

Peranan Sekuen *Arterial Spin Labeling* (ASL) pada pemeriksaan MRI Brain Perfusi dengan Kasus Stroke Iskemik di RSUP Surabaya

Ni Kadek Paramita Putri Arta^{1*}, Langkir Sapto Adi², Nur Salsabila Sandy³

^{1,2}AKTEK Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, Denpasar, Indonesia

³Rumah Sakit Umum Pusat Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Corresponding Author : paramitaputriarta@gmail.com

Abstrak: Stroke iskemik merupakan gangguan aliran darah serebral yang dapat menyebabkan kerusakan jaringan otak sehingga memerlukan pemeriksaan pencitraan yang mampu memberikan informasi struktural dan perfusi. *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dapat mengevaluasi perubahan jaringan melalui berbagai sekuen, sedangkan *Arterial Spin Labeling* (ASL) memberikan informasi perfusi serebral tanpa menggunakan media kontras eksogen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prosedur pemeriksaan MRI brain pada kasus stroke iskemik dan mengidentifikasi peran sekuen ASL dalam memberikan informasi *Cerebral Blood Flow* (CBF). Penelitian menggunakan desain deskriptif kualitatif dengan informan radiografer MRI yang terlibat langsung dalam pemeriksaan MRI brain pada pasien stroke iskemik. Data diperoleh melalui wawancara dan dianalisis melalui pengorganisasian data, reduksi, kategorisasi berdasarkan tema, penyajian secara deskriptif, serta penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeriksaan MRI brain meliputi persiapan pasien, *positioning*, dan akuisisi beberapa sekuen MRI, yaitu DWI, T2 FLAIR, T2-weighted, T1-weighted, MRA, dan ASL. Jenis ASL yang digunakan adalah *pseudo-continuous arterial spin labeling* (pCASL). Sekuen pCASL digunakan untuk menilai CBF dan memberikan informasi perfusi serebral yang melengkapi informasi anatomi, difusi, dan vaskular dari sekuen MRI lainnya tanpa penggunaan media kontras.

Kata kunci: *arterial spin labeling, cerebral blood flow, magnetic resonance imaging, stroke iskemik*

Abstract: Ischemic stroke is a disorder of cerebral blood flow that can cause brain tissue damage, thus requiring imaging examinations capable of providing structural and perfusion information. Magnetic Resonance Imaging (MRI) can evaluate tissue changes through various sequences, while Arterial Spin Labeling (ASL) provides information on cerebral perfusion without the use of exogenous contrast agents. This study aims to analyze the brain MRI examination procedure in cases of ischemic stroke and to identify the role of ASL sequences in providing information on cerebral blood flow (CBF). The study employed a qualitative descriptive design, with MRI radiographers who were directly involved in brain MRI examinations of patients with ischemic stroke serving as informants. Data were collected through interviews and analyzed through data organization, reduction, categorization based on themes, descriptive presentation, and drawing of conclusions. The results showed that brain MRI examinations include patient preparation, positioning, and the acquisition of several MRI sequences, namely DWI, T2 FLAIR, T2-weighted, T1-weighted, MRA, and ASL. The type of ASL used is *pseudo-continuous arterial spin labeling* (pCASL). The pCASL sequence is used to assess CBF and provides cerebral perfusion information that complements the anatomical, diffusion, and vascular information from other MRI sequences without the use of contrast media.

Keywords: *arterial spin labeling, cerebral blood flow, magnetic resonance imaging, ischemic stroke*

Pendahuluan

Stroke iskemik merupakan kondisi yang terjadi akibat gangguan aliran darah serebral yang menyebabkan defisit *neurologis* akut dan selanjutnya dapat menimbulkan perubahan struktural pada jaringan otak, seperti edema, kematian sel, gliosis, dan *ensefalomalasia*. (Aracki-Trenkic et al. 2020). Pada fase awal iskemia, perubahan jaringan otak dapat dideteksi menggunakan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), dengan perubahan sinyal yang umumnya pertama kali terlihat pada *Diffusion Weighted Imaging* (DWI), kemudian diikuti perubahan pada *Fluid Attenuated Inversion Recovery* (FLAIR) (Azhar and Chong 2023). Iskemia serebral dapat berkembang menjadi kerusakan jaringan yang *irreversibel* atau *ischemic core*, sedangkan jaringan di sekitarnya dapat

mengalami gangguan fungsi akibat *hipoperfusi* tetapi masih berpotensi dipertahankan apabila aliran darah dapat dipulihkan, yang dikenal sebagai *ischemic* penumbra (Fan et al. 2022). Oleh karena itu, pemeriksaan pencitraan pada stroke iskemik tidak hanya berperan dalam memperlihatkan perubahan morfologi dan difusi jaringan, tetapi juga penting untuk memberikan informasi mengenai kondisi perfusi serebral (Čivrný, Tomáš, and Černá 2024).

