

Hubungan Waktu *Peak Enhancement* Terhadap Informasi Citra Pada Pemeriksaan *CT Scan Abdomen Multiphase* Dengan Klinis Metastasis Di Hepar

Anisya Nur Hidayati¹, Mahfud Edy Widiatmoko², Setio Adi Saputro³, Guntur Winarno⁴, Legia Prananto⁵
^{1,2,3,4,5}*Bachelor Of Applied Science Program Imaging Radiology Technology Study Program Radioagnostics and
Radiotherapy Department Health Polytechnic Of Health Ministry Jakarta II, Indonesia*

Corresponding author : Anisya Nur Hidayati
Email : anisyanur30@gmail.com

ABSTRACT

Background: Cancer is a leading cause of mortality worldwide, with the liver being one of the most common sites of metastasis, particularly from colorectal, breast, and lung cancers. In this matter, detection of hepatic metastases relies on imaging modalities, such as multiphase abdominal CT scanning using bolus-tracking techniques, which allow an accurate determination of peak enhancement timing based on the patient-specific physiological factors. For this reason, an accurate timing of peak enhancement during the arterial phase is a critical factor, as it significantly influences Hounsfield Unit (HU) values. If image acquisition is performed too early, the resulting images may be suboptimal due to incomplete contrast distribution. Conversely, delayed scanning may lead to any contrast washout, thereby reducing tissue density differentiation and overall image quality and diagnostic information.

Methods: This research applied a quantitative method with descriptive approach between August - October 2025. Secondary data were used, with a sample size of eight patients. As for the data, they were gathered through among the other things observation of multiphase abdominal CT examinations, measurement of Hounsfield Unit (HU) values within regions of interest (ROI) using the RadiAnt application, and image quality evaluation questionnaires completed by three radiologists. Thereafter, the collected data were then accordingly analysed using SPSS software to assess the relationship between peak enhancement timing and image information using Pearson's correlation test.

Results: As the result, statistical analysis demonstrated that there is a significant negative correlation between peak enhancement timing and arterial-phase Hounsfield Unit (HU) values. The questionnaire results also confirmed that images acquired with shorter peak enhancement times received higher quality scores, reinforcing that the accurate scan timing produces greater image quality.

Conclusions: Multiphasic CT abdomen examinations using bolus tracking with a threshold of 150 HU ensure real-time monitoring of the contrast distribution. The protocol employs automatic scanning for the arterial phase, the venous phase (a delay of 10 seconds), and the delayed phase (10 minutes after injection). HU measurements from five liver ROIs demonstrated a significant negative relationship between the time to peak enhancement and the arterial-phase timing, with Pearson's correlation $r = -0.722$ and $p = 0.043$.

Keyword : Multiphase Abdominal CT Scan, Bolus Tracking, Peak Enhancement Timing, Housfield Unit (HU)

Pendahuluan

Kanker merupakan salah satu masalah kesehatan global yang paling penting dan menjadi penyebab utama kematian di berbagai negara, dengan laporan Globocan 2022 mencatat hampir 20 juta kasus baru dan sekitar 10 juta kematian akibat kanker secara global (Bray et al. 2024). Kanker payudara merupakan jenis kanker yang paling umum didiagnosis, diikuti dengan kanker paru-paru, kolorektal, dan prostat (Sung et al. 2021). Di Indonesia, prevalensi kanker payudara dan serviks menduduki peringkat tertinggi pada wanita sedangkan kanker paru-paru dan kolorektal menjadi yang teratas di kalangan pria. Salah satu komplikasi utama kanker adalah metastasis, yaitu proses yang

sangat kompleks dimana sel kanker menyebar dari tumor primer ke organ lain, termasuk hepar yang menjadi lokasi metastasis yang umum karena peranannya sebagai penerima aliran darah dari organ-organ abdomen melalui sistem portal hepatic (Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018).

Hepar merupakan organ yang sering menjadi tempat metastasis, terutama dari kanker kolorektal, payudara, dan paru-paru (Bray et al. 2024)(Indonesia 2020). Hal ini disebabkan karena sistem portal hepatic yang menerima aliran darah dari organ-organ abdomen, struktur vaskular hepar yang unik dengan sinusoid yang memfasilitasi ekstrasvasasi sel kanker, dan lingkungan mikro hepar yang kondusif untuk pertumbuhan sel kanker (Bray

et al. 2024). Data epidemiologis menunjukkan bahwa kanker hepar menempati posisi keenam dalam insidensi kanker secara global dan merupakan penyebab kematian ketiga terbanyak (Bray et al. 2024).

