

Panduan Dasar Pemahaman Pencitraan bagi Mahasiswa Kedokteran



dr. Hafidz Muhammad Prodjokusumo, SpRad

**FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
JAKARTA 2025**

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga buku modul berjudul "**Panduan Dasar Pemahaman Pencitraan bagi Mahasiswa Kedokteran**" ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada uswatun hasanah kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa risalah ilmu pengetahuan untuk kemaslahatan umat manusia.

Penyusunan buku ini didasari oleh semangat **Tajdid** (pembaruan) dalam dunia pendidikan kedokteran, karena radiologi kini bukan lagi sekadar ilmu penunjang, melainkan instrumen utama dalam penegakan diagnosis yang akurat.

Buku ini disusun secara sistematis untuk menjembatani teori dasar dengan aplikasi klinis praktis, mencakup: **Sejarah dan Evolusi Radiologi**, menelusuri jejak ilmu pengetahuan sebagai bukti kebesaran Sang Pencipta dalam keteraturan alam semesta; **Fisika dan Proteksi Radiasi**, memahami mekanisme pembentukan sinar-X serta penerapan prinsip ALARA sebagai bentuk tanggung jawab etis dan profesional dokter; **Modalitas Pencitraan modern**, pembahasan mengenai Radiografi Konvensional, USG, CT-Scan, hingga MRI sebagai "mata" kedokteran modern.

Penulis berharap buku ini tidak hanya menjadi referensi akademik, tetapi juga menjadi sarana ibadah dalam menuntut ilmu (*thalabul 'ilmi*). Kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi penyempurnaan di masa mendatang.

Terima kasih kepada seluruh pihak, rekan sejawat, dan keluarga besar institusi yang telah memberikan dukungan. Semoga buku ini bermanfaat bagi mahasiswa kedokteran dan praktisi kesehatan dalam memberikan pelayanan yang unggul dan berkemajuan bagi masyarakat luas.

Nashrun Minallahi Wa Fathun Qarib

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Jakarta, 2025

Tim Penulis

Daftar Isi

BAB I: PENDAHULUAN, SEJARAH, DAN MASA DEPAN RADIOLOGI	3
1.1 Definisi dan Ruang Lingkup Akademik	3
1.2 Sejarah: Dari Penemuan Sinar-X hingga Era Digital	3
1.3 Peran Strategis dalam Klinis Modern	4
1.4 Revolusi Artificial Intelligence (AI) dan Masa Depan	5
1.5 Filosofi Pemilihan Modalitas (Indikasi Tepat)	6
BAB II: FISIKA RADIASI & PROTEKSI RADIASI	7
2.1 Mekanisme Pembentukan Sinar-X	7
2.2 Klasifikasi Radiasi dalam Radiologi	8
2.3 Prinsip Proteksi Radiasi (ALARA)	8
2.4 Efek Biologis Radiasi	10
BAB III: RADIOGRAFI KONVENSIONAL	11
3.1 Definisi dan Prinsip Dasar	11
3.2 Lima Densitas Dasar Radiologi	11
3.3 Terminologi Posisi dan Proyeksi Dasar	12
BAB IV: ULTRASONOGRAFI (USG)	14
4.1 Prinsip Dasar dan Mekanisme	14
4.3 Keunggulan dan Aplikasi Khusus	15
BAB V: COMPUTED TOMOGRAPHY (CT-SCAN)	17
5.1 Prinsip Dasar dan Teknologi	17
5.3 Indikasi Klinis Utama	18
BAB VI: MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI)	20
6.1 Prinsip Fisika Dasar	20
6.2 Sekuens Dasar: T1 vs T2 Weighted Imaging	20
Daftar Pustaka	24

BAB I: PENDAHULUAN, SEJARAH, DAN MASA DEPAN RADIOLOGI

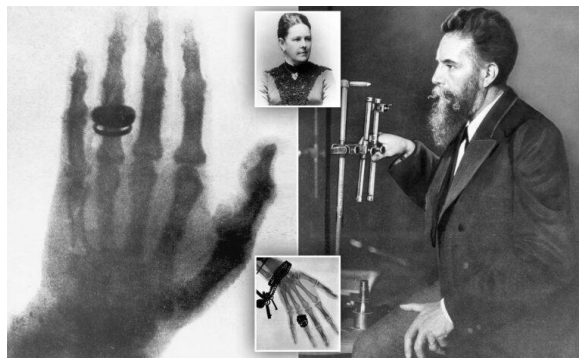
1.1 Definisi dan Ruang Lingkup Akademik

Radiologi merupakan cabang ilmu kedokteran yang memanfaatkan energi radiasi, baik pengion (Sinar-X, sinar gamma) maupun non-pengion (gelombang suara, medan magnet), untuk tujuan diagnosis dan terapi [1]. Dalam kurikulum kedokteran, radiologi bukan lagi sekadar ilmu penunjang, melainkan instrumen utama dalam penegakan diagnosis yang akurat [1,3]. Ruang lingkupnya mencakup radiologi diagnostik yang bersifat observatif, serta radiologi intervensi yang menggunakan panduan gambar untuk melakukan tindakan medis minimal invasif [1,3,5].

1.2 Sejarah: Dari Penemuan Sinar-X hingga Era Digital

Transformasi radiologi dimu

lai dari sebuah kebetulan di laboratorium fisika. Pada 8 November 1895, Wilhelm Conrad Röntgen menemukan radiasi elektromagnetik yang ia sebut "Sinar-X" karena sifatnya yang belum diketahui saat itu [1]. Penemuan ini segera merevolusi kedokteran; radiografi pertama dilakukan pada tangan istrinya, Anna Bertha, yang secara visual menunjukkan struktur tulang dan cincin di jarinya [2].



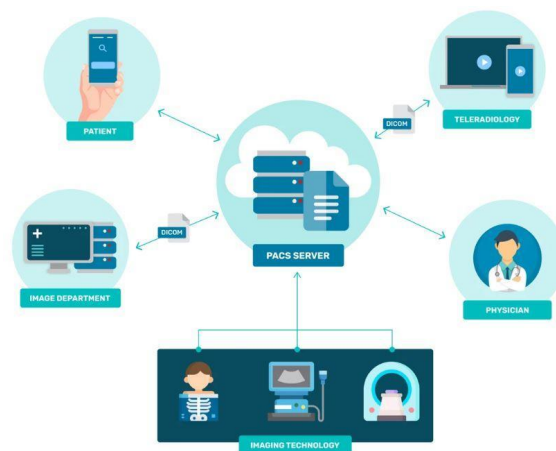
Gambar 1.1: Radiograf tangan Anna Bertha Röntgen (1895), tonggak awal sejarah radiologi dunia.

<https://brianhuman.co.uk/wp/five-facets-of-photography-photographs-that-changed-the-world-rontgens-x-ray/>

Perkembangan berlanjut dengan penemuan-penemuan besar lainnya:

- **Era Kontras (1920-an):** Penggunaan zat radio-opak memungkinkan visualisasi organ yang sebelumnya tidak terlihat, seperti saluran empedu dan pembuluh darah [2].