MRI memiliki kemampuan untuk memberikan informasi struktural maupun fungsional melalui penggunaan berbagai sekuen pemeriksaan. Pada pemeriksaan MRI brain, sekuen konvensional dapat terdiri atas T1-*weighted*, T2-*weighted*, FLAIR, *Gradient Recalled Echo* (GRE), dan DWI, sedangkan informasi hemodinamik jaringan otak dapat diperoleh melalui teknik perfusi MRI (Belani et al. 2020). Penilaian perfusi menjadi penting pada stroke iskemik karena dapat membantu menggambarkan jaringan dengan penurunan aliran darah serta mendukung penilaian antara area *infark* dan jaringan yang masih berpotensi dipertahankan (Daftari Besheli et al. 2022). Perfusi serebral sendiri menggambarkan proses pengiriman darah menuju parenkim otak melalui jaringan pembuluh darah sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran oksigen dan berbagai molekul yang dibutuhkan jaringan. Salah satu parameter utama dalam penilaian perfusi tersebut adalah *Cerebral Blood Flow* (CBF), yang dapat memberikan informasi mengenai jumlah aliran darah yang mencapai jaringan otak dalam satuan waktu tertentu. Salah satu teknik MRI perfusi yang dapat digunakan untuk menilai CBF adalah *Arterial Spin Labeling* (ASL) (Lou et al. 2017). ASL merupakan teknik perfusi MRI non-invasif yang menggunakan proton air pada darah arteri yang dilabel secara magnetik sebagai *endogenous tracer*, sehingga pengukuran perfusi dapat dilakukan tanpa pemberian media kontras eksogen berbasis gadolinium (Xu et al. 2021). Keunggulan tersebut memungkinkan ASL digunakan sebagai alternatif pemeriksaan perfusi pada pasien yang memiliki kontraindikasi terhadap media kontras serta pada kondisi yang memerlukan pemeriksaan berulang. Selain itu, ASL memungkinkan diperolehnya pengukuran CBF secara kuantitatif, berbeda dengan *Dynamic Susceptibility Contrast* (DSC) yang memerlukan pemberian gadolinium dan menghasilkan parameter perfusi yang bersifat semikuantitatif. (Maulida, Susanto, and Murniati n.d.) Jenis teknik ASL yang tersedia meliputi *Continuous* ASL (CASL), *Pulsed* ASL (PASL), *Pseudo-Continuous* ASL (pCASL), dan teknik lainnya, dengan pCASL menjadi teknik yang paling banyak digunakan dan direkomendasikan untuk aplikasi klinis karena mengombinasikan keuntungan *signal-to-noise ratio* dari CASL dan efisiensi pelabelan dari PASL (Iutaka et al. 2023).

Pada stroke iskemik, ASL dapat memberikan informasi mengenai perubahan perfusi yang tidak diperoleh hanya dari pemeriksaan struktural. Area *ischemic core* dapat menunjukkan restriksi difusi yang disertai penurunan CBF, sedangkan *ischemic* penumbra merupakan jaringan *hipoperfusi* yang berisiko mengalami infark tetapi masih berpotensi diselamatkan apabila terjadi reperfusi. Perbedaan luas antara abnormalitas perfusi dengan area restriksi pada DWI dapat menggambarkan *perfusion-diffusion mismatch* yang berkaitan dengan keberadaan penumbra.

(Iutaka et al. 2023). (Daftari Besheli et al. 2022) juga menjelaskan bahwa ASL dapat digunakan untuk menilai *infarct core* dan penumbra, membantu menentukan lokasi oklusi vaskular, serta memberikan informasi mengenai sirkulasi kolateral pada stroke iskemik. Dengan demikian, ASL tidak dimaksudkan untuk menggantikan keseluruhan sekuen MRI brain, melainkan memberikan informasi fisiologis mengenai perfusi yang dapat melengkapi informasi anatomi dan difusi dari sekuen lainnya. Nilai tambah ASL sebagai bagian dari protokol MRI brain juga telah ditunjukkan dalam penelitian klinis. (Belani et al. 2020) melaporkan bahwa penambahan ASL pada pemeriksaan MRI brain rutin memberikan informasi tambahan pada 24,5% pasien dengan infark akut dalam kohort penelitiannya. Penelitian (Xu et al. 2021) menunjukkan adanya hubungan antara parameter perfusi yang diperoleh dengan *multi-delay* pCASL dan CT perfusion pada pasien stroke iskemik serta menunjukkan potensi pCASL sebagai teknik non-invasif dan bebas radiasi untuk mengevaluasi perfusi serebral. Penelitian yang lebih baru oleh (Hernandez Petzsche et al. 2025) menunjukkan bahwa perbedaan CBF yang diperoleh dari pCASL pada area infark positif DWI berhubungan secara independen dengan kemandirian fungsional pasien setelah stroke. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa informasi CBF dari ASL tidak hanya dapat memperlihatkan perubahan perfusi, tetapi juga memiliki potensi untuk memberikan informasi tambahan mengenai kondisi jaringan otak pada stroke iskemik.

Penelitian mengenai penerapan ASL pada pemeriksaan MRI brain kasus stroke juga telah dilakukan di Indonesia menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan studi kasus pada satu pasien yang menjalani pemeriksaan MRI brain 3 Tesla dan mengkaji prosedur serta peran ASL pada kasus stroke. Dalam penelitian tersebut, ASL digunakan sebagai bagian dari rangkaian sekuen MRI brain dan berperan memberikan informasi mengenai perfusi jaringan serta CBF tanpa menggunakan media kontras. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa ASL perlu dikombinasikan dengan sekuen MRI lain karena ASL terutama memberikan informasi mengenai aliran darah otak, sementara informasi mengenai lokasi dan karakteristik lesi diperoleh melalui sekuen lain (Askar, Juliantara, and Nadra 2024). Di sisi lain, adanya variasi teknik ASL, parameter akuisisi, kondisi pasien, dan protokol yang digunakan pada masing-masing sistem MRI menunjukkan pentingnya kajian terhadap penerapan prosedur ASL dalam praktik pemeriksaan klinis (Sabisz et al. 2025)

Meskipun berbagai penelitian telah menjelaskan manfaat ASL dalam memberikan informasi perfusi serebral pada stroke iskemik, kajian mengenai penerapan prosedur pemeriksaan ASL dalam praktik klinis masih diperlukan, terutama dalam menggambarkan tahapan pemeriksaan, teknik akuisisi, serta peran informasi CBF sebagai bagian dari protokol MRI brain. Setiap fasilitas pelayanan kesehatan dapat memiliki karakteristik penerapan pemeriksaan yang berbeda berdasarkan sistem MRI, pengaturan protokol, dan alur pelayanan pasien, sehingga diperlukan kajian berbasis praktik klinis untuk memperoleh gambaran mengenai implementasi ASL secara nyata. Oleh karena itu, studi kasus pada pemeriksaan MRI brain pasien stroke iskemik di RSUP