Dalam praktik klinis, diagnosis metastasis sangat bergantung pada modalitas pencitraan non-invasif, khususnya *Computed Tomography* (CT) dan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) *multiphase* dengan kontras yang menjadi standar dalam mendeteksi dan menilai karakteristik lesi hepar (Kalarakis et al. 2025a). Selain itu, penggunaan media kontras pada pemeriksaan *CT Scan* dapat memperluas perbedaan nilai atenuasi antara jaringan normal dan abnormal, sehingga memudahkan visualisasi lesi dan proses penyakit lainnya (Romans 2018).

Nilai atenuasi sendiri menggambarkan perbedaan densitas suatu jaringan dengan satuan *Hounsfield Unit* (HU) (Jensen et al. 2019). Sebelum injeksi kontras nilai atenuasi lesi berkisar < 40 HU sementara setelah injeksi kontras nilai atenuasi lesi pada fase arteri berkisar 77 HU dan pada fase vena porta berkisar 30 HU hingga 50 HU (Ozaki et al. 2022).

Pada pemeriksaan *CT Scan* abdomen kontras dilakukan dengan 3 tahapan *scanning* yaitu, fase arteri, fase vena, dan fase *delayed*. Pada fase arteri menunjukkan organ pembuluh darah dan membantu dalam mendeteksi kelainan vaskular. Fase vena memberikan informasi vital tentang aliran darah ke organ untuk mengevaluasi tumor atau lesi yang ada. Dan fase *delayed* membantu dalam menilai kerusakan atau perubahan patologi yang terjadi dalam jaringan (Rohendyati A. 2024).

Kriteria hasil gambaran *CT Scan* pada klinis metastasis bisa dilihat pada fase vena. Hal ini disebabkan oleh peningkatan maksimal penyerapan media kontras oleh parenkim hepar melalui aliran darah vena porta. Pada fase ini, jaringan hepar normal mengalami *enhancement* yang signifikan sehingga tampak lebih hiperdens. Sebaliknya lesi metastasis tidak mengalami peningkatan penyerapan kontras secara signifikan dan tampak hipodens. Perbedaan kontras antara jaringan hepar dan lesi pada fase vena porta memudahkan identifikasi lesi metastasis (Ozaki et al. 2022).

Seiring dengan peran penting fase vena dalam mengidentifikasi lesi metastasis hepar melalui perbedaan kontras antara jaringan parenkim dan lesi, perkembangan pemeriksaan *CT Scan* khususnya *CT abdomen multiphase* dengan teknik *bolus tracking* semakin meningkatkan akurasi deteksi metastasis. Teknik *bolus tracking*

memungkinkan akuisisi citra fase arteri secara otomatis ketika atenuasi kontras pada daerah ROI (*Region of Interest*) di aorta abdominalis mencapai nilai *threshold* tertentu, sehingga waktu *peak enhancement* dapat diukur secara presisi dan konsisten (Kalarakis et al. 2025b).

Waktu *peak enhancement* adalah waktu yang dibutuhkan kontras untuk mencapai puncak akumulasi pada jaringan untuk memulai *scanning* pada fase arteri (Kalarakis et al. 2025b). Menurut penelitian oleh Zhu (2017) waktu *scanning* yang paling tepat untuk menghasilkan hasil citra yang baik untuk fase arteri yaitu pada detik ke 19 dengan penggunaan nilai *threshold* 150 HU.

Peneliti melakukan observasi pada pemeriksaan *CT abdomen multiphase* dengan teknik *bolus tracking* waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *threshold* 150 HU sekitar 15-25 detik setelah injeksi kontras. Oleh karena itu peneliti membagi menjadi 2 kategori waktu *peak enhancement* yaitu 15-19 detik dan 20-25 detik. Pemilihan rentang kategori didasarkan pada pengaruh faktor-faktor utama yang mempengaruhi waktu *peak enhancement* seperti, *cardiac output*, *flow rate*, volume, konsentrasi kontras, serta faktor fisiologi seperti usia dan berat badan pasien. Rentang 15-19 detik dipilih untuk mengkategorikan pasien dengan aliran darah cepat dan *cardiac output* yang baik sehingga memungkinkan waktu *peak enhancement* terjadi lebih awal. Sedangkan rentang 20-25 detik dikategorikan untuk pasien dengan aliran darah yang lebih lambat karena faktor usia atau berat badan yang berlebih sehingga dapat memperpanjang waktu *peak enhancement*. Dampak waktu *peak enhancement* terhadap visualisasi lesi sangat besar jika *scanning* dilakukan lebih awal citra tidak dapat menunjukkan perbedaan yang cukup antara lesi dan parenkim. Disisi lain jika *scanning* dilakukan lambat kontras mengalami *washout* yang mengurangi visualisasi lesi.

