

DISTRIBUSI TEGANGAN PADA PERCABANGAN PIPA 90° AKIBAT TEKANAN INTERNAL MENGGUNAKAN MEH

Agus Suprihanto, Djoeli Satrijo, Dwi Basuki Wibowo *)

Abstract

Piping system is very important in many industries. Ones of crucial in design of piping system are to determine the stress distribution around the branch. In this research, the distributed stress over 90° branch piping system was evaluated with finite element method. Five models piping 90° branch which different ratio of diameter of pipe have been developed. The load applied on the models is internal pressure.

The results indicate that around the branch there is stress distribution. The maximum stress is located at center of the branch but decrease significantly in the distance 30mm-45mm from it. Beyond the distance 75mm from center, for diameter ratio 1, the model gives good agreement with experiment data.

Keyword : piping system, stress distribution, finite element method

Pendahuluan

Sistem perpipaan merupakan salah satu sistem yang penting dan banyak digunakan pada industri, seperti dalam industri proses, industri petroleum, industri kimia, instalasi pembangkit tenaga dan lain – lain, yang merupakan komponen yang sangat vital keberadaannya. Keandalan dan keamanan sistem perpipaan ini sangat berperan dalam hubungannya dengan kelancaran proses yang ada pada industri tersebut. Hal ini disebabkan sistem pemipaan merupakan sarana transportasi dari fluida serta bahan-bahan untuk proses industri.

Guna menjamin perancangan sistem pemipaan yang handal, maka diperlukan pengetahuan tentang distribusi tegangan disekitar percabangan pipa. Distribusi tegangan ini dapat diketahui dengan teoritik, eksperimental dan numerik dengan metode elemen hingga.

Pengetahuan tentang distribusi tegangan tersebut masih jauh dari lengkap dan juga pengujian distribusi tegangan dari percabangan pipa di laboratorium memerlukan biaya yang sangat mahal. Oleh karena itu, pada dekade ini dikembangkan metode pencarian distribusi tegangan pada percabangan pipa secara numerik menggunakan metode elemen hingga.

Tinjauan Pustaka

Perencanaan sistem pemipaan yang digunakan di industri modern lazimnya menggunakan kode-kode disain tertentu misalnya seperti kode disain yang dike-luarkan oleh ASME. Kode-kode tersebut berisi tentang penuntun cara mengitung aspek-aspek teknis seperti kekuatan dan kekakuan desain suatu sistem pemipaan.

Penggunaan kode disain yang tertentu tersebut dimaksudkan agar pihak-pihak yang berkepentingan seperti pemilik, asuransi, kontraktor, pengawas, pabrik pipa dll. memiliki persepsi yang sama terhadap sistem pemipaan yang akan dibangun. Hal ini dapat dimaklumi karena investasi untuk membangun suatu sistem pemipaan sangat besar dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi.

Untuk tujuan pengaturan distribusi fluida yang dialirkan, suatu sistem pemipaan seringkali membu-tuhkan adanya percabangan. Dengan adanya percabangan tersebut maka akan timbul suatu diskontinuitas geometri pada daerah di sekitar percabangan tersebut.

Diskontinuitas geometri ini akan mengakibatkan pemusatan tegangan pada daerah disekitarnya. Pada tahapan disain untuk dapat memperkirakan besarnya intensitas tegangan disekitar percabangan lazimnya dibutuhkan data harga faktor konsentrasi tegangan (Kt). Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah desain yang akan dibuat aman atau tidak. Perhitungan Kt ini memerlukan informasi mengenai distribusi tegangan disekitar percabangan pipa.

Dewasa ini untuk mengetahui distribusi tegangan disekitar percabangan telah dikembangkan suatu metode numerik. Salah satu metoda numerik yang relevan untuk kasus ini adalah metode elemen hingga (MEH).

