

Prakata

Pengantar

Alhamdulillah, puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia dan hidayahNya, sehingga penulis telah diberikan anugerah yang tak terkira untuk bisa menyelesaikan buku teks ini dengan nama: “Metode Analisis Gelombang Permukaan untuk Investigasi Sub-Permukaan”. Buku ini merupakan bagian dari publikasi yang dilakukan oleh penulis untuk memperkenalkan lebih luas mengenai metode gelombang seismik permukaan sebagai pengujian tanpa merusak (non-destructive testing, NDT) di bidang keteknikan. Teknologi NDT berbasis gelombang seismik permukaan telah mulai dikembangkan sebagai salah satu teknik penyelidikan tanah yang handal sejak tahun 1980, namun teknologi ini masih sangat jarang diimplementasikan di Indonesia. Berdasarkan pengalaman keilmuan dan catatan dari berbagai penelitian yang dilakukan oleh penulis sejak tahun 2001 dalam bidang metode analisis gelombang permukaan, buku ini telah ditulis dan dihasilkan.

Motivasi: Al Qur'an dan Sains Kebumihan

*” Dan diantara tanda -tanda kekuasaanNya ialah bahwa Dia mengirimkan **angin** sebagai pembawa berita gembira dan untuk merasakan kepadamu sebagian dari rahmatNya dan supaya kapal dapat berlayar dengan perintahNya dan supaya kamu dapat mencari karuniaNya, mudah-mudahan kamu bersyukur.” (Ar Ruum : 46)*

Mencoba menafsirkan ayat ini dan mempelajarinya berdasarkan landasan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang geo-kebencanaan dan teknik seismik untuk penyelidikan tanah, kata “angin” dalam ayat Ar Ruum (46) yang ditafsirkan dan dimaknai oleh penulis sebagai “gelombang”. Kita dapat merasakan kedekatan makna “angin” dalam ayat ini sebagai “gelombang”. Gelombang merupakan fenomena fisika alam yang diciptakan oleh Allah SWT sebagai bagian dari ayat-ayatNya yang membuktikan tanda-tanda kekuasaanNya.

Terdapat elemen gelombang bunyi yang dapat membawa elemen suara melalui transmisi bunyinya, bahkan setelah ditemukan gelombang radio maupun elektromagnetik yang selanjutnya digunakan untuk transmisi audio visual. Demikian juga, dengan gelombang seismik, yang dihasilkan oleh

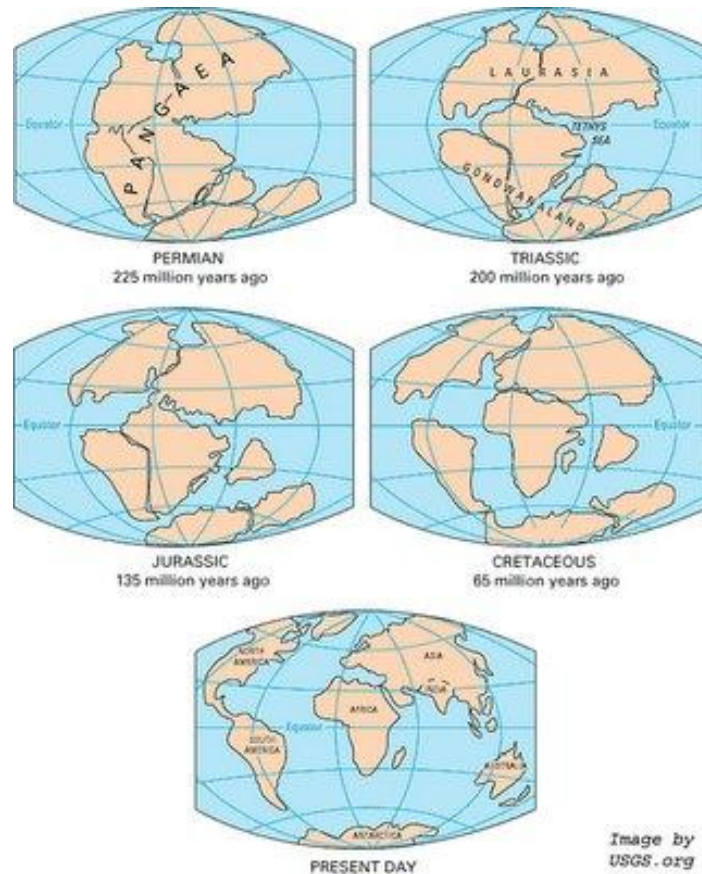
mekanisme pergerakan bumi merupakan proses transmisi energi mekanik melalui media bumi yang selanjutnya menimbulkan “getaran/tremor” dan “gempa” di permukaan bumi.

