifitas dan spesifitas dari alat ini sebagai representatif dari nilai saturasi oksigen vena sentral (ScvO_2) dan saturasi oksigen (SaO_2) sebagai *gold standard* dari penilaian perfusi dan pengambilan oksigen dari jaringan. Pada penelitian Altun *et al.* disebutkan bahwa NIRS mempunyai korelasi yang cukup dengan saturasi oksigen vena jugularis (SjvO_2) yang keduanya dilakukan bersamaan diambil di vena jugular interna sehingga NIRS sebagai *non-invasive monitoring* dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk penilaian saturasi oksigen, walaupun sebenarnya tidak bisa menggantikan langsung, namun dapat diandalkan di dalam menilai saturasi oksigen.² Sedangkan penelitian Hoffman *et al.* menyebutkan bahwa NIRS dapat digunakan pada situasi perioperatif, dimana hasilnya dapat memprediksi hasil dan kemajuan pasien setelah operasi jantung.³ Bertentangan dengan hal tersebut Rescoe *et al.* menyatakan juga bahwa penggunaan NIRS sebenarnya tidak terlalu menampilkan hasil yang sesuai dengan keadaan *delivery oxygen*, dimana jika angka diatas 50 (rO_2) bukan berarti bagus, sedangkan jika angka dibawah 30, sudah pasti ScvO_2 juga sangat rendah.³ Terbaru Kim *et al.* menggunakan NIRS ini untuk monitoring pasien selama menggunakan *extracorporeal membrane oxygenation* (ECMO) untuk memprediksi mortalitas pada pasien.⁴

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melihat bagaimana perbedaan NIRS dan SjvO_2 dalam menilai oksigenasi otak.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan suatu penelitian analitik observasional dengan desain *cross-sectional*. Sampel penelitian ini yaitu pasien yang dirawat di instalasi perawatan intensif RSUP H. Adam Malik Medan yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Pencatatan data dasar seperti nama, jenis kelamin, tinggi badan, berat badan, BMI dan setting ventilator yang digunakan. Dilakukan pemeriksaan vital tanda-tanda vital, berupa ukuran kesadaran berdasarkan *Glasgow Coma Scale* (GCS) dan *Full Outline of Unresponsiveness Score* (FOUR), tekanan darah, *Mean Arterial Pressure* (MAP), nadi dan SpO_2 . Sebelum menggunakan NIRS, dahi pasien dibersihkan terlebih dahulu dengan kassa basah dan alkohol, kemudian dikeringkan sehingga bersih dari gangguan seperti wajah yang berminyak atau berair. Kemudian, hidupkan alat NIRS, letakkan pada posisi yang stabil, sambungkan elektroda NIRS ke mesin INVOS® dan tempelkan sesuai nomor di area frontal subjek penelitian dengan posisi sejajar untuk menunjukkan sisi kanan dan kiri. Hasil yang terukur pada NIRS (pada saat sampel vena jugular diambil, yang dijelaskan pada poin berikutnya) dicatat pada lembar penelitian. Membersihkan daerah pengambilan darah, pada leher kanan dan kiri dengan betadin, setelah beberapa saat dengan alkohol dan kemudian dikeringkan dengan kasa. Melalui panduan ultrasonografi dilakukan pengambilan sampel darah dengan menggunakan spuit 3 ml, pada arteri karotis untuk pemeriksaan Analisa Gas Darah Arteri (AGDA) dan vena jugularis interna untuk pemeriksaan Analisa Gas Darah Vena (SjVO_2) dengan keduanya berada pada setinggi level yang sama, kemudian dimasukkan ke tabung vakum yang mengandung lithium heparin disertai pemeriksaan gula darah sewaktu dan laktat. Setiap dilakukan pengambilan darah, kemudian dilakukan kompresi pada tempat pengambilan kurang lebih selama 5-10 menit hingga tidak tampak adanya perdarahan aktif atau pembengkakan akibat darah tertumpuk dibawah kulit.

Setelah data yang diperlukan telah terkumpul, kemudian data tersebut diperiksa kembali tentang kelengkapannya sebelum ditabulasi dan diolah, diberikan pengkodean kemudian ditabulasi ke dengan menggunakan SPSS versi 25. Data numerik yang berdistribusi normal ditampilkan dalam nilai rata-rata SD (*Standard Deviation*) sedangkan yang tidak berdistribusi normal disajikan dalam nilai median (nilai minimum-maksimum). Data kategorik ditampilkan dalam jumlah (persentase). Nilai p uji normalitas dikatakan normal jika $p > 0,05$. Uji hipotesis yang digunakan untuk membandingkan oksigenasi jaringan serebral yang menggunakan NIRS dibandingkan $SjVO_2$ pada pasien dengan penurunan kesadaran di Instalasi Perawatan Intensif (IPI) yaitu korelasi pearson jika data berdistribusi normal atau uji spearman jika tidak berdistribusi normal. Untuk mengetahui perbedaan kadar skeletal muscle oxygen saturation (StO_2) serebral kanan dan kiri digunakan uji beda dua mean berpasangan.