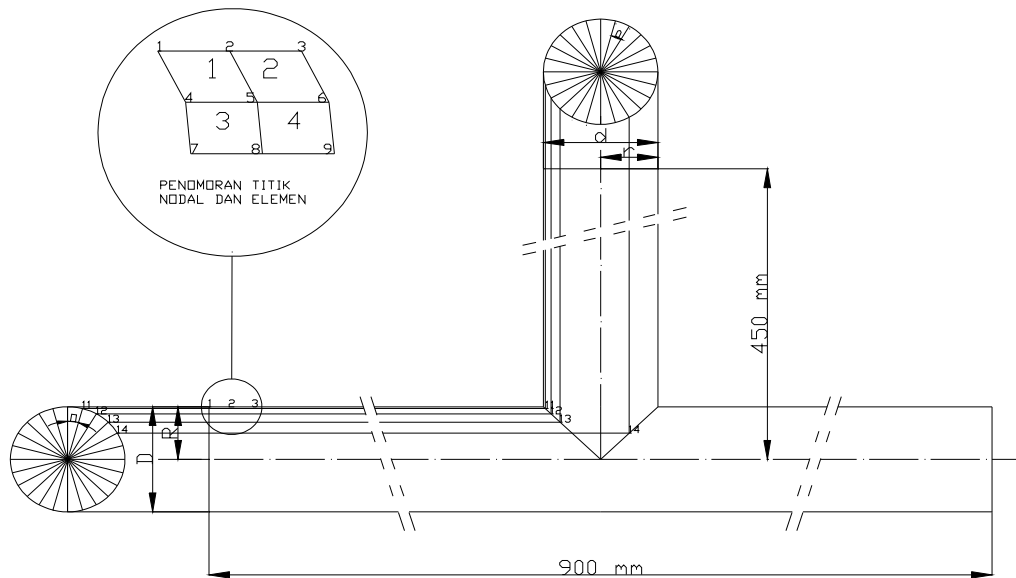
Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini dibuat 5 model percabangan pipa dengan sudut 90°. Pipa utama dan cabang yang digunakan adalah pipa dengan *schedule* 40. Diameter pipa utama dan cabang diberi notasi *D* dan *d* sedangkan tebal pipa utama dan cabang diberi notasi *T* dan *t*. Tabel 1 berikut menunjukkan ukuran pipa yang digunakan dalam pembuatan model. Model pipa yang dianalisis ditunjukkan pada gambar 1.

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Tabel 1. Dimensi pipa *schedule 40*

Model	D (inch)	d (inch)	T (inch)	t (inch)
1	4	4	0,237	0,237
2	4	3	0,237	0,216
3	4	2	0,237	0,154
4	4	1,5	0,237	0,145
5	4	0,5	0,237	0,109

