

Analisis Penjalaran Retakan pada Pipa Transmisi Gas Jenis SUS 304 Menggunakan Metode Elemen Hingga

Asbar R

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111
Email : asbar.razali@yahoo.co.id*

Abstract

A method developed to predict the failure that occurs at gas transmission pipe caused by loading with peak angle crack opening is described in this paper. There are two aspects become the main consideration; the maximum crack peak angle opening for the given load and space, and the determination of the critical stress intensity factor to search at what degree of loading the crack on the gas transmission pipe experiencing creep or failure. This research uses arc-shaped tension specimen and the analysis is carried out by finite element method using ansysTM rel 5.4. In order to get the stress intensity factor, the loading is varied from 1 KN to 160 KN. Based on finite element method, the maximum stress intensity factor occurs at the range of loading of 16-160 KN, which is $5.67 \times 1016 \text{ MPa.m}^{1/2}$, and the minimum factor occurs at the range of loading of 0.5-1 KN, which is $3.76 \text{ MPa.m}^{1/2}$. The stress intensity factor result is also validated with the analytical result. The maximum crack peak angle opening occurs at the range of loading of 16-160 KN which is 250, the stage that is able to cause pipe failure.

Keywords: stress intensity factor, Maximum crack peak angle opening, finite element method, arc-shaped tension

1. Pendahuluan

Masalah retak pada suatu rancangan konstruksi, baik itu konstruksi mesin ataupun pipa transmisi gas merupakan suatu hal yang seharusnya tidak boleh terjadi namun dalam kenyataannya dilapangan keretakan seringkali terjadi pada kedua konstruksi tersebut. Kerusakan pada mesin atau pipa transmisi gas dapat disebabkan oleh pemberian beban yang terus menerus sehingga menyebabkan terputusnya ikatan antar atom suatu material pemberian beban ini atau kombinasi pembebanan menyebabkan retak tumbuh terhadap waktu, adapun beban yang diterima oleh suatu konstruksi bias berupa beban dinamik, static, thermal atau kombinasi semua pembebanan. retak yang terjadi pada dinding pipa menyebabkan keluarnya gas, banyak kasus retak yang terjadi dengan modulus dan waktu yang hampir bersamaan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Kerusakan

Data Kerusakan	Kondisi Retak	Jarak Retak dari Pusat Gas
19 Agustus 1996	Panjang retak 20cm,dengan kedalaman 0,3cm	11,4 Km
9 November 1997	Panjang retak 66cm,dengan kedalaman 0,3cm	19,8 Km
12 November 1997	Panjang retak 14cm,dengan kedalaman 0,5 cm	20,1 cm

Usaha untuk mencegah terjadinya kegagalan awal pada pipa transmisi gas telah banyak dilakukan diberbagai belahan dunia dengan metode metode yang berbeda-beda, antara lain metode energi Charpy merupakan pengujian yang sering digunakan pada industri-industri gas, namun metode ini tidak selamanya dapat digunakan terutama apabila terdapat data-data diluar variable yang telah ditentukan maka metode energi charpy tidak bisa digunakan, begitu juga dengan metode prediksi kegagalan berdasarkan nilai faktor intensitas tegangan atas pertimbangan diatas, maka analisa pencegahan retak dewasa ini banyak diarahkan menggunakan analisa metode elemen hingga, pada tahun 1994. P.E. Donoghue, M.F. kanninen,C.P.leung ,G.O. demofenti dan s .venzi[2],mengembangkan metode pencegahan retak dengan analisa pembukaan sudut puncak retak yang didasarkan pada analisa metode elemen hingga, tulisan ini merupakan pengembangan dari analisa diatas dengan metode dan analisa yang berbeda.