- **Evolusi Cross-Sectional (1970-1980):** Sir Godfrey Hounsfield mengembangkan *Computed Tomography* (CT), sebuah inovasi yang memberikan gambaran potongan melintang tubuh manusia tanpa tumpang tindih tulang. Hampir bersamaan, teknologi *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) diperkenalkan sebagai standar emas baru untuk pencitraan jaringan lunak tanpa risiko radiasi pengion [2,4].
- **Era Digital (PACS):** Evolusi besar berikutnya terjadi pada cara data medis dikelola. Di era modern, peran film fisik telah digantikan oleh **PACS** (*Picture Archiving and Communication System*). PACS adalah teknologi manajemen citra medis berbasis format DICOM yang memungkinkan penyimpanan data secara digital dan terintegrasi [4,6]. Dengan PACS, seorang dokter di IGD dapat mengakses hasil citra pasien secara *real-time* tanpa harus menunggu film dicetak, serta memungkinkan dilakukannya teleradiologi untuk konsultasi jarak jauh, yang sangat krusial bagi layanan kesehatan di daerah terpencil [6].



Gambar 1.2: Sistem PACS. <https://nandico.in/changing-landscape-of-pacs/>

1.3 Peran Strategis dalam Klinis Modern

Radiologi kini berfungsi sebagai "mata" bagi para dokter di seluruh dunia. Tanpa pencitraan, diagnosis klinis seringkali hanya bersifat hipotetis [3]. Peran utamanya meliputi:

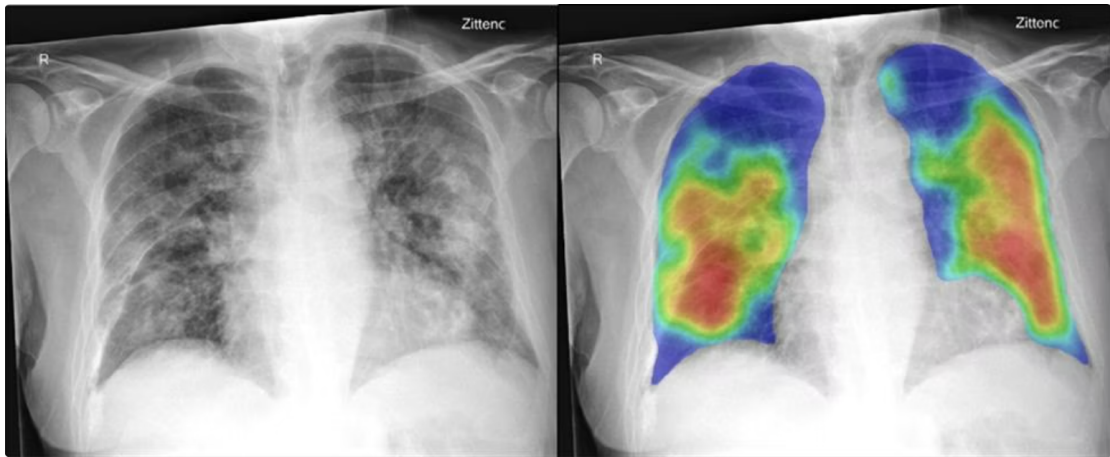
- **Visualisasi Non-Invasif:** Menggantikan prosedur bedah eksplorasi untuk mengidentifikasi patologi internal pasien [3].

- **Manajemen Gawat Darurat:** Pada kasus trauma atau stroke, kecepatan radiologi (terutama CT-Scan) menjadi faktor penentu dalam "*Golden Hour*" keselamatan pasien [4,5].
- **Radiologi Intervensi (Terapi Minimal Invasif):** Radiologi telah berevolusi dari sekadar alat diagnostik menjadi metode terapi. Dengan panduan citra (*image-guided*), radiolog intervensi dapat melakukan prosedur kompleks seperti *thrombectomy* pada stroke akut, embolisasi untuk menghentikan perdarahan hebat, hingga pemasangan *stent* vaskular. Prosedur ini menawarkan risiko yang jauh lebih rendah, perdarahan minimal, dan waktu pemulihan yang lebih cepat dibandingkan bedah terbuka tradisional [5].
- **Monitor Terapi:** Memberikan data objektif mengenai respon tubuh terhadap pengobatan, seperti pengecilan massa tumor pada pasien kanker [3].

1.4 Revolusi Artificial Intelligence (AI) dan Masa Depan

Memasuki abad ke-21, radiologi kembali mengalami revolusi melalui integrasi *Artificial Intelligence* (AI). AI saat ini berperan sebagai asisten digital yang meningkatkan produktivitas radiolog [5,7].

- **Penerapan Saat Ini:** Algoritma AI mampu melakukan triase otomatis dengan memindai ribuan gambar secara instan untuk mencari kelainan kritis seperti perdarahan otak atau *pneumothorax*, sehingga kasus tersebut dapat segera ditangani oleh dokter sebelum kasus rutin lainnya [5,6,7].
- **Radiomics dan Prediksi Masa Depan:** Masa depan radiologi terletak pada "Radiomics", yaitu ekstraksi data kuantitatif dalam jumlah besar dari gambar medis yang tidak dapat ditangkap oleh mata telanjang. Hal ini memungkinkan dokter untuk memprediksi sifat genetik suatu tumor atau respons spesifik pasien terhadap kemoterapi tertentu secara personal [6,7].
- **Efisiensi dan Keamanan:** AI masa depan juga diproyeksikan untuk mengurangi dosis radiasi yang diterima pasien tanpa menurunkan kualitas gambar, menjadikannya jauh lebih aman bagi pasien pediatrik dan ibu hamil [7].



Gambar 1.3: Peran AI dalam deteksi Covid 19 pada thoraks x ray.
<https://www.auntminnie.com/imaging-informatics/artificial-intelligence/article/15625870/free-ai-software-can-help-triage-covid-19-on-x-ray>

1.5 Filosofi Pemilihan Modalitas (Indikasi Tepat)

Sebagai calon dokter, mahasiswa harus menguasai prinsip *Appropriateness Criteria*. Setiap pemeriksaan harus didasari oleh **justifikasi medis**: manfaat klinis harus lebih besar dibandingkan risiko paparan radiasi (prinsip ALARA) [8]. Dokter harus selalu menyinkronkan hasil gambar dengan kondisi fisik pasien, sesuai adagium medis: *"Treat the patient, not the X-ray"* [4,8].

BAB II: FISIKA RADIASI & PROTEKSI RADIASI

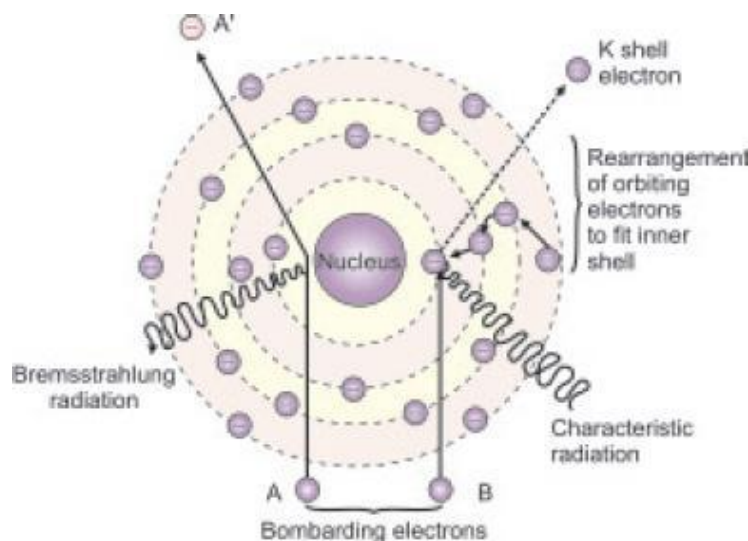
2.1 Mekanisme Pembentukan Sinar-X

Sinar-X yang digunakan dalam radiologi diagnostik diproduksi di dalam tabung sinar-X ketika elektron berkecepatan tinggi menabrak target logam (Anoda). Terdapat dua jenis interaksi utama yang menghasilkan foton sinar-X:

1. Radiasi Bremsstrahlung (Radiasi Pengereman)

Ini adalah sumber utama sinar-X dalam radiologi (sekitar 85-90%). [9]

- **Mekanisme:** Elektron proyektil melintas dekat inti atom target. Gaya tarik elektrostatis inti atom menyebabkan elektron melambat dan berbelok (pengereman). Kehilangan energi kinetik elektron ini dipancarkan dalam bentuk foton sinar-X.
- **Spektrum:** Menghasilkan spektrum energi kontinyu (bervariasi dari energi rendah hingga maksimum).