Surabaya dilakukan untuk menganalisis pelaksanaan pemeriksaan dengan sekuen ASL serta memahami kontribusi informasi CBF yang diperoleh sebagai informasi tambahan terhadap sekuen MRI lainnya.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prosedur pemeriksaan MRI brain pada kasus stroke iskemik dengan penggunaan sekuen *Arterial Spin Labeling* (ASL), meliputi persiapan pasien, teknik pemeriksaan, jenis ASL yang digunakan, serta peran sekuen ASL dalam memberikan informasi *Cerebral Blood Flow* sebagai informasi tambahan terhadap sekuen MRI lainnya pada pemeriksaan stroke iskemik.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus untuk mengetahui peranan sekuen *Arterial Spin Labeling* (ASL) pada pemeriksaan MRI Brain pada kasus stroke iskemik. Penelitian dilakukan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Pusat Surabaya pada bulan Juli 2026 menggunakan perangkat *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) 3 Tesla. Subjek penelitian dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu satu pasien stroke iskemik yang menjalani pemeriksaan MRI Brain dengan menggunakan sekuen ASL dan memiliki data pemeriksaan yang sesuai dengan fokus penelitian. Informan penelitian terdiri atas 3 informan yaitu dua radiografer MRI dan dokter spesialis radiologi yang terlibat dalam proses pemeriksaan maupun evaluasi hasil pemeriksaan MRI Brain kasus stroke iskemik. Pemilihan informan didasarkan pada keterlibatan langsung dalam pelaksanaan pemeriksaan MRI, penggunaan sekuen ASL, serta interpretasi hasil pemeriksaan. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi proses pemeriksaan MRI Brain, dokumentasi citra MRI terutama citra *Arterial Spin Labeling* berupa *Cerebral Blood Flow* (CBF) map, hasil *ekspertise* radiolog, serta wawancara dengan informan. Wawancara dilakukan menggunakan pedoman wawancara yang mencakup aspek persiapan pasien, tahapan pemeriksaan MRI Brain, penggunaan sekuen ASL, parameter pemeriksaan, kendala selama pemeriksaan, serta peranan informasi CBF dalam evaluasi stroke iskemik. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kualitatif melalui tahapan pengorganisasian data, reduksi data berdasarkan fokus penelitian, kategorisasi data sesuai tema yang berkaitan dengan prosedur pemeriksaan MRI Brain, penerapan ASL, dan informasi perfusi serebral, kemudian penyajian data secara deskriptif. Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan menilai distribusi perfusi serebral, lokasi *hipoperfusi* atau *hiperperfusi*, serta *asimetri perfusi* antara *hemisfer dextra* dan *sinistra*. Hasil evaluasi citra ASL kemudian dikorelasikan dengan hasil *ekspertise* radiolog untuk mengetahui peranan ASL dalam memberikan informasi perfusi serebral pada stroke iskemik. Berdasarkan informasi yang menjadi fokus penelitian, prosedur pemeriksaan dikaji mulai dari tahap penerimaan dan skrining keamanan MRI, pelepasan benda logam yang melekat pada pasien, persiapan dan positioning pasien, hingga pelaksanaan akuisisi citra. Sekuen yang dikaji dalam pemeriksaan MRI brain

stroke iskemik meliputi *Diffusion Weighted Imaging* (DWI), *T2 Fluid Attenuated Inversion Recovery* (T2 FLAIR), *T2-weighted imaging*, *T1-weighted imaging*, *Magnetic Resonance Angiography* (MRA), serta *Arterial Spin Labeling*. Secara khusus, penelitian mengkaji penggunaan *Pseudo-Continuous Arterial Spin Labeling* (pCASL) sebagai sekuen perfusi yang digunakan untuk memperoleh informasi *Cerebral Blood Flow* (CBF). Informasi mengenai sekuen dan urutan pemeriksaan tersebut diperoleh dari keterangan radiografer yang terlibat langsung dalam pemeriksaan dan selanjutnya dianalisis sesuai dengan fokus penelitian.

Hasil

Berdasarkan hasil wawancara terhadap dua radiografer MRI dan satu dokter spesialis radiologi, serta informasi hasil evaluasi citra *Arterial Spin Labeling* (ASL), diperoleh temuan mengenai prosedur pemeriksaan MRI brain pada kasus stroke iskemik, jenis dan peran ASL, parameter akuisisi, kendala pemeriksaan, proses *post-processing*, serta informasi perfusi yang dihasilkan.

Prosedur Pemeriksaan MRI Brain Pada Kasus Stroke Iskemik

Hasil wawancara dengan radiografer menunjukkan bahwa pemeriksaan MRI brain pada kasus stroke iskemik diawali dengan tahapan penerimaan dan skrining keamanan pasien. Responden radiografer 1 menjelaskan alur pemeriksaan berupa skrining pasien, pelepasan benda-benda logam yang melekat pada tubuh pasien, *positioning*, kemudian dilanjutkan dengan akuisisi *axial* DWI, T2 FLAIR, *T2-weighted*, *T1-weighted*, MRA, dan ASL pada bagian akhir pemeriksaan. Sekuen ASL digunakan untuk membantu mengonfirmasi area yang menunjukkan penurunan aliran darah berdasarkan hasil pemeriksaan sebelumnya. Responden radiografer 2 menyatakan bahwa penerimaan pasien dilakukan sesuai SOP penerimaan pasien MRI yang berlaku di instalasi radiologi. Mengenai persiapan pasien, kedua radiografer sama-sama menekankan bahwa pasien harus bebas dari benda logam. Responden radiografer 1 menambahkan bahwa pasien harus kooperatif, tenang, dan tidak bergerak selama pemeriksaan. Responden radiografer 2 menyampaikan bahwa tidak terdapat persiapan khusus selain pasien mengganti pakaian, bebas dari benda logam, kemudian diposisikan dengan orientasi *head first*.

