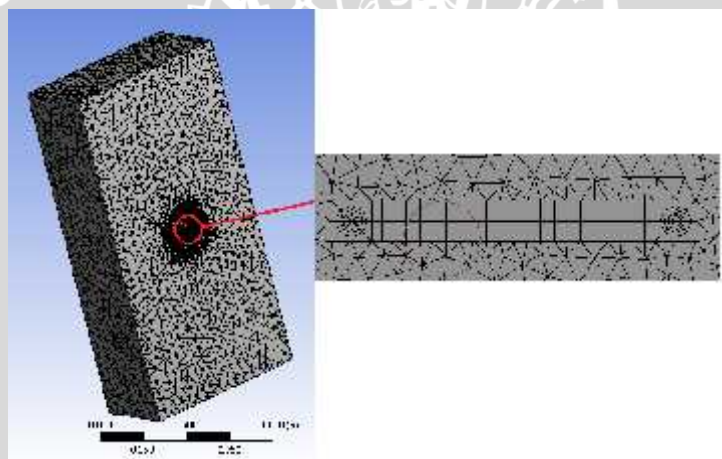


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Verifikasi Model

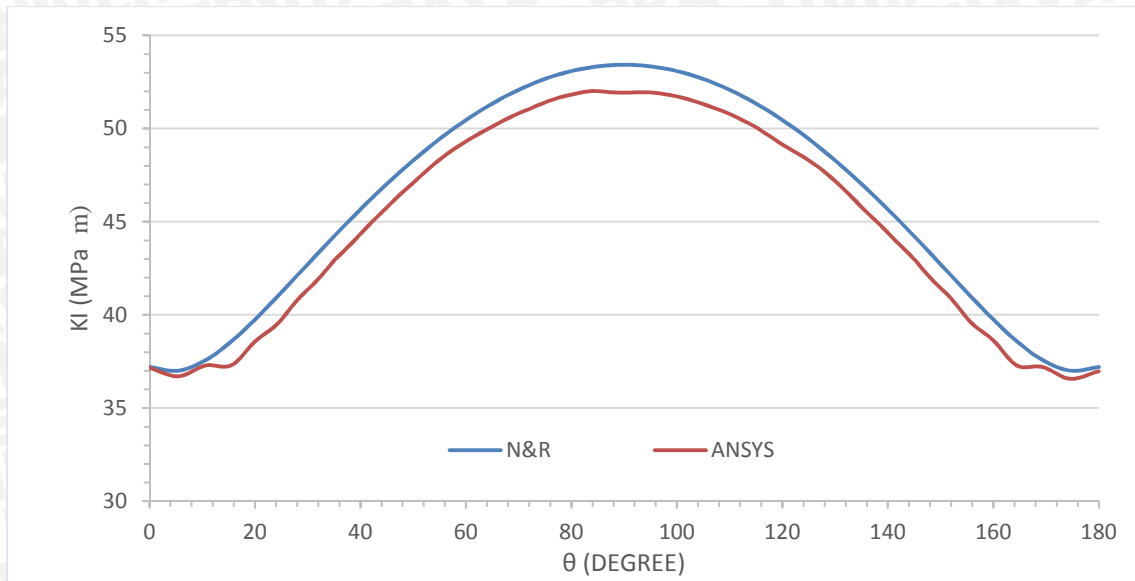
Verifikasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah cara membandingkan nilai KI hasil simulasi dan hasil perhitungan rumus Newman-Raju (Persamaan 10-17) pada kasus sederhana yaitu pelat dengan *semi-elliptical surface crack* yang dikenai beban tarik. Geometri pelat untuk pemodelan yaitu lebar ($2b$) = 1000 mm, tinggi ($2h$) = 2000 mm, tebal (t) = 500 mm, *tensile load* (T) = 100 MN. Geometri retak yang dipakai yaitu $a/t = 0.05$ dan $a/c = 0.4$. Pemodelan untuk simulasi tampak pada Gambar 4.1. Pemodelan material yang dipakai yaitu *bilinear isotropic hardening* dengan *material properties* yang sama dengan A 517 Grade F (Tabel 3.2).



