

# **ANALISIS STATIK SAMBUNGAN PIPA BERTEKANAN DENGAN PENDEKATAN METODA ELEMEN HINGGA DAN EKSPERIMENTAL**

**Bambang Rustianto, Anwar**

*UPT-LUK BPPT, Puspiptek, Serpong, Tangerang*

## **ABSTRAK**

**ANALISIS STATIK SAMBUNGAN PIPA BERTEKANAN DENGAN PENDEKATAN METODA ELEMEN HINGGA.** Analisis statik dalam perancangan struktur merupakan hal yang penting. Analisis elemen hingga sebagai bagian dari proses perancangan dengan menggunakan simulasi komputer dapat menghemat waktu dan biaya. Makalah ini membahas tentang analisis statik dengan menggunakan simulasi komputer yang dilakukan terhadap benda uji sambungan pipa-T. Pipa ini dimodelkan sebagai silinder yang pada kedua ujungnya ditahan. FEMAP digunakan untuk membuat pemodelan elemen hingga, dimana elemen pelat digunakan untuk membuat model pipa silinder. Beban yang diberikan pada model ini adalah tekanan yang diberikan pada semua elemennya. Hasil analisis statik ini berupa distribusi tegangan dan deformasi akibat adanya beban yang terjadi pada permukaan pipa. Tegangan pada sambungan pipa yang diperoleh dari perhitungan analisis dan pengujian menunjukkan perbedaan yang kecil. Hal ini berarti bahwa data yang diperoleh dari metode analisis cukup baik.

*Kata kunci* : T-joint T, strain, stress, metoda elemen hingga

## **ABSTRACT**

**STATIC ANALYSIS ON T-JOINT PRESSURE PIPE USING FINITE ELEMENT METHOD APPROXIMATION AND EXPERIMENTAL.** Static analysis is an important matter in the structural design. Finite element analysis as part of design process using computer simulation can save time and cost. This paper describes static analysis using computer simulation which is performed on T-joint pipe. This pipe is modelled as a circular plate which is fixed at each end side. FEMAP is used for creating the finite element modelling, where the plate/shell elements are used to model the circular shell. Pressure loads are applied to the entire elements of the pipe. The analysis results are the stress distribution and the deformed structure as a result of the forces and loads applied on the pipe surface. The stress at the joint which is obtained from analytical and experimental methods showed a little difference. It means that the data which is obtained from the analytical method, is valid.

*Key words* : T-joint pipe, strain, stress, finite element method

## **PENDAHULUAN**

Perancangan merupakan salah satu bagian dalam proses pengembangan struktur. Perancangan dengan kriteria yang diinginkan membutuhkan tahap yang panjang. Salah satu tahap yang penting adalah perlunya dilakukan analisis statik terhadap bagian struktur yang dipilih.

Pada tulisan ini, analisis statik pada struktur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang merupakan perangkat analisis elemen hingga. Penggunaan analisis elemen hingga dalam perancangan dapat mengurangi biaya pembuatan prototipe karena perancangan dilakukan melalui simulasi komputer.

Analisis statik dilakukan terhadap model sebuah benda akibat adanya beban luar yang bekerja. Karena analisis tersebut menggunakan elemen hingga maka model benda tersebut harus dijadikan model elemen hingga.

Dalam metoda ini ditentukan model elemen yang

digunakan, memodelkan beban menjadi beban elemen dan memodelkan syarat batas. Dari hasil analisis model yang dibuat dapat diketahui tegangan yang dihasilkan setiap elemen serta daerah kritis yang perlu diperhatikan.

Untuk memastikan bahwa model tersebut telah memenuhi kriteria perancangan perlu dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan pada benda uji dengan memberikan beban simulasi. Beban simulasi yang diberikan sesuai dengan beban yang akan diterima pada saat digunakan.

Hasil analisis model perlu dibandingkan dengan hasil pengujian untuk menilai kesesuaian terhadap kriteria yang telah ditetapkan.