Dengan mempertimbangan dampak yang signifikan waktu *peak enhancement* terhadap visualisasi lesi, *scanning* yang dilakukan pada waktu yang tepat sangat esensial untuk memperoleh kualitas citra yang baik (Bae 2010). Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhu (2017) rentang waktu *peak enhancement* yang digunakan yaitu 11- 27 detik. Diperoleh data dari jurnal bahwa nilai HU pada kategori 1 (15-19 detik) berkisar 350-370 HU, yang menandakan peningkatan kontras pada fase arteri. Sedangkan pada kategori 2 (20-25 detik) nilai HU mengalami penurunan berkisar 300-320 HU akibat dari kontras yang telah mengalami *washout*. Perbedaan nilai HU ini secara statistik signifikan

dengan *p-value* <0,001 yang berarti pengaturan waktu *scanning* yang tepat sangat penting untuk memperoleh nilai HU dengan kualitas hasil citra yang baik. Kualitas citra yang baik tercapai ketika faktor teknis seperti tegangan tabung (kV), arus tabung (mAs) dan pitch diatur sesuai dengan karakterisasi pasien, serta dikombinasikan dengan ketepatan waktu injeksi media kontras. Oleh karena itu, pemantauan *real time* menggunakan teknik *bolus tracking* sangat penting untuk menjamin ketepatan waktu akuisisi citra (Fleischmann et al. 2016).

Pada jurnal *Analysis of Contrast Time Enhancement Curve To Optimise CT Pulmonary Angiography* (2017) menunjukkan bahwa analisis kurva *time-enhancement* dapat digunakan untuk menentukan waktu *scanning* yang optimal sehingga memastikan fase arteri diambil pada saat *enhancement* maksimal. Hubungan ini penting untuk menentukan waktu pemindaian sehingga citra yang dihasilkan memiliki kualitas dan detail yang baik (Zhu et al. 2017).

Dengan demikian, pemilihan protokol dan parameter yang tepat pada pemeriksaan *CT abdomen multiphase* dengan teknik *bolus tracking* sangat penting untuk diagnosis, staging, dan evaluasi respons terapi pada pasien metastasis kanker (Kalarakis et al. 2025b). Selain itu, pemahaman tentang waktu *peak enhancement* sesuai dengan faktor fisiologi pasien dapat meningkatkan akurasi deteksi lesi yang pada akhirnya berdampak pada hasil citra yang dihasilkan (Hatzidakis et al. 2019).

Berdasarkan penjelasan diatas, penulis ingin meneliti hubungan waktu *peak enhancement* terhadap informasi citra pemeriksaan *CT Scan Multiphase* pada pasien penyebaran kanker dengan tujuan penelitian untuk menganalisis teknik pemeriksaan *CT scan Abdomen Multiphase*, mengetahui rata-rata nilai HU organ hepar, dan mencari hubungan waktu *peak enhancement* terhadap informasi citra.

Metode

Metode Penelitian ini menggunakan jenis deskriptif kuantitatif yang dilaksanakan pada Agustus-Oktober 2025. Menggunakan data sekunder dengan *sample* sebanyak 8 pasien. Data dikumpulkan dengan observasi teknik pemeriksaan *CT Scan abdomen multiphase*, pengukuran nilai HU menggunakan aplikasi *Radiant*, serta kuisioner evaluasi kualitas citra diberikan kepada 3 radiolog. Data pengukuran diolah dengan aplikasi statistika untuk mencari hubungan waktu *peak enhancement*

terhadap informasi citra dengan menggunakan uji korelasi *pearson*.

Hasil dan Pembahasan

1. Teknik Pemeriksaan *CT Scan Abdomen Multiphase*

Berdasarkan teori Loise E. Romans dalam buku “*Computed Tomography For Technologist*” (2018), pemeriksaan *CT Scan abdomen multiphase* menggunakan teknik *bolus tracking* merupakan pemeriksaan dengan pendekatan otomatis yang memungkinkan penentuan *scan time* secara presisi pada protokol *CT Scan abdomen multiphase*.

