

BAB. II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Perkembangan Teknologi Ultrasound

Perkembangan penggunaan USG dalam berbagai bidang ilmu kedokteran saat ini, berawal dari ditemukannya cara mengukur jarak di dalam air menggunakan gelombang suara. Pada saat itu dikenal istilah *Sound Navigation and Ranging*. Lazzaro Spallanzani, seorang ahli biologi Italia, dapat dikatakan sebagai orang yang mengilhami penemuan tersebut. Sekitar tahun 1794 ia mendemonstrasikan kemampuan seekor kelelawar menentukan arah terbang dan mencari mangsa dalam gelap dengan menggunakan gelombang suara berfrekuensi tinggi (ultrasonik). Kelelawar tersebut memanfaatkan pantulan suara ultrasonik yang dikeluarkannya setelah menumbuk suatu objek. Sehingga ia tidak akan menabrak sebuah benda atau sebaliknya dapat menentukan lokasi mangsanya (ilustrasi gambar 2.1).



Gambar 2.1. Skema yang menggambarkan metode *ranging sonar* kelelawar untuk menemukan mangsa seperti ngengat. Kelelawar mengemisikan gelombang ultrasonik sepanjang 3 – 20 milidetik, dengan batas frekuensi yang bergantung kepada jenisnya. Beberapa kelelawar menggunakan gelombang audio, dan yang lain gelombang ultrasonik (25 – 90 kHz)

Awal tahun 1826, Jean Daniel Colladon, seorang ahli fisika dari Swiss berhasil menggunakan sebuah alat yang dinamakan *sound underwater* untuk mendeterminasi kecepatan suara dalam air di Danau Geneva. Penemuan ini memacu para ahli fisika lainnya untuk meneliti dasar ilmu fisika mengenai getaran, transmisi, dan refraksi gelombang suara. Salah satu ahli fisika yang turut andil dalam penelitian itu adalah Lord Rayleigh asal Inggris. Tahun 1877 ia mengemukakan *the Theory of Sound* yang intinya menerangkan bahwa

gelombang suara adalah sebuah persamaan matematika. Persamaan ini membentuk dasar teori sistem kerja akustik.

Sistem deteksi suara dalam air kemudian dikembangkan dan dimanfaatkan untuk kepentingan navigasi kapal selam selama perang dunia pertama berlangsung, khususnya setelah kejadian tenggelamnya kapal Titanic pada tahun 1912. Hal itu terjadi berkat penemuan alat *hydrophone* oleh seorang ahli fisika Perancis, Paul Langevin. Alat ini juga memanfaatkan pantulan gelombang ultrasonik.

Penemuan radar (*radio detection and ranging*) pada tahun 1953 oleh Robert Watson-Watt juga menerapkan sistem kerja gelombang ultrasonik. Seperti *sonar*, alat ini pun menjadi inspirasi digunakannya ultrasonik dalam bidang kedokteran kelak. Hanya pemanfaatannya saat itu lebih banyak digunakan untuk kepentingan pelacakan kapal musuh di udara.

Perkembangan pemakaian ultrasonik di bidang kedokteran berikutnya juga tak lepas dari peranan penemuan alat detektor logam (*Ultrasonic Metal Flaw Detector*) pada tahun 1928 oleh Sergei Y. Sokolov, seorang ilmuwan Rusia. Dengan prinsip yang sama, pada waktu itu alat ini digunakan untuk mengecek integritas lambung kapal laut dan lempeng baja pelindung tank.

2.2 Sejarah Perkembangan Sistem Pencitraan Ultrasonik dan Ultrasonografi (USG)

Sekitar tahun 1920-an, prinsip kerja gelombang ultrasonik mulai diterapkan dalam bidang kedokteran. Penggunaan ultrasonik dalam bidang kedokteran ini pertama kali diaplikasikan untuk kepentingan terapi bukan untuk mendiagnosis suatu penyakit. Hasil penelitian William Fry, dari Universitas Illinois dan Russel Meyers, dari Universitas Iowa membuktikan bahwa gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk menghancurkan sel-sel basal ganglia pada penderita penyakit Parkinsons. Kemampuan gelombang ultrasonik dalam menghancurkan sel-sel atau jaringan berbahaya ini kemudian secara luas diterapkan pula untuk penyembuhan penyakit-penyakit lainnya. Misalnya, terapi untuk penderita *arthritis*, *haemorrhoids*, asma, *thyrotoxicosis*, *ulcus pepticum* (tukak lambung),

elephantiasis (kaki gajah), dan bahkan terapi untuk penderita *angina pectoris* (nyeri dada).