Gambar 2.1: Mekanisme Radiasi Bremsstrahlung. (Sumber : Srivastava RK. Oral Radiology [10])

2. Radiasi Karakteristik

Terjadi akibat interaksi elektron proyektil dengan elektron kulit dalam atom target.

- **Mekanisme:** Elektron proyektil menabrak elektron kulit K atom target hingga terpental keluar. Kekosongan ini segera diisi oleh elektron dari kulit yang lebih

luar (L atau M). Perbedaan energi antar kulit inilah yang dilepaskan sebagai foton sinar-X.

- **Spektrum:** Menghasilkan spektrum diskrit (energi spesifik sesuai jenis logam target).

2.2 Klasifikasi Radiasi dalam Radiologi

Dalam dunia medis, radiasi diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya dalam memutus ikatan atom di dalam tubuh manusia. [9]

1. Radiasi Pengion (Ionizing Radiation)

Radiasi ini memiliki energi yang sangat tinggi sehingga mampu melepaskan elektron dari orbitnya (ionisasi). Interaksi ini dapat menyebabkan perubahan kimiawi pada sel atau kerusakan DNA.

- **Mekanisme:** Foton menabrak atom tubuh → Elektron terpelanting → Terbentuk ion bebas.
- **Contoh Modalitas:** Sinar-X konvensional, Computed Tomography (CT-Scan), dan Kedokteran Nuklir.

2. Radiasi Non-Pengion (Non-Ionizing Radiation)

Radiasi ini tidak memiliki energi yang cukup untuk mengionisasi atom. Modalitas ini bekerja berdasarkan getaran mekanis atau resonansi magnetik, sehingga jauh lebih aman dari sisi risiko karsinogenik.

- **Mekanisme:** Menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi (USG) atau manipulasi spin proton dalam medan magnet (MRI).
- **Contoh Modalitas:** Ultrasonografi (USG) dan Magnetic Resonance Imaging (MRI).

2.3 Prinsip Proteksi Radiasi (ALARA)

Filosofi utama dalam penggunaan radiasi adalah **ALARA** (*As Low As Reasonably Achievable*), yaitu menjaga paparan radiasi serendah mungkin yang dapat dicapai tanpa mengurangi kualitas diagnosa medis. [11]

A. Waktu (Time)

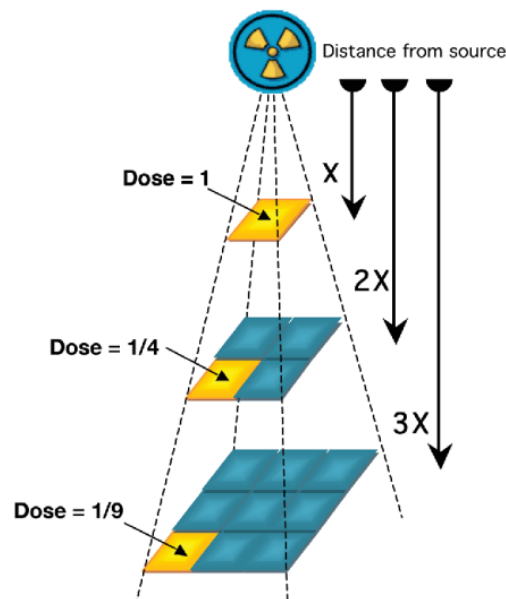
Paparan radiasi bersifat akumulatif secara linier terhadap durasi.

- **Aplikasi:** Petugas medis harus bekerja secara cepat dan efisien. Dalam fluoroskopi, pedal radiasi hanya diinjak saat diperlukan (pulsed fluoroscopy).

B. Jarak (Distance)

Mengikuti hukum **Kuadrat Terbalik** (*Inverse Square Law*). Jika Anda menggandakan jarak dari sumber, intensitas radiasi akan berkurang menjadi seperempatnya.

- **Aplikasi:** Operator berdiri sejauh mungkin dari pasien/tabung saat eksposi berlangsung.



Gambar 2.2 : Inverse square law (Sumber : Phillips G. Monaghan WP [12])

C. Perisai (Shielding)

Menggunakan material dengan nomor atom tinggi (seperti Timbal/Pb) untuk menyerap foton radiasi sebelum mencapai tubuh.

- **Aplikasi:** Penggunaan *lead apron*, *thyroid shield*, kacamata Pb, serta dinding ruangan yang dilapisi plat timbal atau beton tebal.

2.4 Efek Biologis Radiasi

Interaksi radiasi pengion dengan jaringan tubuh manusia dapat menimbulkan kerusakan biologis yang dibagi menjadi dua kategori utama berdasarkan mekanisme kemunculannya [11] :

1. Efek Deterministik (Efek Non-Stokastik)

Efek ini terjadi karena adanya kematian sel dalam jumlah besar. Karakteristik utamanya adalah memiliki **Dosis Ambang (Threshold)**; efek hanya akan muncul jika dosis yang diterima melampaui ambang batas tertentu.

- **Karakteristik:** Tingkat keparahan penyakit berbanding lurus dengan besarnya dosis.
- **Waktu Muncul:** Biasanya muncul segera atau dalam waktu singkat setelah paparan (akut).
- **Contoh:** Eritema (kulit kemerahan), katarak radioinduksi, kerontokan rambut (epilasi), dan sterilitas.

2. Efek Stokastik

Efek ini terjadi karena mutasi sel (kerusakan DNA) yang tidak sempurna diperbaiki, namun sel tersebut tetap hidup. Efek ini **tidak memiliki dosis ambang**; sekecil apapun dosisnya, risiko tetap ada.

- **Karakteristik:** Probabilitas (peluang) terjadinya efek meningkat seiring besarnya dosis, namun tingkat keparahan tidak bergantung pada dosis.
- **Waktu Muncul:** Memiliki masa laten yang lama (bertahun-tahun setelah paparan).
- **Contoh:** Kanker (karsinogenesis) dan efek genetik (mutasi pada keturunan).

Ringkasan Perbedaan

Fitur	Efek Deterministik	Efek Stokastik
Ambang Dosis	Ada (Threshold)	Tidak ada
Keparahan	Tergantung dosis	Tidak tergantung dosis
Peluang	Pasti terjadi jika >ambang	Probabilistik (untung-untungan)
Contoh	Luka bakar radiasi, katarak	Kanker, kelainan genetik

BAB III: RADIOGRAFI KONVENSIONAL

3.1 Definisi dan Prinsip Dasar

Radiografi konvensional (Sinar-X) adalah modalitas pencitraan medis tertua dan paling umum digunakan. Prinsip kerjanya didasarkan pada **atenuasi diferensial**, yaitu perbedaan penyerapan berkas sinar-X oleh berbagai jaringan tubuh berdasarkan nomor atom dan kerapatan massa jaringan tersebut. [1,4]

- **Mekanisme:** Berkas sinar-X dipancarkan dari tabung (*X-ray tube*), melewati tubuh pasien, dan ditangkap oleh reseptor gambar (Film, *Computed Radiography/CR*, atau *Digital Radiography/DR*).
- **Hasil Pencitraan:** Objek yang menyerap banyak radiasi akan tampak putih (**Radio-opak**), sedangkan objek yang meneruskan banyak radiasi akan tampak hitam (**Radio-lusen**).

