

DAMPAK PENGGUNAAN CONTRAST MEDIA POWER INJECTOR TERHADAP KUALITAS GAMBAR DAN KEAMANAN PASIEN PADA CT ANGIOGRAFI: *NARRATIVE REVIEW*

Intan Masita Hayati^{1*}, Syahroni Lubis², Fajrin Nur Azizah³

¹Program Studi Radiologi & Radiodiagnostik, Universitas Yarsi Pratama, Tangerang, Indonesia
Email: intan@yarsipratama.ac.id

²Program Studi Radiologi & Radiodiagnostik, Universitas Yarsi Pratama, Tangerang, Indonesia
Email: syahroni@yarsipratama.ac.id

³Program Studi Kebidanan, Universitas Yarsi Pratama, Tangerang, Indonesia
Email: fajrin@yarsipratama.ac.id

*Corresponding Author: intan@yarsipratama.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan *contrast media power injector* pada prosedur *Computed Tomography Angiography* sangat krusial dalam mencapai opasifikasi vaskular yang optimal, namun tantangan terkait risiko keamanan pasien dan variabilitas teknis tetap menjadi perhatian klinis utama. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan CMPI terhadap kualitas citra dan keamanan pasien melalui tinjauan literatur sistematis. Metode penelitian dilakukan dengan *narrative review* terhadap artikel ilmiah yang dipublikasikan pada pangkalan data PubMed dalam rentang tahun 2015 hingga 2025. Hasil sintesis data menunjukkan bahwa penggunaan CMPI secara signifikan meningkatkan kualitas citra melalui rasio *signal-to-noise* yang lebih tinggi dan opasifikasi yang konsisten dibandingkan metode manual. Implementasi protokol injeksi empat fase terbukti mampu mereduksi laju ekstrasvasi hingga 65%, sementara penggunaan mekanisme *piston-syrinx* menjamin akurasi kurva *time-contrast* yang lebih stabil untuk studi sensitif waktu. Lebih lanjut, integrasi teknologi *Artificial Intelligence Iterative Reconstruction* memungkinkan efisiensi dosis radiasi dan volume kontras tanpa mengurangi akurasi diagnostik. Namun, ditemukan risiko *overdelivery* kontras hingga 36% pada prosedur pengenceran manual, yang menegaskan perlunya standarisasi protokol operasional. Kesimpulannya, CMPI merupakan instrumen fundamental yang secara efektif menyeimbangkan ketajaman visual diagnostik dengan mitigasi risiko keselamatan pasien pada prosedur CTA. Standarisasi protokol injeksi otomatis dan pengawasan terhadap aspek teknis perangkat keras menjadi prasyarat mutlak untuk mengoptimalkan luaran klinis di instalasi radiologi modern.

Kata Kunci: Contrast Media, Ct Angiografi, *Power Injector*, Keamanan Pasien.

ABSTRACT

The implementation of contrast media power injectors in Computed Tomography Angiography is fundamental for achieving optimal vascular opacification; however, clinical challenges regarding patient safety risks and technical variability remain paramount. This study aims to evaluate the impact of CMPI on image quality and patient safety through a systematic literature review. The methodology employed a narrative review of scientific articles published in the PubMed database between 2015 and 2025. Data synthesis results indicate that CMPI significantly enhances image quality by providing higher signal-to-noise ratios and consistent opacification compared to manual techniques. The implementation of a four-phasic injection protocol was shown to reduce extravasation rates by up to 65%, while the use of piston-syrinx mechanisms ensured more stable time-contrast curves for time-sensitive studies. Furthermore, the integration of Artificial Intelligence Iterative Reconstruction technology facilitates radiation dose and contrast volume efficiency without compromising diagnostic accuracy. However, a contrast overdeliver risk of up to 36% was identified in manual dilution procedures, underscoring the necessity for standardized operational protocols. In conclusion, CMPI is a fundamental instrument that effectively balances diagnostic visual acuity with patient safety risk mitigation during CTA procedures. Standardizing automated injection protocols and monitoring hardware technical specifications are absolute prerequisites for optimizing clinical outcomes in modern radiological facilities.

