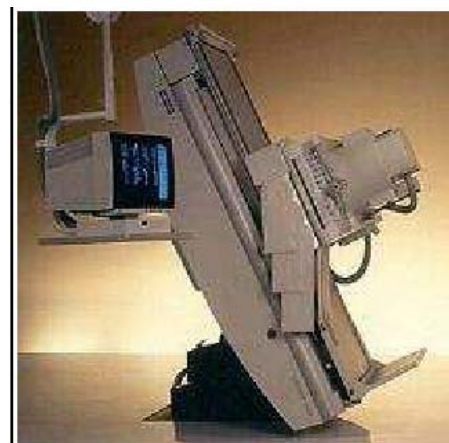


## 2. SEKILAS PENCITRAAN BIOMEDIKA

### 2.1 Sinar-X

Salah satu momen penting dalam pemakaian citra untuk membantu diagnosa medis adalah penemuan sinar-X pada tanggal 8 November 1895 oleh Wilhelm Conrad Rontgen. Sinar-X dihasilkan dari tumbukan elektron berenergi tinggi pada inti atom berat. Kemampuan dari sinar-X menembus benda disebabkan oleh dua hal. Yang pertama adalah karena panjang gelombang sinar ini sangat kecil dan yang kedua karena sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang berinteraksi lemah dengan benda pada umumnya.

Kurang lebih satu bulan setelah penemuan sinar-X ini, yaitu pada tanggal 22 Desember 1895. foto sinar-X pertama berhasil diambil. Foto ini, yang merupakan radiograf dari tangan istri Rontgen, diambil dengan waktu penyinaran sekitar 57 menit. Tentu saja waktu itu belum disadari adanya bahaya radiasi. Tahun berikutnya, pada 1896, berhasil diperoleh radiograf dari kepala. Sekitar 6 tahun setelah penemuannya, W.R. Rontgen mendapatkan hadiah Nobel dalam bidang Fisika.



Gb.2.1 Peralatan sinar-x modern

Sinar-X tidak hanya dipakai dalam dunia kedokteran. Kemampuan menembus benda dan panjang gelombang yang sesuai, membuat sinar ini dapat dimanfaatkan untuk penelitian di bidang Fisika zat padat untuk melihat susunan atom dalam kristal atau bahan lain. Dengan ditemukannya kamera CCD (*Charged Coupled Device*), peralatan sinar-X digital mulai dikembangkan. Saat ini sudah banyak rumah sakit yang memiliki sinar-X digital ini.

Seiring perkembangan teknologi komputer dan dengan adanya sinar-X dalam bentuk digital, berbagai teknik pengolahan juga mulai dikembangkan. Salah satu diantaranya adalah DSA (*Digital Subtraction Angiography*), suatu teknik pengolahan citra sinar-X yang relatif sederhana namun memiliki manfaat yang besar. Pada pasien yang ingin diketahui citra aliran darah pada daerah tubuh tertentu, dilakukan pengambilan radiograf sebanyak duakali pada tempat yang sama. Pengambilan pertama dilakukan secara biasa, sedangkan pada pengambilan yang kedua, pasien terlebih dahulu disuntik dengan zat tertentu yang bisa memberikan kontras pada sinar-X. Dengan mengurangi citra kedua terhadap citra pertama, gambar latar belakang—yaitu organ lain yang tidak dimasuki oleh zat kontras, akan hilang; sedangkan aliran darah yang membawa zat tersebut akan kelihatan.



**Gb.2.2 Citra DSA (*Digital Substraction Angiography*)**

Salah satu *milestone* dalam perkembangan radiografi digital adalah ditemukannya CT (*Computed Tomography*), dimana citra bagian dalam tubuh—irisan-demi irisan, bisa didapatkan tanpa secara fisik melakukan pembedahan.

