

**PERHITUNGAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PADA PIPA
KONSTRUKSI PERCABANGAN 60° AKIBAT GAYA AKSIAL
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Dwi Basuki Wibowo¹⁾, Sugiyanto²⁾, Agus Suprihanto³⁾,

Abstraks

Dewasa ini pipa banyak digunakan untuk elemen struktur misalnya untuk rangka bangunan, konstruksi reklame, tiang listrik dan telepon dll. Seperti halnya dalam sistem perpipaan, penggunaan pipa untuk struktur tidak dapat menghindari adanya percabangan. Hal ini akan menyebabkan konsentrasi tegangan disekitar percabangan tersebut ketika struktur tersebut dikenai pembebanan. Dalam tahapan disain, untuk memperkirakan besarnya tegangan maksimum yang terjadi lazimnya diperlukan faktor konsentrasi tegangan (Kt). Besarnya Kt ini dipengaruhi oleh dimensi dan geometri elemen serta modus pembebanannya.

Penelitian ini ditujukan untuk mencari besarnya Kt untuk percabangan pipa 90° yang dikenai beban aksial untuk berbagai rasio perbandingan diameter pipa utama dan cabang dengan metode elemen hingga. Tahapan penelitian berturut-turut adalah *geometric modelling*, *finite element modelling*, eksekusi model, analisis distribusi tegangan dan perhitungan Kt. Representasi hasilnya adalah berupa grafik Kt versus d/D dimana d adalah diameter cabang dan D adalah diameter utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa harga besarnya harga Kt sangat tergantung dari disain pipa konstruksi yang dibuat.

Kata Kunci : Percabangan Pipa, Faktor Konsentrasi Tegangan, Metode Elemen Hingga.

PENDAHULUAN

Pipa pada awalnya digunakan untuk mengalirkan suatu fluida baik cair, gas atau campuran. Sistem pemipaan sangat penting bagi industri modern seperti industri minyak dan gas, pupuk, tambang, pengolahan air dll. Karena memiliki peran yang penting, penelitian mengenai sistem pemipaan telah banyak dikembangkan. Dalam hal disain kode-kode disain sistem pemipaan telah banyak ditawarkan contohnya seperti yang dikeluarkan oleh ASME [ref. 1].

Dewasa ini pipa banyak digunakan pula untuk struktur konstruksi bangunan misalnya untuk konstruksi reklame, tiang listrik dan lampu, tiang telepon, konstruksi gedung dll. Dipandang dari sudut tampak bangunan, penggunaan pipa memiliki nilai artistik tersendiri dibandingkan dengan penggunaan profil baja lainnya seperti profil I, C, U dll. Seperti halnya pipa yang digunakan untuk mengalirkan fluida, penggunaan pipa untuk konstruksi bangunan seringkali tidak dapat menghindari percabangan. Adanya percabangan tersebut, maka akan menimbulkan diskontinuitas geometri yang akan mengakibatkan pemusatan tegangan disekitar percabangan tersebut [ref. 3, 4, 6]. Untuk keperluan disain lazimnya dibutuhkan data faktor konsentrasi tegangan (Kt) untuk memperkirakan besarnya intensitas tegangan yang terjadi. Hal ini dimaksudkan untuk memperkirakan apakah disain yang akan dibuat aman atau tidak.

Harga Kt untuk berbagai bentuk percabangan pipa yang digunakan untuk sistem pemipaan telah banyak dipublikasikan [ref. 1, 3, 4, 6]. Harga Kt tersebut dipengaruhi oleh

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Mesin UNDIP

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Mesin UNDIP

³⁾ Staf Pengajar Jurusan Mesin UNDIP

beberapa aspek yaitu bentuk, dimensi dan jenis beban yang bekerja [ref. 7, 10, 11, 12]. Seperti telah diketahui bahwa karakteristik beban pada pipa yang digunakan untuk sistem pemipaan berupa tekanan fluida sedangkan pipa yang digunakan untuk konstruksi bangunan lebih banyak berupa beban aksial dan momen. Oleh karena karakteristik bebannya berbeda, maka harga K_t yang diperoleh dari pipa dengan beban tekanan tidak dapat dipakai untuk mengestimasi besarnya intensitas tegangan yang terjadi pada suatu percabangan pipa yang digunakan untuk konstruksi bangunan. Sayangnya informasi harga K_t untuk berbagai percabangan pipa yang digunakan untuk konstruksi bangunan belum banyak diteliti dan dipublikasikan.