2. Metode Penelitian

2.1 Material

Material yang digunakan pada analisa retakan bertekanan tinggi adalah stainless stell (SUS 304)yang mengandung kurang lebih 10,5 % Cr (Chromium), 30-50% Fe(besi) , penguatan pada baja ini dilakukan dengan pemanasan material pada temperatur 19000F(10380C)minimum pada saat yang tepat, dengan proses pendinginan yang cepat dalam mendapatkan sifat mekanik yang dibutuhkan [3] sifat sifat mekanik dan komposisi kimia dari

material stainless stell SUS 304 dapat dilihat pda tabel 2 dan 3 sebagai berikut :

Tabel.2. sifat sifat mekanik dari stainless stell SUS 304

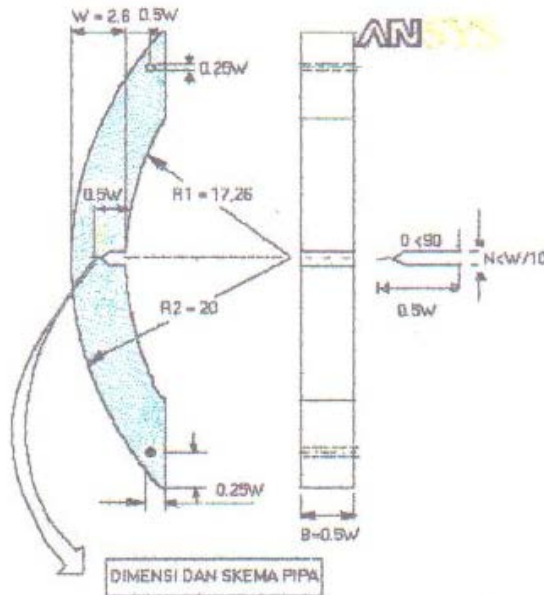
Sifat Mekanik	
Kekuatan tarik (MPa)	515
Kekuatan luluh (MPa)	205
Modulus elastisitas (Gpa)	193
Poisson ratio	0,27
Densitas (kg/m)	8000
Elongasi (mm)	40,0%

Tabel.3.komposisi kimia baja SUS 304(%)

Car bon (C)	Mag ne sium (Mn)	Si li con (Si)	Chro mium (CR)	Ni kel (Ni)	Pos For (P)	Sul Fur ((s)	Ele Men lain
0,08	2,00	1,0	18,00 - 20,00	8,0 - 10,0	0,045	0,030	0,10

2.2 Dimensi Spesimen

Model elemen hingga yang dibuat dalam analisa ini merupakan model shaped tension specimen, dua dimensi.permodelan penuh dan simetri mengacu pada standart ASTM E 309-A5 1994,maka bentuk dan dimensi serta model adalah sebagai berikut :

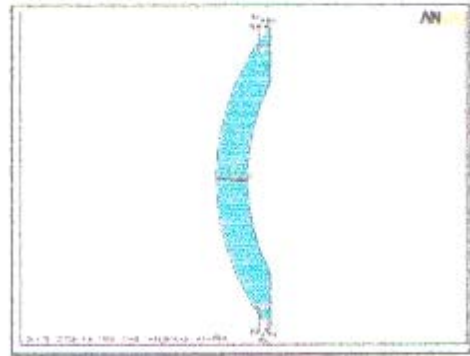


Gambar 1. Bentuk dan dimensi specimen (mm)

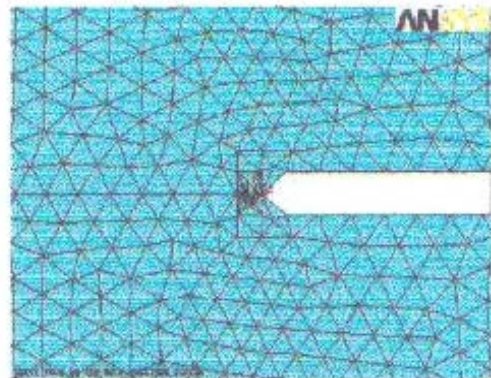
2.3. Permodelan pipa dengan elemen hingga

Model elemen hingga dibuat (gambar 2) menggunakan elemen segitiga (*plant 2, the six-node triangular solid*), ujung retak diberikan konsentrasi mesh dengan ukuran elemen $a/80$ yang terdiri dari 15180 elemen dan 21970 nodal, bagian-bagian yang menyebabkan terjadinya pergeseran dikonstrain