## 2.2 *Computed Tomography* (CT)

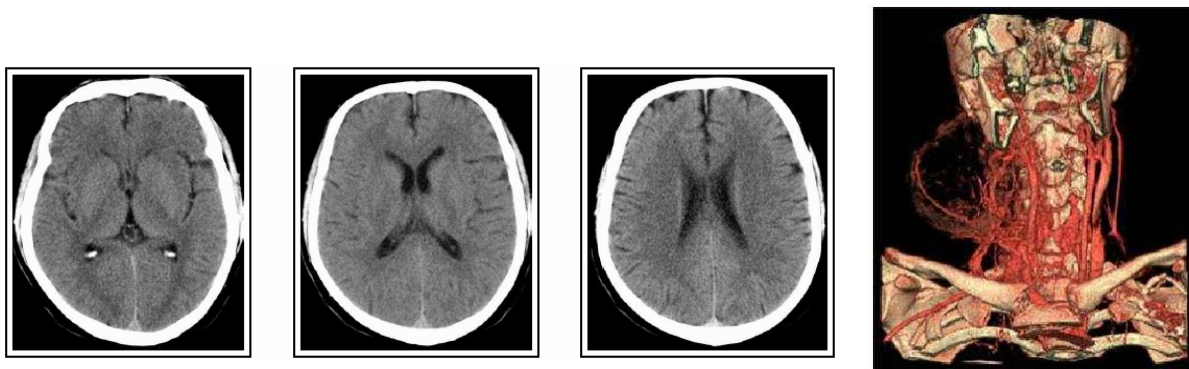
Sejarah tomografi berawal jauh sebelum ditemukannya teknik pengolahan citra digital, yaitu pada tahun 1917 ketika Radon mempublikasikan artikelnya yang kemudian dikenal sebagai transformasi Radon. Selama bertahun-tahun orang tidak tahu kegunaan dari transformasi ini, hingga pada era 1960-an ketika beberapa peneliti mengembangkan teknik tomografi transmisi sinar-X. Siapa yang sebenarnya pertamakali menemukan CT (*Computed Tomography* atau *Computerized Tomography*) masih merupakan kontroversi [Webb]. Namun pengakuan diberikan kepada Godfrey Hounsfield dan Allan Cormack yang pada tahun 1971 membangun CT. Delapan tahun kemudian, pada tanggal 10 Desember 1979, kedua ilmuwan ini mendapatkan hadiah Nobel dalam bidang Kedokteran dan Fisiologi (*Medicine and Physiology*) untuk penemuan tersebut.



**Gb. 2.3 Berbagai macam peralatan CT masa kini**

Pada sebuah perangkat CT terdapat suatu (larik) sumber sinar-X di satu sisi dan sederetan pengindera sinar-X disisi lain. Karena sinar-X dapat dianggap berjalan lurus menembus benda, dalam hal ini tubuh pasien, maka setiap pengindera akan menangkap tingkat redaman pada lintasan tertentu yang diambil pada sudut tertentu pula. Jika data redaman untuk sederetan berkas ini diperoleh untuk satu putaran penuh, baik dengan cara memutar secara mekanis maupun dengan penempatan sumber sinar dan pengindera yang melingkupi seluruh benda, maka dengan bantuan transformasi Radon, data yang diperoleh bisa diterjemahkan sebagai suatu citra irisan. Dengan mengambil irisan pada

berbagai tempat, yaitu dengan cara menggeser sedikit demi sedikit ke sumbu yang tegak lurus bidang sinar-pengindera, maka akan diperoleh sederetan citra irisan. Selanjutnya citra-citra irisan ini dapat dipakai untuk membuat gambaran dimensi tiga (3D) dari tubuh pasien tersebut. Bahkan untuk CT yang berkecepatan tinggi, citra dimensi empat (4D)—yaitu gambaran 3D dari bagian tubuh yang berubah terhadap waktu, dapat diperoleh. Hal ini sangat bermanfaat untuk melihat mekanisme kerja organ tubuh, misalnya jantung, untuk mengamati jika terjadi kelainan fungsi organ.