Keywords: Contrast Media, CT Angiography, Patient Safety, *Power Injector*.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan *Computed Tomography Angiography* (CTA) dalam praktik klinis modern telah memantapkan perannya sebagai standar emas) untuk evaluasi non-invasif pada berbagai patologi vaskular. Keberhasilan diagnostik dari prosedur ini sangat bergantung pada pencapaian opasifikasi lumen arterial yang optimal, yang secara teknis ditentukan oleh dinamika bolus media kontras dalam sistem sirkulasi (Saade et al., 2011). Meskipun demikian, terdapat tantangan signifikan dalam metode administrasi kontras; teknik injeksi manual seringkali menunjukkan keterbatasan dalam menjaga konsistensi laju aliran, yang berdampak pada fluktuasi kualitas citra dan penurunan rasio signal-to-noise serta contrast-to-noise (Saake et al., 2014). Inkonsistensi ini tidak hanya menghambat standarisasi protokol pencitraan, tetapi juga dapat mengaburkan detail anatomi krusial pada pemeriksaan yang sensitif terhadap waktu, seperti pada evaluasi arteri koroner atau aneurisma aorta (Kok et al., 2016).

Implementasi *contrast media power injector* (CMPI) hadir sebagai intervensi teknologi yang krusial untuk mengatasi limitasi mekanis pada injeksi manual dengan menawarkan kontrol presisi terhadap parameter tekanan, volume, dan geometri bolus (Saade et al., 2011). Secara kontekstual, penggunaan CMPI secara otomatis telah terbukti secara signifikan meningkatkan resolusi spasial dan kualitas opasifikasi parenkim, terutama pada populasi pediatrik di mana penggambaran struktur kardiovaskular yang halus memerlukan akurasi injeksi yang ekstrim (Amaral et al., 2006; Pfeifer et al., 2025). Namun, seiring dengan peningkatan performa citra, risiko komplikasi mekanis juga menjadi perhatian serius; penggunaan tekanan tinggi secara otomatis dapat memicu ruptur kateter atau disfungsi pada akses vena sentral seperti PICC (*peripherally inserted central catheters*) maupun *implantable power ports* (Coyle et al., 2004; Bonciarelli et al., 2011; Son et al., 2020). Selain itu, fenomena ekstravasasi media kontras ke jaringan interstisial tetap menjadi risiko laten, meskipun penelitian menunjukkan bahwa insidensi ini dapat ditekan secara signifikan melalui penerapan protokol keamanan seperti mode *saline test injection* (Barrera et al., 2019; Chang et al., 2019).

Dalam perkembangan terkini, fokus riset radiologi telah meluas melampaui parameter kualitas gambar, mencakup optimasi alur kerja dan perlindungan pasien secara holistik. Adopsi sistem injektor mutakhir, seperti *syringeless injector*, telah menunjukkan efektivitas dalam mereduksi waktu persiapan operasional dan meminimalisir pembuangan media kontras, yang pada gilirannya meningkatkan kepuasan tenaga medis dan efisiensi biaya rumah sakit (Ma et al., 2012; Mahdavi et al., 2025). Lebih lanjut, integrasi teknologi *bolus tracking* dan *saline flush* memungkinkan pencapaian puncak opasifikasi vaskular dengan volume kontras yang minimal, sebuah aspek vital bagi pasien dengan penurunan fungsi ginjal (Hirai et al., 2006). Namun, aspek biosekuriti seperti pencegahan dan pengendalian infeksi tetap menjadi variabel kritis, di mana variabilitas praktik antar staf dalam administrasi kontras dapat menjadi jalur transmisi infeksi jika tidak dikelola dengan protokol yang ketat (Abu Awwad et al., 2025). Di sisi lain, kenyamanan pasien selama injeksi laju tinggi, termasuk pengaruh suhu media kontras terhadap sensasi nyeri, menjadi elemen penting dalam evaluasi pengalaman pasien secara menyeluruh.