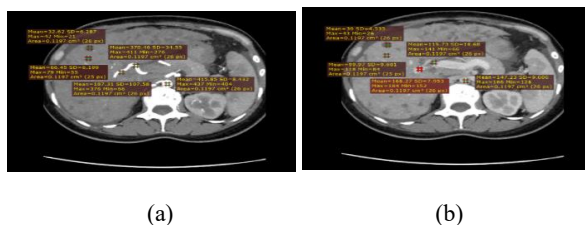
Teknik pemeriksaan *CT Scan abdomen multiphase* menggunakan volume kontras 60 ml, Nacl 40 ml dan *flow rate* 3 ml/s. dengan area *monitoring* ROI diletakkan pada aorta abdominalis setinggi hepar. Teknik pemasukkan media kontras dilakukan dengan teknik *bolus tracking* dengan mengatur nilai *threshold* 150 HU dan *scanning* fase arteri akan dilakukan otomatis jika nilai *enhancement* pada area *monitoring* telah melampaui nilai *threshold* yang diatur, *scanning* fase vena dilakukan 10 detik setelah fase arteri, dan *scanning* fase *delayed* pada detik ke 600 (10 menit) setelah injeksi kontras.

Hasil citra fase arteri digunakan untuk menilai vaskularisasi lesi. Lesi hipervaskular akan terlihat pada fase ini dengan menampilkan kontras yang lebih hiperdens dari pada daerah disekitar lesi. Fase vena digunakan untuk menilai lesi hipovaskular yang lebih jelas karena fase ini gambaran parenkim hepar lebih hiperdens sehingga lesi hipovaskular dapat terlihat dengan jelas. Fase *delayed* membantu memperjelas jenis lesi dengan memberi informasi tambahan mengenai *washout* kontras dan karakteristik kapsuler lesi.

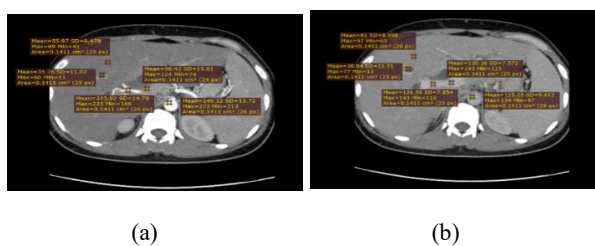
Metode *bolus tracking* memungkinkan pemantauan *real time* terhadap distribusi media kontras didalam pembuluh darah sehingga waktu *scanning* dapat diatur secara otomatis berdasarkan *peak enhancement* kontras pada daerah *monitoring*. Keunggulan ini memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam mengatasi variabilitas fisiologis pasien, seperti perbedaan *cardiac output*, berat badan, dan usia yang mempengaruhi waktu distribusi kontras. Potensi kesalahan waktu *scanning* dapat diminimalkan sehingga didapatkan gambaran hasil citra yang baik untuk mendeteksi karakteristik lesi metastase hepar.

2. Rata Rata Nilai HU Organ Hepar

Berdasarkan penelitian oleh Zhu dalam jurnal “*Analysis of contrast time-enhancement curves to optimise CT pulmonary angiography*” (2017), dapat disimpulkan penyesuaian waktu *scanning* yang tepat dapat mempengaruhi nilai HU lesi secara signifikan. Berdasarkan jurnal penggunaan nilai *threshold* 150 pada kategori waktu 1 (15-19 detik) didapatkan nilai HU berkisar 370-350 HU sedangkan pada kategori 2 (20-25 detik) didapatkan nilai HU berkisar 320-300 HU. Hal ini terjadi karena pada kategori waktu 1 (15-19 detik) kontras iodine masih berada pada puncak konsentrasi di pembuluh aorta dan arteri hepatica. Kontras belum banyak disitribusikan ke kapiler parenkim atau vena porta, sehingga densitas vaskular maksimal. Sedangkan, pada kategori waktu 2 (20-25 detik) kontras mulai didistribusikan ke jaringan parenkim dan vena, menyebabkan penurunan HU signifikan sesuai dengan kurva *time enhancement*.



Gambar 1. Area ROI kategori 1, (a) Fase arteri, (b) fase vena



Gambar 2. Area ROI Kategori 2, (a) Fase arteri, (b) Fase vena

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran HU di 5 titik organ hepar saat fase arteri dan fase vena pada 2 kelompok waktu *peak enhancement*, yaitu 15- 19 detik (kategori 1) dan 20-25 detik (kategori 2).