Fenomena gempa yang terjadi di Indonesia, merupakan bagian dari proses natural di bumi dan jagat raya ini. Alam semesta senantiasa berproses tanpa henti dan menyajikan banyak sekali gejala dalam seluruh dimensi ruang dan waktu yang terus berkembang. Proses alam semesta telah membentuk susunan lapisan yang berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya. Perbedaan ini ditunjukkan dengan sifat dan karakteristik material tanah dan formasi geologi yang membentuk lapisan tersebut. Teknologi investigasi sub-permukaan ditemukan oleh manusia untuk membuktikan keberagaman lapisan tersebut dan digunakan untuk mengenali sifat dan perilaku bahan pada masing-masing lapisan sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia misalnya dengan membuat konstruksi bangunan di atasnya.

Adanya keberagaman sifat bahan tanah dan struktur geologi diantaranya disebabkan oleh proses pembentukan benua salah satu teori dasar pembentukan benua di bumi ini, dikenal dengan *Teori Pangaea*. *Pangaea* diartikan sebagai benua raksasa pada zaman *Paleozoikum* dan *Mesozoikum* yang diperkirakan berusia 250 juta tahun yang lalu. Benua raksasa ini selanjutnya terpecah-pecah dan tersusun dalam beberapa benua yang menyebar ke seluruh permukaan bumi atau dalam teori saat ini disebut sebagai sebaran lempeng benua (Gambar 1). *Teori Pangaea* untuk pertama kalinya digagas oleh Alfred Wegener pada tahun 1920 dalam *'The Origin of Continents and Sea'*.

Ada tiga fase utama dalam proses terpecahnya Pangaea, yaitu: fase pertama pada periode Permian hingga masa Jurassic (200 – 135 juta tahun lalu), fase kedua dalam pecahnya Pangaea dimulai dari zaman Cretaceous Awal (150 – 140 juta tahun lalu) dan fase ketiga dari pecahnya Pangaea yang terjadi pada awal Kenozoikum (Paleosen untuk Oligosen). USGS memberikan ilustrasi proses terpecahnya Pangaea dalam beberapa periodisasi waktu atau jaman yang berbeda.

Bumi saat ini terbagi dalam delapan (8) lempeng besar yaitu Lempeng Afrika, Lempeng Antarktika, Lempeng Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Amerika Utara, Lempeng Amerika Selatan, dan Lempeng Pasifik. Pergerakan lempeng benua menunjukkan bahwa lempeng-lempeng bumi hingga saat ini terus bergerak. Seperti kedudukan geografik Indonesia yang terletak pada jalur Lingkaran Api Pasifik. Panjang jalur tersebut sekitar 5,600 km, yang membentang dari kepulauan Andaman di sebelah barat dan utara, hingga Busur Banda Timur di sebelah timur dan selatan. Jalur ini seterusnya membujur hingga ke Maluku dan Sulawesi Utara.

