

Near Infra-Red Spectroscopy as Daily Monitoring in NICU: A Literature Review

Ina Islamia, La Ode Abdul Rahman

ns.ina.islamia@gmail.com, laode.abdul@ui.ac.id

Universitas Indonesia

ABSTRACT

Pendahuluan: Monitoring standar yang dilakukan pada neonatus kebanyakan menggunakan pulse oximetry, namun sayangnya pulse oximetry memiliki kekurangan yakni tidak dapat memprediksi supply dan demand akan kebutuhan oksigen di jaringan dan sulit digunakan pada kasus hipoperfusi dan atau dengan pulsasi arteri lemah seperti pasien syok. Populasi neonatus juga sulit untuk dilakukan monitoring dengan alat tradisional invasif karena membutuhkan kateter yang besar dan mempertahankan akses vaskular (1). Near Infra-Red Spectroscopy (NIRS) merupakan perangkat yang dapat menjawab permasalahan tersebut. Selain mudah digunakan, NIRS juga merupakan alat non-invasif yang dapat menyediakan informasi oksigenasi dan perfusi jaringan regional secara terus menerus. Metode: Pencarian literatur dengan kata kunci NIRS monitoring in NICU di database. Tujuan: Memberikan gambaran untuk pentingnya penggunaan NIRS sebagai salah satu monitoring yang perlu dilakukan pada neonatus yang memerlukan perawatan intensif dan jangka panjang. Hasil: NIRS memiliki banyak manfaat dan keunggulan sebagai alat monitor non-invasif yang mudah digunakan dan dapat membantu klinisi untuk membuat prediksi dan membuat keputusan intervensi untuk masalah klinis di ruang NICU.

Kata Kunci: Monitoring NIRS, Regional Oxygenation Monitoring.

PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, harapan hidup dan angka survival bayi prematur semakin meningkat dengan berbagai permasalahan efek jangka panjang, yang dipengaruhi oleh berbagai proses perawatan, perjalanan penyakit, dan nutrisi. Dengan kemajuan ini, harapan bayi untuk bertahan dengan luaran yang baik semakin meningkat (3) dan masalah kesehatan yang mungkin muncul dapat dicegah, diprediksi, dan diobati secara dini (4,5).

Masa transisi neonatus dari fase intrauterine ke ekstra uterin sangat dipengaruhi oleh plasenta ibu yang menyediakan suplai oksigen dan nutrisi untuk bayi (6). Ketika bayi lahir, asupan plasenta terputus dan bayi harus mulai beradaptasi dengan mulai bernapas spontan yang ditandai dengan menangis. Gangguan pada fase transisi setelah lahir akan mengarah pada kepada kondisi hipoksia dan nutrisi yang dapat mengakibatkan kerusakan jaringan (6).

NIRS (Near Infra-Red Spectroscopy) merupakan alat non invasif dan real time yang secara terus menerus memonitor oksigenasi jaringan (4) yang merupakan refleksi keseimbangan pasokan dan kebutuhan oksigen (7). Berbeda dengan pulse oximetry yang memeriksa saturasi oksigen dari arteri, NIRS tidak tersinkronisasi dengan denyut nadi dan memeriksa isi hemoglobin di arteri, vena, maupun kapiler sehingga dapat merefleksikan keseimbangan antara supply dan demand oksigen (4). Monitoring NIRS telah banyak digunakan untuk memprediksi disfungsi neurologis, monitoring operasi, dan penilaian nyeri (8).

Tujuan telaah literatur ini adalah untuk mengidentifikasi pentingnya penggunaan NIRS sebagai salah satu monitoring yang perlu dilakukan pada bayi baru lahir terutama bayi prematur dan bayi sakit yang memerlukan perawatan intensif dan jangka panjang.

METODE

Studi ini merupakan studi literatur yang dicari dengan kata kunci NIRS monitoring in NICU dengan menggunakan fitur Summon dari koleksi online Perpustakaan Universitas Indonesia dan beberapa database diantaranya Proquest, Sage, Taylor & Francis, ScienceDirect, dan Google Scholar dengan filter: fulltext, article / research article, yang dipublikasi tahun 2019-2023. Total artikel yang didapatkan sebanyak 885 artikel, kemudian dilakukan penyaringan dengan PICO (Population, Intervention, Comparative, Outcome). Artikel yang dipilih dalam studi literature review ini membahas topik monitoring NIRS dalam setting perawatan neonatus di NICU dan peran fungsi NIRS dalam perawatan jangka pendek dan jangka panjang neonatus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut artikel-artikel yang penulis analisis pada telaah literatur ini.

No.	Sumber	Tujuan	Metode	Hasil Studi
1	(1)	Menyediakan klinisi pediatrik dengan pemahaman umum tentang bagaimana cara kerja NIRS, mendiskusikan bagaimana NIRS dipelajari dan diteliti, dan bagaimana penggunaan NIRS di masa depan, dengan	<i>Review</i>	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Monitoring</i> NIRS pada neonatus sangatlah ideal karena hampir semua organ tubuhnya berada didekat permukaan kulit yang dapat ditembus cahaya <i>near infra-red</i>.2. <i>Site monitoring</i> NIRS: dahi untuk mengukur CrSO₂; abdomen untuk <i>splanchnic</i> rSO₂, SrSO₂; dan <i>flank</i> untuk ginjal