Interval kepercayaan 95% dengan nilai $p < 0,05$ dianggap bermakna signifikan secara statistik. Perbandingan nilai diskriminasi penggunaan dua alat ukur perfusi oksigen jaringan serebral dengan menggunakan NIRS dibandingkan $SjVO_2$ di IPI diuji dengan uji korelasi pearson dan disajikan dalam bentuk *scatter plot*.

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini diikuti oleh sebanyak 30 orang subjek penelitian. Karakteristik parameter subjek penelitian disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan analisis korelasi, diperoleh bahwa tidak terdapat korelasi bermakna secara signifikan dari parameter *body mass index* (BMI), gula darah sewaktu (GDS), *fraction of inspired oxygen* (FiO_2), skor GCS, skor FOUR, kadar SpO_2 , kadar laktat, dan nilai *arteriovenous difference of oxygen content* ($AVDO_2$) dengan kadar StO_2 ($p > 0,05$). Korelasi parameter penelitian dengan nilai StO_2 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik parameter penelitian

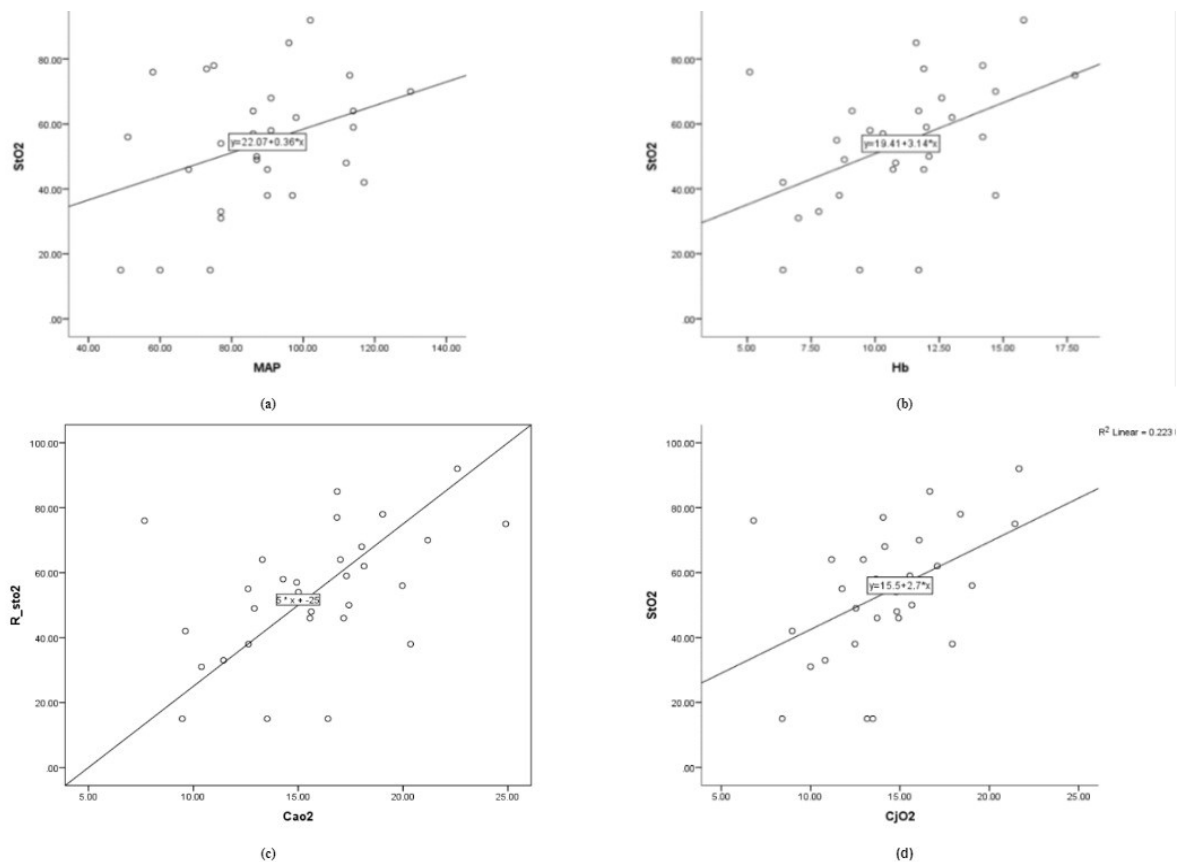
Karakteristik	n = 30
Usia	47,06 ± 17,63
Jenis Kelamin, n (%)	
Laki-laki	18 (60,0)
Perempuan	12 (40,0)
Berat Badan	64,66 ± 15,30
Tinggi Badan	1,62 ± 0,08
IMT	24,19 ± 4,71
FiO_2	70,16 ± 26,98
GCS	7,16 ± 2,91
FOUR	8,53 ± 3,80
MAP	87,46 ± 19,97
SpO_2	95,70 ± 7,47
StO_2 Kanan	53,86 ± 19,99
StO_2 Kiri	56,26 ± 18,66
$SjVO_2$	92,33 ± 8,00
GDS	4,00 ± 10,13
Laktat	0,05 ± 0,32
$AVDO_2$	1,51 ± 1,52
Hb	10,96 ± 2,98
CaO_2	15,73 ± 4,00
$CjvO_2$	14,22 ± 3,50
PvO_2	93,06 ± 40,79