Permasalahan yang hendak dipecahkan dengan penelitian ini adalah masih sedikitnya informasi/data mengenai besarnya faktor konsentrasi tegangan (K_t) untuk berbagai bentuk percabangan pipa yang digunakan untuk konstruksi bangunan. Dengan demikian tujuan utama usul penelitian ini adalah mendapatkan data besarnya faktor konsentrasi tegangan (K_t) berbagai konfigurasi percabangan pipa yang digunakan untuk konstruksi bangunan. Informasi ini sangat berguna dalam bidang perancangan sehingga akan memudahkan perancang untuk menghasilkan rancangan yang aman apabila menggunakan pipa sebagai elemen suatu struktur.

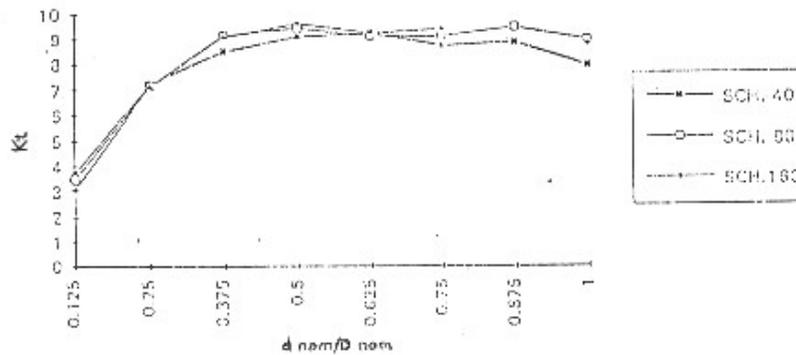
TINJAUAN PUSTAKA

Pipa pada awalnya digunakan untuk mengalirkan suatu fluida baik cair, gas atau campuran. Sistem pemipaan sangat penting bagi industri modern pada saat ini. Berbagai industri strategis menggunakan sistem pemipaan sebagai tulang punggung proses produksinya. Industri-industri tersebut antara lain adalah industri minyak dan gas, pupuk, tambang, pengolahan air dll. Karena memiliki peran yang penting dalam industri modern, penelitian mengenai sistem pemipaan dari aspek disain, analisis tegangan, mekanika fluida dll. telah banyak dikembangkan.

Perencanaan sistem pemipaan yang digunakan di industri modern lazimnya menggunakan kode-kode disain tertentu misalnya kode disain yang dikeluarkan oleh ASME yaitu ASME B3.1.3-1990 [ref. 1]. Kode-kode tersebut berisi tentang penuntun cara menghitung aspek-aspek teknis seperti kekuatan dan kekakuan disain suatu sistem pemipaan. Penggunaan kode disain yang tertentu tersebut dimaksudkan agar pihak-pihak yang berkepentingan seperti pemilik, asuransi, kontraktor, pengawas, pabrikan pipa dll. memiliki persepsi yang sama terhadap sistem pemipaan yang akan dibangun karena nilai ekonomis suatu sistem pemipaan yang tinggi.

Untuk tujuan pengaturan distribusi fluida yang dialirkan, suatu sistem pemipaan seringkali membutuhkan adanya percabangan. Adanya percabangan tersebut akan menimbulkan diskontinuitas geometri pada daerah disekitar percabangan tersebut. Hal ini akan mengakibatkan pemusatan tegangan pada daerah disekitarnya [ref. 3, 4, 6]. Pada tahapan disain untuk dapat memperkirakan besarnya intensitas tegangan disekitar percabangan lazimnya dibutuhkan data harga faktor konsentrasi tegangan (K_t). Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah disain yang akan dibuat aman atau tidak.

Data besarnya harga K_t untuk berbagai bentuk percabangan pipa yang digunakan untuk sistem pemipaan telah banyak diteliti dan dipublikasikan [ref. 1, 3, 4, 6]. Harga K_t tersebut dipengaruhi oleh bentuk, dimensi dan modus pembebanannya [ref. 7, 10, 11, 12]. Lazimnya harga K_t dipresentasikan dalam sebuah diagram antara harga K_t versus rasio diameter pipa untuk sudut percabangan dan pembebanan tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [ref. 1, 3, 4].