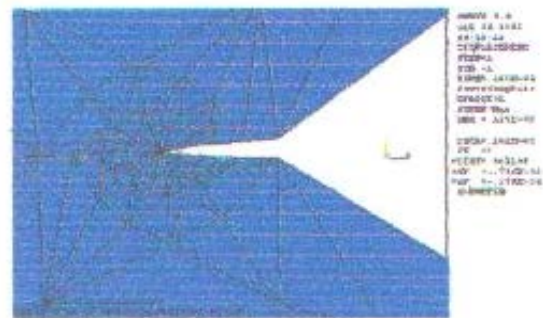
sehingga pada saat pemberian beban bentuk dan besarnya penjaralan dapat dianalisa.



(a)



(b)



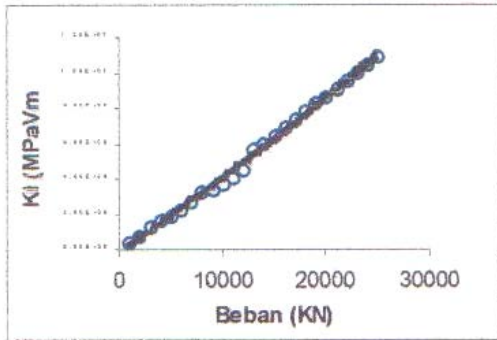
(c)

Gambar 2. Model elemen hingga ANSYS™, (a). model bentuk retak pada pipa, (b). bentuk mesh pada ujung retak, (c). bentuk bukaan ujung retak pipa transmisi gas

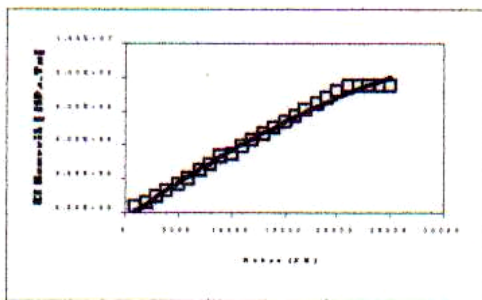
3. Hasil Analisa

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan nilai faktor intensitas tegangan diperoleh dengan dua motede, Kedua metode ini digunakan untuk menguji tingkat kevaliditasannya, nilai faktor intensitas tegangan terhadap beban, faktor intensitas tegangan terhadap waktu pengaruh pembebanan terhadap pembukaan sudut puncak retak (CTOA) dapat dilihat pada grafik sebagai berikut;

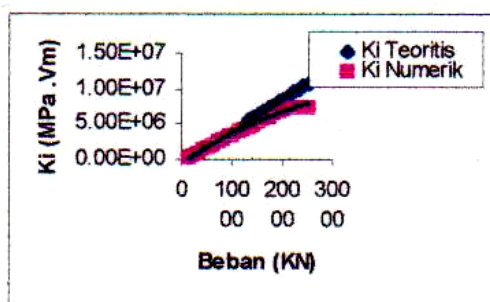
a. Faktor intensitas tegangan terhadap pembebanan.



Gambar 3. Grafik hubungan KI (MPa√m) terhadap pembebanan (KN) dengan analisa teoritis

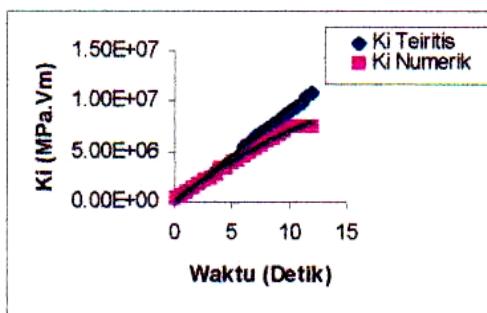


Gambar 4. Grafik hubungan KI (MPa√m) terhadap pembebanan (KN) dengan analisa numerik