		focus manajemen bayi		<p>rSO₂, RrSO₂.</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. NIRS dapat diaplikasikan di area neonatus dan pediatrik dalam berbagai area seperti ruang bersalin, NICU, PICU. 4. NIRS memiliki potensi untuk digunakan sebagai modalitas tambahan untuk mendefinisikan hipotensi dan memberikan intervensi tepat waktu. 5. NIRS dapat digunakan untuk mengukur berbagai fungsi yaitu: autoregulasi serebral, manajemen PDA, <i>monitoring</i> selama operasi kardiovaskular dan post op, manajemen respirasi, manajemen tranfusi darah, evaluasi neurologis, evaluasi ensefalopati neonatal, serta intoleransi minum dan nutrisi
2	(5)	Untuk menentukan hubungan dari pengukuran NIRS dengan anemia dan manfaatnya dalam menentukan keputusan tindakan untuk anemia termasuk transfusi darah	<i>Systematic literature review</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Terdapat hubungan antara parameter NIRS dengan konsentrasi hemoglobin 2) Parameter NIRS memiliki potensi untuk mengidentifikasi perubahan pada sel darah merah terhadap perdarahan
3	(8)	Mengevaluasi efektivitas nilai crSO ₂ menggunakan NIRS dalam mengukur nyeri terkait pemasangan PICC (<i>Peripherally Inserted Central Central</i>) pada bayi prematur	Eksperimental	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fluktuasi dari nilai CrSO₂ berhubungan dengan nyeri prosedural karena pemasangan PICC 3) Level nilai CrSO₂ yang diukur menggunakan NIRS dapat digunakan sebagai indikato untuk penilaian nyeri pada bayi prematur.
4	(9)	Memperkenalkan algoritma baru yaitu NIRS HR untuk mengekstraksi denyut jantung dari sinyal NIRS yang diperoleh dari pasien yang dirawat di NICU.	Eksperimental	<p>Algoritma NHR memiliki performa lebih baik secara signifikan untuk ekstraksi data HR dari sinyal NIRS dari algoritma Perdue dan AMDP Ekstraksi HR dari sinyal NIRS memiliki beberapa keunggulan diantaranya:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. NIRS merupakan Teknik noninvasif yang tidak memerlukan elektroda atau sensor yang ditempelkan secara adesif ke kulit; 2. Sinyal PPG yang direkam dari perifer lebih rentan

				<p>terhadap <i>motion of artifact</i> dari NIRS yang direkam di dahi.</p> <ol style="list-style-type: none"> HR yang direkam dari NIRS merupakan sumber yang kaya akan informasi stress fisik dan mental NIRS dapat secara kontinyu memonitor aliran darah ke otak dan oksigasinya Membantu klinisi agar secara simultan dapat memeriksa perubahan pada perfusi, oksigenasi, dan HR untuk lebih memahami mekanisme fisiologis yang mendasari berbagai kondisi kesehatan dan intervensi pada bayi baru lahir. Alat NIRS mudah dibawa dan mudah digunakan yang dapat menjadi pilihan aman untuk monitoring HR dan variable fisiologis lainnya
3	(10)	Mengembangkan algoritma baru NRR (NIRS RR) untuk ekstraksi laju napas (RR) dari sinyal intensitas yang dihasilkan NIRS pada bayi yang dirawat di NICU.	Eksperimental	Ekstraksi RR dari NIRS memiliki kesempatan untuk memiliki biomarker klinis yang sinkron, yaitu RR dan saturasi oksigen di otak dengan hanya menggunakan 1 alat saja. NRR juga dapat mendeteksi respirasi abnormal seperti takipnea dan apnea dan menganalisa efeknya pada hemodinamik serebral.
4	(11)	Menyoroti bukti terkini dan membantu penggunaan NIRS berdasarkan monitoring rSO ₂ di NICU	Review	<ol style="list-style-type: none"> <i>Monitoring</i> NIRS juga memberikan informasi penting untuk manajemen transfusi pasien anemia <i>Monitoring</i> NIRS dalam manajemen PDA masih spekulatif namun evaluasi lebih jauh diperlukan untuk menentukan potensi sensitive dibandingkan dengan rSO₂ otak sebagai marker kegagalan oksigenasi jaringan pada konteks PDA <i>Monitoring splanchnic</i> NIRS memiliki potensi untuk monitoring untuk evaluasi <i>feeding intolerance</i> dan NEC. <i>Monitoring</i> NIRS dapat memberikan informasi factor-faktor yang

				<p>mempengaruhi selama perawatan di NICU, seperti positioning.</p> <p>5. <i>Monitoring</i> rSO₂ secara terus menerus dapat mendeskripsikan autoregulasi otak di neonates atau menilai kemampuan untuk mempertahankan perfusi otak yang stabil di berbagai nilai tekanan darah.</p> <p>6. <i>Monitoring</i> NIRS dapat digunakan selama perioperative dan ECMO untuk mengevaluasi delivery oksigen ke jaringan dan keseimbangan konsumsi oksigen untuk mengoptimalkan perfusi jaringan selama operasi maupun ECMO.</p>
5	(12)	Untuk menentukan oksigenasi jaringan <i>mesenteric</i> selama pemberian minum enteral pertama dan mengeksplorasi kemungkinan hubungannya serta perkembangan NEC selama periode ini	<i>Prospective study</i>	Rerata StO ₂ mesenteric lebih rendah secara signifikan pada bayi yang mengalami NEC sebelum makan dan satu jam setelah makan dari bayi yang tidak NEC
6	(13)	Menginvestigasi kelayakan NIRS untuk memeriksa oksigenasi usus melalui silo; untuk memeriksa efek ketinggian silo dan pengurangan oksigenasi jaringan, serta mengevaluasi korelasi pengukuran dan hasil NIRS secara spesifik pada insiden iskemia intestinal.	<i>Pilot study</i>	NIRS dapat digunakan sebagai alat monitor oksigenasi usus pada saat reduksi silo pada bayi gastroschizis
7	(14)	Mendeskripsikan teknologi NIRS dan penggunaannya untuk mengukur oksigenasi dan perfusi otak selama transisi fetal-neonatal dan periode post natal.	<i>Review</i>	1. NIRS menawarkan monitoring kontinyu dari oksigenasi otak, dimana CrSO ₂ mewakili nilai pencampuran saturasi jaringan yang dapat memberikan informasi keseimbangan pengiriman dan konsumsi oksigen di otak