Gambar 1. Harga Kt Untuk Sudut Percabangan 60° vs Berbagai Rasio Diameter pipa

Pada perkembangannya, dewasa ini pipa juga banyak digunakan untuk struktur konstruksi bangunan. Misalnya untuk konstruksi reklame, tiang listrik, lampu dan telepon, konstruksi gedung dll. Penggunaan pipa untuk keperluan konstruksi bangunan tersebut tidak terlepas dari sudut tampak bangunan karena memiliki nilai artistik tersendiri dibandingkan dengan penggunaan profil baja lainnya seperti profil I, C, U dll. Seperti halnya pipa yang digunakan untuk mengalirkan fluida, penggunaan pipa untuk konstruksi bangunan seringkali tidak dapat menghindari adanya percabangan.

Dilihat dari sudut pandang disainnya, terdapat 2 perbedaan yang utama antara pipa untuk menyalurkan fluida dengan pipa konstruksi. Perbedaan disain yang pertama adalah pada percabangan pipa konstruksi, pipa utama tetap utuh tidak diperlukan adanya lubang. Perbedaan kedua adalah modus pembebanan untuk pipa konstruksi pada umumnya didominasi oleh beban aksial (tarik atau tekan) dan momen (lentur atau torsi), sedangkan modus pembebanan pipa fluida didominasi oleh tekanan internal dan eksternal. Contoh khas beban tekanan luar adalah pada sistem pemipaan bawah laut atau yang ditanam dalam tanah.

Seperti telah disebutkan dimuka bahwa besarnya harga Kt dipengaruhi oleh modus pembebanan dan geometri dari percabangan. Karakteristik beban dan geometri yang berbeda tersebut menyebabkan harga Kt yang diperoleh dari pipa fluida tidak dapat dipergunakan untuk mengestimasi seberapa besar intensitas tegangan yang terjadi pada suatu percabangan pipa yang digunakan untuk konstruksi bangunan.

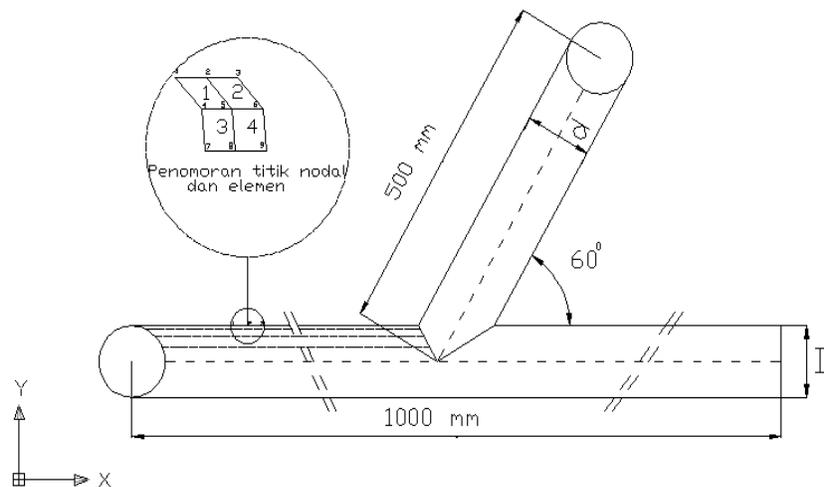
Harga Kt untuk percabangan pipa ini dapat diperoleh melalui teknik metode elemen hingga [ref. 6, 10]. Penggunaan metode ini lebih cepat, murah dan mudah dibandingkan dengan teknik eksperimentasi. Hal utama yang diperhatikan dalam penggunaan teknik ini adalah pembuatan model yang valid yang mampu mendekati perilaku sistem yang dianalisis [ref. 6,].

METODE PENELITIAN

Model pipa konstruksi dengan sudut percabangan 60° yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada gambar 2. Seperti dijelaskan diatas, pada model ini pipa utama pada percabangannya diterdapat lubang. Bahan pipa diasumsikan terbuat dari baja homogen isotropis dengan modulus elastisitas 200GPa dan rasio *poisson* 0,3. Jenis tumpuan yang diterapkan adalah tumpuan jepit disalah satu ujung pipa utama dan diujung lainnya bebas. Jenis elemen hingga yang digunakan adalah gabungan dari elemen T6 dan Q8 yang tersedia pada perangkat lunak berbasis elemen hingga yang digunakan yaitu Algor. Beban yang diterapkan pada model adalah beban aksial berupa tarik pada ujung pipa cabang.