3.2 Lima Densitas Dasar Radiologi

Dalam radiografi, terdapat spektrum warna dari hitam ke putih yang merepresentasikan jenis jaringan yang dilewati. Memahami lima densitas ini adalah kunci utama dalam interpretasi rontgen. [1, 13]

1. Udara / Gas (Hitam / Radio-lusen)

Memiliki kerapatan paling rendah sehingga hampir seluruh foton sinar-X melewatinya tanpa hambatan.

- **Lokasi Normal:** Paru-paru (berisi udara), lambung (*gastric bubble*), dan usus.
- **Lokasi Patologis:** Pneumotoraks (udara di rongga pleura) atau pneumoperitoneum.

2. Lemak / Fat (Abu-abu Tua)

Memiliki kerapatan sedikit lebih tinggi daripada udara.

- **Lokasi:** Jaringan subkutan, lapisan lemak antar otot (*fascial planes*), dan sekitar organ retroperitoneal (ginjal).

3. Jaringan Lunak / Cairan (Abu-abu / Intermediate)

Air, darah, otot, dan organ padat memiliki densitas yang identik pada rontgen konvensional sehingga sulit dibedakan tanpa bantuan kontras.

- **Lokasi:** Jantung, hepar, lien, otot psoas, dan kandung kemih (berisi urin).

4. Tulang / Kalsium (Putih / Radio-opak)

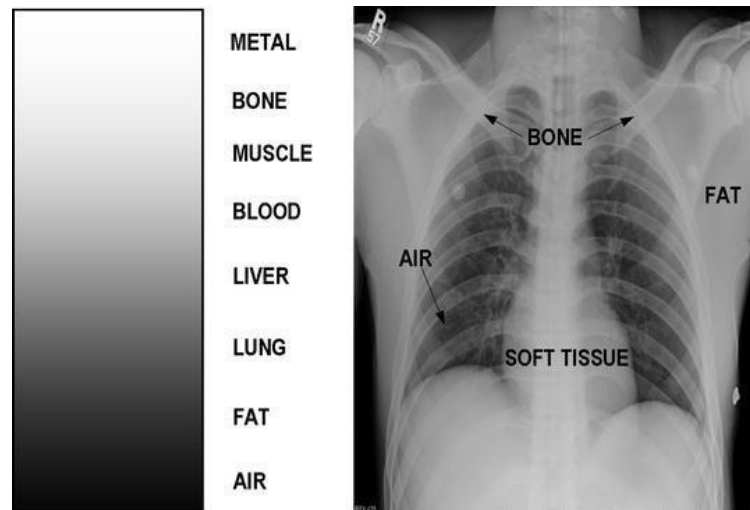
Memiliki nomor atom tinggi (Kalsium) yang menyerap sebagian besar radiasi.

- **Lokasi:** *Os Costa* (iga), *Vertebra* (tulang belakang), dan korteks tulang panjang.

5. Logam / Metal (Putih Sangat Terang / Radiopaque)

Menyerap seluruh radiasi yang mengenainya.

- **Lokasi:** Protosis (pen), klip bedah, peluru, atau zat kontras (Barium/Iodin).

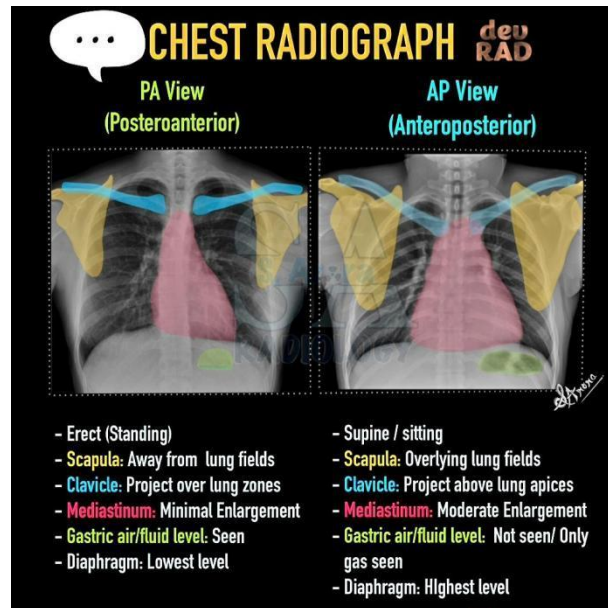


Gambar 3.1: Skala 5 Densitas Dasar x-ray (Sumber: Radiology Fundamentals [13])

3.3 Terminologi Posisi dan Proyeksi Dasar

Untuk mendapatkan gambaran 3D dari objek 2D, minimal diperlukan dua proyeksi yang saling tegak lurus (*Rule of Two*). [14]

- **AP (Antero-Posterior):** Sinar masuk dari depan tubuh, keluar dari belakang.
- **PA (Postero-Anterior):** Sinar masuk dari belakang, keluar dari depan (Standar untuk rontgen dada agar jantung tidak tampak membesar/magnifikasi).
- **Lateral:** Sinar masuk dari samping tubuh.
- **Oblique:** Tubuh dimiringkan (biasanya 45 derajat) untuk melihat celah sendi atau struktur yang tumpang tindih.



Gambar 3.2: Perbedaan Proyeksi AP vs PA (Sumber : Radiology Technique & Anatomy [14])

BAB IV: ULTRASONOGRAFI (USG)

4.1 Prinsip Dasar dan Mekanisme

Ultrasonografi (USG) adalah modalitas pencitraan medis yang bekerja berdasarkan pantulan gelombang suara frekuensi tinggi (2–20 MHz), jauh di atas ambang pendengaran manusia. [15]

- **Efek Piezoelektrik:** Transduser (probe) mengubah energi listrik menjadi gelombang suara. Gelombang ini merambat ke dalam jaringan dan dipantulkan kembali (*echo*) saat mengenai batas antar organ yang berbeda densitasnya.
- **Real-Time Imaging:** Keunggulan utama USG adalah kemampuannya menampilkan pergerakan organ secara langsung (seperti denyut jantung janin atau peristaltik)

4.2 Terminologi Echogenicity (Tingkat Kecerahan)

Dalam USG, warna gambar ditentukan oleh seberapa kuat jaringan memantulkan gelombang suara. [16]

1. Anechoic (An-ekoik) - Hitam Pekat

Jaringan yang tidak memantulkan gelombang suara sama sekali karena seluruh gelombang diteruskan (biasanya berupa cairan murni).

- **Contoh:** Urin dalam kandung kemih, empedu dalam kantung empedu, kista, dan asites (cairan bebas di perut).

2. Hypoechoic (Hipo-ekoik) - Abu-abu Tua

Jaringan yang memantulkan sedikit gelombang suara.

- **Contoh:** Sebagian besar organ padat seperti hepar (hati), lien (limpa), dan tumor jaringan lunak tertentu.

3. Hyperechoic (Hiper-ekoik) - Putih Terang

Jaringan yang sangat kuat memantulkan gelombang suara.

