

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada proses perencanaan suatu struktur, ada tiga tahap utama yang perlu dilakukan, yaitu tahap pra rencana, tahap analisis, serta tahap pendetailan dan pemeriksaan. Secara umum, analisis struktur meliputi penetapan model (idealisasi) dari struktur yang ditinjau, beban-beban yang bekerja, kondisi batas, serta perhitungan respon struktur tersebut akibat beban-beban dan pengaruh-pengaruh yang bersangkutan, untuk mendapatkan besarnya gaya-gaya dalam yang akan digunakan dalam tahap perencanaan selanjutnya.

Pada tahap analisis, seringkali dipergunakan model matematis yang biasanya diekspresikan dalam hubungan atau ketergantungan antara satu atau beberapa besaran dengan satu atau beberapa besaran lainnya. Hubungan ini umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan yang dapat berupa persamaan diferensial biasa, persamaan diferensial parsial, atau persamaan lainnya. Pada kenyataannya, banyak persoalan analisis struktur yang sangat rumit sehingga solusi dari model struktur tidak dapat diselesaikan dengan cara eksak, yaitu cara penyelesaian matematis yang solusinya secara eksak harus memenuhi hukum-hukum pembentukan model struktur (hukum kesetimbangan, hukum kompatibilitas, dan hukum bahan) di setiap titik dalam model struktur tersebut. Cara mengatasi persoalan analisis struktur yang terlalu rumit untuk diselesaikan dengan cara eksak ini adalah dengan menggunakan aproksimasi. Solusi yang dihasilkan tidak eksak, tetapi dapat dibuat cukup dekat dengan hasil sebenarnya.

Ada bermacam-macam metode yang sering digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial atau *partial differential equation* (*PDE*) secara numerik, yang pada umumnya melakukan diskretisasi untuk menyederhanakan *PDE* menjadi persamaan diskret simultan, antara lain metode *finite difference*, metode *finite volume*, metode *boundary element*, dan metode elemen hingga. Di antara beberapa metode tersebut, metode elemen hingga

menjadi salah satu yang diterima dan dipakai secara luas dalam berbagai aplikasi *engineering*, termasuk dalam analisis problem elastisitas struktur.

Metode elemen hingga memerlukan prosedur diskretisasi (*discretization*), untuk dapat mengubah persamaan diferensial menjadi suatu set persamaan aljabar (diskret) yang terdiri dari matriks kekakuan, vektor gaya (*force vector*), dan vektor dari *displacement* yang belum diketahui. Prinsip dari diskretisasi pada metode elemen hingga adalah memodelkan struktur atau komponen struktural tersebut menjadi suatu kumpulan dari elemen kecil (*assemblage*). Bentuk geometrik tiap elemen dibuat sesederhana mungkin sehingga menjadi lebih mudah dianalisis daripada struktur aslinya. Dengan kata lain, proses diskretisasi dilakukan dengan cara menentukan titik-titik tertentu untuk menjadi permodelan struktur sesungguhnya, yang dinamakan titik nodal (*nodal points*), di mana pendefinisian elemen serta analisis selanjutnya hanya mengacu pada titik-titik tersebut, bukan lagi struktur sesungguhnya yang masih merupakan media kontinu. Informasi dari titik nodal serta pendefinisian elemen dipakai untuk membentuk *shape functions*, yang digunakan dalam menginterpolasikan respon titik-titik nodal ke semua lokasi domain yang ditinjau. Prosedur menentukan titik-titik nodal dan mendefinisikan elemen-elemen untuk mendiskretkan domain struktur yang ditinjau inilah yang disebut dengan “*meshing*”.