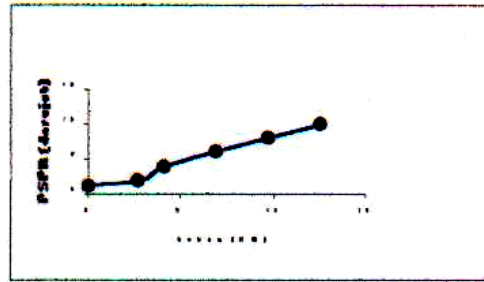


Gambar 5. perbandingan KI (MPa√m) terhadap pembebanan (KN) antara teoritis dengan numeric

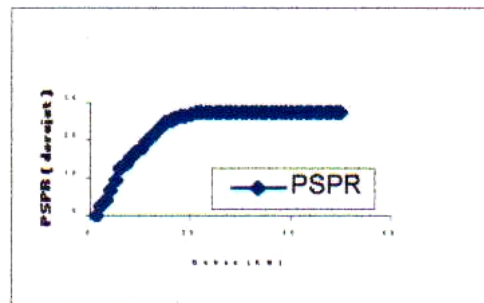
(b) Faktor Intensitas Terhadap Waktu



Gambar 6. Grafik hubungan KI (MPa√m) terhadap waktu (detik)

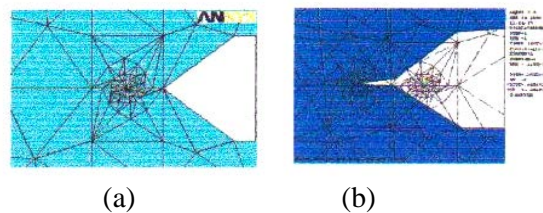


Gambar 7. Grafik Pembukaan sudut puncak retak (CTOA), terhadap pembebanan untuk beban 1 – 15 KN

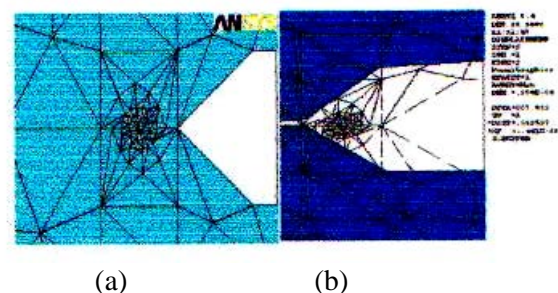


Gambar 8. Grafik pembukaan sudut puncak retak (CTOA) maksimum terhadap beban 1–100 KN

(d) Bentuk CTOA sebelum dan sesudah diberikan pembebanan



Gambar 9. Bentuk bukaan sudut puncak retak pada pembebanan 1 KN,
a. Sebelum diberikan beban
b. Sesudah diberikan beban.



Gambar 10. Bentuk Bukaan sudut Puncak retak Pada beban 10 KN
a. Sebelum dikenakan beban
b. Sesudah dikenakan beban

Tabel.4. Nilai CTOA (derajat), nilai KI (MPa \sqrt{m}) arah pergeseran nodal pada setiap pembebanan

No	Beban (KN)	Waktu (Detik)	KI numeric (MPa.m ^{1/2})	PSPR (Derajat)
1	1	1E-05	3.7697	0.027
2	2	0.5	5.56E+05	1.3
3	3	1	9.42E+05	1.78
4	4	1.5	1.32E+06	4.16
5	5	2	1.70E+06	5.67
6	6	2.5	2.07E+06	6.94
7	7	3	2.45E+06	8.3
8	8	3.5	2.83E+06	9.7
9	9	4	3.28E+06	11.1
10	10	4.5	3.39E+06	12.5
11	11	5	3.39E+06	13.894722
12	12	5.5	3.39E+06	15.285889
13	13	6	3.42E+06	16.677056
14	14	6.5	3.42E+06	18.068222
15	15	7	3.39E+06	19.459389
16	16	7.5	3.39E+06	20.850556
17	17	8	3.39E+06	22.241722
18	18	8.5	3.39E+06	23.632889
19	19	9	3.39E+06	25.2
20	20	9.5	3.39E+06	25.2
21	21	10	3.39E+06	25.2
22	22	10.5	3.39E+06	25.2
23	23	11	3.39E+06	25.8