Tabel 1. Rata Rata Nilai HU Kategori 1

Nilai Rata Rata Kategori 1 (15-19 detik)		
Organ	Nilai HU Fase Arteri	Nilai HU Fase Vena
Arteri	289,3 HU	-
Aorta	386,2 HU	158,1 HU
Vena	-	156,4 HU

Lesi	23,8 HU	22,2 HU
Parenkim	65,7 HU	114,3 HU

Tabel 2. Rata Rata Nilai HU Kategori 2

Nilai Rata Rata Kategori 2 (20-25 detik)		
Organ	Nilai HU Fase Arteri	Nilai HU Fase Vena
Arteri	179,3 HU	-
Aorta	312,6 HU	143,1 HU
Vena	-	155,6 HU
Lesi	22,3 HU	21,6 HU
Parenkim	63,4 HU	108,6 HU

Dari data penelitian pada tabel diatas didapatkan pada fase arteri kategori 1 nilai HU mencapai *peak* tertinggi pada organ vaskular aorta abdominalis dan arteri sementara nilai parenkim dan lesi relatif lebih rendah. Pada kategori 2 di fase vena nilai HU aorta dan vena menunjukkan penurunan, namun parenkim mengalami nilai HU yang relatif stabil. Dan lesi tetap menunjukkan nilai HU yang rendah.

3. Hubungan Waktu *Peak Enhancement* Terhadap Informasi Citra

Waktu *peak enhancement* memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai *Hounsfield Unit* (HU) berdasarkan buku “*Computed Tomography For Technologist*” (2018) menjelaskan bahwa pengaturan *timing scan* menggunakan *real time monitoring* nilai HU pada daerah ROI merupakan faktor kunci dalam menghasilkan hasil citra yang berkualitas baik. Diperkuat pada jurnal “*Analysis of contrast time-enhancement curves to optimise CT pulmonary angiography*” (2017) yang menunjukkan bahwa penggunaan nilai *threshold* 150 HU pada teknik *bolus tracking* dapat menghasilkan nilai *peak* HU yang lebih tinggi sehingga meningkatkan hasil citra pada fase arteri. Perbedaan nilai HU ini secara statistik signifikan dengan *p-value* <0,001.

Tabel 3. Hasil Uji Korelasi Pearson

Variabel	Koefisien Korelasi (r)	Nilai Signifikansi (p)
Waktu & HU Arteri	-0.722	0.043
Waktu & HU Vena	-0.061	0.886

HU Arteri & HU Vena	0.351	0.394
------------------------	-------	-------

Hasil uji korelasi *pearson* menunjukkan adanya hubungan negatif yang signifikan antara waktu *peak enhancement* dengan nilai HU pada fase arteri dengan koefisien korelasi (r) sebesar $-0,722$ dan nilai signifikansi (p) $0,043$ yang dapat diartikan semakin lama waktu *peak enhancement* maka nilai HU pada fase arteri cenderung mengalami penurunan secara signifikan. Sebaliknya, hubungan waktu *peak enhancement* dengan nilai HU fase vena tidak signifikan ($r = -0,061$; $p = 0,886$) yang dapat diartikan bahwa waktu *peak enhancement* tidak berpengaruh pada nilai HU fase vena. Selain itu, korelasi antara nilai HU fase arteri dan vena juga tidak signifikan ($r = 0,351$; $p = 0,394$). Berdasarkan data tersebut hipotesis H_0 ditolak dan H_a diterima yang berarti ada hubungan antara waktu *peak enhancement* terhadap informasi citra fase arteri.

Hasil kuisioner penilaian citra oleh dokter radiologi mengkonfirmasi bahwa hasil citra pada kategori 1 (15-19 detik) memiliki skor kualitas visual yang lebih tinggi dibandingkan dengan kategori 2 (20-25 detik). Hasil tersebut memperkuat hasil analisis korelasi yang menunjukkan hubungan negatif signifikan antara waktu *peak enhancement* dengan nilai HU pada fase arteri. Hal ini sesuai dengan teori dan penelitian lainnya yang menyatakan bahwa pengaturan *timing scan* yang tepat terutama pada fase arteri sangat krusial untuk menghasilkan hasil citra dengan nilai HU maksimum sehingga meningkatkan akurasi pada pemeriksaan *CT Scan* abdomen *multiphase*.