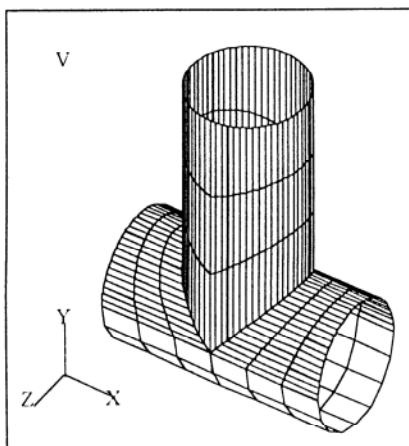
## **PEMODELAN PIPA – T**

Konsep dasar dalam pemodelan geometri suatu komponen struktur adalah pemilihan seperangkat pa-

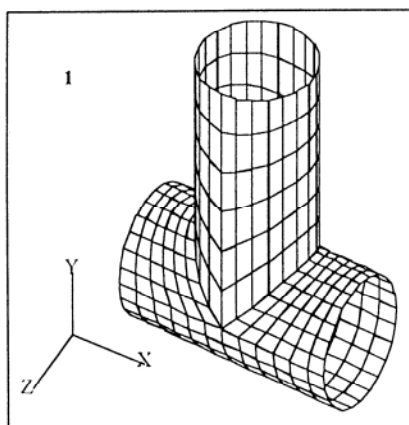
parameter yang mendefinisikan bentuk geometri struktur pada dasarnya mempunyai komponen dasar berupa titik-titik simpul, selanjutnya garis-garis tersebut membentuk bidang dan kumpulan bidang-bidang menjadi ruang. Di dalam model elemen hingga selain konsep pemodelan geometri suatu struktur juga diperlukan pembentukan jaringan (*mesh generation*) yang menghubungkan sebuah garis dengan garis yang lainnya dengan aturan tertentu sehingga membentuk mesh. Disamping itu perlu adanya informasi sifat material dan sifat elemen, kondisi syarat batas dan pembebanan serta kesiapan model tersebut untuk dianalisis. Model yang digunakan berupa dua buah silinder yang bertemu pada sudut  $90^\circ$ , sehingga menyerupai huruf T.

### Model Pipa-T

Pipa-T merupakan 2 (dua) buah pipa yang bertemu dan membentuk huruf T. Masing-masing pipa dimodelkan sebagai pelat atau *shell* yang melingkar yang menerima beban berupa tekanan pada setiap permukaan dalamnya. Model pipa-T ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model pipa-T



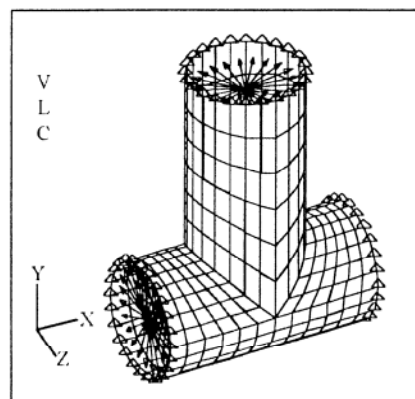
Gambar 2. Model elemen pipa-T

### Model Elemen Hingga Pipa-T

Analisis statik dengan metoda elemen hingga terlebih dahulu mengubah model yang sebenarnya menjadi model elemen hingga, yaitu membagi model menjadi elemen-elemen yang jumlahnya berhingga. Pemodelan pipa-T menjadi model elemen hingga dilakukan dengan menggunakan elemen pelat atau *shell* yang berjumlah tertentu sesuai dengan kebutuhan. Model disain elemen hingga pipa-T dapat dilihat pada Gambar 2.

### Model Beban dan Syarat Batas

Beban pada pipa-T dimodelkan sebagai tekanan dari bagian dalam ke seluruh permukaannya, sehingga setiap elemen *shell* atau pelat mendapat tekanan sebesar  $10,89 \text{ kg/cm}^2$  seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Beban dan konstren

Pipa-T yang dimodelkan dengan elemen hingga pada setiap bagian ujungnya ditumpu dengan syarat batas sebagai berikut :

- untuk bagian ujung sebelah kanan dan kiri dikenakan syarat batas simetri X pada setiap nodal di ujung-ujungnya artinya elemen mengalami deformasi ke arah sumbu Y dan Z
- untuk bagian ujung sebelah atas dikenakan syarat batas simetri Y pada setiap nodal di ujung-ujungnya artinya elemen mengalami deformasi ke arah sumbu X dan Z.

## PERCOBAAN DAN HASIL

### Pembuatan Model Elemen Hingga [1]

Pembuatan model elemen hingga dilakukan dengan menggunakan FEMAP. FEMAP adalah perangkat pemodelan elemen hingga dan *postprocessing* yang digunakan dalam analisis struktur. Dengan FEMAP semua tahap dalam analisis dilakukan, yaitu mulai dari pembuatan geometri, *meshing*, pemilihan material, jenis elemen, penentuan syarat batas dan beban.