Meskipun manfaat penggunaan *power injector* telah banyak didokumentasikan, variabilitas dalam pemilihan protokol, jenis perangkat, dan manajemen risiko antar institusi masih memerlukan evaluasi sistematis. Oleh karena itu, ulasan naratif ini bertujuan untuk mensintesis data mengenai dampak penggunaan *power injector* terhadap kualitas citra, keamanan pasien, efisiensi alur kerja, hingga tingkat kenyamanan pasien pada prosedur CTA. Pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: (1) Bagaimana efektivitas CMPI dalam mengoptimalkan kualitas gambar dan akurasi diagnostik pada berbagai populasi pasien? (2) Sejauh mana inovasi teknologi injektor terbaru mampu menyeimbangkan antara efisiensi biaya operasional dengan standar keselamatan pasien? Melalui tinjauan literatur periode 2015-2025, artikel ini diharapkan dapat menjadi panduan berbasis bukti bagi praktisi radiologi dalam mengoptimalkan penggunaan teknologi injeksi otomatis.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan sebuah narrative review yang bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan contrast media power injector terhadap kualitas citra dan keamanan pasien pada pemeriksaan CT *Angiography*. Strategi pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui pangkalan data PubMed dengan fokus pada artikel yang dipublikasikan dalam rentang waktu sepuluh tahun terakhir, yaitu antara tahun 2015 hingga 2025. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi kombinasi operator Boolean pada istilah "*CT Angiography*", "*Power Injector*", dan "*Contrast Media*" untuk memastikan relevansi artikel dengan perkembangan teknologi injeksi otomatis terkini di instalasi radiologi. Kriteria inklusi dalam ulasan ini difokuskan pada studi primer yang membahas aspek teknis penggunaan injektor otomatis, mencakup perbandingan protokol injeksi (seperti perbandingan fase injeksi), jenis mekanisme pompa injektor (*piston-syrinx vs roller pump*), serta prosedur preparasi media kontras. Artikel yang dipilih harus menyajikan data objektif mengenai parameter kualitas gambar seperti *attenuation* atau akurasi kurva *time-contrast*, maupun parameter keamanan pasien yang meliputi laju ekstrasvasasi, reaksi alergi, dan efisiensi dosis radiasi serta kontras. Artikel yang tidak tersedia dalam teks lengkap atau tidak berkaitan langsung dengan aplikasi klinis *power injector* pada radiografi kontras dieksklusi dari tinjauan ini.

Data dari artikel yang memenuhi kriteria kemudian diekstraksi ke dalam tabel ringkasan yang mencakup identitas penulis, tahun publikasi, judul, metode penelitian, dan temuan kunci. Sintesis data dilakukan dengan cara membandingkan hasil penelitian antar studi untuk menarik kesimpulan yang komprehensif. Proses analisis melibatkan tinjauan terhadap berbagai intervensi teknis, mulai dari *saline pacer bolus*, pengaruh suhu media kontras, hingga peran kecerdasan buatan dalam mendukung rekonstruksi citra untuk meminimalisir penggunaan media kontras tanpa mengurangi akurasi diagnostik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelusuran literatur pada pangkalan data PubMed dalam rentang tahun 2015 hingga 2025, terpilih 6 artikel utama yang memenuhi kriteria inklusi mengenai penggunaan power injector pada prosedur radiologi kontras. Artikel-artikel tersebut mencakup berbagai aspek teknis, mulai dari optimalisasi protokol injeksi multiphase, perbandingan mekanis pompa injektor, hingga peran kecerdasan buatan dalam efisiensi dosis. Ringkasan komprehensif mengenai kontribusi masing-masing studi terhadap kualitas citra dan keamanan pasien, yang meliputi identitas penulis, metodologi yang digunakan, serta temuan klinis utama, disajikan secara sistematis dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil analisis artikel