Gambar 4.1 Pemodelan pada ANSYS Workbench 14.5

Verifikasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa pemodelan retak pada ANSYS Workbench 14.5 sesuai dengan teoritis yang dalam hal ini sesuai dengan rumus empiris yang pakai. Sehingga jika hasilnya sesuai maka pemodelan retak pada ANSYS Workbench 14.5 bisa dipakai untuk geometri bola.

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa kedua grafik menunjukkan kesamaan dari segi kecenderungan, KI_{max} terletak pada titik terdalam garis retak atau pada $\theta = 90^\circ$ dan distribusi KI pada rentang $0^\circ - 90^\circ$ dan $90^\circ - 180^\circ$ terlihat simetri. Selisih rata-rata antara hasil simulasi dan Persamaan Newman-Raju sebesar 2,36% dimana hasil perhitungan menggunakan Persamaan Newman-Raju relatif lebih besar dibandingkan hasil simulasi.

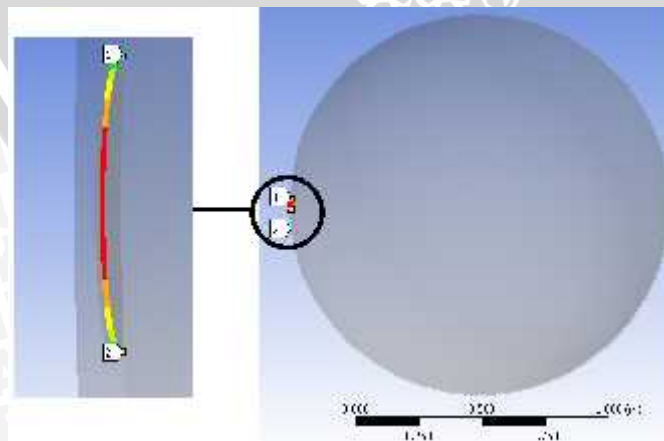


Gambar 4.2 Grafik hubungan sudut dan KI untuk perbandingan hasil ANSYS Workbench 14.5 dan Persamaan Newman-Raju