Baru pada awal tahun 1940, gelombang ultrasonik dinilai memungkinkan untuk digunakan sebagai alat mendiagnosis suatu penyakit, bukan lagi hanya untuk terapi. Hal tersebut disimpulkan berkat hasil eksperimen Karl Theodore Dussik, seorang dokter ahli saraf dari Universitas Vienna, Austria. Bersama dengan saudaranya, Freiderich, seorang ahli fisika, berhasil menemukan lokasi sebuah tumor otak dan pembuluh darah pada otak besar dengan mengukur transmisi pantulan gelombang ultrasonik melalui tulang tengkorak. Dengan menggunakan *transduser* (kombinasi alat pengirim dan penerima data), hasil pemindaian masih berupa gambar dua dimensi yang terdiri dari barisan titik-titik berintensitas rendah.

George Ludwig, ahli fisika Amerika, menyempurnakan alat temuan Dussik. Pemindaian terhadap lokasi batu ginjal pada suatu jaringan tubuh dapat ia lakukan. Gelombang ultrasonik yang menumbuk pada jaringan tubuh akan dipantulkan dan hasilnya kemudian dapat dilihat pada layar osiloskop. Selanjutnya diketahui bahwa gelombang ultrasonik tersebut memerlukan panjang gelombang tertentu agar suatu objek jaringan tubuh yang densitasnya beraneka ragam dapat teridentifikasi.

Tahun 1949, John Julian Wild, ahli bedah Inggris yang bekerja di Medico Technological Research Institute of Minnesota, berkolaborasi dengan John Reid, seorang teknisi dari National Cancer Institute. Mereka melakukan investigasi terhadap sel-sel kanker dengan alat ultrasonik. Beberapa jenis alat yang dibuat untuk kepentingan investigasi tersebut antara lain *B-mode ultrasound*, *transduser/alat pemindai jenis A-mode transvaginal*, dan *transrectal*. Prinsip alat-alat tersebut mengacu pada sistem radar. Oleh sebab itu mereka kemudian menyebutnya sebagai *Tissue Radar Machine* (mesin radar untuk deteksi jaringan).

Akhirnya, penggunaan ultrasonik mulai merambah bidang obstetri ginekologi. Penelitian yang dilakukan Ian Donald pada tahun 1955 terhadap kista ovarium dengan menggunakan alat *Metal Flaw Detector* mulai membuka peluang dilakukannya berbagai penelitian lanjutan. Penelitian lanjutan ini tentu saja akan

semakin menyempurnakan teknik pemakaian ultrasonik sampai menjadi seperti sekarang.

Beberapa hasil penelitian lanjutan yang cukup penting dalam bidang obstetri ginekologi antara lain ditemukannya metode penentuan ukuran janin (*fetal biometry*), teknologi *transduser*/alat pemindai digital, *transduser* dua dimensi dan tiga dimensi modern penghasil tampilan gambar jaringan yang lebih fokus, dan penentuan jenis kelamin janin dalam kandungan (*Fetal Anatomic Sex Assignment/FASA*).

Penemuan metode penentuan ukuran janin dalam kandungan (*fetal biometry*) dimulai sekitar tahun 1980-an. Berdasarkan tampilan gambar pada layar USG, beberapa parameter yang biasa dijadikan standar penentuan ukuran dan berat janin antara lain diameter kepala janin (*biparietal diameter/BPD*), keliling lingkaran kepala janin (*head circumference/HC*), panjang tulang paha (*femur length/FL*), dan lingkaran perut (*abdominal circumference/AC*). Metode *fetal biometry* ini dapat membantu para dokter ahli obstetri ginekologi menentukan apakah pertumbuhan janin berjalan normal atau tidak.

Teknologi *transduser* digital sekitar tahun 1990-an memungkinkan sinyal gelombang ultrasonik yang diterima menghasilkan tampilan gambar suatu jaringan tubuh dengan lebih jelas. Penemuan komputer pada pertengahan 1990 jelas sangat membantu teknologi ini. Gelombang ultrasonik akan melalui proses sebagai berikut, pertama, gelombang akan diterima *transduser*. Kemudian gelombang tersebut diproses sedemikian rupa dalam komputer sehingga bentuk tampilan gambar akan terlihat pada layar monitor. *Transduser* yang digunakan terdiri dari *transduser* penghasil gambar dua dimensi atau tiga dimensi.