Gb 2.4 Citra CT irisan kepala dan hasil *volume rendering* irisan CT

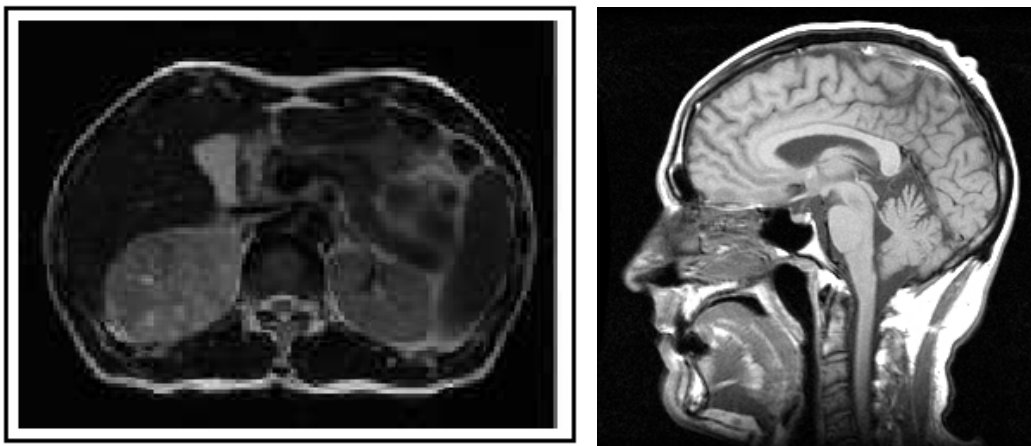
### 2.3. Pencitraan Resonansi Magnetik (MRI)

Dasar dari pencitraan resonansi magnetik (MRI-Magnetic Resonance Imaging) adalah fenomena resonansi magnetik inti benda. Resonansi magnetik adalah getaran inti atom (*nucleon*) karena adanya penyearahan momen magnetik inti dari bahan oleh medan magnetik luar dan rangsangan gelombang EM yang tepat dengan frekuensi gerak gasing inti tersebut. Jadi ada dua hal yang menyebabkan adanya peristiwa ini. Yang pertama yaitu medan magnetik luar  $\mathbf{B}_0$  yang menyearahkan momen magnetik inti dari benda yang tadinya acak. Selanjutnya inti atom membuat gerak gasing dengan frekuensi  $f_L$ , yang disebut sebagai frekuensi Larmor. Medan EM dari luar dengan frekuensi yang tepat sama dengan  $f_L$  akan diserap oleh inti sehingga terjadi peristiwa resonansi. Frekuensi Larmor berbanding lurus dengan medan magnetik luar  $\mathbf{B}_0$  dan koefisien nisbah giromagnetik yang bergantung dari jenis atom. Dengan mengatur  $\mathbf{B}_0$  yang bergantung koordinat spasial  $(x,y,z)$ , maka dapat diketahui posisi (sekumpulan) inti atom yang memancarkan frekuensi tertentu.



**Gb. 2.5 Foto peralatan MRI modern**

Peralatan MRI dibuat pertamakali pada tahun 1970-an oleh Paul Lauterbur dan Peter Mansfield. Karena manfaatnya yang besar dan pemakaiannya yang luas, terutama pada dunia kedokteran, keduanya mendapatkan hadiah Nobel dalam bidang Kedokteran dan Fisiologi pada tahun 2003. Beberapa rumah sakit di Indonesia telah memiliki peralatan MRI ini, diantaranya di RS Borromeus dan RS Hasan Sadikin, di Bandung.