Akan tetapi, karakteristik dari bentuk geometrik struktur yang ditinjau dapat berubah seiring berubahnya kondisi struktur, seperti akibat penyebaran retak (*crack propagation*) dan deformasi yang besar. Dalam menghadapi hal semacam itu, biasanya perlu dilakukan diskretisasi ulang, yang dalam kasus metode elemen hingga berupa *remeshing*, di tiap konfigurasi domain struktur yang berubah sehingga *mesh* tetap sesuai dengan bentuk geometrik yang baru. Padahal prosedur *remeshing* ini biasanya sulit dan perlu dilakukan berulang kali karena konfigurasinya yang berubah-ubah, apalagi jika berhadapan dengan bentuk geometrik struktur yang rumit. Hal tersebut cukup merugikan karena waktu yang dipakai untuk melakukan *remeshing* akan menjadi lebih lama jika dibandingkan dengan waktu *assembly* dan penyelesaian persamaan diskret itu sendiri.

Metode *meshless* dapat memberikan alternatif yang menarik untuk mengatasi permasalahan pada metode elemen hingga, yaitu untuk menghilangkan

(atau setidaknya mengurangi) kesulitan prosedur *meshing* dan *remeshing* pada struktur elemen yang kompleks, yang masih menjadi suatu kelemahan dari metode elemen hingga. Pada metode *meshless*, prosedur diskretisasi maupun rediskretisasi dalam suatu domain dapat dilakukan cukup dengan menambahkan atau menghilangkan titik nodal pada lokasi yang diinginkan tanpa adanya kesulitan untuk melakukan prosedur *remeshing*. Hal ini disebabkan tidak adanya elemen yang diperlukan dalam proses diskretisasi seperti pada metode elemen hingga, namun hanya dengan pendefinisian titik-titik nodal dan kondisi batas dari suatu domain untuk menjadi permodelan struktur sesungguhnya.

Di Indonesia, metode *meshless* merupakan suatu ilmu yang masih relatif baru dan belum dikenal secara luas. Walaupun demikian, metode *meshless* cukup menjanjikan sebagai alternatif dari metode elemen hingga untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial dalam analisis struktur, sehubungan dengan tidak diperlukannya pemakaian elemen yang menghindarkan adanya kesulitan dalam hal *meshing*. Selain itu, metode *meshless* juga dapat digunakan untuk berbagai macam problem dalam aplikasi *engineering*, antara lain elastisitas, *fluid flow*, *heat conduction*, dan sebagainya. Atas dasar tersebut, metode *meshless* perlu diperkenalkan dan diteliti lebih lanjut dalam kapasitasnya untuk memenuhi kebutuhan analisis. Dalam bahasan ini, penekanan diberikan pada analisis untuk problem elastisitas yang berkaitan erat dengan teknik sipil, khususnya di bidang *structural engineering*. Mengingat bahwa pada umumnya para *structural engineer* (khususnya di Indonesia) telah memahami konsep dasar metode elemen hingga dan penerapannya, pengenalan akan konsep metode *meshless* yang masih relatif baru akan lebih mudah dan jelas dengan menggunakan metode elemen hingga sebagai pembandingan, sekaligus untuk mengetahui keunggulan dan kelemahannya.

Layaknya suatu bidang yang sedang berkembang, dalam hal ini yang dimaksud adalah metode *meshless*, berbagai pihak yang mempunyai ketertarikan dan harapan yang besar pada metode *meshless* terpacu untuk memperkenalkan berbagai pendekatan dengan ciri khas masing-masing peneliti. Hal ini menyebabkan munculnya berbagai variasi metode *meshless*, yang pada dasarnya tetap memiliki prinsip diskretisasi tanpa elemen yang serupa, dengan tetap berprioritas pada perbaikan akurasi dan konvergensi. Namun, karakteristik yang

membedakan di antara metode-metode tersebut tentunya akan mempengaruhi efektivitasnya dalam menangani problem struktur. Beberapa jenis dari metode *meshless* yang cukup menonjol, antara lain metode *element-free Galerkin*, metode *meshless local Petrov-Galerkin*, dan metode *finite point*, yang akan dibahas konsepnya dalam laporan ini. Sebelum dikemukakan penjelasan konsep metode-metode tersebut, tinjauan dari teori elastisitas dan metode elemen hingga akan dibahas terlebih dahulu.