Tabel 1. Hasil Wawancara Radiografer Mengenai Prosedur Pemeriksaan MRI Brain

Aspek	Responden radiografer 1	Responden radiografer 2
Alur pemeriksaan	Skrining → pelepasan benda logam → <i>positioning</i> → DWI → T2 FLAIR → T2 → T1 → MRA → ASL	Sesuai SOP penerimaan pasien MRI
Persiapan pasien	Bebas logam, tenang, dan kooperatif agar tidak bergerak	Berganti pakaian, bebas benda logam
Posisi pasien	Head first	Head first
Sekuen yang digunakan	DWI, T2 FLAIR, T2, T1, MRA, ASL	Brain rutin, T2, T1, FLAIR, DWI, ASL

Teknik Sekuen ASL (Arterial Spin Labeling) dan peran informasi Cerebral Blood Flow

Berdasarkan hasil wawancara, kedua radiografer menyatakan bahwa jenis teknik ASL yang digunakan adalah *Pseudo-Continuous Arterial Spin Labeling* (pCASL). Responden radiografer 1 menyebutkan bahwa ASL digunakan untuk membantu mengonfirmasi penurunan blood flow pada area otak tertentu dan sebagai pendukung informasi dari sekuen MRI sebelumnya. Keunggulan lain yang disampaikan adalah ASL tidak membutuhkan media kontras.

Responden radiografer 2 menyatakan bahwa ASL pada kasus stroke digunakan untuk menilai *Cerebral Blood Flow* (CBF). Berdasarkan wawancara dengan dokter spesialis radiologi, ASL digunakan untuk evaluasi perfusi parenkim otak pada pasien stroke iskemik. Radiolog menyatakan bahwa ASL dapat membantu dalam menentukan area penumbra dan *core*, serta dapat memberikan informasi mengenai jaringan otak yang masih memiliki perfusi. Radiolog juga menyampaikan bahwa hasil ASL perlu dikorelasikan dengan sekuen MRI lainnya, seperti DWI, FLAIR, SWI, atau MRA, untuk meningkatkan akurasi penilaian. Menurut radiolog, ASL layak digunakan sebagai sekuen tambahan pada pemeriksaan MRI brain kasus stroke iskemik.

Menurut hasil wawancara tersebut, ASL berperan sebagai sekuen tambahan yang memberikan informasi fisiologis mengenai perfusi serebral, sedangkan informasi anatomi dan perubahan jaringan tetap diperoleh dari sekuen MRI lainnya.

Parameter Pemeriksaan dan *Post-Processing* ASL (Arterial Spin Labeling)

Responden radiografer 1 menyatakan bahwa parameter yang dianggap penting pada sekuen ASL adalah *Post-Labeling Delay* (PLD). Berdasarkan dokumentasi protokol pada *workstation* MRI, tersedia pilihan 3D ASL PLD 1525 untuk usia 16–40 tahun, PLD 2025 untuk usia 40–50 tahun, PLD 2525 untuk usia 50–75 tahun, dan PLD 3025 untuk usia >75 tahun. Pada dokumentasi parameter sekuen 3D ASL, nilai *Post Label Delay* yang terlihat adalah 1525,0, dengan labeling duration 1800 ms.

Responden radiografer 2 memberikan parameter berupa TR 3586, TE 15, *slice thickness* 5, matrix 64 × 60, dan voxel 3,75. Mengenai penyesuaian parameter terhadap kondisi pasien, Responden radiografer 1 menyatakan bahwa parameter yang dapat disesuaikan terutama *coverage area scan* dan PLD. Responden radiografer 2 menyatakan bahwa tidak terdapat penyesuaian parameter. Mengenai labeling duration atau PLD, Responden radiografer 1 menyatakan terdapat pengaturan khusus yaitu terdapat perbedaan jawaban mengenai durasi akuisisi sekuen ASL. Responden radiografer 1 menyebutkan durasi sekitar 10 menit pada MRI Philips 1,5 T, sedangkan Responden radiografer 2 menyebutkan sekitar 4 menit Tergantung *motion* atau pergerakan pasien yang menyebabkan *artefact*. Responden radiografer 1 juga menyampaikan bahwa apabila menggunakan MRI 3 T, waktu *scanning* dapat relatif lebih singkat, sekitar 3–5 menit.

Kendala Pemeriksaan, *Post-processing*, dan Keterbatasan *Fusion* Citra ASL

Berdasarkan hasil wawancara dengan radiografer, kendala utama pada pemeriksaan ASL adalah pergerakan pasien selama proses akuisisi citra. Radiografer 1 menyampaikan bahwa ASL sensitif terhadap pergerakan pasien sehingga pasien yang tidak kooperatif dapat memengaruhi kualitas citra. Optimalisasi dilakukan melalui komunikasi dan kerja sama dengan pasien agar tetap tenang dan tidak bergerak selama pemeriksaan. Radiografer 2 tidak memberikan informasi tambahan terkait optimalisasi citra. Mengenai pengulangan sekuen ASL apabila ditemukan artefak, radiografer 1 menyampaikan bahwa pengulangan tidak selalu dilakukan dan mempertimbangkan justifikasi radiolog maupun radiografer karena waktu scanning relatif lama, sedangkan radiografer 2 menyampaikan bahwa sekuen ASL dapat diulang apabila ditemukan artefak.

Berdasarkan hasil ekspertise dokter spesialis radiologi, pasien yang tidak kooperatif dan pergerakan selama pemeriksaan dapat memengaruhi kualitas citra ASL. Pada tahap evaluasi *color map*, radiolog menyampaikan bahwa tampilan warna biru menggambarkan *hipoperfusi*, sedangkan warna merah menggambarkan *hiperperfusi* pada sistem tampilan yang digunakan di instalasi radiologi.