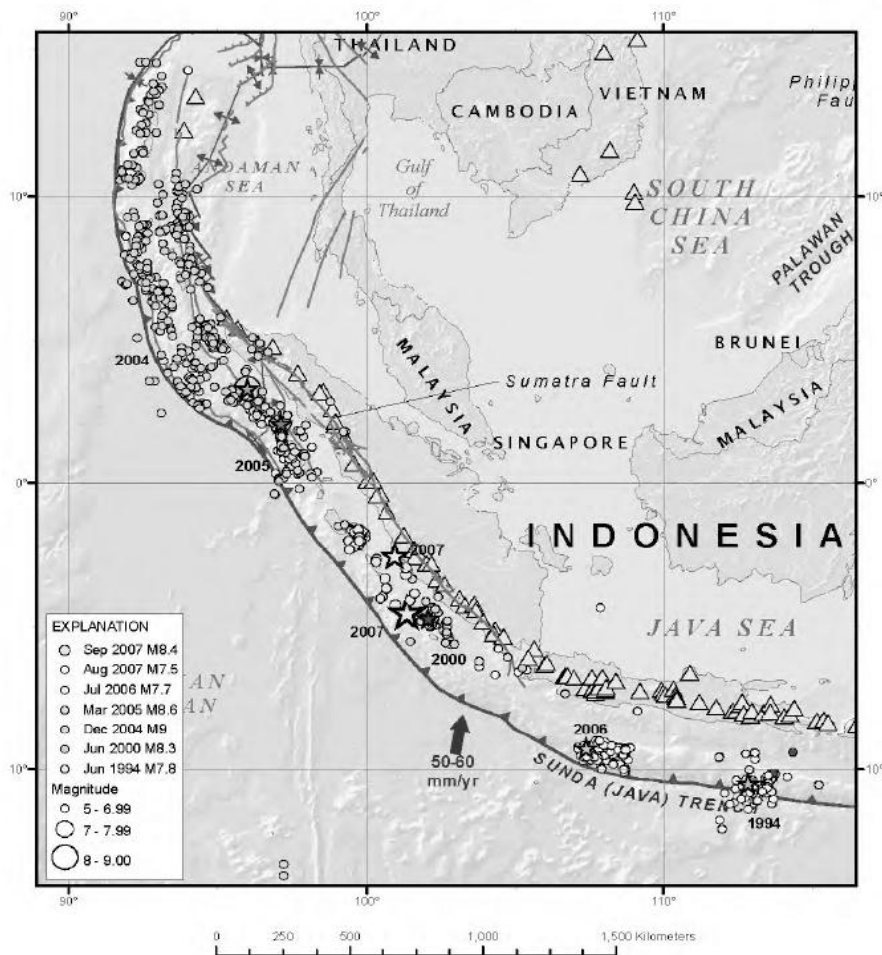


Gambar 1: Proses terpecahnya Pangaea dalam beberapa periodisasi jaman yang berbeda hingga kondisi lempeng benua saat ini

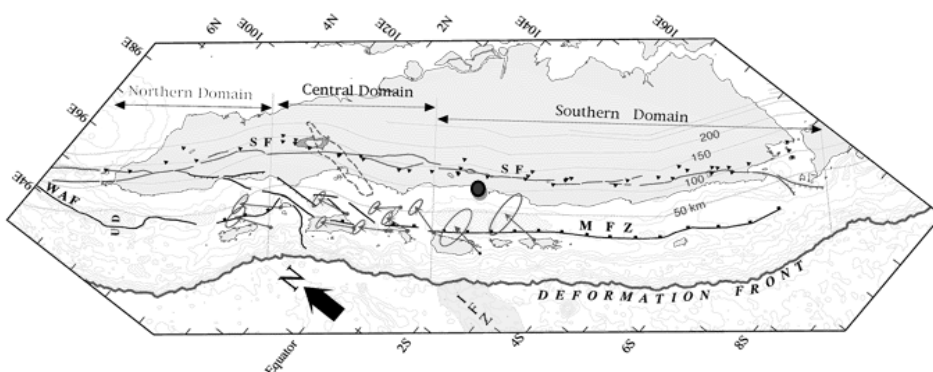
Sumber: *The U.S. Geological Survey, USGS*

Gempa bumi yang terjadi di Indonesia disebabkan oleh letaknya geografisnya yang berada di atas zona pertemuan lempeng benua. Salah satunya adalah akibat proses subduksi yang berkelanjutan di bawah kepulauan Indonesia (Gambar 2). Aktivitas seismik yang tinggi di sebagian besar kepulauan di Indonesia, dapat dikenali oleh frekuensi kegempaan dan terbentuknya barisan gunung berapi merupakan rangkaian mekanisme geseran pelat (lempeng) tektonik India-Australia yang berada di bawah pelat tektonik Sunda-Burma (Petersen et al., 2007).