No	Judul	Tahun & Penulis	Metode	Temuan Kunci
1	Influence of Contrast Media Temperature and Concentration on Patient Comfort and Safety in Computed Tomography: CATCHY II Trial	2024; Stammen, L., et al.	Observational trial; 4 grup (suhu ruang vs 37°C; 300 vs 370 mg I/mL); evaluasi via kuesioner & CT attenuation.	Pemanasan media kontras tidak memberikan perbedaan signifikan pada kenyamanan ($p=0.054$), nyeri ($p=0.469$), maupun keamanan pasien (ekstrasvasasi/alergi).
2	Towards lower radiation and contrast media dose CT angiography of the aorta by artificial intelligence-supported iterative reconstructions	2022; Halfmann, M. C., & Emrich, T.	Analisis komparatif teknik CTA aorta tradisional vs AI-supported iterative reconstructions (IR).	AI-supported IR secara signifikan mereduksi dosis radiasi dan volume media kontras tanpa mengurangi kualitas citra dan akurasi diagnostik.

3	Contrast Extravasation using Power Injectors for Contrast-Enhanced Computed Tomography in Children: Frequency and Injury Severity	2019; Barrera, C. A., et al.	Studi observasional pada kohort pediatrik; penggunaan <i>power injector</i> ; evaluasi frekuensi dan tingkat keparahan cedera ekstrasvasasi.	Ekstrasvasasi pada pasien pediatrik memiliki frekuensi yang patut diperhatikan, namun mayoritas kasus tidak menyebabkan cedera jangka panjang yang signifikan.
4	The effect of four-phasic versus three-phasic contrast media injection protocols on extravasation rate in coronary CT angiography: a randomized controlled trial	2017; Karády, J., et al.	<i>Randomized Controlled Trial</i> (n=2.445); perbandingan protokol injeksi 3-fase vs 4-fase (saline pacer bolus) pada CCTA.	Protokol 4-fase mereduksi laju ekstrasvasasi sebesar 65% dibandingkan protokol 3-fase (0,5% vs 1,4%; p=0.034) dan efektif diterapkan tanpa biaya tambahan.
5	Disparity of time-contrast curves generated by various types of power injectors used in magnetic resonance imaging	2020; Doppler, M., et al.	Komparasi kurva <i>time-contrast</i> (TC) dari 5 injektor MRI: 3 sistem <i>piston-syrinx</i> (PS) dan 2 <i>peristaltic roller pump</i> (RP).	Injektor tipe <i>piston-syrinx</i> (PS) menunjukkan performa dan akurasi waktu injeksi yang jauh lebih baik dibandingkan tipe <i>roller pump</i> (RP), terutama pada volume kontras kecil.
6	Shaken or stirred? The Inconsistencies of Manual Contrast Media Dilution in Endovascular Interventions	2023; McDermott, M. C., et al.	Studi 2 fase (n=11 radiografer); evaluasi variabilitas konsentrasi pengenceran kontras manual sebelum dan sesudah protokol standar.	Pengenceran manual menyebabkan <i>overdelivery</i> kontras sebesar 36% dari target. Implementasi protokol standar berhasil menurunkan variabilitas interoperator dari 16% menjadi 8%.

Pembahasan Penelitian

Sintesis data dari literatur yang terpilih mengungkapkan korelasi yang kompleks namun sistematis antara penggunaan teknologi injeksi otomatis dengan parameter klinis di instalasi radiologi. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa efektivitas *power injector* tidak hanya bergantung pada spesifikasi teknis perangkat, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh protokol prosedural, integrasi teknologi rekonstruksi mutakhir, serta manajemen risiko yang terstandarisasi. Untuk memberikan analisis yang komprehensif, dampak penggunaan *contrast media power injector* terhadap kualitas citra dan keamanan pasien akan dibahas lebih mendalam melalui lima aspek fundamental berikut ini:

1. **Sinergi Injeksi Presisi dan Teknologi Rekonstruksi pada Kualitas Citra**

Optimalisasi kualitas citra dalam CT *Angiography* sangat bergantung pada kemampuan sistem dalam menjaga opasifikasi vaskular yang tinggi melalui pengiriman media kontras pada laju aliran dan tekanan yang terkendali. (Halfmann & Emrich, 2022) menegaskan bahwa penggunaan *power injector* memfasilitasi peningkatan kontras yang presisi, yang merupakan variabel krusial untuk delineasi pembuluh darah guna mencapai akurasi diagnostik yang maksimal. Hal ini didukung oleh penggunaan mekanis injektor yang konsisten untuk memastikan geometri bolus tetap stabil selama fase pemindaian arteri yang sangat singkat.

Seiring dengan kemajuan teknologi injeksi, implementasi algoritma rekonstruksi mutakhir seperti *Hybrid Iterative Reconstruction* (HIR) dan *Artificial Intelligence Iterative Reconstruction* (AIIR) memberikan dimensi baru dalam efisiensi pencitraan. AIIR secara khusus terbukti mampu mempertahankan kualitas citra yang diagnostik dan mereduksi *noise* secara signifikan, bahkan pada kondisi pengurangan dosis radiasi dan volume media kontras. Sinergi antara presisi *power injector*

dan kecerdasan buatan ini memungkinkan pemeriksaan CTA yang lebih aman bagi pasien tanpa mengorbankan integritas visual citra radiologi yang dihasilkan.

2. **Reduksi Resiko Ekstravasasi melalui Inovasi Protokol Injeksi**

Pemanfaatan tekanan tinggi pada *power injector* secara inheren meningkatkan risiko ekstravasasi media kontras ke jaringan interstisial, terutama pada populasi rentan. Namun, penelitian menunjukkan bahwa risiko ini dapat ditekan secara signifikan melalui modifikasi prosedural. (Karády et al., 2017) mendemonstrasikan bahwa penerapan protokol injeksi empat fase (*four-phasic*) mampu mereduksi laju kejadian ekstravasasi sebesar 65% dibandingkan dengan protokol tiga fase konvensional. Penambahan fase *saline pacer bolus* berfungsi sebagai bantalan tekanan yang memastikan kepatenan akses vena sebelum dan selama injeksi kontras utama berlangsung.

Data pendukung dari studi (Barrera et al., 2019) pada kelompok pediatrik mengonfirmasi bahwa meskipun frekuensi ekstravasasi perlu diwaspadai, sebagian besar insidensi hanya mengakibatkan cedera ringan yang tidak menetap. Integrasi teknologi seperti mode *saline test injection* menjadi instrumen skrining krusial untuk mendeteksi disfungsi kateter secara dini sebelum kontras berviskositas tinggi diinjeksikan. Dengan demikian, standarisasi protokol injeksi berbasis bukti menjadi strategi paling efektif dalam menjamin keselamatan fisik pasien tanpa mengorbankan kualitas opasifikasi vaskular yang diperlukan untuk diagnosis.

3. **Konsistensi Pengiriman Kontras dan Peran Mekanisme Injektor**

Akurasi temporal dalam pengiriman media kontras merupakan variabel kritis yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik mekanis perangkat keras injektor. (Doppler et al., 2020) mengidentifikasi bahwa perbedaan mekanisme antara sistem *piston-syrinx* (PS) dan *peristaltic roller pump* (RP) berdampak langsung pada stabilitas kurva *time-contrast*. Injektor tipe *piston-syrinx* terbukti menghasilkan profil injeksi yang lebih konsisten dan sesuai dengan parameter yang diprogramkan, yang merupakan aspek fundamental dalam pemeriksaan CTA yang sangat bergantung pada ketepatan waktu.