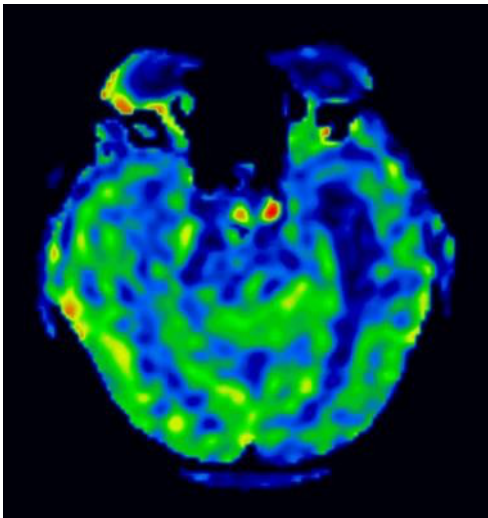
Berdasarkan informasi radiografer, pada pemeriksaan yang dikaji dilakukan proses *color mapping* dengan *window range* 25–75 oleh radiografer 1, sedangkan radiografer 2 tidak memberikan informasi mengenai tahapan tersebut. Proses *fusion* antara peta perfusi ASL dan citra anatomi tidak dapat dilakukan karena pada saat pemeriksaan tidak dilakukan akuisisi axial T1 2D maupun 3D yang diperlukan untuk proses tersebut. Radiografer 1 menyampaikan bahwa ketersediaan citra T1 untuk *fusion* dapat membantu menentukan pemetaan lokasi gangguan perfusi terhadap anatomi otak secara lebih akurat.

Berdasarkan interpretasi peneliti, informasi perfusi dan CBF tetap dapat dievaluasi melalui citra ASL meskipun proses *fusion* dengan citra anatomi tidak dilakukan. Namun, keterbatasan tersebut menyebabkan hubungan antara perubahan perfusi dan lokasi anatomi tidak dapat divisualisasikan secara langsung melalui citra gabungan.

Evaluasi Citra ASL (*Arterial Spin Labeling*) dan Temuan *Perfusi Cerebral*

Berdasarkan evaluasi dokter spesialis radiologi, pada citra ASL tampak *mild hypoperfusion* pada hampir seluruh lobus di kedua *hemisfer serebri*, dengan sisi sinistra menunjukkan *hipoperfusi* yang lebih berat. *Hipoperfusi* terutama tampak pada area *kortikal-subkortikal* lobus *temporal* dan *oksipital sinistra*. Informasi tambahan dari responden radiografer 1 menunjukkan bahwa rerata CBF pada area yang dinilai adalah 88% dibandingkan dengan sisi kontralateral. Nilai tersebut merupakan CBF relatif terhadap sisi kontralateral dan bukan nilai CBF absolut dalam satuan mL/100 g/menit. Kedua radiografer menyatakan bahwa belum terdapat SOP khusus terkait penggunaan ASL di instalasi radiologi. Responden radiografer 1 menyampaikan bahwa ASL dilakukan apabila terdapat permintaan dari dokter spesialis radiologi atau klinisi pengirim,

sedangkan Responden radiografer 2 menyatakan bahwa SOP khusus ASL belum tersedia.



Gambar 1. Citra MRI brain ASL potongan aksial yang menunjukkan peta perfusi serebral (CBF).

Tabel 2. Temuan ASL Berdasarkan Evaluasi Radiolog dan Informasi Radiografer

Aspek Evaluasi	Temuan
Distribusi perfusi	<i>Mild hypoperfusion</i> pada hampir seluruh lobus di kedua hemisfer serebri
Dominansi hipoperfusi	Hipoperfusi lebih berat pada hemisfer sinistra
Area dominan	Area kortikal-subkortikal lobus temporal dan oksipital sinistra
CBF relative	Rerata 88% dibandingkan sisi kontralateral
<i>Fusion</i> citra	Tidak dilakukan karena tidak tersedia akuisisi axial T1 2D/3D untuk proses <i>fusion</i>
Peran klinis ASL berdasarkan evaluasi radiolog	Memberikan informasi perfusi, membantu evaluasi area dengan gangguan perfusi, serta perlu dikorelasikan dengan sekuen MRI lainnya

Pembahasan

Prosedur Pemeriksaan MRI Brain dan Peran ASL pada Stroke Iskemik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeriksaan MRI brain pada kasus stroke iskemik dilakukan menggunakan kombinasi beberapa sekuen untuk memperoleh informasi anatomi, difusi, vaskular, dan perfusi. DWI, T2 FLAIR, T2-*weighted*, T1-*weighted*, MRA, dan ASL disebutkan sebagai bagian dari pemeriksaan oleh informan. Pendekatan tersebut sesuai dengan karakteristik stroke iskemik yang melibatkan perubahan jaringan sekaligus gangguan aliran darah serebral. (Čivrný et al. 2024) menjelaskan bahwa perubahan akibat iskemia serebral dapat terlihat pada MRI sejak fase awal, dengan perubahan sinyal yang mula-mula dapat terlihat pada DWI dan selanjutnya pada FLAIR. DWI juga memiliki peran penting dalam evaluasi jaringan yang mengalami iskemia. Penggunaan ASL setelah sekuen struktural, difusi, dan vaskular menunjukkan bahwa ASL berfungsi sebagai sekuen tambahan yang memberikan informasi fisiologis mengenai perfusi. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan radiografer bahwa ASL digunakan untuk mengonfirmasi penurunan aliran darah dan mendukung informasi sekuen MRI sebelumnya. ASL tidak menggantikan DWI, FLAIR, maupun MRA, tetapi melengkapi informasi

yang diperoleh dari sekuen tersebut. Jenis ASL yang digunakan berdasarkan kesepakatan kedua radiografer adalah pCASL. (Iutaka et al. 2023) menjelaskan bahwa pCASL merupakan salah satu teknik ASL yang paling banyak digunakan dan direkomendasikan untuk pencitraan klinis karena mengombinasikan *signal-to-noise ratio* yang baik dari *continuous* ASL dengan efisiensi pelabelan dari *pulsed* ASL. Pedoman klinis ASL juga menjelaskan bahwa banyak sistem MRI telah menyediakan implementasi 3D pCASL dengan background suppression dan PLD yang memungkinkan pengukuran CBF secara kuantitatif (Lindner et al. 2023).