Pemilihan jenis tumpuan tersebut diatas diasumsikan mewakili perilaku struktur saat menerima beban. Hal ini didasari pada anggapan, bahwa pada saat dikenai beban aksial pada pipa cabang, kedua ujung pipa utama sama-sama berpindah, tetapi bila hal ini menyebabkan model tidak dapat dijalankan oleh *software*. Keadaan ini diatasi dengan menganggap bahwa terdapat perbedaan besarnya perpindahan diantara kedua ujung pipa utama tersebut. Dengan demikian maka salah satu ujung pipa utama dapat dijadikan sebagai referensi bagi perpindahan ujung pipa utama lainnya. Dengan anggapan demikian maka sangat tepat apabila jenis tumpuan yang dipakai adalah jepit disalah satu ujung pipa utamanya.

Pada penelitian ini pengaruh rasio diameter pipa cabang-utama juga diteliti. Terdapat enam harga rasio diameter pipa cabang-utama yaitu 0,5; 0,625; 0,75; 0,875 dan 1. Pada penelitian ini dibuat 2 kelompok model, yaitu pipa memiliki tebal yang seragam dan pipa dengan *schedule* 40. Dalam prakteknya, ketebalan pipa cabang dan utama tidak sama besarnya tergantung *schedule* pipa yang dipilih oleh perancangannya. Meskipun demikian pada rasio diameter sama dengan 1, dalam pemilihan tebal pipa cabang dan utama dalam praktek sering dipilih dari pipa dengan tebal yang sama.



Gambar 2. Model Pipa Konstruksi Sudut Percabangan 60°

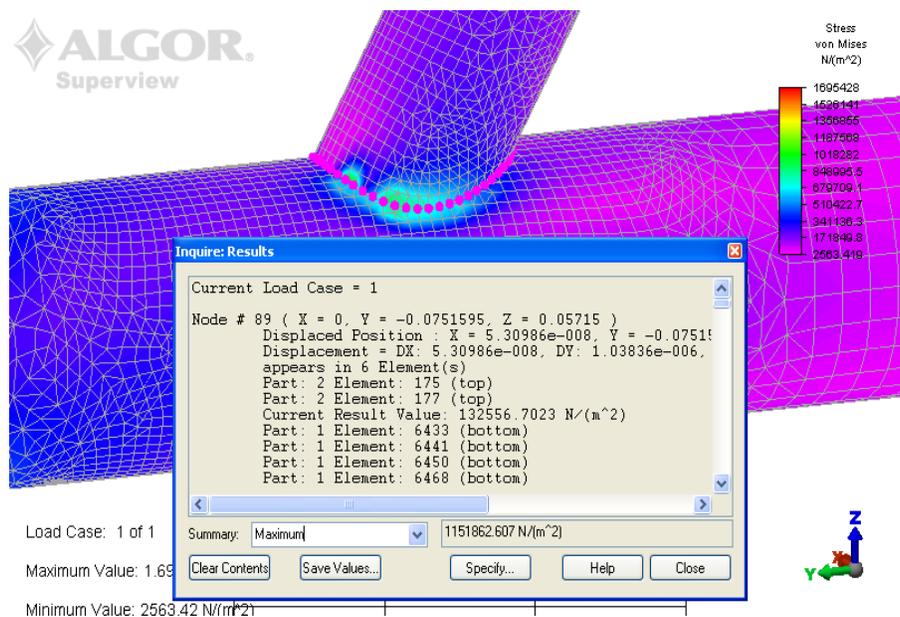
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil keluaran program berupa distribusi tegangan pada model. Selanjutnya dicari besarnya tegangan maksimum yang terjadi pada daerah percabangan dan selanjutnya dibandingkan dengan tegangan nominalnya. Besarnya tegangan nominal tersebut adalah besarnya tegangan yang diperoleh pada daerah yang jauh dari percabangan. Gambar 3 berikut menunjukkan salah satu contoh distribusi tegangan pada model.

Berdasarkan pada tegangan ekuivalen von-mises, untuk kedua kelompok model yaitu pipa dengan tebal seragam dan *schedule* 40 dapat dibuat grafik antara harga K_t vs rasio diameter cabang-utama (d/D). Gambar 4 berikut menunjukkan hasil perbandingan 2 kelompok model tersebut. Pada gambar 4 terlihat harga K_t terbesar terjadi pada model dengan $d/D = 0,5$ yaitu 11,35 untuk model dengan pipa seragam dan 8,95 untuk model pipa dengan *schedule* 40. Sementara untuk rasio d/D yang lebih besar dari 0,5, kedua kelompok model menunjukkan harga K_t yang hampir sama.