**Gb. 2.6 Hasil pencitraan MRI**

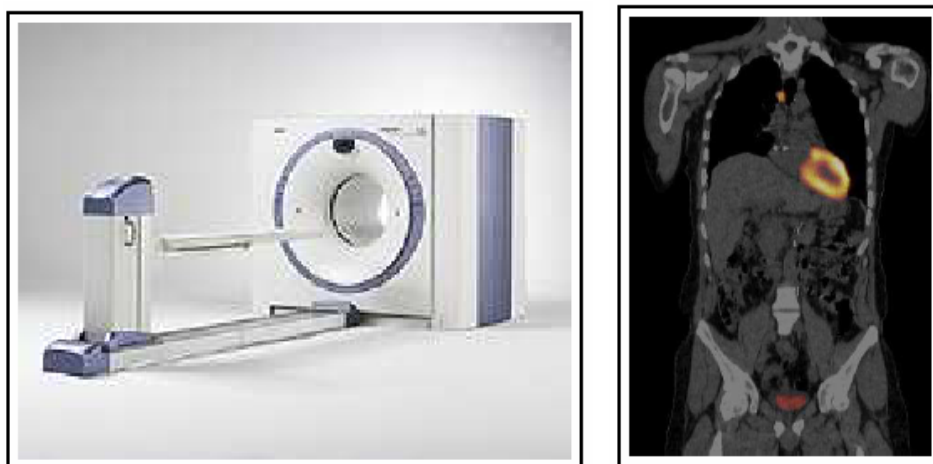
Seperti halnya CT, pencitraan MRI menggunakan prinsip tomografi transmisi. Oleh karena itu, gambar irisan dari tubuh pasien bisa diperoleh. Demikian pula, citra 3D dan 4D dapat direkonstruksi dari irisan-irisan MRI. Fungsional MRI (fMRI) adalah teknik MRI untuk melihat berfungsinya organ tubuh, dimana

diperlukan pencitraan berkecepatan tinggi. Yang menjadi trend saat ini (2005) adalah Ultra High Field (UHF) MRI. Dengan medan magnet yang semakin kuat, menggunakan super konduktor, maka resolusi citra bisa sangat tinggi.

#### 2.4. Pencitraan Dengan Radiasi Nuklir

Penemuan radiasi oleh inti atom membawa pengaruh pada dunia kedokteran, setidaknya dalam dua aspek. Yang pertama adalah penggunaan radiasi nuklir untuk pengobatan dan yang kedua untuk pencitraan. Pengobatan dengan radiasi nuklir biasanya dipakai untuk mematikan sel-sel kanker, baik radiasi dari luar tubuh maupun dengan cara menginjeksikan zat radioaktif kedalam tubuh. Demikian pula, sebenarnya pencitraan dengan radiasi nuklir bisa dilakukan dengan kedua cara tersebut—dari luar maupun dari dalam tubuh. Karena kebanyakan radiasi nuklir berjalan lurus, prinsip tomografi serapan (transmission tomography) seperti pada CT bisa diterapkan.

Beberapa perkembangan yang perlu dicatat adalah sebagai berikut. Pada tahun 1954, David Kuhl mengembangkan photo recording radionuclide Scanner. Sepuluh tahun kemudian, pada 1964, DE Kuhl & Roy Edwards membangun *Emission Tomography Scanner* (Mark II) dan pada 1976 di Univ. Pennsylvania dikembangkan FDG (fluorodeoxyglucose) Positron Emission Tomography (PET). Selanjutnya pada 1981 dibangun kamera sintilasi.



Gb. 2.7 (a) PET Scanner dan (b) Citra gabungan PET-CT

Dari sisi resolusi, PET jauh jika dibandingkan dengan CT maupun MRI. Namun demikian PET memiliki kelebihan yaitu melakukan pencitraan molekular. Dalam hal ini, zat tertentu yang diketahui sirkulasinya dalam tubuh dibuat bersifat radioaktif yang meluruhkan positron, dengan waktu paruh singkat. Positron yang dipancarkan segera akan beranihilasi dengan elektron dan memunculkan dua sinar gamma yang merambat pada arah berlawanan. Selanjutnya berkas sinar ini ditangkap oleh pengindera gamma untuk diolah. Biasanya citra keluaran PET digabungkan dengan citra MRI atau CT untuk mengetahui lokasi pemancaran positron dengan lebih teliti.



Gb. 2.8 Pencitraan dengan ultrasonik (USG), teknik terbaru adalah USG dimensi tiga (atau 4)