Informasi CBF dan Evaluasi Perfusi pada Citra ASL

Peran utama ASL dalam penelitian ini adalah memberikan informasi CBF serta menunjukkan area dengan penurunan perfusi. Secara prinsip, ASL menggunakan proton air darah arteri yang dilabel secara magnetik sebagai *endogenous tracer*. Setelah periode pelabelan dan PLD, citra label dan control digunakan untuk memperoleh informasi perfusi yang berhubungan dengan CBF. Karena menggunakan *tracer endogen*, ASL tidak memerlukan pemberian media kontras berbasis gadolinium. Hal tersebut mendukung temuan dari kedua kelompok informan bahwa salah satu keunggulan utama ASL adalah kemampuan menilai perfusi tanpa penggunaan media kontras. Temuan radiolog mengenai peran ASL dalam membantu penilaian *ischemic core* dan penumbra juga memiliki dasar dalam literatur. Pada stroke iskemik, *ischemic core* merupakan jaringan yang telah mengalami kerusakan *irreversibel*, sedangkan penumbra merupakan jaringan *hipoperfusi* yang mengalami gangguan fungsi tetapi masih memiliki potensi untuk diselamatkan apabila aliran darah dipulihkan. (Čivrný et al. 2024) menjelaskan bahwa diferensiasi antara *core* dan penumbra memiliki peran penting dalam evaluasi stroke iskemik. ASL dapat menyediakan informasi perfusi yang kemudian dikorelasikan dengan temuan DWI dan sekuen lainnya. Meskipun radiolog menyatakan bahwa ASL membantu menentukan area penumbra dan *core*, penelitian ini tidak melakukan pengukuran volume *core* atau penumbra dan tidak menggunakan nilai ambang CBF tertentu untuk mengklasifikasikan keduanya. Oleh karena itu, temuan tersebut harus dipahami sebagai peran ASL berdasarkan penilaian klinis radiolog, bukan sebagai hasil pengukuran kuantitatif *core* dan penumbra dalam penelitian ini. Temuan objektif pemeriksaan memperlihatkan adanya *mild hypoperfusion* hampir di seluruh lobus pada kedua hemisfer serebri dengan sisi sinistra lebih berat, terutama pada area kortikal-subkortikal lobus temporal dan oksipital sinistra. Temuan tersebut menunjukkan adanya distribusi perfusi yang tidak simetris antara kedua hemisfer. ASL memang dirancang untuk menunjukkan variasi regional CBF sehingga area hipoperfusi dapat dibandingkan dengan jaringan sekitarnya maupun sisi kontralateral. Rerata CBF sebesar 88% dibandingkan sisi kontralateral dalam penelitian ini merupakan nilai relatif. (Clement et al. 2022) menjelaskan bahwa apabila kuantifikasi absolut tidak tersedia, data ASL dapat dinilai secara relatif dengan melakukan normalisasi terhadap *gray matter*, *white matter*, atau *hemisfer kontralateral*. Oleh karena itu, nilai 88% pada penelitian ini dilaporkan sebagai CBF relatif terhadap sisi

kontralateral dan tidak dikonversi menjadi nilai absolut CBF. Nilai tersebut juga tidak dapat langsung digunakan untuk menyatakan bahwa area dengan CBF 88% merupakan penumbra ataupun core karena penelitian ini tidak memiliki nilai cut-off yang ditetapkan untuk klasifikasi tersebut. Kuantifikasi ASL dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk PLD, *arterial transit time*, *labeling duration*, kualitas *labeling*, dan proses *post-processing*. Karena itu, interpretasi nilai CBF perlu dilakukan bersama hasil MRI lainnya dan kondisi klinis pasien.

Parameter ASL dan Faktor yang Memengaruhi Kualitas Citra

Post-Labeling Delay menjadi salah satu parameter yang secara khusus ditekankan oleh radiografer. Hal tersebut relevan dengan prinsip ASL karena PLD merupakan waktu antara proses pelabelan darah dan akuisisi citra. Apabila PLD terlalu pendek, darah yang telah dilabel dapat belum mencapai jaringan yang dinilai sehingga CBF dapat terestimasi lebih rendah. Sebaliknya, PLD yang lebih panjang memungkinkan label mencapai jaringan, tetapi dapat disertai penurunan sinyal akibat relaksasi T1. Pada kasus stroke dengan aliran lambat atau sirkulasi kolateral, *efek arterial transit time* menjadi semakin penting dalam interpretasi ASL. Data parameter yang diperoleh dalam penelitian berupa TR 3586, TE 15, slice thickness 5, matrix 64 × 60, dan voxel 3,75. Dokumentasi protokol pada workstation MRI menunjukkan pilihan 3D ASL PLD 1525 untuk usia 16–40 tahun, PLD 2025 untuk usia 40–50 tahun, PLD 2525 untuk usia 50–75 tahun, dan PLD 3025 untuk usia >75 tahun. Pada dokumentasi parameter sekuen 3D ASL, nilai *Post Label Delay* yang terlihat adalah 1525,0, dengan *labeling duration* 1800 ms. Perbedaan durasi akuisisi yang disampaikan kedua radiografer, yaitu sekitar 10 menit dan 4 menit, juga dipertahankan sebagai hasil penelitian. Durasi 10 menit secara spesifik dikaitkan oleh informan dengan MRI Philips 1,5 T, sedangkan informan lainnya menyebutkan waktu sekitar 4 menit. (Lindner et al. 2023) menjelaskan bahwa sekitar lima menit akuisisi ASL secara umum dapat mencukupi untuk interpretasi klinis, namun durasi dapat berubah berdasarkan jumlah pengulangan, ukuran voxel, teknik akuisisi, serta kualitas sinyal yang dibutuhkan. Oleh karena itu, perbedaan durasi antar-informan dapat mencerminkan perbedaan protokol atau sistem MRI yang digunakan.

Kendala Pemeriksaan dan Keterbatasan *Post-processing* ASL

Kendala yang konsisten ditemukan pada penelitian ini adalah pergerakan pasien. Kedua radiografer dan radiolog menyatakan bahwa pasien tidak kooperatif dapat menurunkan kualitas pemeriksaan ASL. Hal tersebut sesuai dengan karakteristik ASL yang memperoleh pasangan citra label dan control berulang kali. Pergerakan pasien di antara akuisisi dapat menyebabkan ketidaksesuaian posisi dan menghasilkan artefak pada proses subtraksi. Waktu akuisisi yang lebih panjang juga dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya *motion artefact*. Dengan demikian, komunikasi dengan pasien dan usaha mempertahankan posisi kepala selama pemeriksaan merupakan bagian penting dari optimalisasi kualitas ASL. Hasil penelitian juga menemukan bahwa fusion antara peta perfusi ASL dan citra anatomi tidak dapat dilakukan karena pada saat scanning tidak diperoleh 2D maupun 3D axial T1 yang dibutuhkan untuk proses tersebut.