				<p>2. Oksigenasi otak dipengaruhi oleh nilai SpO₂, konten hemoglobin, dan aliran darah ke otak.</p> <p>3. Oksigenasi otak bergantung pada parameter metabolik, seperti gula darah dan parameter sirkulasi kardio, seperti <i>shunt</i> sirkulasi kardio.</p> <p>Intervensi perinatal, seperti metode kelahiran, <i>cord clamping</i>) dan intervensi postnatal, seperti dukungan pernapasan, memengaruhi saturasi oksigen serebral.</p>
8	(15)	Menginvestigasi kemungkinan untuk menggunakan nilai saturasi oksigen jaringan di otak dan intestinal yang diukur dengan NIRS pada hari-hari awal setelah lahir hingga timbulnya NEC untuk memprediksi bayi risiko tinggi yang seperti apa yang kemungkinan akan menderita NEC.	<i>Observational case-control study</i>	<p>1. Bayi dengan nilai rcSO₂ < 70% memiliki risiko NEC lebih tinggi dengan sensitivitas 50% dan spesifitas 90% untuk memprediksi kejadian NEC.</p> <p>2. Tidak ada hubungan nilai oksigenasi intestinal setelah lahir dan kejadian NEC.</p> <p>Bayi-bayi yang mengalami NEC seringkali mengalami gangguan oksigenasi otak dalam 48 jam pertama setelah lahir.</p>
9	(16)	Menjelaskan manfaat penggunaan NIRS pada bayi baru lahir	<i>Review</i>	<p>1. NIRS dapat mendeteksi neonatus yang berisiko mengalami kerusakan otak</p> <p>2. NIRS dapat digunakan untuk monitoring bayi aterm dengan <i>Hypoxic Ischemic Encephalopathy</i> /HIE.</p> <p>3. NIRS dapat mendeteksi risiko cedera kepala bayi prematur</p> <p>4. NIRS dapat menjadi salahsatu alat skrining untuk mengestimasi signifikansi PDA (<i>Patent Ductus Arteriosus</i>) namun terbatas. Akan tetapi NIRS dapat digunakan untuk melihat perkembangan apakah tindakan yang dilakukan sukses atau tidak dan digunakan untuk monitoring selama tindakan ligase PDA.</p> <p>5. NIRS digunakan untuk</p>

				<p>mendeteksi neonatus dengan kelainan organ jantung terhadap risiko cedera otak</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. NIRS dapat digunakan untuk monitoring neonatus selama perioperative. 7. NIRS dapat digunakan pada neonatus dengan hipotensi / insufisiensi sirkulasi 8. NIRS dapat digunakan pada bayi prematur yang memiliki risiko NEC 9. NIRS dapat digunakan pada bayi premature dengan cedera ginjal akut 10. NIRS dapat digunakan sebagai indicator perlunya transfusi pada <i>anemia of prematurity</i>. <p>NIRS dapat digunakan selama atau setelah intervensi untuk monitoring keberhasilan sebuah tindakan</p>
11	(17)	<p>Mengusulkan sebuah metode statistik nonparametric untuk menganalisa mesenteric rSO₂ (oksigenasi regional) yang diproduksi NIRS untuk mengevaluasi oksigenasi jaringan intestinal dan menginvestigasi respon terhadap tranfusi darah merah (RBC) pada bayi prematur</p>	<p>Pengukuran statistic</p>	<p>Dibandingkan dengan metode standar yang saat ini diaplikasikan untuk pengukuran NIRS <i>mesenteric</i>, metode ini mendemonstrasikan kenaikan akurasi dan meningkatkan power untuk mendeteksi perubahan pada sel darah merah pada oksigenasi <i>mesenteric</i> di bayi premature.</p> <p>Pendekatan ini memiliki keunggulan untuk memeriksa bukan hanya respon terhadap pemberian transfusi PRC, namun juga terhadap paparan lainnya seperti toleransi minum, anemia, dan status kardiovaskular status pada oksigenasi <i>mesenteric</i></p>
12	(18)	<p>Mengobservasi variasi renal dan serebral rSO₂ dan nilai patologis selama dan setelah reduksi prosedur operasi neonatal <i>viscera</i> dan menganalisa korelasi marker perfusi lainnya termasuk MAP, pH, konsentrasi laktat, dan <i>vasoactive-ventilation-renal score</i>.</p>	<p><i>Randomized, prospective, cohort study</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selama intraoperasi C dan R ΔrSO₂ memiliki korelasi positif yang signifikan dengan perubahan saturasi post ductal dan MAP selama intraoperasi. <p>ΔrSO₂ post operasi memperlihatkan korelasi negative dengan level serum laktat, sedangkan ΔrSO₂ pasca operasi memiliki korelasi positif dengan perubahan SpO₂ post ductal</p>