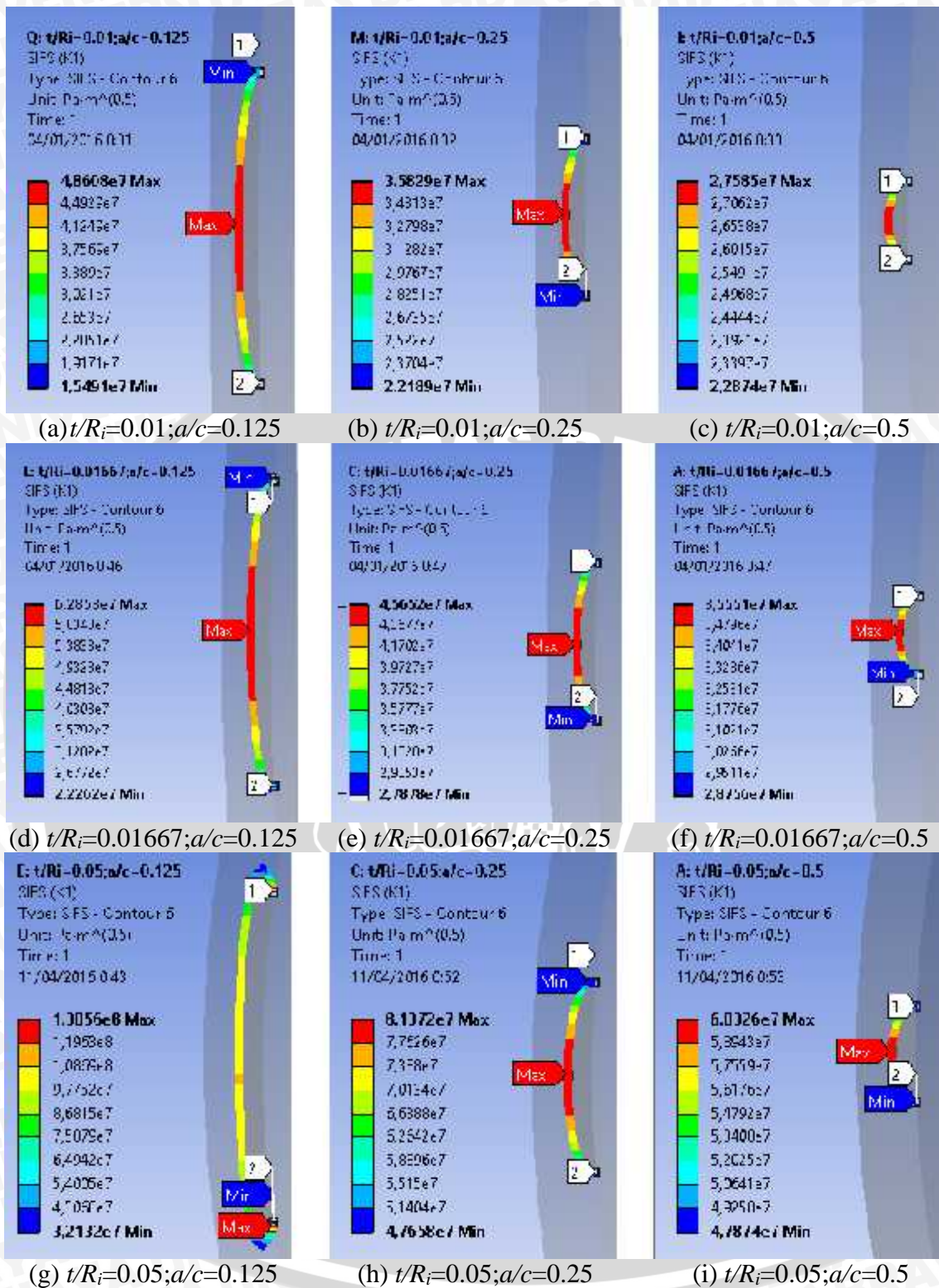
4.2 Data Hasil Simulasi

4.2.1 Kontur Distribusi *Stress Intensity Factor*

Data yang dihasilkan simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench 14.5* adalah berupa data gambar dan angka. Data *Stress Intensity Factor mode I (KI)* sepanjang garis retak akan disajikan dalam bentuk gambar dan angka yang telah dirubah menjadi grafik. Gambar 4.3 merupakan pandangan atas dari hasil simulasi, bagian yang dilingkari merupakan posisi garis retak, sedangkan angka 1 dan 2 menunjukkan titik 0 dan panjang garis retak. Data visual/gambar berupa kontur distribusi KI sepanjang garis retak untuk semua pemodelan yang sudah perbesar sehingga hanya memperlihatkan bagian garis retaknya saja dapat dilihat pada Gambar 4.4 (a-i).



Gambar 4.3 Pandangan atas dari hasil simulasi



Gambar 4.4 (a-i) Kontur distribusi KI sepanjang garis retak

Analisis data gambar dapat dilakukan dengan mencocokkan warna pada model hasil simulasi dengan warna pada legenda. Setiap warna mewakili rentang nilai KI dengan satuan SI (Pa m) yang berbeda tiap pemodelan. Warna merah menunjukkan rentang KI

paling tinggi dan keterangan *max* dan *min* menunjukkan nilai *KI* maksimal dan minimal yang terletak pada suatu titik tertentu dan bisa dilihat pada *tabular data*.