Pertemuan antara pelat Indo-Australia dan Sunda (Eurasia) salah satunya membentuk zona subduksi Sunda yang ditandai oleh palung Sunda seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 (Sieh & Natawidjaja, 2000). Di sepanjang zona subduksi Sunda ini, gempa dihasilkan dari mekanisma sesar naik (*thrust fault*) pada pertemuan kedua lempeng. Gempa dalam dapat terjadi akibat hasil pergerakan pelat Indo-Australia yang memanjang ke bawah hingga kedalaman ratusan kilometer. Gempa dangkal dalam kawasan subduksi ini biasanya dihasilkan melalui aktivitas seismik akibat mekanisme sesar normal intra-pelat dan sesar-naik dalam pelat India and Australia yang mendorong pelat Sunda dan Burma pada kedalaman yang dangkal kurang dari 30 km.



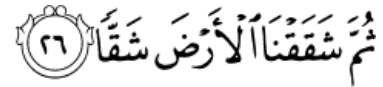
Gambar 2: Peta gempa 1994-2007 yang menunjukkan sebaran gunung berapi (*volcano*, dalam tanda segitiga), gempa (tanda bintang dan lingkaran), jalur-jalur sesar utama (*major crustal faults*) dan batas lempeng (Petersen et al., 2007)



Gambar 3: Peta zona subduksi, sistem sesar Mentawai dan Sumatera (Sih & Natawidjaja, 2000)

Kondisi seismisitas, kegempaan, bentuk lempeng dan benua merupakan keadaan bumi saat ini yang merupakan hasil dari pergerakan lempeng-lempeng benua tersebut. Pergerakan kedelapan lempeng besar tersebut akan terus berjalan. Teori Pangea dan kegempaan tersebut telah dipaparkan dengan jelas dalam Al Qur'an. Susunan lempeng yang terpisah-pisah di permukaan

bumi merupakan tanda-tanda kebesaranNya untuk keselarasan dan keserasian alam, dan kehidupan manusia, flora serta fauna. Sebagaimana Allah berfirman dalam QS Abasa, 8: 26, yaitu:



"kemudian Kami belah bumi dengan sebaik-baiknya"

merupakan suatu bukti adanya sebaran pelat di bumi dan pemaparan kegempaan dan stratifikasi bumi yang terjadi, akibat terpecahnya lempeng besar menjadi lempeng-lempeng yang lebih kecil. Suatu kebenaran yang saat ini dapat dibuktikan melalui sains kebumihan. Dalam ayat lain yang membuktikan adanya pergerakan lempeng bumi, Allah berfirman :



"Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan." (QS. An-Naml, 27 : 88)

Keterkaitannya dengan khasanah ilmu pengetahuan, melalui investigasi sub-permukaan dengan teknologi penyelidikan tanah yang memanfaatkan gelombang seismik ini, dapat digunakan untuk mengobservasi, mengidentifikasi, mengevaluasi dan menghasilkan parameter-parameter dinamik tanah (misalnya modulus elastisitas dan rasio redaman) yang dapat mencirikan kekuatan dan sifat tanah. Karakteristik tanah tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perencanaan bangunan yang dapat merespon dengan baik kondisi lingkungan dan sifat alamiah tanah yang heterogen akibat peristiwa pergerakan lempeng bumi, seismisitas, proses geologi dan pelapukan serta pembentukan alamiah tanah dan batuan.

Adanya heterogenitas sifat dan karakter tanah antara satu tempat dan tempat lainnya, menunjukkan suatu bukti hasil dari proses pergerakan tanah, kejadian pelapukan alamiah dan pembentukan struktur geologi yang disebabkan oleh kejadian gerakan lempeng dan pelat. Sebagai seorang disainer dan insinyur, berdasarkan pengetahuan mengenai sifat dan karakteristik mekanik tanah yang berbeda tersebut, manusia dapat hidup berdampingan dengan kondisi alam dan kebencanaan terutamanya dengan gempa bumi dan kejadian seismik lainnya.