				post operasi dan korelasi negatif dengan nilai CRT (<i>capillary refill time</i>)
13	(19)	Mendiskusikan peran <i>neuromonitoring</i> optik pada Neonatal Encephalopathy (NE) dan mengapa modalitas ini mungkin menyediakan	<i>Review</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perangkat <i>neuromonitoring</i> harus aman dan mudah digunakan di <i>bed-side</i> dan menyediakan <i>monitoring</i> kontinu yang dapat diinterpretasi secara <i>real-time</i> oleh klinis dengan harapan mengarahkan perawatan klinis, memeriksa respon terhadap <i>treatment</i> dan memiliki kontribusi informasi prognosis dari luaran neurologis. 2. NIRS dapat digunakan dalam monitoring cedera kepala di Ruang Intensif. <p>Tujuan utama dilakukannya <i>neuromonitoring</i> pada pasien NE adalah untuk mengidentifikasi <i>biomarker bed-side</i> yang kuat dan akurat yang dapat digunakan oleh neonatologis.</p>
14	(20)	Melakukan telaah sistematis pada <i>monitoring</i> serebral NIRS pada bayi aterm dan <i>near term</i> dengan HIE	<i>Systematic review</i>	Monitoring NIRS serebral dapat menyediakan informasi terkait perubahan oksigenasi di otak dan hemodinamik yang mengikuti HIE dan sangat membantu ketika dikombinasikan dengan alat <i>neuromonitoring</i> lainnya.

PEMBAHASAN

Teknik standar dalam *monitoring* pasien neonatus di NICU berfokus pada *arterial oxygen supply* dan hemodinamik termasuk laju pernapasan (*respiratory rate / RR*), nadi (*heart rate / HR*), tekanan darah, dan saturasi yang diukur dengan *pulse oxymetri*, namun hanya dapat memberikan informasi terbatas mengenai pengiriman oksigen ke organ akhir (16). NIRS dapat menjembatani kekurangan tersebut dengan menampilkan secara terus menerus saturasi oksigenasi jaringan, yang memberikan informasi keseimbangan antara pengiriman dan konsumsi oksigen di organ yang ingin diketahui (16).

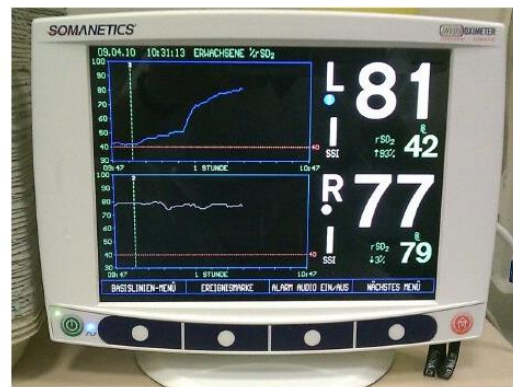
NIRS memperlihatkan oksigenasi regional hemoglobin dengan menggunakan teknik yang mirip dengan *pulse oximetry* (11). Cahaya *near infrared* yang digunakan pada alat NIRS dapat menembus ke dalam jaringan (1,4,5). Absorpsi dan refleksi cahaya *near infrared* pada berbagai panjang gelombang bervariasi dengan ikatan *heme* dan oksigen (5).

Pada populasi neonatus, NIRS pada umumnya digunakan untuk memeriksa jaringan otak, ginjal, dan sirkulasi *splanchnic* (4). Monitor NIRS juga *portable* dan mudah diletakkan di *bedside*, sehingga cocok untuk aplikasi penelitian klinis pada neonatus (4).

1. NIRS sebagai alat *monitoring*

NIRS merupakan teknologi yang mudah digunakan dan dapat menyediakan informasi oksigenasi jaringan dan perfusinya dengan mengukur saturasi oksigen jaringan regional

(rSO₂) (1). SpO₂ (saturasi oksigen) merupakan pengukuran yang mengukur saturasi oksigen dengan menggunakan *pulse oximetry* di arteri sebagai pengganti dari kandungan oksigen dalam darah, namun bersifat terbatas karena tidak memberikan gambaran lengkap mengenai pengiriman oksigen ke jaringan (21). Berbeda dengan *pulse oximetry*, NIRS memanfaatkan 2 panjang gelombang yang berbeda dari cahaya untuk meng-estimasi konsentrasi relatif dari hemoglobin yang teroksigenasi dan terdeoksigenasi dengan modifikasi Hukum Beer-Lambert (4). NIRS tidak tersinkronisasi dengan denyut nadi dan memeriksa isi hemoglobin di arteri, vena, maupun kapiler sehingga dapat merefleksikan keseimbangan antara *supply* dan *demand* oksigen (4).



Gambar 1 Monitor NIRS (sumber: Bombor, Wissgott, & Andresen, 2015)

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa data yang diperoleh dari NIRS dapat dikonversi menjadi data dalam bentuk lain untuk tujuan lebih banyak data klinis yang diperoleh dari pasien. NIRS dapat diekstraksi lagi datanya menjadi data HR, yang memiliki keunggulan dari metode tradisional seperti elektrokardiografi (EKG) dan *photoplethysmography* (PPG) (9).

NIRS masih mampu berfungsi walaupun pulsasi nadi tidak adekuat atau aliran darah tidak lancar, karena nilai rSO₂ tetap dapat digunakan untuk melihat level oksigenasi (1), misalnya pada kasus ketika *pulse oximetry* gagal membaca nilai saturasi karena perfusi jaringan dan pulsasi nadi tidak adekuat seperti yang terjadi pada pasien syok.

Sensor NIRS dapat digunakan diberbagai organ untuk memonitor level rSO₂ (1). *Monitoring* NIRS pada neonatus sangatlah ideal karena hampir semua organ tubuhnya berada didekat permukaan kulit yang dapat ditembus cahaya *near infra-red* (1,20). *Monitoring* oksigenasi jaringan menawarkan perspektif menarik dan objektif pada status klinis neonatus secara keseluruhan (11). Dengan pendekatan noninvasif ini, perubahan fisiologis pada kebutuhan oksigen dapat diobservasi secara real-time (11). Pendekatan *monitoring* NIRS memungkinkan untuk melihat adanya perubahan pada hemodinamik dan proses oksigenasi organ serebral (7,20) dan somatik (7).