Berkat penemuan-penemuan spektakuler tersebut, alat ultrasonik atau USG saat ini sepertinya menjadi alat wajib seorang dokter ahli obstetri ginekologi. Apalagi setelah diketahui bahwa USG tidak menimbulkan efek samping baik terhadap kesehatan janin maupun kesehatan si ibu. Perjalanan panjang perkembangan penggunaan ultrasonik yang mengilhami penemuan-penemuan tersebut tak boleh dilupakan begitu saja. USG yang digunakan saat ini adalah hasil kerja keras para ilmuwan di dunia dari berbagai bidang keilmuan.

2.3 Perkembangan Metode Elemen Hingga

FEM berawal pada kebutuhan untuk menyelesaikan permasalahan kompleks dibidang Teknik Sipil dan Teknik Aeronautika terutama pada permasalahan elastisitas dan analisa struktur. Perkembangan FEM diawali atas jerih payah Alexander Hrennikoff (1941) dan Richard Courant (1942). Pendekatan yang dilakukan oleh para pionier ini benar-benar berbeda, namun mereka mempopulerkan satu nilai yang esensial, yaitu: Diskretisasi Jaringan / Pembagian Jaringan pada sebuah bidang pengaruh (*domain*) yang menerus menjadi kumpulan *sub-domain* yang berbeda. Hrennikoff membagi-bagi *domain* dengan menggunakan analogi kisi-kisi, sedangkan pendekatan yang dilakukan Courant adalah mengubah *domain* menjadi *sub-region* dengan bentuk segitiga-segitiga terbatas (eng: *finite triangular subregions*) sebagai solusi untuk permasalahan lanjutan yaitu Persamaan Differensial Parsial Elips (eng: *Elliptic Partial Differential Equations / PDEs*) yang muncul pada permasalahan dibidang torsi pada sebuah silinder. Kontribusi Courant berevolusi, penggambaran hasil awal PDEs dibuat oleh Rayleigh, Ritz dan Galerkin. Perkembangan FEM secara sungguh-sungguh diawali pada pertengahan sampai dengan akhir dekade 1950an untuk bidang airframe dan analisa struktur dan meraih banyak energi tambahan untuk berkembang pada University of California, Berkeley pada dekade 1960an dibidang teknik sipil. Di tahun 1973, Strang dan Fix melalui tulisannya „*An Analysis of The Finite Element Methode*“ mengatakan bahwa FEM menawarkan solusi matematis yang setepat-tepatnya. Dan pada kelanjutannya FEM digunakan pula pada bidang aplikasi matematika untuk bidang modeling numerik pada sistem fisik (*physical system*) untuk berbagai bidang *engineering*, seperti pada elektro magnetik dan mekanika fluida.

Metode elemen hingga yang digunakan untuk mengetahui interaksi gelombang ultrasonik dengan jaringan tubuh melalui simulasi ultrasonik mulai diterapkan pada tahun 2002. Penelitian ini termotivasi oleh kemungkinan penerapan gelombang ultrasonik terfokus untuk berbagai jenis penyakit.

Metode elemen hingga yang menggunakan perambatan gelombang akustik mulai dikembangkan pada tahun 2005. Metode elemen hingga digunakan untuk mencari solusi permasalahan penerapan gelombang akustik frekuensi tinggi 20

MHz – 60 MHz yang merambat melalui struktur tubuh. Metode elemen hingga telah dirancang menjadi suatu software yaitu Paket software FEMLAB (COMSOLAB, Stockholm) yang digunakan untuk mencari solusi model komputasi dan untuk mengetahui solusi analisis digunakan software MATLAB® (Mathworks, Inc., Natick, MA). Kesalahan atau error yang terjadi ketika menggunakan metode elemen hingga yaitu ~5%, dan ketika menggunakan solusi analitis rata-rata eror ~12% (Teori Faran atau Anderson) .

Tahun 2006, metode elemen hingga digunakan untuk menjelaskan penyebaran dan atenuasi gelombang suara dalam tubuh. Hasilnya menunjukkan bahwa frekuensi gelombang suara mempengaruhi penyebaran dan karakteristik gelombang suara. Pada tahun yang sama, COMSOL Multiphysics juga digunakan untuk memprediksi hamburan balik ultrasonik dari sel.