Menurut radiografer, fusion membantu pemetaan area abnormalitas perfusi terhadap struktur anatomi otak secara lebih akurat. Literatur mengenai pemrosesan ASL menjelaskan bahwa registrasi citra ASL terhadap citra struktural *T1-weighted* dapat digunakan dalam proses pemetaan dan analisis ASL. Dengan demikian, tidak tersedianya citra T1 untuk fusion dalam kasus ini merupakan keterbatasan teknis dalam pemetaan anatomis, tetapi tidak berarti informasi CBF dari ASL tidak dapat dinilai. Interpretasi *color map* dalam penelitian ini menunjukkan bahwa radiolog menggunakan warna biru untuk menggambarkan *hipoperfusi* dan warna merah untuk menggambarkan *hiperperfusi*. Interpretasi tersebut harus dipahami dalam konteks tampilan atau *color lookup table* yang digunakan di instalasi radiologi. Warna pada peta CBF tidak bersifat universal karena dapat berubah berdasarkan skala dan sistem *post-processing*. Oleh karena itu, evaluasi perfusi sebaiknya tidak hanya bergantung pada warna tetapi juga mempertimbangkan skala CBF, distribusi perfusi, perbandingan dengan sisi kontralateral, serta korelasi dengan sekuen MRI lainnya. Kelebihan ASL yang konsisten antara radiografer dan radiolog adalah tidak membutuhkan media kontras. Kedua radiografer menyatakan bahwa ASL dilakukan berdasarkan permintaan radiolog atau klinisi pengirim. Kondisi tersebut dapat berkontribusi terhadap variasi pelaksanaan, seperti perbedaan durasi, keputusan pengulangan saat terdapat artefak, pengaturan parameter, serta kelengkapan sekuen untuk *post-processing* dan *fusion*. Literatur internasional telah memberikan panduan mengenai akuisisi, PLD, *positioning labeling plane*, *post-processing*, dan interpretasi ASL. Dengan demikian, temuan penelitian ini menunjukkan adanya peluang untuk penyusunan protokol atau SOP ASL pada tingkat instalasi yang disesuaikan dengan pesawat MRI dan kebutuhan klinis setempat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pCASL digunakan sebagai sekuen tambahan dalam pemeriksaan MRI brain pada kasus stroke iskemik untuk memberikan informasi mengenai perfusi dan CBF tanpa penggunaan media kontras. Pada pemeriksaan yang diteliti ditemukan *mild hypoperfusion bilateral* dengan sisi *sinistra* lebih berat, terutama pada area *kortikal-subkortikal temporal* dan *oksipital sinistra*, serta rerata CBF relatif sebesar 88% dibandingkan sisi kontralateral. Informasi ASL digunakan secara komplementer dengan DWI, FLAIR, MRA, dan sekuen MRI lainnya. Kualitas hasil dipengaruhi oleh kooperatif pasien, pergerakan, parameter akuisisi, PLD, dan kelengkapan citra untuk *post-processing*.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeriksaan MRI brain pada kasus stroke iskemik di Instalasi Radiologi RSUP Surabaya menggunakan sekuen Arterial Spin Labeling (ASL) dengan teknik *pseudo-continuous arterial spin labeling* (pCASL) sebagai sekuen tambahan untuk memberikan informasi perfusi serebral melalui parameter *Cerebral Blood Flow* (CBF) tanpa penggunaan media kontras. Evaluasi citra ASL menunjukkan adanya *mild hypoperfusion* pada hampir seluruh lobus di kedua hemisfer serebri dengan hipoperfusi lebih berat pada sisi sinistra,

terutama pada area *kortikal-subkortikal lobus temporal dan oksipital sinistra*. Nilai CBF yang diperoleh merupakan nilai relatif dengan rerata 88% dibandingkan sisi kontralateral, sehingga informasi tersebut digunakan sebagai data tambahan yang perlu dikorelasikan dengan sekuen MRI lainnya dalam evaluasi stroke iskemik.

Kualitas pemeriksaan ASL pada kasus yang dikaji dipengaruhi oleh faktor pergerakan pasien, parameter akuisisi terutama *Post-Labeling Delay* (PLD), serta ketersediaan citra pendukung untuk proses *post-processing*. Proses *fusion* antara citra ASL dan citra anatomi tidak dilakukan karena tidak tersedia akuisisi T1 2D maupun 3D yang diperlukan untuk proses tersebut. Secara keseluruhan, pCASL memberikan informasi perfusi dan CBF yang melengkapi informasi anatomi, difusi, dan vaskular dari sekuen MRI lainnya pada pemeriksaan stroke iskemik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga (mamak, bapak, kakak, dan saudara kembar), teman-teman, Dosen Pembimbing Akademik Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, Radiografer dan radiologi RSUP Surabaya, serta seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung penyusunan artikel ini.