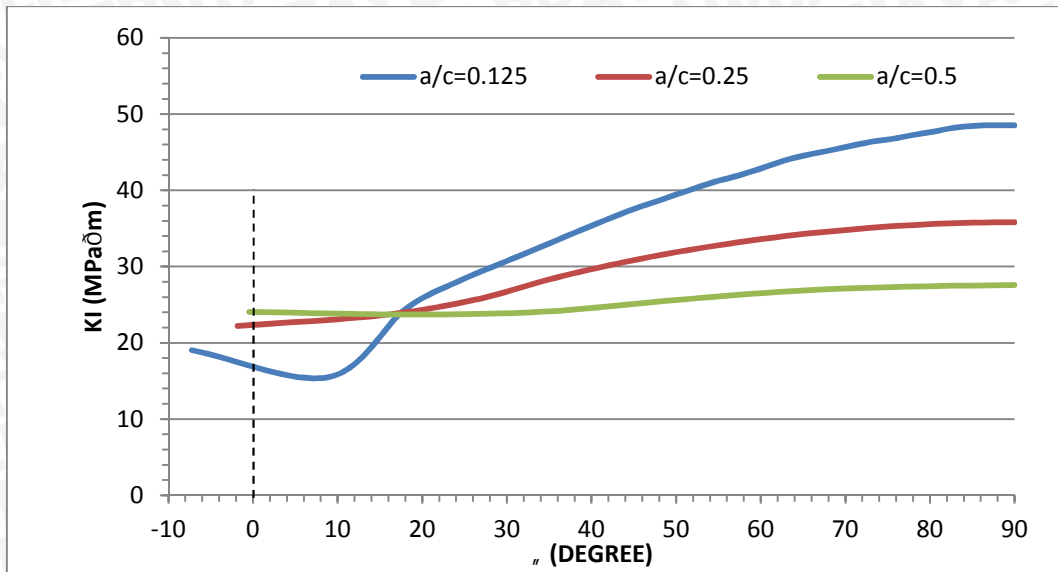
Dari keseluruhan Gambar 4.4 (a-i) menunjukkan bahwa sepanjang garis retak terdapat degradasi warna yang berarti nilai *KI* di masing-masing titik berbeda. Warna biru terletak pada titik yang dekat dengan permukaan dinding ($\alpha = 0^\circ$), semakin ke daerah dalam warna berubah sesuai dengan urutan pada legenda dimana warna merah semakin terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kedalam atau semakin besar sudut maka nilai *KI* juga meningkat, diperjelas dengan keterangan *max* yang terletak pada titik terdalam dan *min* yang terletak daerah ($\alpha = 0^\circ$). Namun, tidak berlaku untuk Gambar 4.4 (f) yang menunjukkan bahwa KI_{max} tidak berada pada titik terdalam melainkan berada di sekitar dinding *vessel* ($\alpha = \alpha_0$).

4.2.2 Grafik Distribusi *KI*

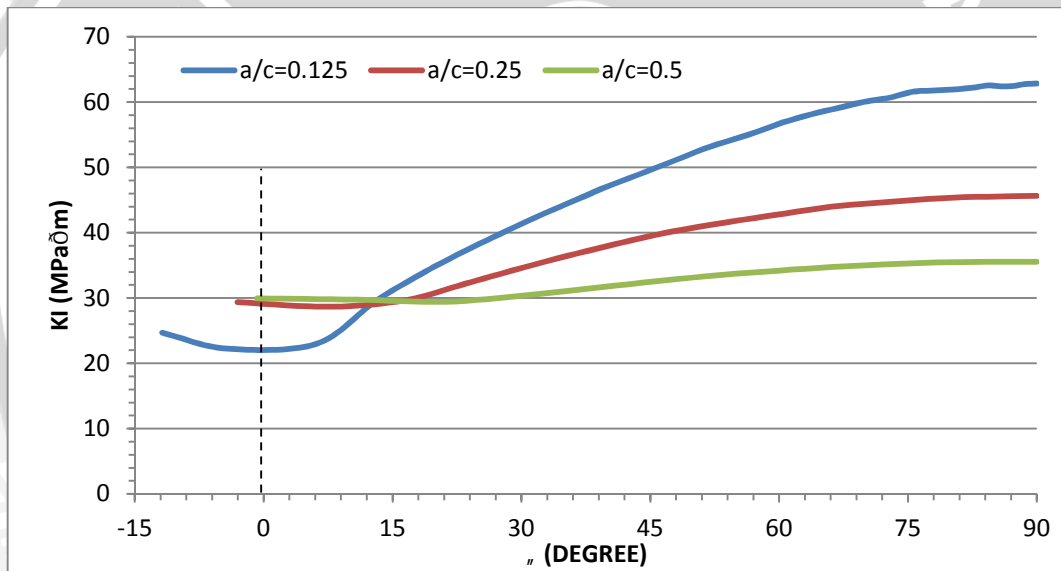
Data angka juga ditampilkan dengan melihat nilai *KI* sepanjang garis retak. Lampiran 1 menunjukkan data nilai *SIF* sepanjang garis retak untuk semua pemodelan. Diasumsikan nilai *KI* sepanjang garis retak adalah simetri antara rentang $\theta < 90^\circ$ dan $\theta > 90^\circ$ sehingga distribusi *KI* yang ditampilkan hanya dalam rentang $\alpha_0 - 90^\circ$. α_0 bernilai negatif dengan nilai bervariasi tergantung dari geometri retak dan tebal dinding.