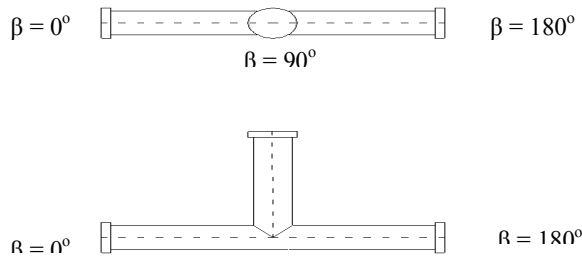


Gambar 1. Model percabangan pipa tegak 90°

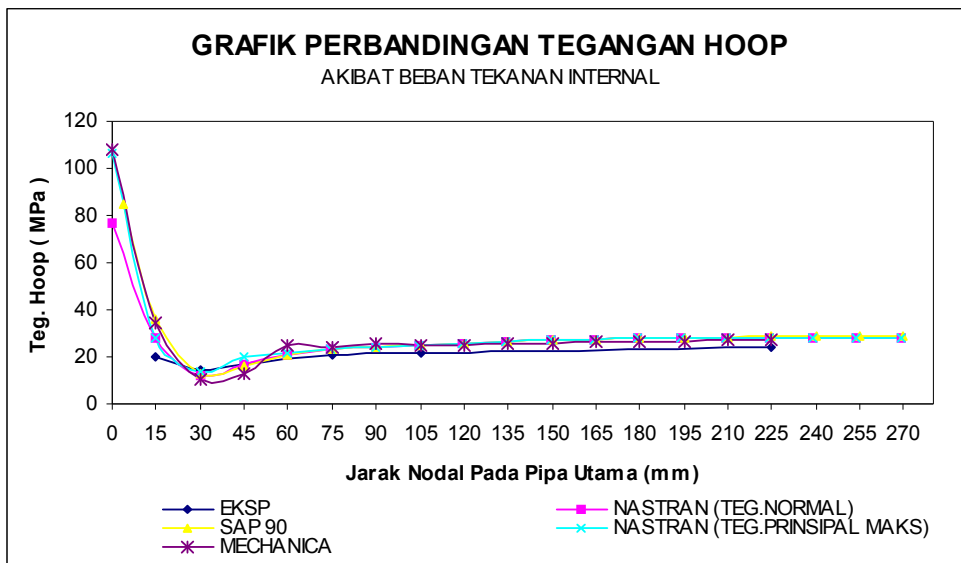
Dalam pemodelan ini diasumsikan bahan yang digunakan adalah baja yang memiliki modulus elastisitas (E) sebesar 209GPa dan *poisson ratio* sebesar 0,295. Panjang pipa pipa utama (L) = 900 mm dan panjang pipa cabang (l) = 450 mm yang diukur dari pertemuan titik sumbu percabangan pipa. Elemen yang digunakan adalah elemen *plate*. Pipa utama dalam model ini ditumpu sederhana (engsel dan rol). Model ini dimaksudkan untuk mensimulasi pipa yang dialiri fluida, oleh karena itu bebannya hanya tekanan internal dan tidak ada beban searah aksial. Dimensi pipa yang digunakan untuk model mengikuti ANSI/ASME B31.3

Hasil pengolahan data keluaran program awalnya berupa distribusi tegangan. Analisis distribusi tegangan pada pipa utama dan pipa cabang yang distribusi tegangan *hoop*. Untuk grafik distribusi tegangan pada pipa utama dan pipa cabang, sumbu tegak (vertikal) pada grafik adalah besarnya tegangan dalam MPa, sedangkan untuk sumbu mendatar (horisontal) adalah jarak atau posisi titik nodal dalam mm.

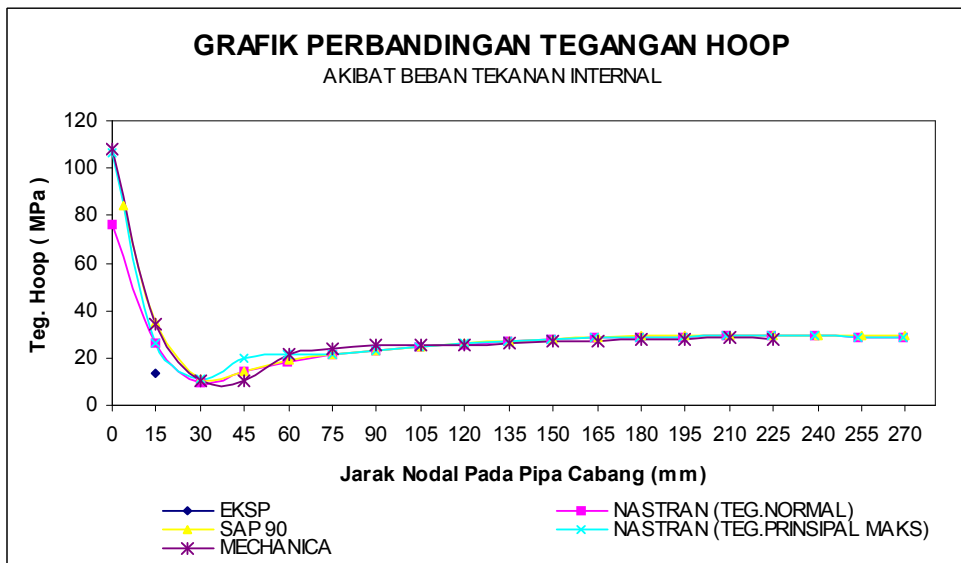
Grafik faktor konsentrasi tegangan yang diperoleh adalah tegangan hoop. Sumbu tegak (vertikal) pada grafik adalah besarnya faktor K_t , sedangkan untuk sumbu mendatar (horisontal) adalah rasio diameter d_{nom} / D_{nom} model percabangan pipa yang dipakai. Grafik yang disajikan berdasarkan peninjauan daerah atau orientasi bidang percabangan pipa 90° untuk posisi bidang $\beta = 0^\circ$; dan sepanjang sambungan antara pipa utama dan pipa cabang (*junction*). Pendefinisian posisi atau orientasi bidang percabangan pipa 90° tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Orientasi bidang $\beta = 0^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $\beta = 180^\circ$