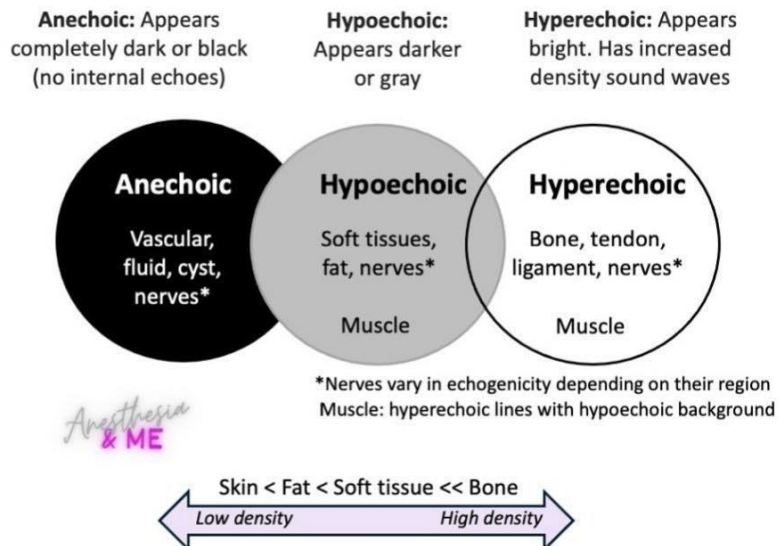
- **Contoh:** Batu ginjal/empedu, tulang, udara (gas usus), dan jaringan parut (fibrosis).

4. Isoechoic (Iso-ekoik)

Jaringan yang memiliki kecerahan/tekstur yang sama dengan jaringan di sekitarnya, sehingga batasnya sulit dibedakan.

Echogenicity

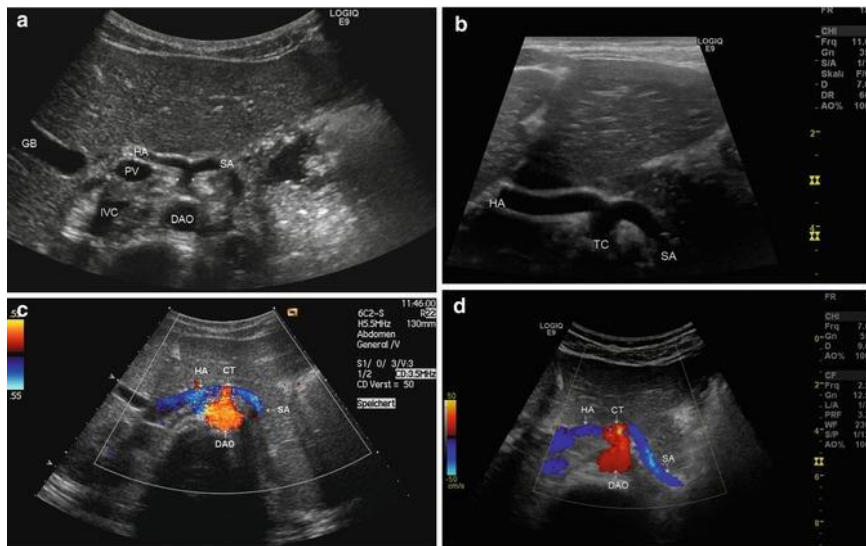
Echogenicity refers to the ability to bounce or echo a sound wave



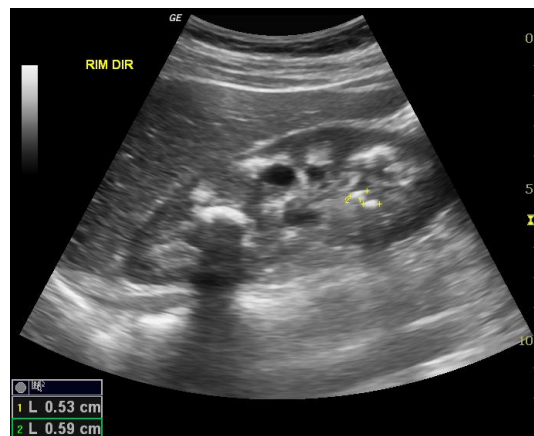
Gambar 4.1: Spektrum Echogenicity (Anechoic vs Hyperechoic) (Sumber : Diagnostic Ultrasound [15])

4.3 Keunggulan dan Aplikasi Khusus

- **Non-Ionizing:** Sangat aman untuk janin, ibu hamil, dan anak-anak karena tidak menggunakan radiasi pengion. [15,17]
- **USG Doppler:** Memanfaatkan *Doppler Shift* untuk menilai arah dan kecepatan aliran darah. Sangat krusial untuk mendeteksi sumbatan pembuluh darah (trombosis) atau lilitan tali pusat.



Gambar 4.2: USG Doppler pada Pembuluh Darah (a) Transverse section through the upper abdominal aorta in the region of the origin of the coeliac artery (asterisk). DAO descending aorta, GB gall bladder, HA hepatic artery, IVC inferior vena cava, PV portal vein, SA splenic artery. (b) 2d expanded image of the coeliac trunk: HA hepatic artery, SA splenic artery, TC coeliac trunk. (c, d) Colour-coded Doppler sonography of the flow in the descending aorta (DAO) and coeliac trunk (CT): HA hepatic artery, SA splenic artery
(Keterangan: Warna merah dan biru menunjukkan arah aliran darah dalam arteri dan vena secara real-time). (Sumber: *Ultrasound of the Abdominal Aorta* [17])



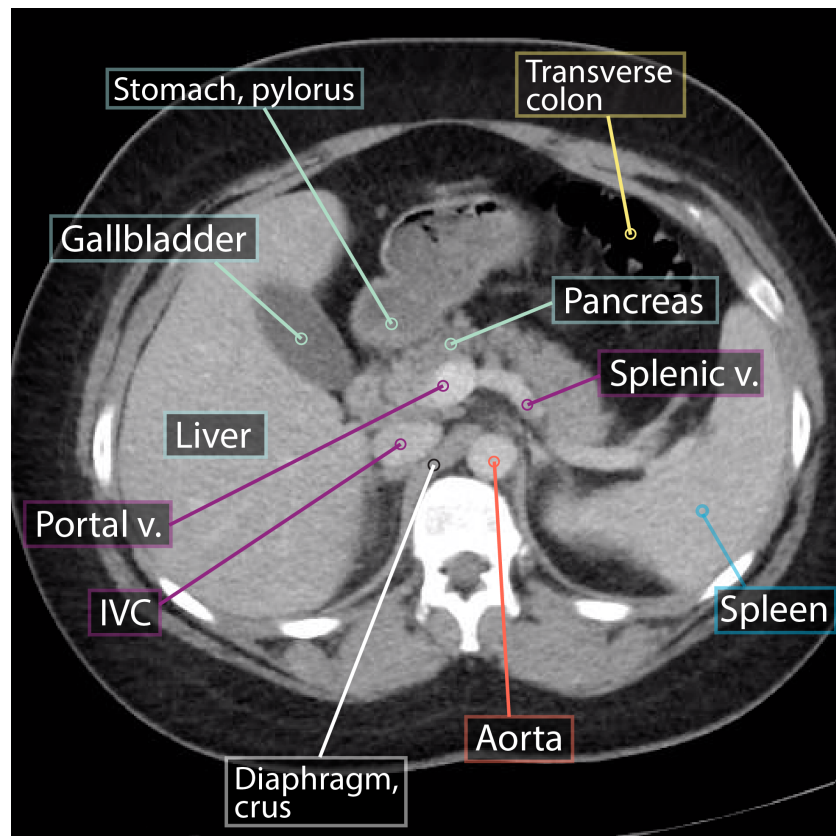
Gambar 4.3: Akustik Shadowing pada Batu Ginjal
(Keterangan: Batu yang sangat putih/Hyperechoic menghalangi suara sehingga muncul "bayangan hitam" di bawahnya). (Sumber: *Radiopaedia* [16])