Material elemen pelat atau *shell* yaitu :

- Tegangan tarik = 37 kg/mm<sup>2</sup>
- Modulus Young = 21000 kg/mm<sup>2</sup>
- Poison ratio=0,3

Urutan pembuatan model elemen hingga dengan FEMAP pada pipa-T adalah sebagai berikut :

- Pembuatan model geometri
- Menentukan jenis material dan sifat material
- Membagi model menjadi beberapa elemen dan node (*meshing*)
- Memodelkan syarat batas
- Memodelkan beban
- Menyimpan data model

Bila model telah selesai dibuat, datanya diekspor ke dalam suatu *file* yang selanjutnya dieksekusi menggunakan perangkat lunak *Msc/Nastran*. Sebelum model dieksekusi, data input dapat diperiksa terlebih dahulu dimana data input tersebut dapat diganti secara manual.

Pada Gambar 4 terlihat model yang merupakan hasil translasi total dan distribusi tegangan *Von Mises*.



Gambar 4. Hasil distribusi tegangan pada sambungan pipa

## PENGUJIAN

Analisis statis struktur pipa dapat dilakukan dengan pendekatan eksperimental. Analisis secara eksperimental merupakan salah satu cara yang digunakan untuk melakukan validasi terhadap metoda yang digunakan dalam perancangan produk pipa. Dalam melakukan validasi tersebut biasanya dilakukan pengujian di laboratorium. Di samping untuk tujuan tersebut, pengujian bertujuan untuk mendapatkan produk yang berkualitas baik dari segi ekonomi mau pun dari segi kekuatannya.

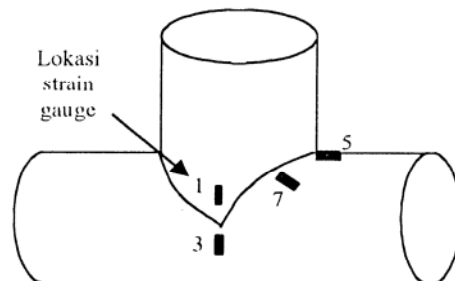
Pada pengujian tersebut, beban simulasi diberikan pada struktur pipa secara bertahap hingga pada beban maksimum tertentu yang diinginkan atau hingga benda uji rusak. Selama pengujian ini besarnya beban yang diberikan selalu dipantau.

## PELAKSANAAN PENGUJIAN

Sebelum dilakukan pengujian perlu disiapkan benda uji dan peralatan yang digunakan untuk

pengujian.

Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah pipa-T dengan ketebalan 6 mm yang terbuat dari material ST 37 dengan sifat mekanis seperti diuraikan pada bagian model beban dan syarat batas 3.1. Bentuk benda uji seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Bentuk benda uji

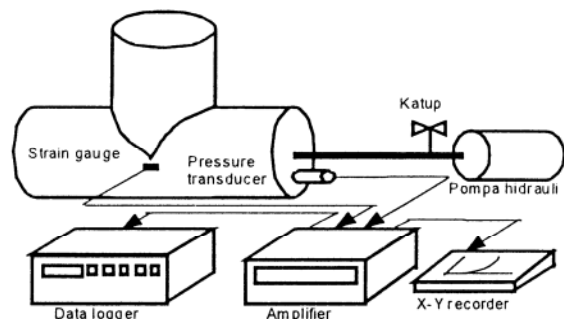
Peralatan yang digunakan pada pengujian ini antara lain :

- *Data logger* untuk merekam besarnya beban dan tegangan
- *X-Y recorder*
- Pompa hidraulik
- *Strain gauge* sebagai sensor regangan
- *Pressure transducer* sebagai sensor tekanan
- Amplifier

Setelah benda uji dan peralatan pengujian telah disiapkan maka pengujian dapat dilaksanakan dengan urutan sebagai berikut :

- Benda uji yang telah ditempel *strain gauge* (pada lokasi tertentu) diletakkan di atas lantai uji.
- Pompa dihidupkan. Pemberian tekanan pada pipa secara bertahap hingga tekanan kerjanya tercapai.
- Besarnya tekanan kerja diukur dengan *pressure transducer*.
- Pencatatan besarnya regangan yang terjadi pada pipa dengan *data logger*.

Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema pengujian tekanan pipa-T

## HASIL PENGUJIAN

Pada saat pengujian, pipa diberi tekanan kerja sebesar 10,89 kg/cm<sup>2</sup> sesuai dengan disainnya dalam

selang waktu tertentu. Pada daerah sekitar sambungan las dilakukan pengukuran regangan dengan menggunakan sensor pengukur regangan (*strain gauge*). Mengingat beban yang bekerja di dalam pipa tersebut masih di daerah elastis, maka besarnya nilai regangan tersebut dapat secara proporsional dikonversikan ke dalam nilai tegangan. Perubahan nilai regangan ke dalam besaran tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus hukum Hooke berikut ini [2]:

$$E = s / e$$

Di mana :