Simpulan

Teknik pemeriksaan *CT Scan* abdomen *multiphase* menggunakan teknik *bolus tracking* dengan nilai *threshold* 150 HU memastikan pemantauan *real-time* distribusi kontras dengan *scanning* otomatis pada fase arteri, fase vena (delay 10 detik), serta fase *delayed* (10 menit pasca-injeksi). Hasil pengukuran HU pada lima organ hepar menunjukkan hubungan negatif signifikan antara waktu *peak enhancement* pada fase arteri (Korelasi *Pearson* $r = -0,722$; $p = 0,043$), sementara parenkim stabil dan lesi rendah, menegaskan pentingnya *timing* presisi fase arteri untuk HU maksimum guna meningkatkan akurasi dan kualitas citra *multiphase*.

Daftar Pustaka

- Bray F, Laversanne M, Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*. 2024;74(3):229–63.
- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin*. 2021;71(3):209–49.
- Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas). Laporan Riskesdas 2018 Nasional.pdf [Internet]. Lembaga Penerbit Balitbangkes. 2018. p. hal 156. Available from: https://repository.badankebijakan.kemkes.go.id/id/eprint/3514/1/Laporan_Riskesdas_2018_Nasional.pdf
- Indonesia KKR. Profil Kesehatan Indonesia 2020. Vol. 1. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI; 2020.
- Falkson G, Falkson CI, Garbers LM. Hepatocellular carcinoma. *Cancer Treat Res*. 1998;98:83–109.
- Kalarakis G, Chrysosou EG, Perisinakis K, Klontzas ME, Samonakis D, Hatzidakis A. CT perfusion and MRI: A combined approach for hepatocellular carcinoma diagnosis and follow-up after locoregional treatment. *Eur J Radiol* [Internet]. 2025;183(February):111928. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2025.111928>
- Romans LE. Computed tomography for technologists: A comprehensive text, second edition. *Computed Tomography for Technologists: A Comprehensive Text*. 2018. p. 1–440.
- Jensen CT, Blair KJ, Wagner-Bartak NA, Vu LN, Carter BW, Sun J, et al. Comparison of Abdominal Computed Tomographic Enhancement and Organ Lesion Depiction between Weight-Based Scanner Software Contrast Dosing and a Fixed-Dose Protocol in a Tertiary Care Oncologic Center. *J Comput Assist Tomogr*. 2019;43(1):155–62.
- Ozaki K, Higuchi S, Kimura H, Gabata T. Liver Metastases: Correlation between Imaging Features and Pathomolecular Environments. *Radiographics*. 2022;42(7):1994–2013.
- Rohendyati A. ASP. Analisis Hubungan Berat Badan terhadap Enhancement Hepar Fase Arteri dan Vena pada Klinis Hepatocellular Carcinoma. 2024th ed. Jakarta: Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi; 2024.

- Kalarakis G, Chrysou EG, Perisinakis K, Klontzas ME, Samonakis D, Hatzidakis A. CT perfusion and MRI: A combined approach for hepatocellular carcinoma diagnosis and follow-up after locoregional treatment. *Eur J Radiol* [Internet]. 2025;183(January):111928. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2025.111928>
- Arslanoglu A, Chalian H, Sodagari F, Seyal AR, Töre HG, Salem R, et al. Threshold for enhancement in treated hepatocellular carcinoma on MDCT: Effect on necrosis quantification. *Am J Roentgenol*. 2016;206(3):536–43.
- Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: Considerations and approaches. *Radiology*. 2010;256(1):32–61.
- Fleischmann D, Chin AS, Molvin L, Wang J, Hallett R. Computed Tomography Angiography. A Review and Technical Update. *Radiol Clin North Am* [Internet]. 2016;54(1):1–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcl.2015.09.002>
- Zhu J, Wang Z, Kim Y, Bae SK, Tao C, Gong J, et al. Analysis of contrast time–enhancement curves to optimise CT pulmonary angiography. *Clin Radiol* [Internet]. 2017;72(4):340.e9–340.e16. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crad.2016.11.018>
- Hatzidakis A, Perisinakis K, Kalarakis G, Papadakis A, Savva E, Ippolito D, et al. Perfusion-CT analysis for assessment of hepatocellular carcinoma lesions: diagnostic value of different perfusion maps. *Acta radiol*. 2019;60(5):561–8.