Kenyataan ini tentunya sangat menguntungkan pada analisis pipa konstruksi, yaitu untuk d/D lebih dari 0,5, maka pemodelan cukup dilakukan dengan menganggap pipa

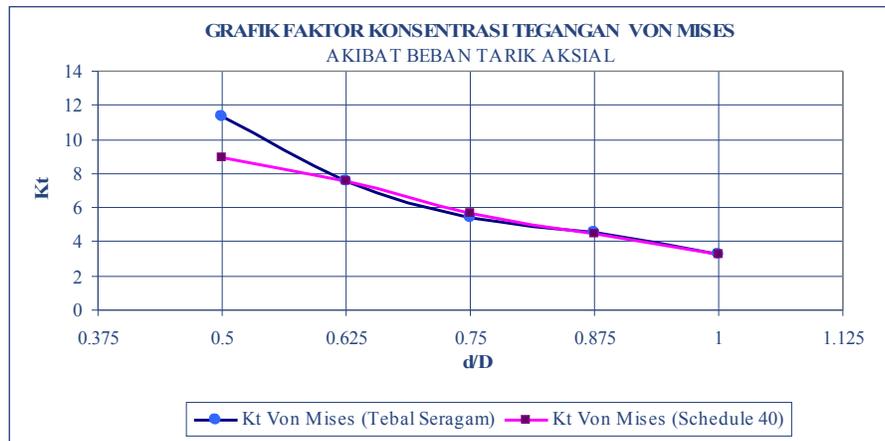
memiliki ketebalan seragam. Dilihat dari disain konservatif, pemodelan dengan tebal pipa seragam sudah memadai, karena nilai Kt yang diperoleh lebih tinggi dari pipa dengan tebal tidak seragam.



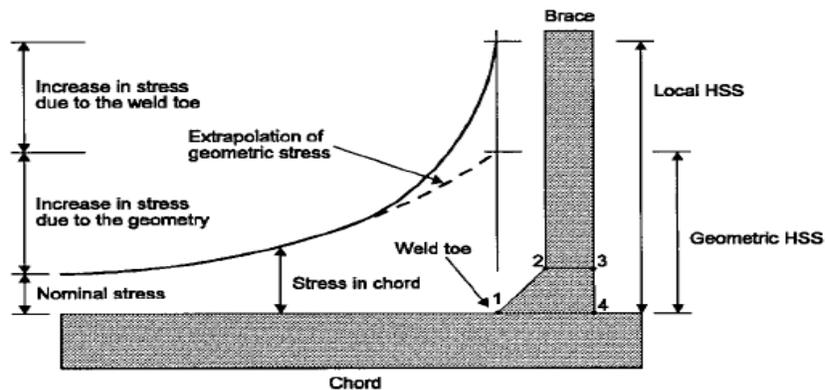
Gambar 3. Distribusi Tegangan Pada Model

Validasi model yang dibuat dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian Lee dkk (1998). Pada penelitiannya, geometri model yang diusulkan jauh lebih kompleks dibandingkan dengan model pada penelitian ini. Gambar 4 menunjukkan model yang diusulkan oleh Lee dkk (1998). Pada model tersebut, geometri pipa diperinci dengan mengikutkan geometri pengelasan. Variabel modelnya yaitu $\alpha = \frac{2L}{D}$ (rasio panjang pipa utama dan diameter pipa utama), $\beta = \frac{d}{D}$ (rasio antara diameter pipa cabang dengan pipa utama), $\gamma = \frac{D}{2T}$ (rasio antara diameter pipa utama dan tebal pipa utama), $\tau = \frac{t}{T}$ (rasio antara tebal pipa cabang dan pipa utama) dan θ (kemiringan antara sumbu pipa utama dan pipa cabang).