BAB V: COMPUTED TOMOGRAPHY (CT-SCAN)

5.1 Prinsip Dasar dan Teknologi

Computed Tomography (CT-Scan) adalah evolusi dari radiografi konvensional yang menggunakan tabung sinar-X yang berputar cepat di dalam *gantry* mengelilingi tubuh pasien. [4]

- **Mekanisme:** Detektor menangkap ribuan data atenuasi dari berbagai sudut, yang kemudian diolah oleh komputer menggunakan algoritma rekonstruksi untuk menghasilkan gambar potongan melintang (**Cross-sectional**). [18]
- **Keunggulan:** Menghilangkan tumpang tindih (*superimposisi*) organ yang sering terjadi pada rontgen biasa, sehingga memberikan detail anatomi yang jauh lebih presisi. [2]



Gambar 5.1: Potongan Melintang (Axial) Abdomen Normal

(Keterangan: Menunjukkan detail organ tanpa tumpang tindih). (Sumber: DITKI Radiographic Anatomy) [13]

5.2 Skala Densitas: Hounsfield Unit (HU)

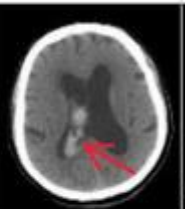
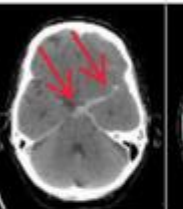
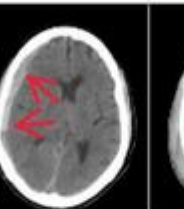
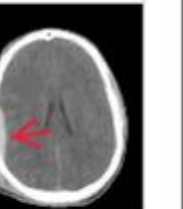
Dalam CT-Scan, tingkat keabuan diukur secara kuantitatif menggunakan satuan **Hounsfield Unit (HU)**. Skala ini ditetapkan dengan titik nol pada air murni.

- **Udara (-1000 HU):** Tampak hitam pekat.
- **Paru-paru (-500 s/d -200 HU):** Hitam dengan corak vaskular.
- **Lemak (-100 s/d -50 HU):** Abu-abu tua.
- **Air (0 HU):** Standar kalibrasi (abu-abu).
- **Jaringan Lunak (+30 s/d +60 HU):** Seperti otot, hepar, dan otak.
- **Darah Akut (+60 s/d +80 HU):** Tampak lebih putih (hiperdens) dibanding jaringan otak normal.
- **Tulang (+400 s/d +1000 HU):** Putih terang.

5.3 Indikasi Klinis Utama

CT-Scan merupakan modalitas pilihan utama (*Gold Standard*) untuk kondisi kegawatdaruratan [2,4]:

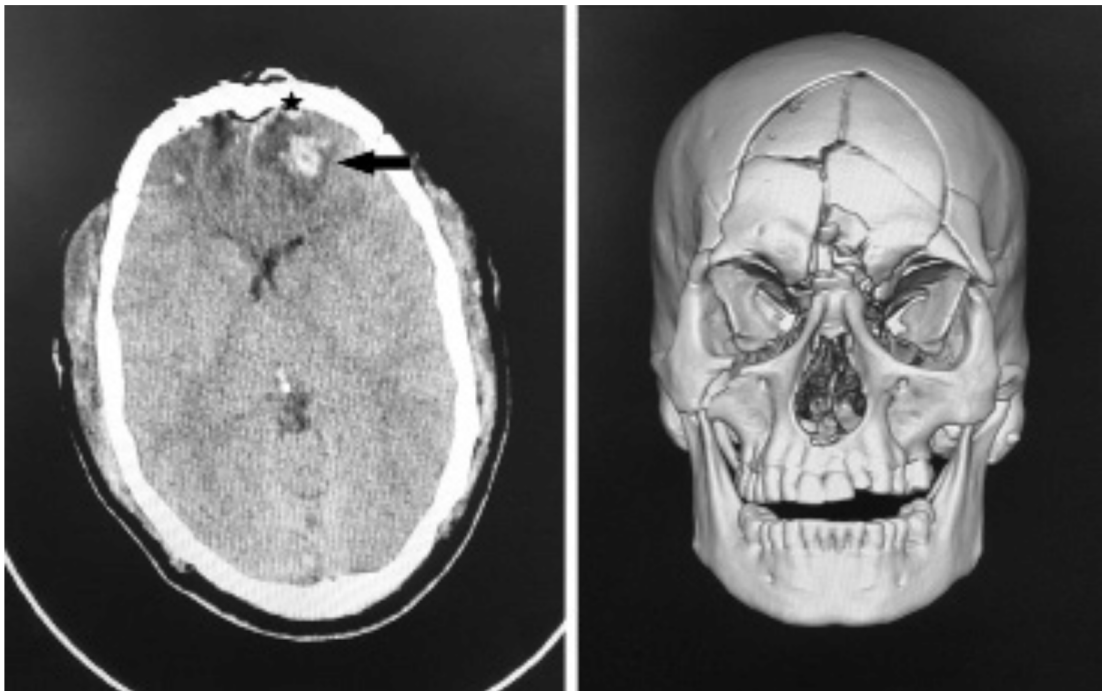
1. **Trauma Kapitis:** Mendeteksi perdarahan otak (Epidural/Subdural Hematoma) secara instan.

	Intraparenchymal	Intraventricular	Subarachnoid	Subdural	Epidural
Location	Inside of the brain	Inside of the ventricle	Between the arachnoid and the pia mater	Between the Dura and the arachnoid	Between the dura and the skull
Imaging					
Mechanism	High blood pressure, trauma, arteriovenous malformation, tumor, etc	Can be associated with both intraparenchymal and subarachnoid hemorrhages	Rupture of aneurysms or arteriovenous malformations or trauma	Trauma	Trauma or after surgery
Source	Arterial or venous	Arterial or venous	Predominantly arterial	Venous (bridging veins)	Arterial
Shape	Typically rounded	Conforms to ventricular shape	Tracks along the sulci and fissures	Crescent	Lentiform
Presentation	Acute (sudden onset of headache, nausea, vomiting)	Acute (sudden onset of headache, nausea, vomiting)	Acute (worst headache of life)	May be insidious (worsening headache)	Acute (skull fracture and altered mental status)

Gambar 5.2: Perdarahan Otak Akut (Hiperdens)

(Keterangan: Perhatikan area berwarna putih terang di dalam otak yang menunjukkan darah segar/akut). (Sumber: Rajagopal et al., Brain Sciences) [19]

2. **Stroke Hemoragik:** Membedakan stroke sumbatan dengan stroke berdarah dalam hitungan detik.
3. **Fraktur Kompleks:** Visualisasi 3D untuk tulang yang hancur (tulang wajah atau pelvis).
4. **CT-Angiografi:** Menilai penyumbatan pembuluh darah jantung atau emboli paru dengan bantuan kontras iodin.