Tabel 2. Korelasi parameter penelitian dengan kadar StO_2

Parameter	StO_2 Koefisien korelasi (r)	Nilai p
BMI	0,102	0,591
MAP	0,363	0,049
GDS	-0,205	0,277
FiO_2	-0,252	0,178
SpO_2	0,343	0,063
Laktat	-0,058	0,761
$AVDO_2$	0,183	0,332
Hb	0,468	0,009
CaO_2	0,479	0,007
$CjvO_2$	0,472	0,008
PvO_2	-0,040	0,834

Terdapat korelasi positif dengan kekuatan lemah antara parameter *mean arterial pressure* (MAP) dengan StO_2 yang bermakna signifikan secara statistik ($r=0,363$; nilai $p=0,049$), parameter Hb dengan StO_2 yang bermakna signifikan secara statistik ($r=0,468$; nilai $p=0,009$), parameter CaO_2 dengan StO_2 yang bermakna signifikan secara

statistik ($r=0,479$; nilai $p=0,007$), parameter *jugular venous oxygen content* ($CjvO_2$) dengan StO_2 yang bermakna signifikan secara statistik ($r=0,472$; nilai $p=0,008$). Grafik *scatter plot* yang merupakan hasil uji korelasi antara parameter MAP, Hb, dan $CjvO_2$ dengan nilai StO_2 dapat dilihat pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Scatter plot korelasi (a) MAP, (b) Hb, (c) CaO_2 , (d) $CjvO_2$ dengan StO_2

Berdasarkan hasil analisis antara perbedaan nilai StO_2 kanan dibandingkan dengan StO_2 kiri, terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara StO_2 kanan dengan StO_2 kiri

dengan nilai $p < 0,001$, dan memiliki korelasi positif dengan nilai $r = 0,939$. Perbedaan antara StO_2 kanan dengan StO_2 kiri dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan StO_2 kanan dan StO_2 kiri

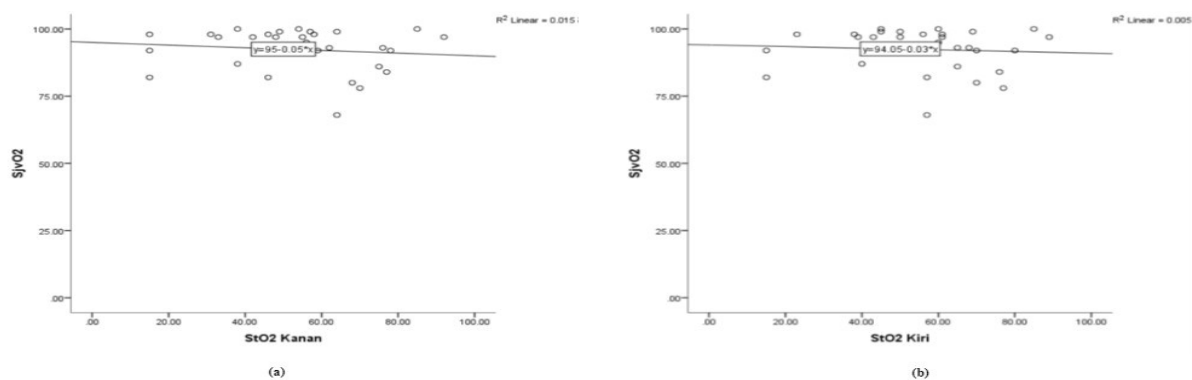
Parameter	N	Rerata $\pm$ SD	Koefisien korelasi (r)	Nilai p
StO_2 Kanan	30	53,86 $\pm$ 19,99	0,939	<0,001
StO_2 Kiri	30	56,26 $\pm$ 18,66		

Kadar StO_2 kanan dan kiri memiliki arah korelasi negatif terhadap nilai SjvO_2 sesuai dengan Tabel 4. Namun berdasarkan analisis, tidak terdapat korelasi yang bermakna signifikan secara statistik

antara baik StO_2 kanan dan StO_2 kiri dengan nilai SjvO_2 dengan nilai $p > 0,05$. Grafik *scatter plot* korelasi antara StO_2 kanan dan StO_2 kiri terhadap nilai SjvO_2 disajikan pada Gambar 2.

Tabel 4. Korelasi StO_2 kanan dan StO_2 kiri terhadap SjvO_2

Parameter	SjvO_2 koefisien korelasi (r)	Nilai p
StO_2 Kanan	53,86 $\pm$ 19,99	<0,001
StO_2 Kiri	56,26 $\pm$ 18,66	



Gambar 2. Scatter plot korelasi antara (a) StO_2 kanan and (b) StO_2 kiri dengan SjvO_2

PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, $\text{StO}_2/\text{rSO}_2$ yang didapatkan melalui hasil dari NIRS ini sebenarnya dimaksudkan untuk menggambarkan mikrosirkulasi pada otak, dengan elektroda serebral/somatik ditempelkan pada daerah frontal. Sampel yang diperiksa sebanyak 30 dengan teknik pengambilan sampel dilakukan secara konsekutif. Sampel yang diperiksa dengan berbagai karakter parametrik dengan berat badan, indeks masa tubuh, tingkat kesadaran, MAP, StO_2 kanan dan kiri, gula darah sewaktu dan hemoglobin yang cukup tersebar.