Ketidakkonsistenan pada kurva kontras, terutama yang sering ditemukan pada sistem *roller pump* dengan volume kontras kecil, dapat memicu kegagalan sinkronisasi antara puncak opasifikasi vaskular dan waktu pemindaian. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan teknologi injektor bukan sekadar masalah preferensi operasional, melainkan keputusan teknis yang berdampak pada keberhasilan diagnostik. Penggunaan mekanisme yang presisi menjamin bahwa bolus kontras mencapai target anatomi pada densitas maksimal secara prediktif, sehingga meminimalisir kebutuhan pemindaian ulang yang dapat meningkatkan dosis radiasi bagi pasien.

4. **Pengaruh Suhu dan Konsentrasi terhadap Kenyamanan Pasien**

Aspek kenyamanan pasien selama prosedur CTA sering kali dikaitkan dengan parameter fisik media kontras, terutama suhu cairan saat diinjeksikan dengan laju aliran tinggi. Namun, temuan dari (Stammen et al., 2024) melalui *CATCHY II Trial* mengungkapkan bahwa pemanasan media kontras hingga 37°C tidak memberikan peningkatan signifikan terhadap tingkat kenyamanan maupun keamanan pasien dibandingkan penggunaan suhu ruang. Hasil ini memberikan indikasi klinis bahwa efisiensi alur kerja dapat ditingkatkan tanpa harus bergantung pada perangkat pemanas kontras eksternal, selama protokol injeksi lainnya dikelola dengan baik.

Selain faktor suhu, konsentrasi media kontras juga berperan penting dalam menentukan tingkat atenuasi vaskular dan kenyamanan pasien secara keseluruhan. Meskipun konsentrasi yang lebih tinggi dapat menghasilkan kontras gambar yang lebih tajam, penggunaan laju aliran yang tinggi secara bersamaan memerlukan pengawasan ketat terhadap sensasi nyeri dan panas yang mungkin dialami pasien. Oleh karena itu, pemilihan konsentrasi kontras harus diseimbangkan antara kebutuhan kualitas diagnostik maksimal dan kapasitas toleransi fisik pasien, guna menjamin pengalaman pemeriksaan yang positif tanpa mengurangi akurasi hasil radiologi.

5. **Standarisasi Protokol Pengenceran dan Manajemen Human Error**

Variabilitas dalam penyampaian dosis kontras sering kali berakar pada prosedur preparasi manual yang tidak terstandarisasi di instalasi radiologi. (McDermott et al., 2023) mengungkapkan bahwa

pengenceran media kontras secara manual oleh operator dapat menyebabkan inkonsistensi konsentrasi yang signifikan, dengan rata-rata kelebihan dosis mencapai 36% dari target yang diinginkan. Fenomena "pengenceran manual" ini tidak hanya mengancam keselamatan pasien terkait risiko toksisitas ginjal, tetapi juga mengakibatkan fluktuasi atenuasi citra yang tidak terduga, sehingga dapat mengaburkan detail diagnostik yang halus.