Gambar 5.3: Rekonstruksi 3D Tulang pada Trauma

(Keterangan: Kemampuan CT dalam mengubah data potongan menjadi model 3D untuk perencanaan bedah). (Sumber: J Neuroanaesthesiol Crit Care) [20]

BAB VI: MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI)

6.1 Prinsip Fisika Dasar

Berbeda dengan CT-Scan, MRI tidak menggunakan radiasi pengion. Modalitas ini bekerja dengan memanfaatkan kelimpahan atom **Hidrogen** (H^+) atau proton dalam tubuh manusia [3,21].

- **Magnetisasi:** Tubuh pasien dimasukkan ke dalam medan magnet statis yang sangat kuat (0.5 hingga 3.0 Tesla). Proton-proton dalam tubuh yang tadinya acak akan berbaris searah dengan medan magnet [22].
- **Resonansi:** Pulsa gelombang radio (RF) ditembakkan untuk mengubah arah *spin* proton.
- **Relaksasi:** Saat RF dimatikan, proton kembali ke posisi semula sambil memancarkan sinyal radio yang ditangkap oleh antena (*coil*) dan diubah menjadi gambar oleh komputer melalui transformasi Fourier [21,22].

6.2 Sekuens Dasar: T1 vs T2 Weighted Imaging

Dalam MRI, kita mengenal dua kontras utama untuk membedakan jaringan normal dan patologis [23]:

1. T1-Weighted (T1W)

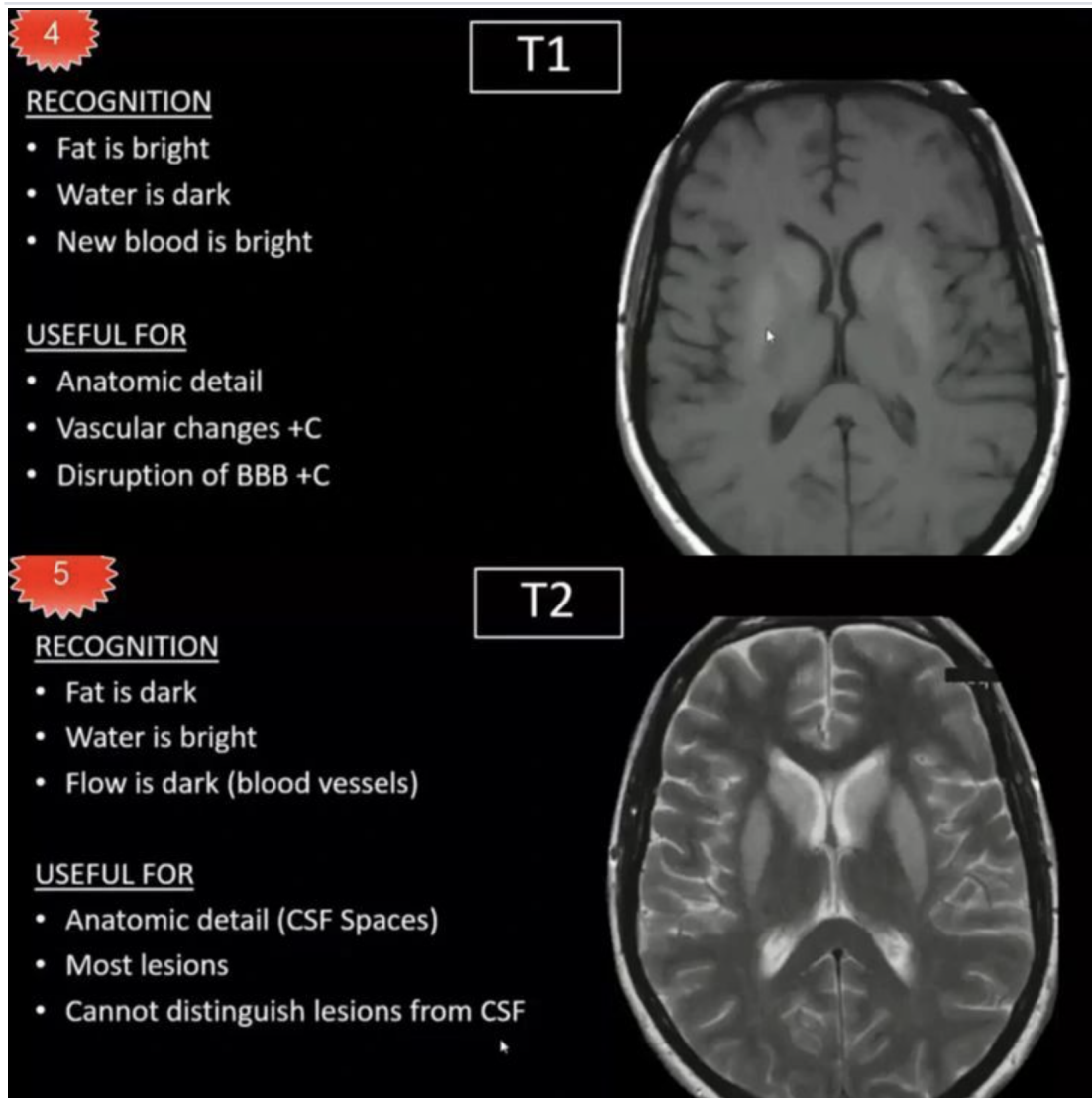
Sangat baik untuk melihat **detail anatomi**.

- **Cairan (CSF/Urin):** Tampak **Hitam** (Hipointens).
- **Lemak:** Tampak **Putih** (Hiperintens).
- **Jaringan:** Abu-abu.

2. T2-Weighted (T2W)

Sangat baik untuk mendeteksi **patologi/penyakit** (edema, tumor, peradangan).

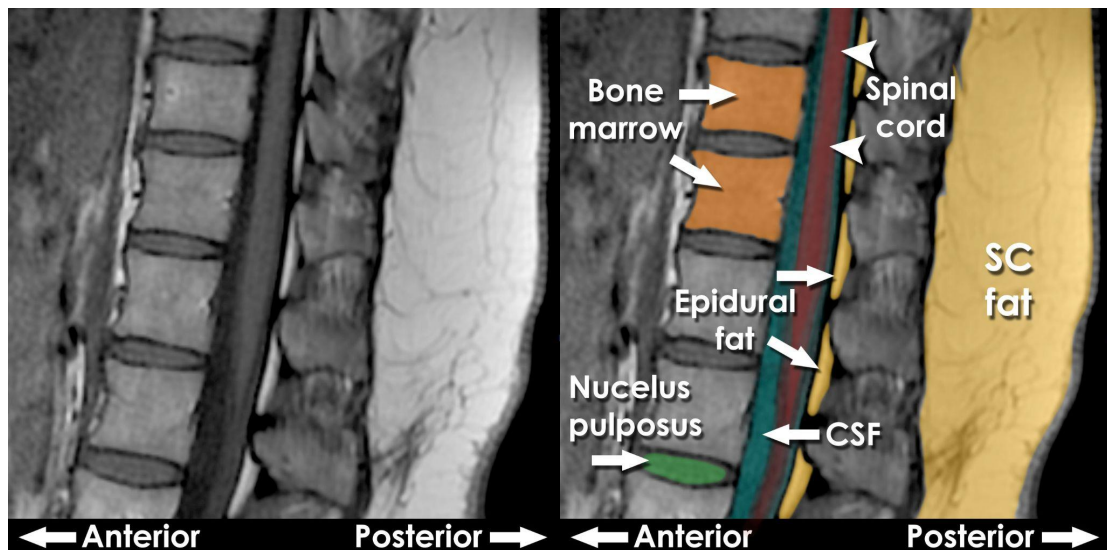
- **Cairan (CSF/Urin):** Tampak **Putih Terang** (Hiperintens).
- **Lemak:** Abu-abu.
- **Jaringan:** Abu-abu tua.
- **Adagium Klinis:** "*T2 is for H₂O*" (Air tampak terang di T2).