Walau beberapa parameter yang dinilai hampir seragam antara lain tinggi badan, pemberian fraksi oksigen, SjvO_2 , laktat, AVDO_2 , dan PvO_2 .

Hal ini merupakan hal yang wajar, karena target perawatan di IPI yang memaksimalkan pemberian oksigen dan target saturasi pasien yang didapatkan dari pemeriksaan dengan *pulse oximetry*.³

Parameter tersebut kemudian dihubungkan dengan nilai StO_2 sebelah kanan yang didapatkan dari pemeriksaan NIRS. Didapatkan korelasi yang bermakna, positif dan signifikan pada empat parameter yang dinilai, yakni MAP, CjvO_2 , CaO_2 dan Hb. Sebenarnya hal ini menguatkan teori mengenai penghantaran oksigen yang telah dibahas sebelumnya, dimana komponen dari penghantaran oksigen ini memperhitungkan komponen *cardiac output* (secara tidak langsung diwakili oleh MAP) dan konten oksigen dari arteri karotis CaO_2 dan vena jugular CjvO_2 . Seperti

diketahui, CaO_2 dan CjvO_2 terdiri dari beberapa komponen seperti hemoglobin, saturasi, dan PaO_2 . Dikarenakan distribusi sampel yang tidak merata jika dikelompokkan menjadi kategori, sehingga korelasi dengan StO_2 dari beberapa komponen tersebut digambarkan lebih tepat dengan menggunakan grafik *scatter plot* yang disajikan pada Gambar 1.

Korelasi yang digambarkan dengan grafik tersebut dengan sifat positif dimana nilai kadar dari StO_2 sejalan dengan nilai MAP, kadar hemoglobin, nilai CaO_2 dan nilai CjvO_2 dengan kesimpulan, tingginya kadar StO_2 juga seiring dengan tingginya MAP, maksimalnya kadar hemoglobin di dalam tubuh dan kadar oksigen yang terkandung dalam vena jugular interna. Sehingga kebalikannya, semakin rendah nilai StO_2 juga dipengaruhi rendahnya MAP, kadar hemoglobin dan kandungan oksigen di dalam darah vena jugular interna. Tentunya dengan tidak mengesampingkan hal-hal yang mendukung MAP, hemoglobin, dan kandungan oksigen semisalnya pemberian fraksi oksigen, ataupun vasopresor yang akan kita bahas pada paragraf selanjutnya, setelah membahas topik utama kaitan dari penelitian ini yaitu kadar StO_2 dengan SjvO_2 .

Hal yang diteliti selanjutnya adalah perbedaan StO_2 yang diperiksa kanan dan kiri. Berdasarkan uji normalitas, distribusi bersifat normal, sehingga dilanjutkan dengan uji korelasi, dengan hasil bahwa StO_2 kanan dan kiri terdapat perbedaan signifikan secara statistik. Rerata StO_2 kanan dan kiri berbeda dengan nilai 53,86 dengan 56,26. Sebenarnya menunjukkan bahwa kadar StO_2 satu sisi tidak bisa menggambarkan keadaan kedua serebral, sehingga untuk pemeriksaan tersebut harus menggunakan dua elektroda yang dipasang pada kedua sisi yang berfungsi menggambarkan keadaan serebral satu sisi secara aktual. Hal ini sesuai dengan penelitian Lemmers dan membantah Oztürk *et al.*^{5,6} Studi prospektif oleh Lemmers yaitu memonitor saturasi oksigen serebral regio frontoparietal 3 hari pertama kehidupan pada 36 neonatus didapatkan adanya korelasi yang kuat pada 1 menit penilaian rata-rata StO_2 yang diperiksa ($r=0,89$; $p=0,01$). Sedangkan pada studi observasional dilakukan oleh Oztürk *et al.* pada 1000 pasien anak rawat jalan dan pasien

anak yang tidak dalam keadaan kritis, tidak tidak didapatkan hasil StO_2 yang signifikan antara lobus kanan dan kiri ($p=0,3$).^{5,6}

Tidak diperjelas dalam penelitian ini, sisi otak dominan apakah berpengaruh terhadap nilai StO_2 kanan dan kiri, jika ada masalah satu sisi, apakah sisi ipsilateral ataukah kontralateral yang bersifat lebih tinggi, memang pada penelitian dari Andropoulos *et al.* menunjukkan sisi kiri lebih dari 10% perbedaan dengan hasil lebih rendah dibandingkan yang kanan. Oleh karena itu hal tersebut dapat dilanjutkan untuk dibahas di kemudian hari.⁷