Referensi

- Aracki-Trenkic, Aleksandra, Bruno Law-Ye, Zoran Radovanovic, Dragan Stojanov, Didier Dormont, and Nadya Pyatigorskaya. 2020. "ASL Perfusion in Acute Ischemic Stroke: The Value of CBF in Outcome Prediction." *Clinical Neurology and Neurosurgery* 194:105908. doi: 10.1016/j.clineuro.2020.105908.
- Askar, Ishry Ahsani Aulia, I. Putu Eka Juliantara, and Nadra. 2024. "Peran Metode Arterial Spin Labeling (ASL) Pada MRI Brain Perfusi Dengan Kasus Stroke." *Jurnal Ilmu Kedokteran Dan Kesehatan* 11(2):313–19.
- Azhar, Syifa, and Le Roy Chong. 2023. "Clinician's Guide to the Basic Principles of MRI." *Postgraduate Medical Journal* 99(1174):894–903. doi: 10.1136/pmj-2022-141998.
- Belani, Puneet, Shingo Kihira, Felipe Pacheco, Puneet Pawha, Giuseppe Cruciani, and Kambiz Nael. 2020. "Addition of Arterial Spin-Labelled MR Perfusion to Conventional Brain MRI: Clinical Experience in a Retrospective Cohort Study." *BMJ Open* 10:e036785. doi: 10.1136/bmjopen-2020-036785.
- Čivrný, Jakub, Dorňák Tomáš, and Marie Černá. 2024. "MRI of Cerebral Oedema in Ischaemic Stroke and Its Current Use in Routine Clinical Practice." *Neuroradiology* 66:305–15. doi: 10.1007/s00234-023-03262-2.
- Clement, Patricia, Jan Petr, Mathijs B. J. Dijkstra, Beatriz Padrela, Maurice Pasternak, Sudipto Dolui, Lina Jarutyte, Nandor Pinter, Luis Hernandez-Garcia, Andrew Jahn, Joost P. A. Kuijter, Frederik Barkhof, Henk J. M. M. Mutsaerts, and Vera C. Keil. 2022. "A Beginner's Guide to Arterial Spin Labeling (ASL) Image Processing." *Frontiers in Radiology* 2:929533. doi: 10.3389/fradi.2022.929533.
- Daftari Besheli, Laleh, Amara Ahmed, Omar Hamam, Licia Luna, Lisa R. Sun, Victor Urrutia, Argye E. Hillis, Aylin Tekes-Brady, and Vivek Yedavalli. 2022. "Arterial Spin Labeling Technique and Clinical Applications of the Intracranial Compartment in Stroke and Stroke Mimics—A Case-Based Review." *The Neuroradiology Journal* 35(4):437–53. doi: 10.1177/19714009221098806.
- Fan, Hongli, Pan Su, Doris Da May Lin, Emily B. Goldberg, Alexandra Walker, Richard Leigh, Argye E. Hillis, and Hanzhang Lu. 2022. "Simultaneous Hemodynamic and Structural Imaging of Ischemic Stroke with MR Fingerprinting ASL." *Stroke* 53(6):2016–25. doi: 10.1161/STROKEAHA.121.037066.
- Hernandez Petzsche, Moritz R., Johannes Bürkle, Gabriel Hoffmann, Claus Zimmer, Sebastian Rühling, Julian Schwarting, Silke Wunderlich, Christian Maegerlein, Tobias Boeckh-Behrens, Stefan

- Kaczmarz, Maria Berndt-Mück, and Nico Sollmann. 2025. "Cerebral Blood Flow from Arterial Spin Labeling as an Imaging Biomarker of Outcome after Endovascular Therapy for Ischemic Stroke." *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism* 45(2):219–32. doi: 10.1177/0271678X241267066.
- Iutaka, Tatiana, Marina Bellintani de Freitas, Samir Sari Omar, Felipe Alba Scortegagna, Kambiz Nael, Renato Hoffmann Nunes, Felipe Torres Pacheco, Antônio Carlos Martins Maia Júnior, Lázaro Luís Faria do Amaral, and Antônio Jose da Rocha. 2023. "Arterial Spin Labeling: Techniques, Clinical Applications, and Interpretation." *RadioGraphics* 43(1):e220088. doi: 10.1148/rg.220088.
- Lindner, Thomas, Divya S. Bolar, Eric Achten, Frederik Barkhof, António J. Bastos-Leite, John A. Detre, Xavier Golay, Matthias Günther, Danny J. J. Wang, Sven Haller, Silvia Ingala, Hans R. Jäger, Geon-Ho Jahng, Meher R. Juttukonda, Vera C. Keil, Hirohiko Kimura, Mai-Lan Ho, Maarten Lequin, Xin Lou, Jan Petr, Nandor Pinter, Francesca B. Pizzini, Marion Smits, Magdalena Sokolska, Greg Zaharchuk, and Henk J. M. Mutsaerts. 2023. "Current State and Guidance on Arterial Spin Labeling Perfusion MRI in Clinical Neuroimaging." *Magnetic Resonance in Medicine* 89(5):2024–47. doi: 10.1002/mrm.29572.
- Lou, Xin, Songlin Yu, Fabien Scalzo, Sidney Starkman, Latisha K. Ali, Doojin Kim, Neal M. Rao, Jason D. Hinman, Paul M. Vespa, Reza Jahan, Satoshi Tateshima, Nestor R. Gonzalez, Gary R. Duckwiler, Jeffrey L. Saver, Bryan Yoo, Noriko Salamon, Jinhao Lyu, Lin Ma, Danny J. J. Wang, and David S. Liebeskind. 2017. "Multi-Delay ASL Can Identify Leptomeningeal Collateral Perfusion in Endovascular Therapy of Ischemic Stroke." *Oncotarget* 8(2):2437–43.
- Maulida, Novelin Safitri, Edy Susanto, and Emi Murniati. n.d. "Prosedur Pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (MRI) Brain Perfusi Dengan Metode Arterial Spin Labeling (ASL) Pada Pasien Tumor." *Jurnal Radiografer Indonesia* 1(1):48–58.
- Sabisz, Agnieszka, Beata Brzeska, Edyta Szurowska, and Arkadiusz Szarmach. 2025. "Comparison of Dynamic Susceptibility Contrast and Arterial Spin Labeling MRI Perfusion in the Assessment of Stroke and Steno-Occlusive Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Diagnostics* 15:1578. doi: 10.3390/diagnostics15131578.
- Xu, Xi, Zefeng Tan, Meng Fan, Mengjie Ma, Weimin Fang, Jianye Liang, Zeyu Xiao, Changzheng Shi, and Liangping Luo. 2021. "Comparative Study of Multi-Delay Pseudo-Continuous Arterial Spin Labeling Perfusion MRI and CT Perfusion in Ischemic Stroke Disease." *Frontiers in Neuroinformatics* 15:719719. doi: 10.3389/fninf.2021.719719.