Gambar 3. Distribusi tegangan hoop pada pipa utama untuk $\beta = 0^\circ$



Gambar 4. Distribusi tegangan hoop pada pipa cabang untuk $\beta = 0^\circ$

Hasil dan Pembahasan

Grafik-grafik distribusi tegangan hoop pada pipa utama dan pipa cabang yang diperoleh pada orientasi $\beta = 0^\circ$ disajikan pada gambar 3 dan 4 untuk rasio diameter pipa cabang dengan utama 1. Pada grafik tersebut juga ditampilkan hasil eksperimen (Harsokoesome, dkk, 1994) dan hasil pemodelan dengan *software* SAP90 (Basuki, 1994). Hasil eksperimen dinotasikan dengan “EKS P” pada gambar 3 dan 4.

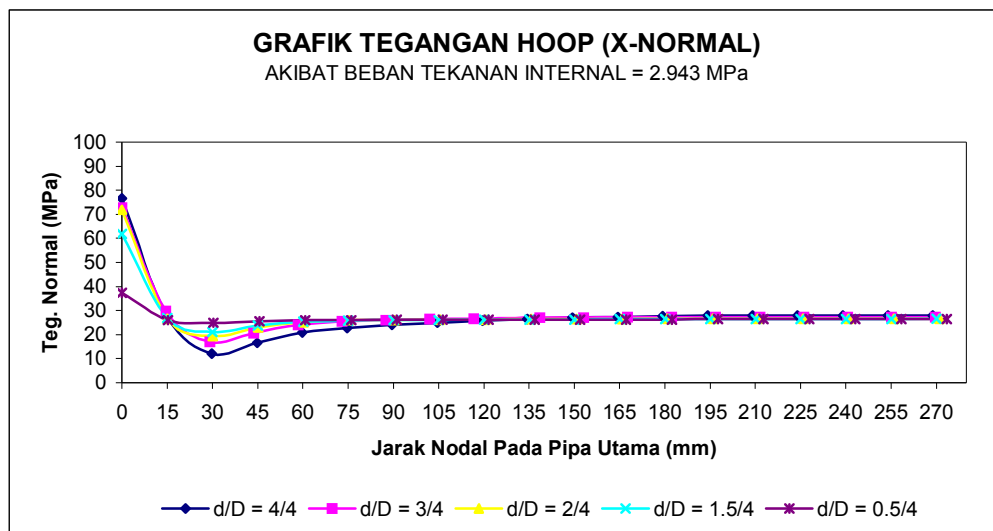
Dari grafik pada gambar 3 dan 4 terlihat bahwa model yang dibuat memiliki hasil yang sama dengan eksperimen dan model MEH dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yaitu SAP 90 dan *Mechanica*. Hal ini menunjukkan model yang dibuat dapat dipertanggungjawabkan validitasnya.