## 2.5 Pencitraan Ultrasonik (USG)

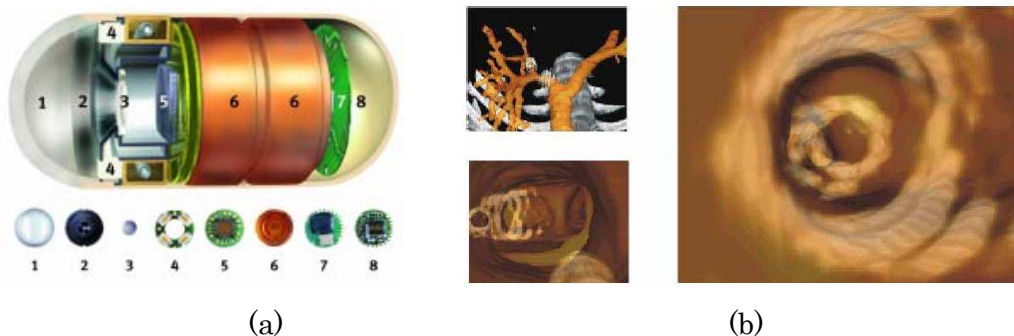
Barangkali USG adalah peralatan pencitraan kedua yang populer setelah pencitraan sinar-X. Pada tahun 1942, Theodore Dusik menemukan alat pencitra ultrasonik. Dalam peralatan ini, *fan-beam* ultrasonik dipancarkan dan gemanya

direkam oleh susunan (*array*) mikrofon. Dengan mengumpulkan data-data pantulannya (*echo*), maka citra 2D dapat dibangun.

Perkembangan terbaru adalah ditemukannya USG 3D (dan 4D, yaitu USG 3D yang berubah terhadap waktu), oleh Kazuniori Baba pada tahun 1984. Citra 3D diperoleh dari pandangan stereoskopik dan *rendering* dengan teknik *Computer Graphics*. Hasil yang diperoleh bisa memberikan gambaran yang lebih jelas dan *hidup* dibandingkan dengan citra 2D.

## 2.6 Teknik Pencitraan Biomedika Lainnya

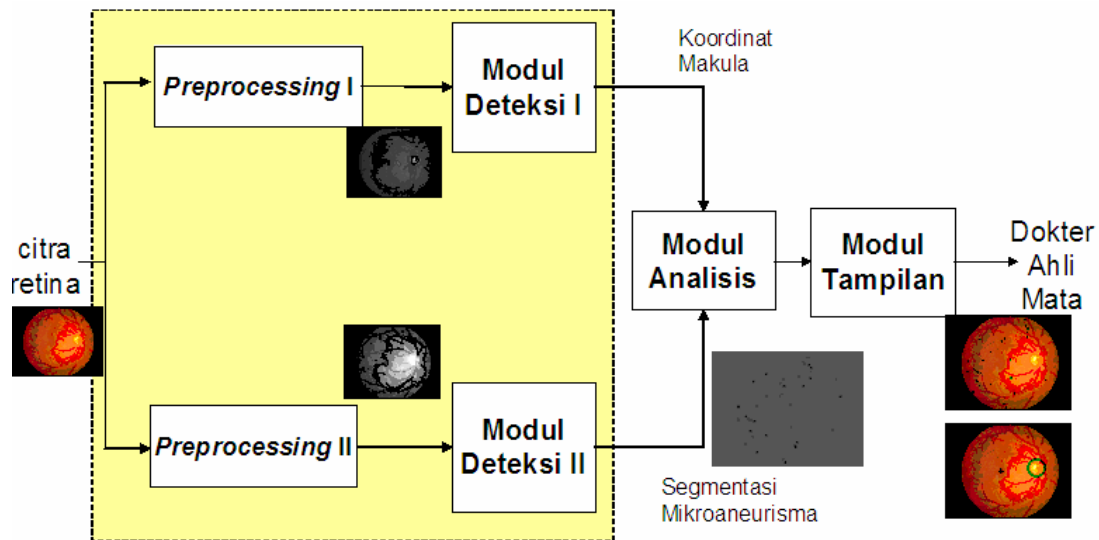
Disamping teknik pencitraan yang telah dijelaskan, ada beberapa macam teknik pencitraan lain yang bisa dikategorikan kedalam pencitraan biomedika, tetapi belum dikenal secara luas dalam dunia kedokteran, terutama di tanah air, yaitu: endoskopi, pencitraan retina, MEG (magneto encephalography), dan macam-macam mikroskop.