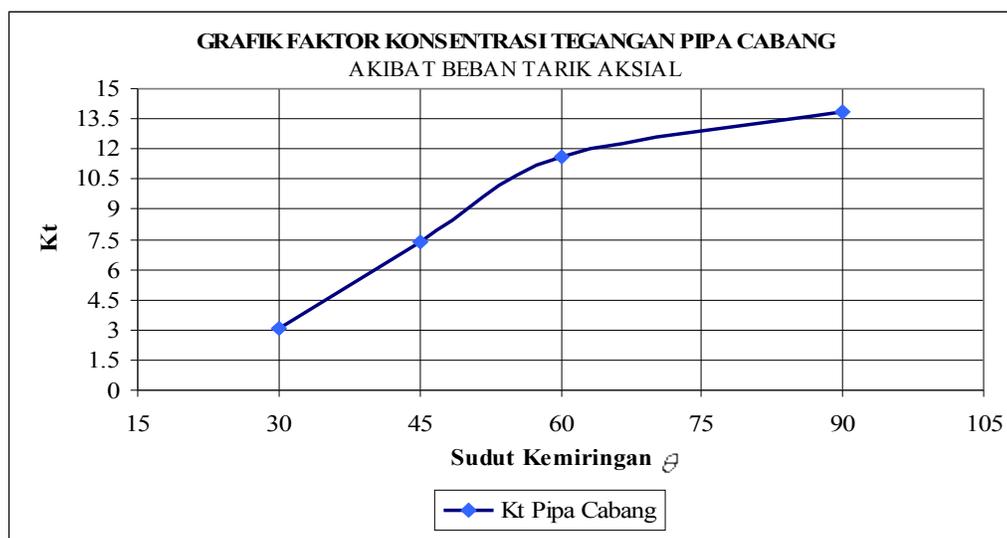
Hasil penelitian Lee dkk (1998) menunjukkan salah satu hasil untuk harga $\alpha=10$, $\beta=0,8$, $\gamma=24$, $\tau=1$ dan harga θ antara 30° sampai 90° terhadap besarnya Kt seperti ditunjukkan pada gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat pada sudut percabangan 60° , harga Kt yang diperoleh sebesar 11,16. Harga ini berbeda dengan harga yang diperoleh dari model yang diusulkan untuk rasio $d/D=0,875$ yaitu sebesar dalam penelitian ini yaitu 5,2. Perbedaan yang besar ini menunjukkan bahwa perbedaan disain pipa sangat berpengaruh besar terhadap besarnya harga Kt.



Gambar 4. Harga Kt Untuk Pipa Seragam dan Schedule 40



Gambar 5. Geometri Model Percabangan Pipa Konstruksi (Lee, dkk (1998))



Gambar 6. Besarnya Harga Kt Terhadap Sudut Percabangan (Lee, dkk (1998))

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut besarnya harga Kt untuk pipa konstruksi berbeda dengan harga untuk pipa fluida, pemodelan dengan tebal seragam menghasilkan harga Kt yang konservatif dan disain dari pipa konstruksi sangat berpengaruh besar terhadap besarnya harga Kt. Pengembangan model lebih lanjut dapat diupayakan untuk memperoleh model dimana jumlah variable disainnya diminimalkan. Alasannya adalah untuk memudahkan simulasi dan analisis pipa konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANSI/ASME B3.1.3, Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping, ASME, 1990.
2. Desai, CS, "Dasar-dasar Metode Elemen Hingga" Erlangga, Jakarta, 1996.
3. Harsokoesoemo, D; Santoso, G, "The Influence of Diameter Ratio On The Stress Concentrations Around 90° Branch Pipe Intersection Due to Internal Load", The fourth International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, 1994.
4. Harsokoesoemo, D; Suweca, I Wayan; Satrijo, D, "Experimental Investigations of Strees Distributions Around 90° Branch Pipe Connections Due to Internal Pressure", Pressure Vessel and Piping Technology Seminar, Singapore, 1993.
5. Lee, M.M.K, Morgan, M.R, Lea, F, "Stress Concentrations In Singgle – Sided Welds In Offshore Tubular Joints", Department of Civil Engineering University of Wales Swansea, 1998.
6. Natarajan, R; Widera, GEO; Aafshari, P, "A Finite Element Model to Analyze Cylinder to Cylinder Intersection", Journal of Pressure Vessel Technology, Vol 109, pp. 411-420, 1987.
7. Shiegley, Joshep; Mischei, D, "Machine Elments Design", Mc Graww Hill, New York, 1977.
8. Suprihanto, Agus, "Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Sambungan Las Tipe MC-BI-2 Akibat Beban Tarik", Majalah Rotasi ISSN 1411-027X, 2003.
9. Suprihanto, Agus, "Perhitungan Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Berbagai Sambungan Las Akibat Beban Tarik", Majalah Rotasi ISSN 1411-027X, 2004.
10. Suweca, I Wayan; Satrijo, D; "Pengalaman Dalam Pemodelan Elemen Hingga Untuk Perhitungan Distribusi Tegangan Pada Daerah Percabangan Pipa, Seminar Metode Elemen Hingga", Bandung, 1993.
11. Wibowo, DB; Sugiyanto, "Pengantar Metode Elmen Hingga", Teknik Mesin UNDIP, 1988.