- s = tegangan yang terjadi
- E = regangan yang terjadi pada titik ukur
- e = modulus elastisitas bahan

Dari perhitungan tegangan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Tegangan pada pipa hasil pengujian[3]

Nomer lokasi strain gauge	Besarnya regangan (mm)	Besarnya tegangan (kg/mm <sup>2</sup> )
1 (Y)	925	19,446
3 (Y)	575	12,075
5 (Z)	650	13,65
7 (Y)	311	6,531

Lokasi *strain gauge* yang ditampilkan dalam tabel di atas, adalah lokasi *strain gauge* yang mempunyai nilai regangan terbesar. Dari tabel ini ditunjukkan bahwa tegangan yang terbesar terjadi pada lokasi *strain gauge* nomor 1 arah sumbu Y di daerah sambungan las sebesar 19,446 kg/mm<sup>2</sup>. Nomer lokasi *strain gauge* pada benda uji seperti tabel di atas jika dilihat pada model pipa-T menjadi elemen-elemen berikut : nomor *strain gauge* 1(Y) menjadi elemen 36(Y), nomor *strain gauge* 3(Y) menjadi elemen 150(Y), nomor *strain gauge* 5(Z) menjadi elemen 282, nomor *strain gauge* 7(Y) menjadi elemen 18(Y). Nilai-nilai tegangan yang terjadi pada elemen model pipa-T yang diperoleh dari hasil analisis dengan metoda elemen hingga adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Tegangan pada model pipa-T hasil analisis dengan metoda elemen hingga

Nomer elemen	Besarnya tegangan (kg/mm <sup>2</sup> )
36 (Y)	20,1084
150 (Y)	13,0199
282	13,1
18 (Y)	7,03748

Dari Tabel 2 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada elemen no. 36 (arah sumbu Y), yaitu sebesar 20,1 kg/mm<sup>2</sup>.

Dari kedua tabel di atas terlihat bahwa tegangan untuk setiap lokasi yang diamati memiliki nilai yang relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengujian pipa-T sesuai dengan hasil disain pipa-T. Dari analisis

metoda elemen hingga dengan beban kerja sebesar 10,89 kg/cm<sup>2</sup>, tegangan maksimum yang terjadi khususnya pada sambungan las sebesar 20,1 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan dari analisis hasil pengujian dengan beban kerja yang sama, tegangan maksimum yang terjadi pada lokasi yang sama sebesar 19,5 kg/mm<sup>2</sup>. Besarnya tegangan yang terjadi pada daerah yang diamati baik yang diperoleh dari hasil perhitungan analisis dan hasil eksperimental/pengujian terdapat perbedaan yang relatif kecil. Hal ini berarti bahwa nilai tegangan-tegangan yang diperoleh dari perhitungan secara analitik dengan metoda elemen hingga cukup representatif. Kemudian, jika dibandingkan dengan spesifikasi bahan pipa-T yaitu ST-37 yang memiliki kuat tarik 37 kg/mm<sup>2</sup>, maka nilai tegangan maksimum yang terjadi pada sambungan las pipa-T hasil analisis metoda elemen hingga dan hasil pengujian, yaitu sebesar 19 – 20 kg/mm<sup>2</sup>, masih relatif kecil. Hal ini berarti bahwa tegangan maksimum yang terjadi masih di bawah kekuatan bahan pipa-T, dengan kata lain pipa-T mampu menahan beban kerja sebesar 10,89 kg/cm<sup>2</sup>

## KESIMPULAN

Dari pembahasan perhitungan tegangan yang terjadi pada pipa sambungan pipa-T yang diuraikan pada bagian di atas disimpulkan bahwa :  
 Besarnya tegangan yang terjadi pada model akibat adanya tekanan pada permukaan bagian dalamnya yang diperoleh dari perhitungan, menunjukkan perbedaan yang relatif kecil bila dibandingkan dengan besarnya tegangan yang terjadi pada benda uji pipa-T yang diperoleh dari hasil pengujian, dengan toleransi sebesar  $\pm 3,3\%$ . Hal ini berarti bahwa nilai-nilai tegangan yang diperoleh dari perhitungan secara analitik dengan metoda elemen hingga cukup baik.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. FEMAP Version 4.51, "Introduction to FEA Using FEM", Enterprise Software Product, Inc., Exton, PA, 1986-1997.
- [2]. TIMOSHENKO, S., "Strength of Materials Part I Elementary", 3<sup>rd</sup> Edition, Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington New York, 1976.
- [3]. ANWAR, "Pengujian Tekanan Dalam (Internal Pressure) Pada Tangki", UPT-LUK BPPT, Oktober 1998.