Gambar .2.9 Teknik pencitraan endoskopi (a) kapsul endoskopi dan (b) contoh citra

Endoskopi (Gambar.xxxx) adalah teknik pencitraan bagian dalam tubuh dengan cara memasukkan kamera kecil atau peralatan lain sehingga organ yang diinginkan dapat teramati. Perkembangan paling baru dari teknik ini adalah dikembangkannya peralatan berbentuk kapsul yang didalamnya dilengkapi dengan kamera dan sirkuit elektronik pendukung, misalnya pemancar radio. Kapsul ini ditelan oleh pasien, dan selama perjalanan didalam usus, alat ini memancarkan citra/video hasil pengamatan keluar. Dengan demikian, dokter dapat melihat bagian mana dari usus yang sakit, misalnya terkena infeksi/luka.

Pencitraan retina dilakukan oleh dokter mata untuk melihat kelainan mata pasien, melihat kontur kornea mata untuk pembedahan lasik, atau mendiagnosis penyakit yang gejalanya dapat diamati dari mata, misalnya diabetes (Gambar 2.10). Untuk pencitraan kornea atau iris, bisa dipakai kamera digital yang digabung dengan peralatan optik pencitra mata.

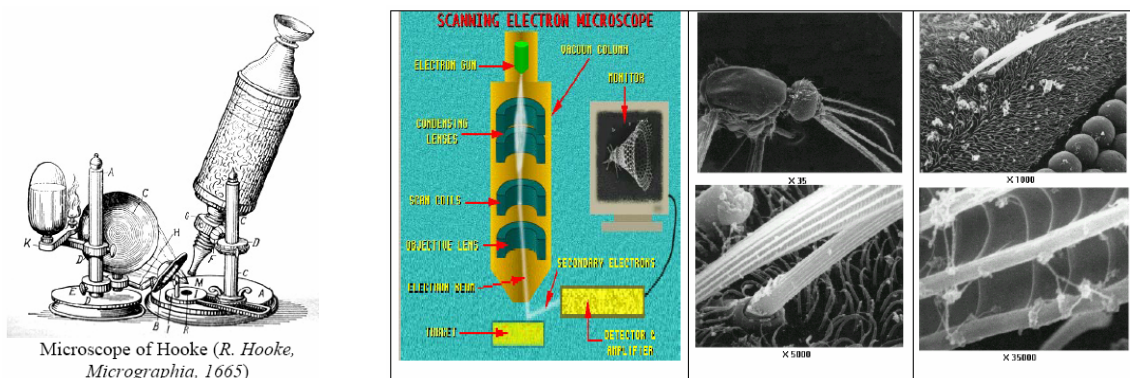


Gambar 2.10. Sistem diagnosis diabetes berdasarkan citra fundus

MEG adalah teknik mendeteksi medan magnet dari otak dan melihat sebarannya. Saat tak melakukan aktivitas, neuron-neuron akan melakukan *firing* yaitu menjadi aktif dan mengirimkan sinyal listrik. Tentu saja sinyal ini menimbulkan medan magnet, sesuai hukum Maxwell. Deteksi medan magnet ini sangat sulit karena kecilnya fluks yang dibangkitkan, sehingga dipakai peralatan pendeteksi magnet yang supersensitif, yaitu SQUID (Superconducting Quantum Interference Device).

Mikroskop barangkali adalah salah satu alat bantu "pencitra" kedokteran yang telah dikenal lama. Ditemukan oleh Joannes & Zacharios Jansen tahun pada 1595, mikroskop mengalami banyak kemajuan pesat. Untuk keperluan pencitraan, orang bisa memasang kamera digital untuk mengambil citranya. Perkembangan mikroskop yang cukup signifikan antara lain:

- Penemuan mikroskop *phase contrast* oleh Zernicke (Nobel Prize, 1953)
- Penemuan mikroskop elektron pada 1931 oleh Ernst Ruska (Nobel Prize, 1986)
- Mikroskop akustik
- STM: *Scanning Tunnel Microscope*, ditemukan oleh G. Binnig, dan H Rohrer pada tahun 1979 (juga Nobel Prize, 1986)
- AFM: *Atomic Force Microscope*



Gambar 2.11 (a) mikroskop lensa tunggal Jansen dan (b) mikroskop elektron