Berdasarkan hasil penelitian, kadar StO_2 baik kanan maupun kiri mempunyai arah korelasi negatif terhadap SjvO_2 walaupun secara analisis, tidak terdapat korelasi yang bermakna secara signifikan. Kesimpulan yang dapat ditarik walau korelasi nya tidak bermakna secara statistik, adalah jika nilai StO_2 tinggi maka sebaliknya kadar SjvO_2 akan rendah, sedangkan jika nilai StO_2 rendah maka sebaliknya kadar SjvO_2 tinggi. Hal ini sebenarnya telah membantah hipotesa penelitian ini yang menyebutkan bahwa hasil NIRS dapat menggantikan SjvO_2 pada pasien dengan penurunan kesadaran pada instalasi perawatan intensif. Memang pada penelitian Altun *et al.* menjelaskan nilai NIRS dapat mewakili kadar SjvO_2 pada pasien yang sehat dan tidak ada gangguan kesadaran.²

Pembahasan mengenai nilai NIRS ini sebenarnya tidak dapat berhenti pada pernyataan NIRS tidak dapat menggantikan nilai SjvO_2 , melainkan juga terhubung dengan parameter sebelumnya yakni pemeriksaan MAP, Hb, CaO_2 dan CjvO_2 dengan sifat korelasi yang bermakna dan positif. Menjaga hemodinamik pasien, mengukur dan memperbaiki kadar hemoglobin dan pemberian fraksi oksigen yang mendukung kandungan oksigen dalam arteri selanjutnya tergambar dalam vena, juga merupakan hal-hal yang harus diperhatikan sehingga nilai NIRS yang terukur tepat dan sesuai untuk menggambarkan keadaan saturasi jaringan otak.³ Asumsinya adalah jika nilai MAP, Hb maupun kandungan oksigen yang rendah, tentunya akan membuat nilai StO_2 rendah dan dapat menyebabkan terganggunya oksigenasi jaringan serebral. Hal tersebut dapat menimbulkan iskemia pada jaringan serebral dan tentunya akan memberikan prognosis yang buruk pada pasien

Sehingga dengan memaksimalkan tiga komponen tersebut, diharapkan nilai NIRS dapat maksimal sesuai dengan keadaan jaringan serebral. Jika didapatkan hasil NIRS yang rendah, dapat ditelusuri penyebab lain dari penurunan kesadaran pasien dan dapat sebagai nilai prognosis keadaan organ vital pasien dalam hal ini serebral, edukasi terhadap keluarga dan rencana jangka panjang perawatan pasien selanjutnya.^{6,7}

Pengukuran oksigenasi serebral melalui NIRS, dengan hasil StO_2 , dimana didapatkan angkanya berkorelasi negatif dengan $SjvO_2$ namun korelasi positif dengan CaO_2/CjO_2 , peneliti mengambil dasar teori mengenai mikrosirkulasi dan autoregulasi otak. Telah dijelaskan bahwa NIRS menilai mikrosirkulasi pada serebral, pada penelitian Kim *et al.* mengenai *field saturation* dijelaskan pembacaan NIRS pada daerah frontal yang diukur mengambil persentase dari arteri sebanyak 25% dan vena sebanyak 75%, sehingga akan tergambar nilai StO_2 yang lebih mendekati nilai $SjvO_2$.⁸

Sedangkan hasil pada penelitian ini menggambarkan bahwa hasil StO_2 yang tinggi akan menghasilkan nilai $SjvO_2$ yang rendah, dan begitu juga sebaliknya. Terkait dengan autoregulasi, pasien-pasien dengan penurunan kesadaran dimana jaringan serebral kekurangan pasokan oksigen, peningkatan tekanan karbondioksida dan atau terjadinya “kelaparan” akibat metabolisme yang meningkat, maka tubuh akan bereaksi dengan memberikan asupan oksigen tinggi, dengan salah satu mekanismenya adalah dilatasi dari pembuluh arteriol. Hal ini diperkirakan, komposisi arteri:vena berubah dari 25:75 menjadi lebih sama atau lebih tinggi dan terbaca pada pengukuran NIRS. Komponen utama arteri yaitu HbO_2 yang terbaca akan lebih banyak dan menyumbang terhadap nilai StO_2 yang lebih tinggi dibandingkan $SjvO_2$. Sedangkan sebaliknya, jika pemberian oksigen berlebihan, secara autoregulasi, terjadi vasokonstriksi, sehingga dapat terbaca nilai NIRS lebih rendah karena komponen vena yang lebih banyak. Faktor lain yang dapat menyebabkan perbedaan pada tiap individu berupa variasi normal yang rasionalnya berbeda satu sama lain. Hal ini perlu dibuktikan lebih lanjut dengan pengukuran invasif langsung ke jaringan serebral sebagai nilai pasti dari mikrosirkulasi jaringan serebral.