4. Diskusi

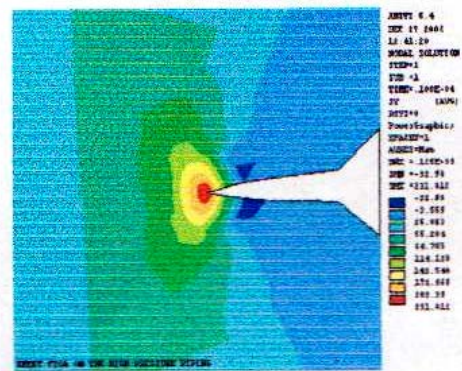
Hasil simulasi dengan MEH ANSYS™ Rel 5.4 untuk model spesimen arc-Shaped Tension akibat dari pembebanan kuasi static, menunjukkan nilai faktor intensitas tegangan terbesar pada pembebanan 22 KN – 100 KN yaitu sebesar 7,47 E06 MPa \sqrt{m} , nilai faktor intensitas tegangan kritis KIc diperoleh pada pembebanan 22 KN, nilai tersebut menjadi acuan tingkat ketangguhan retak pada suatu material. Pada keadaan tersebut retakan pada pipa transmisi gas akan mulai mengalami penjalaran dan bila pembebanan terus ditingkatkan maka pipa akan mengalami kegagalan. Sedangkan nilai faktor intensitas tegangan terkecil terdapat pada pembebanan antara 0,5KN-1KN seperti diperlihatkan pada gambar 7.

Pada gambar 9 dan 10 grafik pembebanan terhadap pembukaan sudut puncak retak (CTOA) mencapai maksimum pada saat beban 22 KN keatas yang di dapat melalui pergeseran nodal pada masing-masing ujung retak, dengan menghitung pergeseran nodal dan sumbu x dan y maka didapat nilai pembukaan sudut puncak retak kritis yaitu sebesar 27,33°, nilai ini sesuai dengan yang didapatkan oleh P.E. Donoghue dan kawan-kawan yaitu sebesar 27,4°, sedangkan pada gambar 6 dan 8 grafik faktor intensitas tegangan dengan beban dapat dikatakan

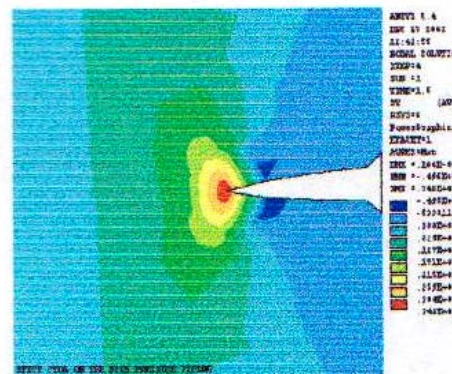
bahwa ketika nilai faktor intensitas tegangan telah maksimum, maka berapapun beban yang diberikan maka tidak akan berpengaruh lagi terhadap peningkatan nilai faktor intensitas tegangan, hal ini berarti bahwa spesimen tidak sanggup lagi menerima beban sehingga retak pada pipa akan mengalami penjalaran.

Gambar (11 s/d 29) dibawah ini menunjukkan konsentrasi tegangan pada ujung retak dan tegangan geser yang terjadi pada setiap pembebanan yang diberikan.