Grafik diatas menunjukkan bahwa pada pipa utama dan pipa cabang, tegangan yang terjadi pada titik tengah percabangan sangat besar. Distribusi tegangan kemudian menurun sampai pada jarak 30mm dari titik tengah percabangan. Selanjutnya distribusi tegangan kembali naik sampai pada jarak 75mm dari titik tengah percabangan dan kemudian mencapai harga yang konstan. Distribusi tegangan setelah jarak 75mm tersebut mencapai konstan menunjukkan bahwa daerah tersebut tidak terpengaruh oleh adanya percabangan. Besarnya tegangan

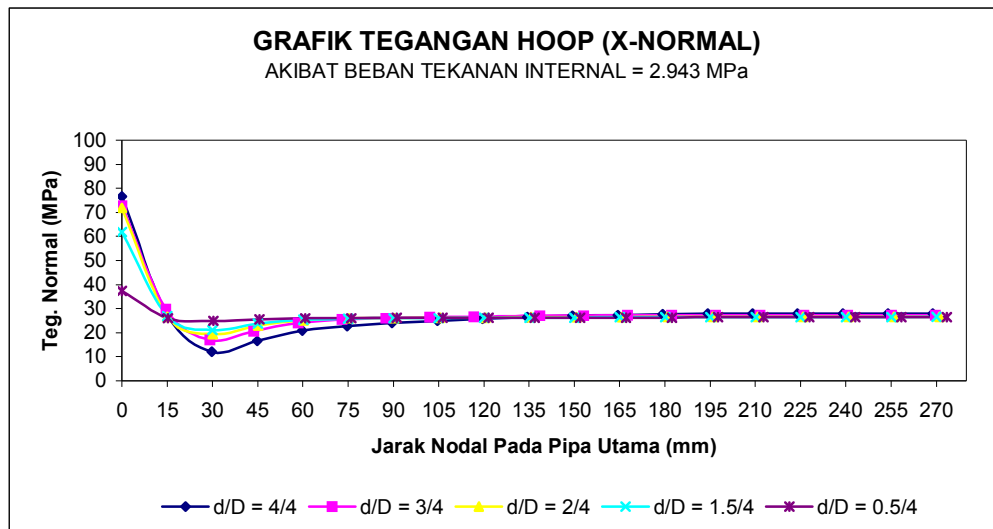
pada daerah tersebut dapat dihitung dengan pendekatan silinder dinding tipis. Formulasi perhitungan tegangan pada silinder dinding tipis akibat tekanan internal dengan metode yang disajikan oleh Popov (1989) dan Kannapan (1986).

Manfaat yang penting dalam disain adalah bahwa pada percabangan pipa 90° yang dikenai beban tekanan in-ternal, perhitungan kekuatan haruslah didasarkan pada besarnya tegangan yang timbul pada titik tengah percabangan. Besarnya tegangan tersebut dapat dihi-tung dengan mengkalikan besarnya tegangan yang diperoleh lewat pendekatan dinding tipis dengan meng kalikan dengan suatu faktor yaitu faktor konsentrasi tegangan. Besarnya faktor konsentrasi tegangan yang diperoleh dengan membandingkan antara tegangan maksimum yang terjadi dengan tegangan yang jauh dari percabangan.

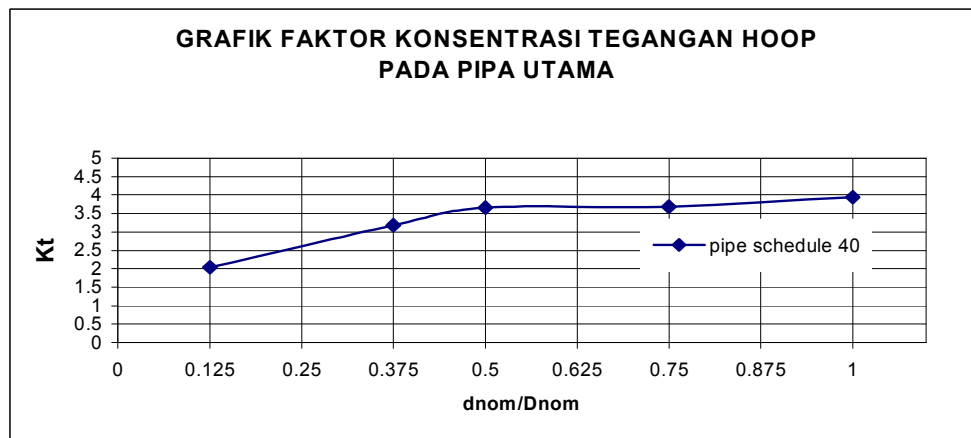
Gambar 5 dan 6 berikut menunjukkan pengaruh rasio diameter nominal pipa utama dan cabang lainnya terhadap besarnya tegangan hoop. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kurva distribusi tegangan untuk berbagai rasio diameter memiliki kecenderungan yang sama. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa besarnya rasio diameter berpengaruh besar terhadap besarnya faktor konsentrasi tegangan.