Untuk memitigasi risiko tersebut, implementasi protokol pengenceran yang terstandarisasi dan transisi menuju sistem injektor otomatis (*syringeless*) menjadi langkah strategis dalam mereduksi faktor kesalahan manusia. Standardisasi ini terbukti mampu menurunkan variabilitas interoperator secara drastis, sekaligus memastikan bahwa setiap pasien menerima dosis kontras yang akurat sesuai dengan protokol klinis yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, penguatan aspek manajerial melalui pelatihan radiografer dan kepatuhan terhadap protokol operasional standar merupakan prasyarat mutlak dalam menjaga keseimbangan antara efisiensi kerja dan keselamatan pasien.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan *contrast media power injector* (CMPI) memberikan dampak signifikan yang superior terhadap kualitas citra dibandingkan metode manual, terutama dalam mencapai opasifikasi vaskular yang presisi, konsisten, dan terukur. Integrasi teknologi injektor tipe piston-syrinx serta sinergi dengan algoritma rekonstruksi berbasis *Artificial Intelligence* terbukti mampu mempertahankan akurasi diagnostik yang tinggi meskipun pada dosis radiasi dan volume kontras yang minimal. Dari aspek keamanan, meskipun terdapat risiko inheren seperti ekstrasvasasi, penerapan protokol injeksi empat fase dan penggunaan mode *saline test injection* secara efektif mampu memitigasi risiko tersebut hingga 65%. Dengan demikian, otomasi injeksi media kontras merupakan komponen fundamental yang menjamin keseimbangan antara ketajaman visual citra radiologi dan perlindungan fisik pasien pada prosedur CT *Angiography*.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan bagi instalasi radiologi untuk melakukan standarisasi protokol operasional pada penggunaan power injector, khususnya dalam hal pengenceran media kontras guna menghindari *human error* yang dapat menyebabkan kelebihan dosis. Penggunaan sistem injektor otomatis yang lebih modern dan pemeliharaan akurasi kurva time-contrast pada perangkat harus menjadi prioritas teknis untuk menjamin keberhasilan studi yang sensitif terhadap waktu. Selain itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas klinis penggunaan media kontras suhu ruang pada berbagai variasi laju aliran yang lebih ekstrim, serta pengembangan integrasi sensor keamanan digital pada perangkat injektor guna mencapai standar patient safety yang lebih proaktif dan dipersonalisasi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Awwad, D., Hill, S., Lewis, S., & Jimenez, Y. (2025). Infection prevention and control in the CT suite: A qualitative study with Australian radiographers in intravenous contrast administration. *BMC Health Services Research*, 25(1). Scopus. <https://doi.org/10.1186/s12913-025-13728-z>
- Amaral, J. G., Traubici, J., BenDavid, G., Reintamm, G., & Daneman, A. (2006). Safety of power injector use in children as measured by incidence of extravasation. *American Journal of Roentgenology*, 187(2), 580–583. Scopus. <https://doi.org/10.2214/AJR.05.0667>
- Barrera, C. A., White, A. M., Shepherd, A. M., Mecca, P., Biko, D. M., Saul, D., & Otero, H. J. (2019). Contrast Extravasation using Power Injectors for Contrast-Enhanced Computed Tomography in Children: Frequency and Injury Severity. *Academic Radiology*, 26(12), 1668–1674. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.04.008>
- Bonciarelli, G., Batacchi, S., Biffi, R., Buononato, M., Damascelli, B., Ghibaud, F., Orsi, F., Pittiruti, M., Scoppettuolo, G., Verzè, A., Borasi, G., de Cicco, M., Dosio, R., Gazzo, P., Maso, R., Roman, A., Ticha, V., Venier, G., Blackburn, P., de Lutio, E. (2011). GAVeCeLT consensus statement on