Ekstraksi data dari NIRS pada *setting* klinis neonatus yang sakit dapat digunakan dan bisa digunakan menjadi *monitoring* system terpadu untuk mendapatkan data *real time* integrasi analisis hemodinamik serebral dan hemodinamik sistemik, serta sistem saraf autonomik (9). Sinyal NIRS juga memungkinkan untuk diubah menjadi data laju jantung, seperti dalam studi Hakimi, et al. (2023) dilakukan dengan algoritma baru yang disebut NHR (NIRS Heart Rate) dengan beberapa langkah, yaitu *preprocessing*, *adaptive HR frequency bandwidth*, *interquartile range*, dan *segmentation*, yang tidak dibahas lebih lanjut dalam telaah ini.

Hakimi et al (2023) juga melakukan studi lain untuk mengekstraksi NRR (NIRS RR) sebagai algoritma baru yang diperoleh dari rekaman data NIRS dari neonatus yang dirawat di NICU. Dari hasil studi ini, diperoleh kesimpulan bahwa ekstraksi data RR dari NIRS memungkinkan untuk dilakukan.

Pengukuran parameter rSO₂ pada NIRS melengkapi pemantauan dengan *pulse*

oximetry (SpO₂) dan digunakan bersama untuk memperkirakan ekstraksi oksigenasi jaringan fraksional (FTOE) yang dapat dihitung dengan formula: $FTOE = [(SpO_2 - rSO_2) / SpO_2]$ (1). Nilai ini merefleksikan jumlah oksigen yang diekstraksi oleh jaringan saat darah melewatinya (Kissack, Garr, Wardle, 2005 dalam (1)).

2. Monitoring serebral

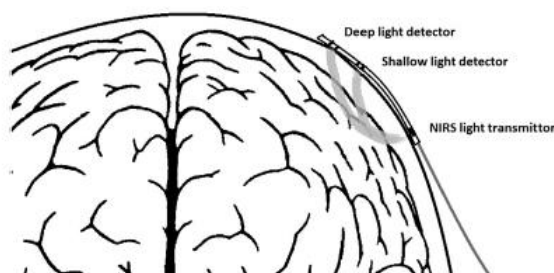
Neuromonitoring dan *neuroimaging* di rumah sakit sangat penting untuk mengambil keputusan terapeutik dan manajemen yang tepat terutama di NICU (*Neonatal Intensive Care Unit*) (22). Otak dewasa terhindar dari fluktuasi aliran darah ke otak dengan mekanisme autoregulasi serebrovaskular, namun bayi prematur memiliki fungsi autoregulasi yang terbatas sehingga beresiko memiliki tekanan pasif sirkulasi serebral (4). Hingga kapasitas fungsi autoregulasi ini matur, bayi prematur akan terus rentan terhadap risiko cedera akibat hipoperfusi dan hiperemik yang dapat mengakibatkan gangguan fungsi saraf jangka panjang (4).

Beberapa studi melaporkan hubungan kuat antara bayi premature dengan tekanan darah arteri yang lebih rendah dan kejadian perdarahan periventricular atau intraventricular (7). Hal ini bisa disebabkan oleh oksigenasi otak yang sangat dipengaruhi oleh saturasi, hemoglobin, dan aliran darah ke otak, yang bergantung pada *cardiac output* (CO) dan resistensi vascular (23). SpO₂ memengaruhi nilai CrSO₂ seiring waktu karena kenaikannya mengikuti nilai SpO₂ selama menit-menit pertama setelah lahir (23).

Dibandingkan dengan orang dewasa dan anak-anak, neonatus memiliki kulit dan ketebalan tulang yang lebih tipis sehingga cahaya *near infra-red* dapat menembus kedalaman jaringan otak dan membuat NIRS menjadi alat yang ideal untuk *neuromonitoring* (20). Dengan NIRS, status aliran darah ke otak, oksigenasi, dan metabolisme neonatus dapat terus dipantau, sehingga memiliki potensi untuk menyediakan informasi cedera yang sedang berkembang (20). Oleh karena itu kebutuhan akan perangkat *neuromonitoring* di *bed side* yang dapat melihat tingkat *severity* dari cedera, melihat kemajuan cedera secara akurat segera setelah lahir, dan mengidentifikasi bayi-bayi yang memenuhi syarat untuk perawatan, dan melihat respons mereka terhadap tindakan yang diberikan (19) akan semakin dibutuhkan untuk meningkatkan luaran bayi dengan masalah cedera otak.

Parameter NIRS rSO₂ dan rTHB mampu menilai perubahan dari aliran darah ke otak (4). Fluktuasi pada nilai rSO₂ merefleksikan perubahan aliran darah ke otak (4). Penggunaan parameter NIRS untuk memeriksa perubahan aliran darah ke otak merupakan kebutuhan akan asumsi dari sampel jaringan regional sebagai perwakilan *cerebrovasculature* pada level global (4).

Perdarahan periventricular dan intraventricular (PV-IVH) merupakan salah satu penyebab terbesar dari kematian dan penyebab gangguan perkembangan saraf jangka panjang pada bayi prematur (16,24). Karena kerentanannya ini, otak bayi merupakan target utama observasi klinis setelah lahir.