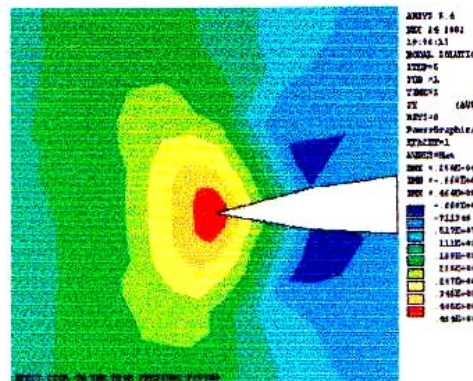
Konsentrasi tegangan pada ujung retak



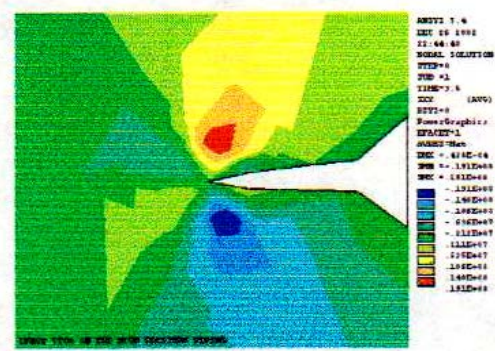
Gambar 11. Konsentrasi tegangan pada ujung retak pada beban 0,5 KN



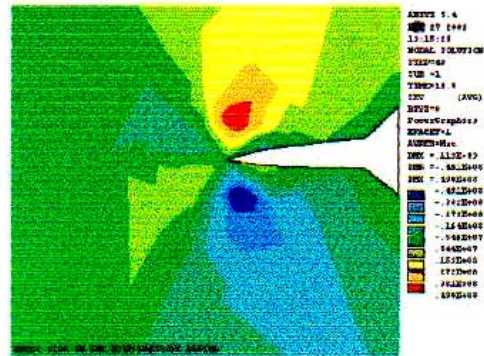
Gambar 12. Tegangan pada ujung retak pada saat beban 2 KN



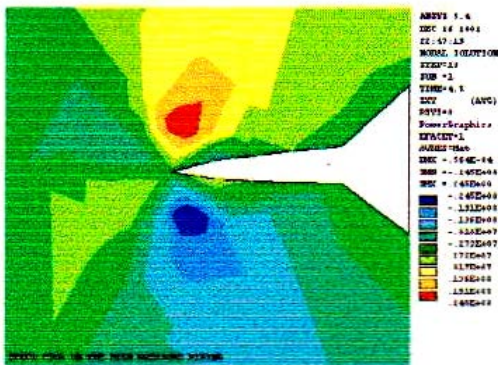
Gambar 13. Tegangan pada ujung retak pada saat beban 2,5 KN



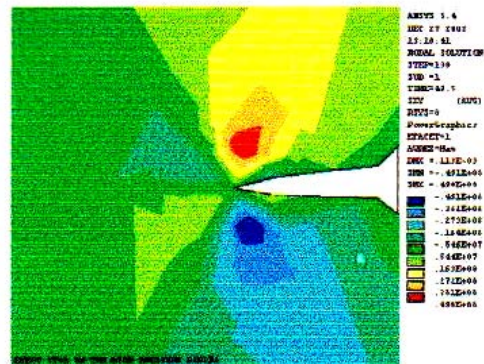
Gambar 22. Tegangan geser disekitar ujung retak pada saat beban 4 KN



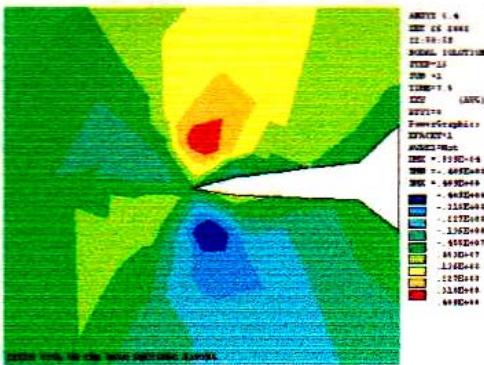
Gambar 26. Tegangan geser disekitar ujung retak pada beban 20 KN



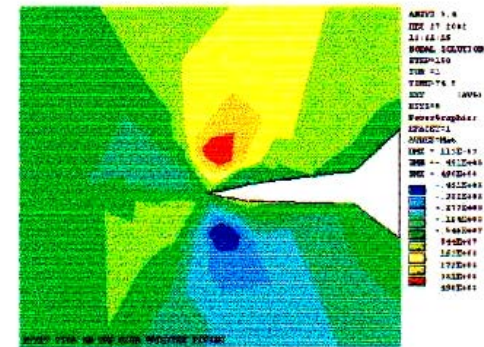
Gambar 23. Tegangan geser disekitar ujung retak pada beban 5 KN