Tindakan ini akan lebih membahayakan untuk pasien, dan akan menjadi pertanyaan etika lebih lanjut. Tentunya juga tidak mengesampingkan bahwa pengukuran nilai NIRS dan nilai lainnya pada penelitian ini dilakukan sekali, agar pemeriksaan dan penegakkan keputusan klinis terhadap pasien lebih maksimal, perlu dilakukan penilaian terhadap perubahan berkelanjutan atau trend dari nilai NIRS ini didalam melakukan perawatan terhadap pasien, termasuk juga pengukuran berkala pada nilai $SjvO_2$ maupun parameter lainnya. Diharapkan juga pembahasan NIRS sebagai parameter non invasif dapat diteruskan dengan mengurangi bias dan hal-hal yang mengganggu penelitian sehingga nilai NIRS dapat lebih representatif.

Memang ditemukan hubungan yang kuat diantara $ScvO_2$ dan pengukuran oleh NIRS, dimana disimpulkan pada penelitian Altun *et al.* NIRS dapat dijadikan alternatif pemantauan kontinu pada pasien pediatrik yang menjalani prosedur bedah jantung. Termasuk yang disebutkan oleh Tortoriello *et al.* bahwa rSO_2 prediktor yang lebih akurat mengenai $ScvO_2$ pada pasien perbaikan biventrikuler.^{2,9} Namun rSO_2 serebral secara sendiri tidak dapat mendeteksi pada $ScvO_2$ yang rendah, karena sensitifitasnya yang cukup rendah, walaupun koreksi rSO_2 pada kontaminasi arteri dapat memperbaiki sensitifitasnya. Oleh karena itu rSO_2 serebral 50 atau lebih tidak bisa dipastikan baik walaupun nilai dibawah 30 sudah spesifik untuk rendahnya $ScvO_2$.¹⁰

Uniknya hubungan antara $PaCO_2$ dan rSO_2 serebral juga mendukung adanya hipotesis bahwa NIRS juga memantau oksigenasi serebral secara regional. Aplikasi klinis dari monitor ini juga memperhatikan beberapa variabel klinis yang mempengaruhi oksigenasi regional serebral.¹¹

Hogue *et al.* menyebutkan pemantauan autoregulasi aliran darah serebral dimana dengan monitor NIRS yang dimodifikasi juga sesuai dan berhubungan kuat dengan metode *transcranial doppler*. Alat ini memungkinkan untuk memantau autoregulasi dengan memperhatikan target MAP selama proses *cardiopulmonary bypass*.¹²

Keterbatasan NIRS ini salah satunya menyebutkan bahwa keberadaan perubahan dinamis dari rSO_2 ini tidak dapat memprediksi responsif terhadap

cairan terutama pada situasi bedah jantung dan menggantikan perubahan situasi pada $ScvO_2$. Bahkan untuk rSO_2 sebagai pengganti $ScvO_2$ pun masih menjadi perdebatan oleh Rebet *et al.*¹³

Kecukupan dari oksigenasi jaringan adalah hal yang dibutuhkan untuk metabolisme aerobik. Oleh karena itu, pada berbagai macam tatalaksana medis ditujukan untuk mempertahankan, mengembalikan dan memaksimalkan dari oksigenasi jaringan. Oleh karena itu, hal yang menjadi tantangan adalah bagaimana memeriksa oksigenasi jaringan ini sehari-hari. Sejak adanya kejadian iskemia regional, misalnya tidak terdeteksi pada level sistemik, akan menjadi kontributor yang besar terhadap morbiditas dan mortalitas setelah terjadinya trauma mayor dan pada pasien kondisi kritis lainnya dan diperlukan terapi yang terencana untuk mengembalikan hal tersebut.¹³

Sebaliknya peningkatan dan optimisasi dari oksigenasi jaringan tidak diikuti dengan doktrin yang lebih baik seperti mengupayakan oksigenasi diatas normal. Terapi lebih dititikberatkan untuk oksigenasi yang lebih spesifik, termasuk oksigenasi regional dan pemantauan menjadi lebih penting. Oksigenasi arterial sistemik dan vena (campur sentral) dapat diukur secara rutin dengan *pulse oximetry*, analisa gas darah, dan oksimetri fiber vena seperti kateter arteri pulmonalis. Akan tetapi pemeriksaan regional dari oksigenasi jaringan ini tidak bisa dilakukan secara rutin. Oksigenasi jaringan diperiksa dengan alat yang invasif seperti elektroda jarum jenis *Clark* atau berhubungan dengan pewarna toksik seperti *palladium phosphorescence* dengan keterbatasan penggunaan.¹⁴

Berkenaan dengan $SjVO_2$ juga, direkomendasikan untuk mencegah $SjVO_2$ dibawah 50% untuk mengurangi mortalitas dan meningkatkan prognosis, pasien dengan cedera traumatik berat yang mengalami minimal episode desaturasi serebral ($SjVO_2 < 50\%$) dengan meningkatkan resiko kematian dibandingkan jika hal tersebut dapat dicegah. Desaturasi serebral muncul pada 48 jam setelah cedera sehingga dengan pemantauan $SjVO_2$ akan membantu diagnosis awal, pengobatan, dan *follow-up* iskemia awal dari penyebab intrakranial ataupun sistemik. Lebih lanjut, peningkatan $SjVO_2$ (>75%) berhubungan dengan hasil buruk setelah cedera traumatik serebral. Pemantauan vena jugular

membantu optimalisasi hiperventilasi terapeutik tanpa menyebabkan hipoperfusi serebral dari keadaan hipokapnia. Lebih lanjutnya, informasi yang berasal dari pemantauan vena jugular sebagai panduan manajemen cairan dan oksigenasi dan CPP. Akan tetapi, penelitian dibutuhkan untuk menunjukkan hasil yang baik dari pemantauan vena jugular pada cedera traumatik serebral.¹⁵