Gambar 2 Sensor NIRS di dahi dan grafik korelasi yang memperlihatkan cahaya NIRS menembus tulang tengkorak untuk mengukur CrSO₂ dari jaringan serebral (Bailey et al, 2022)

NIRS juga dapat digunakan untuk *monitoring* kejadian *hypoxic ischemic encephalopathy* (HIE) atau asfiksia neonatus. Mayoritas cedera otak bayi aterm adalah HIE yang juga merupakan penyebab kematian global dan disabilitas pada anak-anak (22). Parameter NIRS dapat mengidentifikasi hipoksia serebral, peningkatan perfusi serebral, dan kehilangan autoregulasi serebral pada neonatus dengan *severe* HIE (20). NIRS dikombinasikan dengan aEEG/EEG dapat meningkatkan luaran prognosis neurodevelopmental (20).

3. Monitoring sirkulasi (anemia & perdarahan)

Bayi baru lahir, baik premature maupun aterm, seringkali memiliki kondisi buruk setelah lahir yang mengakibatkan fungsi vital abnormal dan kegagalan organ yang seringkali diakibatkan oleh oksigenasi yang buruk dan atau asupan darah yang kurang (16), karena oksigenasi jaringan, termasuk pengiriman dan perfusi oksigen diperlukan untuk mempertahankan homeostasis jaringan dengan memenuhi kebutuhan metabolisme jaringan (11).

Monitoring NIRS dalam beberapa studi melakukan evaluasi terhadap ekstraksi oksigen sentral dan perifer dan manfaatnya untuk anemia (11). Salah satunya studi yang dilakukan Crispin & Forwood (2021) yang bertujuan untuk melihat apakah NIRS dapat diaplikasikan dalam mendeteksi dan melihat dampak anemia, serta kemampuannya untuk mendeteksi perubahan massa sel darah merah dan manajemen anemia melalui tranfusi, hasil studinya menyatakan bahwa ada korelasi antara parameter NIRS yang terdeteksi dan konsentrasi hemoglobin. Parameter ini berpotensi untuk mengidentifikasi perubahan massa sel darah merah karena perdarahan, hemodilusi, atau transfusi (5).

4. Necrotizing enterocolitis (NEC) predictor

NEC merupakan salah satu ancaman, terutama bagi bayi prematur. Iskemia, *feeding*, dan kolonisasi abnormal merupakan faktor utama terjadinya NEC pada bayi prematur sehingga pendekatan diagnostik non-invasif untuk faktor risiko ini dapat mendiagnosa NEC secara dini dan akurat (12).

NIRS dapat digunakan untuk memperkirakan kejadian NEC pada neonatus. Özkan, Çetinkaya, Dorum, & Köksal (2021) melakukan penelitian desain studi prospektif pada bayi dengan usia gestasi ≤ 32 minggu dengan melakukan monitoring oksigenasi mesenterik dengan NIRS secara terus menerus sebelum, selama, dan 3 jam setelah pemberian minum yang pertama. Hasilnya oksigenasi jaringan mesenterik pada neonatus yang terkena NEC lebih rendah secara signifikan dari neonatus yang tidak NEC. Studi lainnya dilakukan oleh Schat et al., (2019) dengan desain studi prospektif observasional *case-control* yang bertujuan untuk memprediksi kejadian NEC. Hasil penelitian menyebutkan Nilai CrSO₂ pada 48 jam setelah bayi lahir bermanfaat untuk memprediksi risiko terjadinya NEC dikemudian hari pada bayi prematur dengan usia gestasi <32 minggu.

Nekrosis iskemia mukosa usus merupakan tanda yang pasti pada pemeriksaan histopatologi pada stadium lanjut NEC, sehingga deteksi penurunan parameter StO₂ berkaitan dengan perfusi mesenteric sebelum NEC berkembang lebih lanjut dapat dilakukan dengan NIRS (11). Mintzer & Moore (2019) menyebutkan bahwa rerata parameter StO₂ NIRS mesenterik bayi yang mengalami NEC lebih rendah secara signifikan dari bayi yang tidak mengalami NEC.

5. Patent Ductus Arteriosus (PDA)

Insiden PDA pada bayi premature dan menghasilkan *left to right shunt* yang berhubungan dengan morbiditas neonatus dari sirkulasi berlebihan di paru dan atau hipoperfusi sistemik (1). Fenomena ‘pencurian’ selama fase diastol yang muncul ketika ada PDA, aliran darah *splanchnic* dan ginjal mungkin akan terganggu (1).

NIRS memiliki hal menarik lainnya yaitu mengevaluasi dugaan PDA dengan gangguan hemodinamik signifikan (hsPDA) (1,11). Berdasarkan fisiologis bahwa hsPDA dan

kemungkinan efek sirkulasi terhadap keseimbangan pengiriman dan konsumsi oksigenasi jaringan, perlu diteliti lebih jauh dengan sampel lebih banyak (11).

6. Monitoring NIRS intra dan post tindakan

Beberapa laporan studi perioperatif dan ECMO (*Extra Corporeal Membrane Oxygenation*) menggunakan *monitoring* NIRS pada populasi neonatus (11). NIRS secara khusus digunakan pada saat tindakan intra dan post *congenital heart disease repair* (11). Pada operasi jantung, *monitoring* rSO₂ telah digunakan selama bertahun-tahun dengan 2 atau lebih sensor secara simultan yang memungkinkan untuk mengarahkan pilihan terapeutik yang akan diambil, menghindari hipoksia jaringan, dan syok (7).

NIRS juga dapat digunakan untuk *monitoring* lainnya seperti pada neonatus dengan gastroschizis. Pada sebuah *pilot study* (13) yang bertujuan apakah NIRS dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan oksigenasi jaringan saat melakukan reduksi ketinggian organ pencernaan di *xylo* pada pasien gastroschizis. Hasil studi ini menyatakan bahwa pengukuran GrSO₂ di *xylo* memungkinkan dan reduksi ketinggian silo aman dilakukan dengan efek minimal pada tekanan hidrostatis dari oksigenasi organ pencernaan.