4.2.2.1 Distribusi *KI* untuk $t/R_i = 0.01 ; 0.01667 ; 0.05$ dengan Variasi a/c

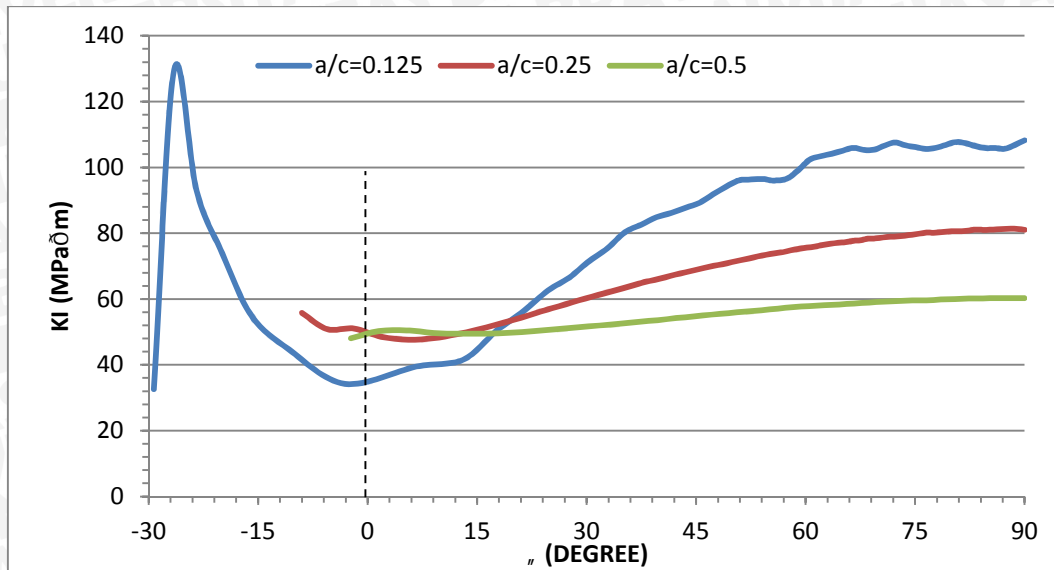
Distribusi *KI* sepanjang garis retak ditampilkan sebagai grafik hubungan antara besar sudut dan nilai *KI* dengan kedalaman retak $a/t = 0.4$ dan variasi $a/c = 0.125, 0.25$ dan 0.5 serta dengan variasi ketebalan dinding $t/R_i = 0.01, 0.01667, 0.05$. Seperti tampak pada Gambar 4.5 - 4.7, rentang *KI* yang berada pada $\alpha = 90^\circ$ untuk semua variasi retak sekitar 28 - 48 MPa \sqrt{m} untuk $t/R_i = 0.01$, sekitar 35 - 61 MPa \sqrt{m} untuk $t/R_i = 0.01667$ dan sekitar 60 - 108 MPa \sqrt{m} untuk $t/R_i = 0.05$. Untuk kasus $t/R_i = 0.01$ dan 0.01667 , nilai *KI* menurun dari titik α_0 sampai mencapai titik minimum disekitar $\alpha \approx 0^\circ$ (-3° sampai 12°). Kemudian *KI* meningkat sampai titik maksimum pada titik paling dalam dari retak $\alpha = 90^\circ$. Namun, dalam kasus tebal dinding $t/R_i = 0.05$ kecenderungan grafik sama dengan yang lain kecuali variasi $a/c = 0.125$. Pada kasus ini KI_{max} tidak berada pada $\alpha = 90^\circ$ melainkan disekitar $\alpha \approx \alpha_0$ yaitu -26° . Semakin besar perbandingan a/c maka semakin landai grafiknya atau semakin kecil selisih antara KI_{max} pada $\alpha = 90^\circ$ dan KI_{min} pada $\alpha \approx 0^\circ$.