Gambar 6.1: Perbandingan Sinyal T1 vs T2 pada Otak (Axial) (Keterangan: Perhatikan cairan otak di tengah; Hitam pada T1 (kiri) dan Putih pada T2 (kanan) [21,24])

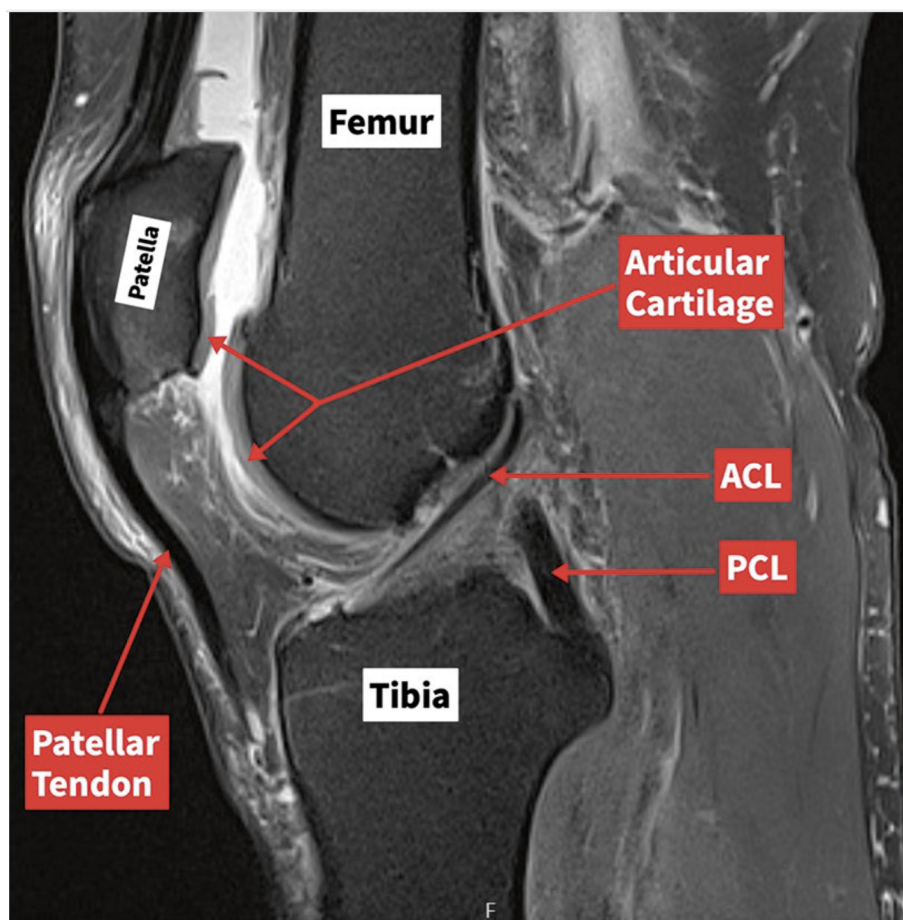
6.3 Keunggulan dan Kontraindikasi

- **Multiplanar:** Dapat mengambil gambar langsung dalam potongan Axial, Sagittal, dan Coronal tanpa mengubah posisi pasien [2].
- **Jaringan Lunak:** Detail luar biasa pada otak (bedah saraf), saraf tulang belakang (HNP), dan sendi (ACL/Ligamen) [23].



Gambar 6.2: MRI Sagittal Saraf Tulang Belakang (HNP)

(Keterangan: MRI menunjukkan detail diskus intervertebralis dan saraf dengan sangat jelas). [25]



Gambar 6.3: MRI Sendi Lutut (Ligamen ACL)

(Keterangan: Standar emas untuk melihat robekan ligamen dan meniskus). [26]

- **Kontraindikasi Mutlak:** Pasien dengan alat pacu jantung (*pacemaker*), implan koklea, atau serpihan logam di mata karena medan magnet dapat menarik benda tersebut [9,21].

Daftar Pustaka

1. Herring W. Learning Radiology: Recognizing the Basics. 4th ed. Philadelphia: Elsevier; 2020.
2. Gunderman RB. Essential Radiology: Clinical Presentation, Pathophysiology, Imaging. 3rd ed. New York: Thieme; 2023.
3. Grainger RG, Allison DJ. Grainger & Allison's Diagnostic Radiology. 7th ed. London: Churchill Livingstone; 2021.
4. Chen MY, Pope TL, Ott DJ. Basic Radiology. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education; 2011.
5. Kandarpa K, Machan L. Handbook of Interventional Radiologic Procedures. 6th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2023.
6. Dreyer KJ, Hirschorn DS. PACS: A Guide to the Digital Medical Enterprise. 2nd ed. New York: Springer; 2010.
7. Hosny A, et al. Artificial intelligence in radiology. Nat Rev Cancer. 2018;18(8):500-10.
8. American College of Radiology. ACR Appropriateness Criteria [Internet]. Reston (VA): ACR; 2022.
9. Bushong SC. Radiologic Science for Technologists. 12th ed. St. Louis: Elsevier; 2020.
10. Srivastava RK. Oral Radiology. 1st ed. New Delhi: Jaypee Brothers; 2019.
11. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Jakarta: BAPETEN; 2020.
12. Phillips G, Monaghan WP. Radiation Safety for Anesthesia Providers. Proc Am Assoc Nurse Anesth; 2011.
13. Novelline RA, Squire LF. Radiology Fundamentals. 6th ed. New York: Springer; 2018.
14. Bontrager KL, Lampignano JP. Textbook of Radiographic Positioning. 10th ed. St. Louis: Elsevier; 2020.
15. Rumack CM, Levine D. Diagnostic Ultrasound. 5th ed. Philadelphia: Elsevier; 2017.
16. Radiopaedia.org. Echogenicity [Internet]. 2023 [cited 2024 May]. Available from: radiopaedia.org.

17. Schmidt G. Ultrasound of the Abdominal Aorta. In: Differential Diagnosis in Ultrasound Imaging. 2nd ed. Stuttgart: Thieme; 2014.
18. Seeram E. Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Applications. 5th ed. St. Louis: Elsevier; 2022.
19. Rajagopal M, et al. An Efficient Framework to Detect Intracranial Hemorrhage. Brain Sci. 2023;13(3):400.
20. Bhagat H, Dash HH. Systemic Intravenous Thrombolysis for Massive Pulmonary Embolism. J Neuroanaesthesiol Crit Care. 2018;05(2):120-123.
21. Westbrook C, Talbot J. MRI in Practice. 5th ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2018.
22. McRobbie DW, Moore EA, Graves MJ, Prince MR. MRI from Picture to Proton. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2017.
23. Mettler FA. Essentials of Radiology. 4th ed. Philadelphia: Elsevier; 2018.
24. LinkedIn. MRI T1 and T2 Weighted Brain Comparison [Internet]. 2025 [cited 2026 Mar 8]. Available from: media.linkedin.com.
25. Radiology Masterclass. MRI T1 and T2 Images of the Spine [Internet]. 2024 [cited 2026 Mar 8]. Available from: radiologymasterclass.co.uk.
26. ResearchGate. Labeled sagittal MRI of a knee joint [Internet]. 2024 [cited 2026 Mar 8]. Available from: researchgate.net.