7. NIRS untuk monitoring nyeri prosedural

Sebuah studi di China yang dilakukan oleh Zhang, Liu, Mao, Gao, & Xiong (2023) yang menggunakan NIRS untuk mengkaji nyeri saat pemasangan PICC (*peripherally inserted central catheter*) pada bayi prematur <32 minggu. Hasil studi ini menyatakan selama dilakukan prosedur PICC, terdapat peningkatan nyeri dan fluktuasi pada HR, RR, SpO₂, BP, dan CrSO₂. Hasil ini memperkuat bukti dari studi-studi sebelumnya yang menyatakan CrSO₂ merupakan indikator yang sensitif terhadap perubahan fisiologis setelah stimulasi nyeri sehingga NIRS berpotensi untuk menjadi alat ukur nyeri pada bayi prematur dengan dikombinasikan dengan PIPP (*Premature Infant Pain Profile*) (2).

8. Limitasi NIRS

NIRS memiliki beberapa limitasi, yaitu adanya perbedaan antar *device* yang menyebabkan perbedaan nilai normal untuk setiap *device* yang digunakan (20,23), kurangnya presisi NIRS karena berhubungan dengan homogenitas jaringan (Arri, et al, 2011 dalam (23), dan sinyal NIRS juga mudah terpengaruh oleh aktivitas bayi (8). Selain itu juga penggunaan NIRS di rumah sakit kecil belum umum digunakan sehingga perawat harus mendapat pelatihan profesional agar dapat menggunakan NIRS (25).

Limitasi lainnya dari NIRS adalah sinyal yang fluktuatif, hilang, dan *low-limit detection* yang dapat mengaburkan interpretasi pengukuran NIRS dengan metode analisis saat ini (17), sehingga mungkin diperlukan pembaruan atau metode lain yang dapat digunakan untuk menganalisa nilai NIRS. Guo, et al., (2019) mengusulkan sebuah metode statistik non parametrik untuk menganalisa nilai rSO₂ yang dihasilkan NIRS yang dapat mengevaluasi oksigenasi jaringan intestinal dan memeriksa respon terhadap pemberian transfusi darah pada bayi prematur. Pengukuran NIRS yang diusulkan adalah *Mean Area Under the Curve* (MAUC) dan ukuran kemiringan untuk menangkap nilai rSO₂ rata-rata dan lintasan temporal rSO₂ (17).

Banyak faktor yang mempengaruhi real time rSO₂ dengan jaringan individu memperlihatkan perilaku oksigenasi secara *bed-side* di NICU merupakan sebuah tantangan, dan lebih jauh lagi sinyal NIRS memiliki lebih banyak variabel dari *pulse oximetry* dan sulit untuk menentukan rSO₂ yang ditampilkan mewakili klinis saat ini atau perubahan sesaat (11). Selain itu, cahaya kuat pada incubator misalnya lampu halogen, ada hematoma atau edema juga dapat mengintervensi *monitoring* NIRS (20)

KESIMPULAN

Monitoring saturasi oksigen dengan pulse oximetry saja tidak cukup. NIRS dapat menjembatani kekurangan yang dimiliki pulse oximetry dan tidak terpengaruh dengan kondisi

klinis pasien dan tetap bisa memberikan data secara akurat dengan cara kerjanya. NIRS merupakan alat monitoring non invasif yang mudah digunakan dan dapat diaplikasikan untuk melihat kondisi klinis oksigenasi jaringan diberbagai organ dengan berbagai kondisi klinis sekaligus memprediksi suatu akibat. NIRS dapat menyediakan informasi yang sangat berharga yang dapat membantu menghindari perburukan kondisi kardio-pulmonal, hipoksia serebral, dan lainnya (16) serta memungkinkan untuk membuat keputusan intervensi terkait, serta dapat berfungsi sebagai predictor untuk beberapa kasus klinis seperti hipoksia dan NEC.

Lebih jauh, pendekatan NIRS sebagai daily monitoring memerlukan keterampilan agar lebih familiar dengan perilaku oksigenasi jaringan normal yang spesifik (26) dan juga memiliki variabel yang lebih banyak dari pulse oximetry, sehingga memerlukan keterampilan klinisi untuk agar dapat melihat berbagai kondisi klinis terkait oksigenasi dan perfusi pada jaringan tubuh melalui parameter yang ditampilkan pada monitor NIRS.