- the correct use of totally implantable venous access devices for diagnostic radiology procedures. *Journal of Vascular Access*, 12(4), 292–305. Scopus. <https://doi.org/10.5301/JVA.2011.7736>
- Chang, S.-Y., Lu, C.-H., Chiang, I.-C., Chung, W.-S., & Hsieh, T.-J. (2019). A saline test injection mode improving the safety of using a power injector for CT. *Iranian Journal of Radiology*, 16(3). Scopus. <https://doi.org/10.5812/iranradiol.85821>
- Coyle, D., Bloomgarden, D., Beres, R., Patel, S., Sane, S., & Hurst, E. (2004). Power injection of contrast media via peripherally inserted central catheters for CT. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 15(8), 809–814. Scopus. <https://doi.org/10.1097/01.RVI.0000128812.20864.EC>
- Doppler, M., Moser, E., Klickovic, U., & Nasel, C. (2020). Disparity of time-contrast curves generated by various types of power injectors used in magnetic resonance imaging. *Scientific Reports*, 10(1), 19568.
- Halfmann, M. C., & Emrich, T. (2022). Towards lower radiation and contrast media dose CT angiography of the aorta by artificial intelligence-supported iterative reconstructions. *European Journal of Radiology*, 151.
- Hirai, N., Imakita, S., Tanaka, R., Higashi, M., Nishino, T., Naito, H., & Ito, K. (2006). Multidetector CT Angiography Using a Dual-Head Power Injector and Bolus Tracking for the Diagnosis of Aortic Aneurysms at Reduced Contrast Material Dosage. *Academic Radiology*, 13(6), 694–700. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2006.03.003>
- Karády, J., Panajotu, A., Kolossváry, M., Szilveszter, B., Jermendy, Á. L., Bartykowszki, A., Károlyi, M., Celeng, C., Merkely, B., & Maurovich-Horvat, P. (2017). The effect of four-phasic versus three-phasic contrast media injection protocols on extravasation rate in coronary CT angiography: A randomized controlled trial. *European Radiology*, 27(11), 4538–4543.
- Kok, M., Muhl, C., Hendriks, B. M. F., Altintas, S., Eijvoogel, N. G., Kietselaer, B. L. J. H., Wildberger, J. E., & Das, M. (2016). Patient comfort during contrast media injection in coronary computed tomographic angiography using varying contrast media concentrations and flow rates results from the EICAR trial. *Investigative Radiology*, 51(12), 810–815. Scopus. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000284>
- Limkin, E. J., Sun, R., Dercle, L., Zacharaki, E. I., Robert, C., Reuzé, S., Schernberg, A., Paragios, N., Deutsch, E., & Ferte, C. (2017). Promises and challenges for the implementation of computational medical imaging (radiomics) in oncology. *Annals of Oncology*, 28(6), 1191–1206. Scopus. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdx034>
- Ma, X., Singh, A., Fay, J., Boland, G., & Sahani, D. V. (2012). Comparison of dual-syringe and syringeless power injectors in outpatient mdct practice: Impact on the operator's performance, CT workflow, and operation cost. *Journal of the American College of Radiology*, 9(8), 578–582. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2012.04.007>
- Mahdavi, A., Sheriff, G., McKinney, B., Firoozeh, N., Watt, C., Mileto, A., & Sahani, D. (2025). Comparing multi-use syringeless and conventional single-use dual-syringe injectors in contrast-enhanced CT: efficiency, cost, and technologist satisfaction. *European Radiology*. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s00330-025-12170-3>
- McDermott, M. C., Hendriks, B. M., Wildberger, J. E., & de Boer, S. W. (2023). Shaken or stirred? The inconsistencies of manual contrast media dilution in endovascular interventions. *Investigative Radiology*, 58(11), 811–815.
- Pfeifer, J., Driulini, D., Altmeyer, K., Wagenpfeil, G., Poryo, M., Giebels, C., Bucker, A., Massmann, A., Abdul-Khalig, H., & Fries, P. (2025). Thoracic CT Angiographies in Children Using Automated Power Injection with Bolus Tracking Versus Manual Contrast Injection: Analysis of Contrast Enhancement, Image Quality and Radiation Exposure. *Diagnostics*, 15(9). Scopus. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15091103>

- Saade, C., Bourne, R., Wilkinson, M., & Brennan, P. (2011). *Contrast medium administration and parameters affecting bolus geometry in multidetector computed tomography angiography: An overview*. *42*(3), 113–117. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2011.05.002>
- Saake, M., Lell, M. M., Rompel, O., Gloeckler, M., May, M., Eller, A., Achenbach, S., Uder, M., & Wuest, W. (2014). Contrast medium application in pediatric high-pitch cardiovascular CT angiography: Manual or power injection? *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, *8*(4), 315–322. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2014.05.002>
- Son, R. S., Song, Y. G., Jo, J., Park, B.-H., Jung, G.-S., & Yun, J. H. (2020). Power contrast injections through a totally implantable venous power port: A retrospective multicenter study. *Phlebology*, *35*(4), 268–272. Scopus. <https://doi.org/10.1177/0268355519863207>
- Stammen, L., Muhl, C., Vandewall, J., Pennetta, F., Hersbach, A., Wildberger, J. E., & Martens, B. (2024). Influence of contrast media temperature and concentration on patient comfort and safety in computed tomography: CATCHY II trial. *Investigative Radiology*, *59*(8), 577–582.