1.2 Perumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah konsep umum dari formulasi metode numerik *meshless* untuk analisis problem elastisitas struktur?
2. Bagaimanakah karakteristik dari beberapa metode *meshless* yang cukup menonjol, serta apa yang membedakan tiap-tiap metode tersebut?
3. Seberapa jauh keunggulan dan kelemahan konsep metode *meshless* bila dibandingkan dengan konsep metode elemen hingga?

1.3 Tujuan Penelitian

Studi ini dilakukan untuk memberi informasi umum dan pengenalan konsep umum beserta karakteristik dari beberapa jenis metode *meshless* untuk analisis problem elastisitas struktur, dengan menggunakan konsep metode elemen hingga sebagai pembanding untuk memperjelas uraian dan sekaligus untuk mengenal seberapa jauh keunggulan dan kelemahan formulasi metode *meshless* yang telah dikembangkan hingga saat ini.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dimungkinkan oleh hasil studi ini adalah supaya para *structural engineer* (khususnya di Indonesia) dapat mengenal dan memahami konsep umum dan karakteristik dari beberapa jenis metode *meshless* yang relatif baru dengan lebih mudah, sebagai suatu alternatif dari metode elemen hingga yang sudah umum dipakai untuk analisis problem elastisitas struktur.

1.5 Ruang Lingkup

Sehubungan dengan topik utama yang dibahas, maka penelitian ini akan dibatasi dengan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Teori elastisitas ditinjau dalam kaitannya dengan konsep analisis metode *meshless* untuk menyelesaikan problem elastisitas struktur.
2. Prinsip-prinsip dasar metode elemen hingga untuk keperluan analisis struktur dipelajari, dengan prioritas pada pemahaman metode *weighted residual*.
3. Beberapa jenis metode *meshless* yang ditelaah dan juga dibandingkan konsepnya terhadap metode elemen hingga, antara lain:
 - a. metode *element-free Galerkin*,
 - b. metode *meshless local Petrov-Galerkin*, dan
 - c. metode *finite point*.

1.6 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan berkaitan dengan tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Merumuskan masalah, serta menentukan tujuan, manfaat dan ruang lingkup penelitian.
2. Melakukan studi literatur.
3. Menyusun penjelasan konsep tiap jenis metode *meshless* yang ditinjau.
4. Membuat diskusi mengenai konsep metode elemen hingga dan konsep beberapa jenis metode *meshless*, beserta perbandingannya.
5. Membuat kesimpulan.

1.7 Sistematika Penulisan Laporan

Laporan tugas akhir ini disajikan dalam sistematika penulisan resmi sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Pada bagian ini diuraikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup pembahasan, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

Bab 2 Teori Elastisitas

Pada bagian ini diuraikan tentang teori elastisitas, di mana analisis dari perilaku struktur *solid* yang elastis-linear diperlukan untuk memberi ilustrasi dari perumusan metode elemen hingga dan metode *meshless* untuk problem elastisitas.

Bab 3 Metode Elemen Hingga

Pada bagian ini dibahas mengenai konsep umum dari metode elemen hingga, juga diberikan contoh analisis dengan metode *direct stiffness* dan metode *weighted residual* (khususnya metode *Galerkin*) secara sederhana.

Bab 4 Metode *Meshless*

Pada bagian ini dijelaskan mengenai konsep umum metode *meshless* sebagai alternatif dari metode elemen hingga, dan secara khusus dibahas prinsip-prinsip dari metode *element-free Galerkin*, *meshless local Petrov-Galerkin*, dan *finite point*.

Bab 5 Diskusi

Pada bagian ini disajikan hasil analisis (diskusi) mengenai konsep metode-metode *meshless* yang telah dibahas, serta konsep dari metode elemen hingga, sebagai suatu tolok ukur dalam kapasitasnya sebagai metode analisis struktur yang telah dikenal dan diakui secara luas.

Bab 6 Kesimpulan

Pada bagian ini dipaparkan kesimpulan yang diperoleh setelah analisis selesai dilakukan.