Gambar 5. Pengaruh rasio diameter terhadap distribusi tegangan hoop pada pipa utama untuk $\beta = 0^\circ$



Gambar 6. Pengaruh rasio diameter terhadap distribusi tegangan hoop pada pipa cabang untuk $\beta = 0^\circ$



Gambar 7. Grafik faktor konsentrasi tegangan untuk berbagai rasio diameter pipa cabang-utama

Dengan diketahuinya distribusi tegangan pada percabangan pipa, maka dapat dihitung besarnya faktor konsentrasi tegangan. Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan antara rasio diameter dengan faktor konsentrasi tegangan untuk tegangan hoop. Dari grafik tersebut terlihat bahwa faktor konsentrasi tegangan terbesar terjadi pada rasio diameter 1 yaitu sebesar 4 dan terkecil terjadi pada rasio diameter 0,125 yaitu sebesar 2.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah bahwa distribusi tegangan pada pipa 90° yang dikenai beban tekanan internal dapat dicari dengan menggunakan metode elemen hingga (MEH). Keberhasilan pemodelan dengan MEH adalah memperoleh model yang valid. Validitas model dapat dinilai dari kecocokan hasil dengan eksperimen maupun dengan model lainnya.

Besarnya tegangan pada percabangan pipa 90° akibat tekanan internal memiliki nilai maksimum pada titik tengah percabangan dan memiliki harga minimum pada jarak 30mm s/d 45 mm dari titik tengah percabangan. Pada jarak 75mm dari titik tengah percabangan besarnya tegangan tidak terpengaruh oleh adanya percabangan. Perbandingan antara diameter pipa cabang dan utama mempengaruhi besarnya faktor konsentrasi tegangan.

Metode yang dikembangkan pada penelitian ini dapat dikembangkan pada kasus percabangan pipa dengan sudut yang lain. Meskipun demikian masih diperlukan pengukuran tegangan secara eksperimental untuk sebuah model. Hal ini dimaksudkan untuk menguji validitas model yang dibuat.

Daftar Pustaka

1. ANSI/ASME B 31.1, 1990, "Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping", ASME.
2. Basuki, A, 1994, "Tugas Sarjana Analisis Distribusi Tegangan Pada Percabangan Pipa 90° Akibat Beban Tekanan Internal Dan In-Plane dengan Program Bantu SAP 90 versi 5.20", Teknik Mesin UNDIP.
3. Crocker, Sabin, 1967, "Piping Handbook" Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
4. Harsokoesoemo, D ; Suweca, I.W ; Satrijo, D, 1994, "Kontribusi Penelitian Beberapa Aspek Sistem Perpipaan pada Proses Perancangan", (Majalah Profesi Teknik Mesin) Volume X, Teknik Mesin ITB.
5. Kannapan, Sam, P.E, 1986, "Introduction to Pipe Stress Analysis", John Willey and Son's, New York.
6. Logan, Daryil . L, 1992, "A First Course in The Finite Element Method", PWS-KENT Publishing Company, Boston.
7. MSC Corporation, 1994, "MSC Nastran for Reference Manual", version 1.0, The MacNeal-Schwendler Corporation.
8. Popov, E.P, 1989, "Mekanika Teknik (Mechanics of Material)", Edisi keduersi SI", Penerbit Erlangga, Jakarta.