DAFTAR PUSTAKA

- Bale G, Mitra S, Tachtsidis I. Metabolic brain measurements in the newborn: Advances in optical technologies. *Physiological Reports*. 2020;8(17):1–12. DOI: 10.14814/phy2.14548.
- Bruckner M, Wolfsberger CH, Dempsey EM, Liem KD, Lemmers P, Alderliesten T, et al. Normal regional tissue oxygen saturation in neonates: a systematic qualitative review. *Pediatric Research*. 2021;(February). DOI: 10.1038/s41390-021-01786-y
- Bailey SM, Prakash SS, Verma S, Desai P, Kazmi S, Mally P V. Near-infrared spectroscopy in the medical management of infants. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*. 2022;52(11):101291. <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2022.101291>
- Bailey SM, Prakash SS, Verma S, Desai P, Kazmi S, Mally P V. Near-infrared spectroscopy in the medical management of infants. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care* [Internet]. 2022;52(11):101291. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2022.101291>
- Bruckner M, Pichler G, Urlesberger B. NIRS in the fetal to neonatal transition and immediate postnatal period. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 2020;25(2):101079. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2020.101079>
- Chao H, Acosta S, Rusin C, Rhee C. Comparison of Near-Infrared Spectroscopy-Based Cerebral Autoregulatory Indices in Extremely Low Birth Weight Infants. *Children*. 2023;10(8):1–12. DOI: 10.3390/children10081361
- Crispin P, Forwood K. Near Infrared Spectroscopy in Anemia Detection and Management: A Systematic Review. *Transfusion Medicine Reviews*. 2021;35(1):22–8. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2020.07.003>
- Cerbo RM, Cabano R, Di Comite A, Longo S, Maragliano R, Stronati M. Cerebral and somatic rSO₂ in sick preterm infants. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*. 2012;25(SUPPL.4):89–92. DOI: 10.3109/14767058.2012.715030
- Guo Y, Wang Y, Marin T, Easley K, Patel RM, Josephson CD. Statistical methods for characterizing transfusion-related changes in regional oxygenation using near-infrared spectroscopy (NIRS) in preterm infants. *Statistical Methods in Medical Research*. 2019;28(9):2710–23. DOI: 10.1177/0962280218786302
- Hakimi N, Horschig JM, Alderliesten T, Bronkhorst M, Floor-Westerdijk MJ, Van Bel F, et al. Heart Rate Extraction From Neonatal Near-Infrared Spectroscopy Signals. *IEEE*

- Transactions on Instrumentation and Measurement. 2023;72. DOI: 10.1109/TIM.2023.3295015
- Harvey-Jones K, Lange F, Tachtsidis I, Robertson NJ, Mitra S. Role of Optical Neuromonitoring in Neonatal Encephalopathy—Current State and Recent Advances. *Frontiers in Pediatrics*. 2021;9(April):1–18. DOI: 10.3389/fped.2021.653676
- Hakimi N, Shahbakhti M, Horschig JM, Alderliesten T, Bel F Van, Colier WNJM, et al. Spectroscopy Signals. 2023. <https://doi.org/10.3390/s23094487>
- Hummler H. Near-Infrared spectroscopy for perfusion assessment and neonatal management. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 2020;25(5):101145. DOI: 10.1016/j.siny.2020.101145
- Jain D, Bancalari E. Neonatal monitoring during delivery room emergencies. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 2019;24(6):101040. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2019.101040>
- Mintzer JP, Moore JE. Regional tissue oxygenation monitoring in the neonatal intensive care unit: evidence for clinical strategies and future directions. *Pediatric Research*. 2019;86(3):296–304. DOI: 10.1038/s41390-019-0466-9
- Mintzer JP, Moore JE. Regional tissue oxygenation monitoring in the neonatal intensive care unit: evidence for clinical strategies and future directions. *Pediatric Research*. 2019;86(3):296–304. <http://dx.doi.org/10.1038/s41390-019-0466-9>
- Mitra S, Bale G, Meek J, Tachtsidis I, Robertson NJ. Cerebral near infrared spectroscopy monitoring in term infants with hypoxic ischemic encephalopathy—a systematic review. *Frontiers in Neurology*. 2020;11(May):1–17. DOI: 10.3389/fneur.2020.00393
- Pravia CI, Benny M. Long-term consequences of prematurity. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*. 2020;87(12):759–67. DOI: 10.3949/ccjm.87a.19108
- Mattersberger C, Baik-Schneditz N, Schwabegger B, Schmölzer GM, Mileder L, Urlesberger B, et al. Acid-base and metabolic parameters and cerebral oxygenation during the immediate transition after birth—A two-center observational study. *PLoS ONE*. 2023;18(5 MAY):1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0283278
- Rabie A, Abdou MS. Near infrared spectroscopy and abdominal compartmental syndrome in neonates. *Egyptian Journal of Anaesthesia*. 2021;37(1):454–63. <https://doi.org/10.1080/11101849.2021.1979339>
- Stienstra RM, McHoney M. Near-infrared spectroscopy (NIRS) measured tissue oxygenation in neonates with gastroschisis: a pilot study. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*. 2022;35(25):5099–107. <https://doi.org/10.1080/14767058.2021.1875429>
- Schat TE, van Zoonen AGJF, van der Laan ME, Mebius MJ, Bos AF, Hulzebos C V., et al. Early cerebral and intestinal oxygenation in the risk assessment of necrotizing enterocolitis in preterm infants. *Early Human Development*. 2019;131(March 2018):75–80. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2019.03.001
- Özkan H, Çetinkaya M, Dorum BA, Köksal N. Mesenteric tissue oxygenation status on the development of necrotizing enterocolitis. *Turkish Journal of Pediatrics*. 2021;63(5):811–7. DOI: 10.24953/TURKJPED.2021.05.009.
- Zhang S, Peng C, Yang Y, Wang D, Hou X, Li D. Resting-state brain networks in neonatal hypoxic-ischemic brain damage: a functional near-infrared spectroscopy study. *Neurophotonics*. 2021;8(02):1–18. DOI: 10.1117/1.nph.8.2.025007
- Zhang Y, Liu D, Mao Y, Gao Q, Xiong T. Cerebral near-infrared spectroscopy monitoring to

predict periventricular-intraventricular haemorrhage and neurodevelopmental outcomes in preterm infants: A protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Paediatrics Open*. 2023;7(1):1–5. DOI: 10.1136/bmjpo-2023-001859

Zhang L, Yang L, Lei X, Dong W, Zhang L. Pain-related changes in crSO₂ among premature infants undergoing PICC insertion. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*. 2023;36(2). <https://doi.org/10.1080/14767058.2023.2241976>