Organisasi Buku

Buku ini dibagi dalam tujuh bab atau bagian yang masing-masing memberikan penjelasan secara umum dan khusus mengenai metode gelombang permukaan. Secara umum, keterkaitan antara geobencana dan kepentingan dalam investigasi sub-permukaan didiskusikan (Bab I). Beberapa keunggulan dan kelemahan, teknologi investigasi dibandingkan dan juga dibahas dalam bab ini. Pengetahuan mengenai dinamika tanah, khususnya parameter modulus dan rasio redaman ditulis dalam bab kedua. Berbagai hasil penelitian yang merekomendasikan model empirik mengenai kedua parameter dinamik bahan turut dipaparkan (Bab II).

Bagian lain (Bab III) mempresentasikan teori perambatan gelombang seismik. Sifat dispersi gelombang permukaan dan simulasi dispersi kecepatan fase pada media yang reguler maupun kompleks ditinjau dalam bagian ini. Selanjutnya, konfigurasi pengukuran yang digunakan dalam metode gelombang seismis permukaan dijelaskan pada Bab IV. Dalam bab ini pula, prosedur analisis kurva dispersi dan analisis inversi adalah disampaikan secara umum. Berbagai peralatan lapangan yang perlu dipersiapkan dalam pengukuran gelombang permukaan juga dijelaskan dengan terperinci. Beberapa teknik yang dikembangkan dari metode gelombang permukaan dipresentasikan dengan lengkap dalam buku ini, diantaranya metode analisis spektrum gelombang permukaan (Bab V), metode analisis gelombang menerus (Bab VI) dan metode multi-sensor gelombang permukaan (Bab VII). Dalam masing-masing bab tersebut, studi kasus mengenai kehandalan masing-masing metode untuk penyelidikan tanah juga dipresentasikan.

Penghargaan

Penulis menyampaikan penghargaan setinggi-tinggi kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan buku ini secara khususnya, dan kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan ilmu dan pengajaran kepada penulis dalam bidang metode analisis gelombang seismik, dinamika tanah, geo-material dan geobencana, yaitu kepada yang saya hormati: Prof. Dr. Mohd. Raihan Taha, Prof. Dr. Zamri Chik, Prof. Dr. Amiruddin Ismail, Khairul Anuar Mohd. Nayan (Universiti Kebangsaan Malaysia), Prof. Dr. Sung Ho Joh (Chung Ang University, Korea), Prof. Dr. Nenad Gucunski (Rutgers University, USA), Prof. Keh-Chyuan Tsai, Prof. J.S. Chiou dan Dr. C-C Jay Lin (National Center of Research on Earthquake Engineering (NCREE) Taiwan), Prof. K.P. Soman (Center of Excellence in Computation Engineering and Networking), Dr. Hussain Ali (Crane Software), Dr. Collin P. Abbiss (UK). Penulis juga merekamkan penghargaan dan terima kasih kepada para asisten dan kolega penulis yang telah membantu penulis dalam berbagai penelitian mengenai metode ini, diantaranya kepada Wendy Ariyanto, Taohidul Islam, Mecit Kurt, Dr. Siegfried dan Susy K. Ariestianty (Puslitbang Jalan dan Jembatan). Ucapan terima kasih, penulis sampaikan kepada Joko Supriyanto, S. Sn yang telah membantu menyempurnakan layout dan editing buku ini. Terakhir, penulis menyampaikan terima kasih kepada isteri tercinta, Rika Nuraini yang telah memberikan dukungan selama penulis menyelesaikan buku ini.

Mengambil pepatah “Tiada Gading yang Tak Retak”, penulis menyadari buku ini masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan. Untuk itu, berbagai saran dan masukan akan sangat diharapkan oleh penulis guna memperbaiki dan menyempurnakan buku ini.

Yogyakarta, 01 Juli 2013

Sri Atmaja P. Rosyidi