Imberti *et al.* menyebutkan bahwa $SjVO_2$ dan PO_2 dari jaringan serebral merupakan dua parameter yang menyediakan informasi yang saling melengkapi mengenai oksigenasi serebral dimana hal ini sangat berguna untuk mencegah resiko terjadinya cedera serebral sekunder. Perubahan pada $SjVO_2$ dan PO_2 jaringan serebral pada sisi berlainan mengindikasikan bahwa jaringan serebral PO_2 tidak bisa menunjukkan evaluasi terhadap perfusi serebral global.¹⁶

Pada pasien bedah jantung, perubahan pada rasio antara aliran darah serebral dan laju metabolik oksigen serebral dapat dilihat dengan pemantauan $SjVO_2$. Perubahan ini secara garis besar tidak dapat diprediksi dan sangat berbeda dari satu pasien ke pasien yang lain. Pemantauan ketat dari $SjVO_2$ pada pasien individu dapat memberikan perawatan yang baik terhadap serebral. Oksimetri *jugular bulb* membantu mendeteksi periode desaturasi dan dapat mengindikasikan kebutuhan intervensi yang tepat. Akan tetapi pada beberapa tahun ini, oksimetri serebral dengan menggunakan *near-infrared spectroscopy* (NIRS) menjadi sangat populer dan dibutuhkan pada operasi jantung.¹⁷ Pada akhirnya dapat diambil kesimpulan berdasarkan yang ditulis oleh Sharf *et al.* dimana secara statistik, peningkatan dari GCS dan skor FOUR, MAP, CPP, $SjVO_2$, dan *Glasgow Outcome Scale Extended* (GOSE) dan penurunan dari TIK tampak lebih banyak menunjukkan perbaikan dan pasien lebih banyak yang bertahan hidup jika dibandingkan yang terjadi sebaliknya. Terdapat korelasi yang positif antara $SjVO_2$, GCS, MAP, CPP, dan GOSE dimana terdapat korelasi negatif signifikan terhadap TIK. Sedangkan pada pasien yang tidak bertahan hidup, hanya ada korelasi positif antara $SjVO_2$ dan GCS. Secara sederhana, hanya GCS dan $SjVO_2$ yang mampu menjadi prediktor mortalitas pada kasus yang diteliti. Pada penelitian Senapathi *et al.* dikuatkan juga

bahwa Skor FOUR dan $SjVO_2$ menjadi prediktor yang baik terhadap mortalitas pada pasien-pasien dengan cedera serebral berat.^{18,19}

Sebagai tambahan bahwa penelitian dari Andropoulos *et al.* menunjukkan sisi kiri NIRS lebih dari 10% perbedaan dengan hasil lebih rendah dibandingkan yang kanan. Keterkaitannya apakah NIRS dapat mewakili nilai $SjVO_2$, hal ini sesuai dengan Oztürk *et al.* namun membantah hasil studi oleh Lemmers.⁵⁻⁷

SIMPULAN

Beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu nilai NIRS tidak bisa menggantikan fungsi $SjVO_2$ dalam menilai (sebagai *marker*) oksigenasi jaringan serebral pada pasien penurunan kesadaran. Hasil yang didapatkan NIRS tidak berkorelasi secara statistik dengan $SjVO_2$ pada pasien-pasien penurunan kesadaran dan cenderung berhubungan terbalik. Pengambilan oksigen oleh jaringan serebral tergambarkan pada hasil penelitian ini dimana terkait dan berkorelasi positif dengan faktor-faktor penghantaran oksigen berupa MAP, Hemoglobin, dan konten oksigen dari arteri maupun vena. Nilai NIRS tidak dapat digunakan secara tunggal di dalam menilai oksigenasi jaringan serebral melainkan juga berkaitan erat dengan faktor lain termasuk nilai $SjVO_2$.