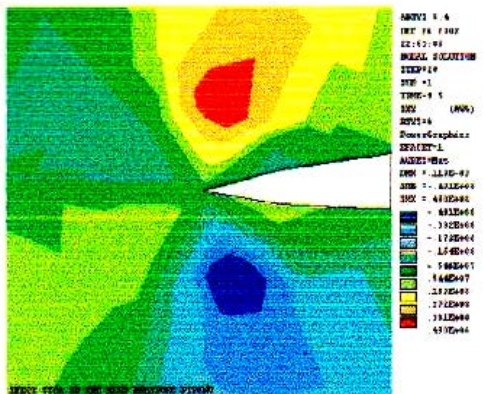
Gambar 27. Tegangan geser disekitar ujung retak pada beban 50 KN



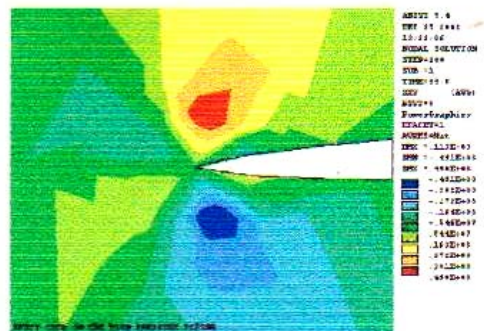
Gambar 24. Tegangan geser disekitar ujung retak pada beban 8 KN



Gambar 28. Tegangan geser disekitar ujung retak pada beban 75 KN



Gambar 25. Tegangan geser disekitar ujung retak pada beban 10 KN



Gambar 29. Tegangan geser disekitar ujung retak pada beban 100 KN

5. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses kegagalan pada pipa transmisi gas terjadi pada saat pembukaan sudut puncak retak (CTOA) maksimum yaitu sebesar $27,33^\circ$ pada pembebanan 22 KN keatas, referensi ini berguna untuk memprediksikan kegagalan pada pipa transmisi gas jenis SUS 304.
2. Faktor intensitas tegangan akan naik seiring meningkatnya beban yang diberikan dan pada saat mencapai nilai kritis maka retak akan menjalar.
3. Agar instalasi pipa gas tidak cepat mengalami kegagalan sebelum masanya pemilihan material yang sesuai dengan kondisi lingkungan sekitarnya perlu sangat diperhatikan.

Daftar Pustaka

- [1] D.K. Pratiwi dan H. Chandra, 2002, Failure Analysis on High pressure Pipe line, *Proceedings ETM*, hal 90-93.
- [2] P.E. Donoghue, M.F. kanninen, C.P. Leung, G. demofenti, S. Venzi, The development and validation of Dynamic Fracture Propagation model for gas Transmission Pipe Lines, *International Journal of pressure Vessel and Piping*, vol 70, hal 11-23.
- [3] Anderson, T.L, 1991, *Fracture Mechanics Fundamental and Application*, CRC Press, Boca Rotan Ann harbor, Boston,.
- [4] T.Y. yang, 1986, Finite element Structural Analysis, *Plane Strain Finite Element*. 9, hal 255-312,.
- [5] S. Rahman, N. Ghadiali, G. Wilkoski and N. Bonora, 1995, efes of Centered Crack and Restraint of Induced Bending Due to Pressure on the Crack Opening Area analysis of pipe, , *Fatigue and Fracture Mechanic in Pressure Vessel and Piping ASME*, PVP- Vol 304.
- [6] Peter H. O. Fischer, German R. Mayer, P.E, 1987, *Gas System Piping*, Bechtel Cooperation, San Francisco, California, hal 229-273,.
- [7] Saeed Moavani, *Finite element Analysis Theory and application with ANSYS*, New jesey, 1999.
- [8] ASTM Standart, 1996, *Metals Test Methods and Analytic Prosedures*, Vol. 3, hal 641-647.