Penelitian lebih lanjut yang membahas pengukuran NIRS pada pasien penurunan kesadaran dengan fokus pada hal-hal yang dapat menimbulkan kerancuan atau bias pada pembacaan NIRS perlu dilakukan di masa yang akan datang. Pembahasan dan penelitian lebih lanjut yang mengambil nilai lebih nyata di dalam menggambarkan keadaan mikrosirkulasi jaringan serebral dan dibandingkan dengan NIRS sebagai metode non invasif juga perlu dilakukan. Selain itu juga penggunaan parameter lain dan pemeriksaan penunjang tambahan serta memperhatikan keadaan klinis pasien selain penggunaan NIRS untuk menilai keadaan oksigenasi jaringan serebral.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Yanda S, Lubis M, Yusroh Y. Comparison of oxygen saturation measured by pulse oximetry and arterial blood gas analysis in neonates. *Paediatr Indonesia*. 2016;43(6):211.
2. Altun D, Doğan A, Arnaz A, Yüksek A, Yalçınbaş YK, Türköz R, et al. Noninvasive monitoring of central venous oxygen saturation by jugular transcutaneous near-infrared spectroscopy in pediatric patients undergoing congenital cardiac surgery. *Turkish J Med Sci*. 2020;50(5):1280–7.
3. Hoffman GM, Ghanayem NS, Scott JP, Tweddell JS, Mitchell ME, Mussatto KA. Postoperative Cerebral and Somatic Near-Infrared Spectroscopy Saturations and Outcome in Hypoplastic Left Heart Syndrome. *Ann Thorac Surg*. 2017;103(5):1527–35.
4. Kim HS, Ha SO, Yu KH, Oh MS, Park S, Lee SH, et al. Cerebral oxygenation as a monitoring parameter for mortality during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *ASAIO J*. 2019;65(4):342–8.
5. Lemmers PMA, Van Bel F. Left-to-right differences of regional cerebral oxygen saturation and oxygen extraction in preterm infants during the first days of life. *Pediatr Res*. 2009;65(2):226–30.
6. Öztürk NY, Aygün B, Uyar E, Girgin Fİ. Comparison of Bilateral Cerebro-Renal Tissue Oxygenations in Healthy Children. *Indian J Pediatr*. 2020;87(2):99–104.
7. Andropoulos DB, Diaz LK, Fraser CD, McKenzie ED, Stayer SA. Is Bilateral Monitoring of Cerebral Oxygen Saturation Necessary during Neonatal Aortic Arch Reconstruction? *Anesth Analg*. 2004;98(5):1267–72.
8. Kim MB, Ward DS, Cartwright CR, Kolano J, Chlebowski S, Henson LC. Estimation of jugular venous O₂ saturation from cerebral oximetry or arterial O₂ saturation during isocapnic hypoxia. *J Clin Monit Comput*. 2000;16(3):191–9.
9. Tortoriello TA, Stayer SA, Mott AR, McKenzie ED, Fraser CD, Andropoulos DB, et al. A noninvasive estimation of mixed venous oxygen saturation using near-infrared spectroscopy by cerebral oximetry in pediatric cardiac surgery patients. *Paediatr*

Anaesth. 2005;15(6):495–503.

10. Rescoe E, Tang X, Perry DA, Sleeper LA, DiNardo JA, Kussman BD, et al. Cerebral near-infrared spectroscopy insensitively detects low cerebral venous oxygen saturations after stage 1 palliation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017;154(3):1056–62.
11. McQuillen PS, Nishimoto MS, Bottrell CL, Fineman LD, Hamrick SE, Glidden D V, et al. Regional and central venous oxygen saturation monitoring following pediatric cardiac surgery: Concordance and association with clinical variables. *Pediatr Crit Care Med.* 2007;8(2):154–60.
12. Ono M, Zheng Y, Joshi B, Sigl JC, Hogue CW. Validation of a stand-alone near-infrared spectroscopy system for monitoring cerebral autoregulation during cardiac surgery. *Anesth Analg.* 2013;116(1):198–204.
13. Fellahi JL, Fischer MO, Rebet O, Dalbera A, Massetti M, Gérard JL, et al. Cerebral and somatic near-infrared spectroscopy measurements during fluid challenge in cardiac surgery patients: A descriptive pilot study. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2013;27(2):266–72.
14. Scheeren TWL, Schober P, Schwarte LA. Monitoring tissue oxygenation by near infrared spectroscopy (NIRS): Background and current applications. *J Clin Monit Comput.* 2012;26(4):279–87.
15. Chaikittisilpa N, Vavilala MS, Lele A V. Chapter 3 - Jugular Venous Oximetry. In: Prabhakar H, editor. *Neuromonitoring Techniques.* Academic Press; 2018. p. 57–75. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128099155000036>
16. Imberti R, Bellinzona G, Langer M. Cerebral tissue PO₂ and S_{jo}O₂ changes during moderate hyperventilation in patients with severe traumatic brain injury. *J Neurosurg.* 2002;96(1):97–102.
17. Sharma D, Lele A. Monitoring of Jugular Venous Oxygen Saturation. In: Koht A, Sloan T, Toleikis J (eds) *Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and Other Health Care Professionals.* 2017. p. 229–42.
18. Senapathi TGA, Wiryana M, Sinardja K, Nada KW, Sutawan IBKJ, Ryalino C, et al. Jugular bulb oxygen saturation correlates with full outline of responsiveness score in severe traumatic brain injury patients. *Open Access Emerg Med.* 2017;9:69–72.
19. Sharf MS, El-Gebali MA. Correlation between Glasgow coma scale and Jugular venous oxygen saturation in severe traumatic brain injury. *Egypt J Anaesth [Internet].* 2013;29(3):267–72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egja.2013.02.008>