Gambar 4.5 Grafik hubungan sudut dan KI untuk $t/R_i = 0.01$ dengan variasi a/c



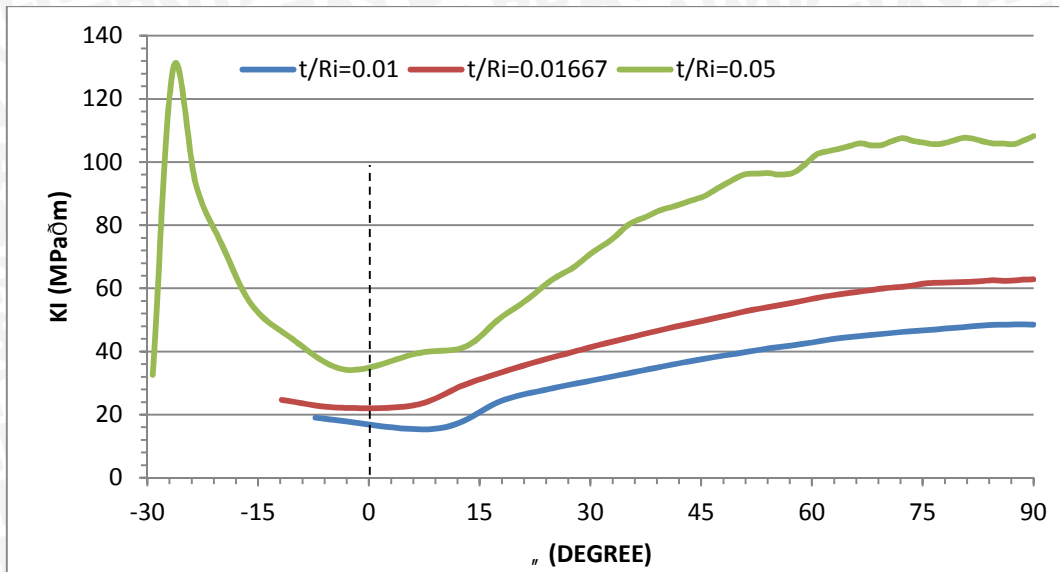
Gambar 4.6 Grafik hubungan sudut dan KI untuk $t/R_i = 0.01667$ dengan variasi a/c



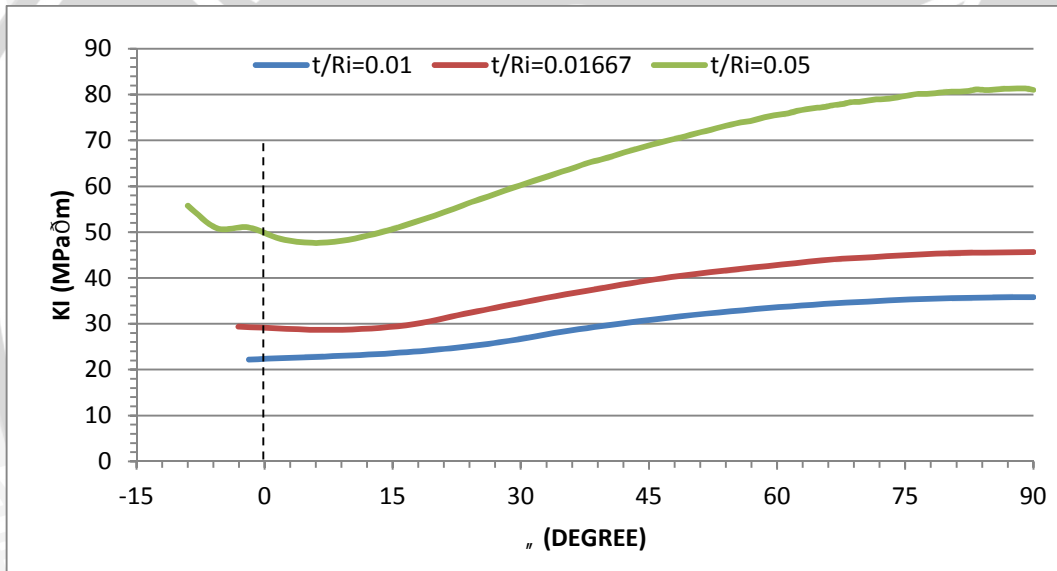
Gambar 4.7 Grafik hubungan sudut dan KI untuk $t/R_i = 0.05$ dengan variasi a/c

4.2.2.2 Distribusi KI untuk $a/c = 0.125$; 0.25 ; 0.5 dengan Variasi t/R_i

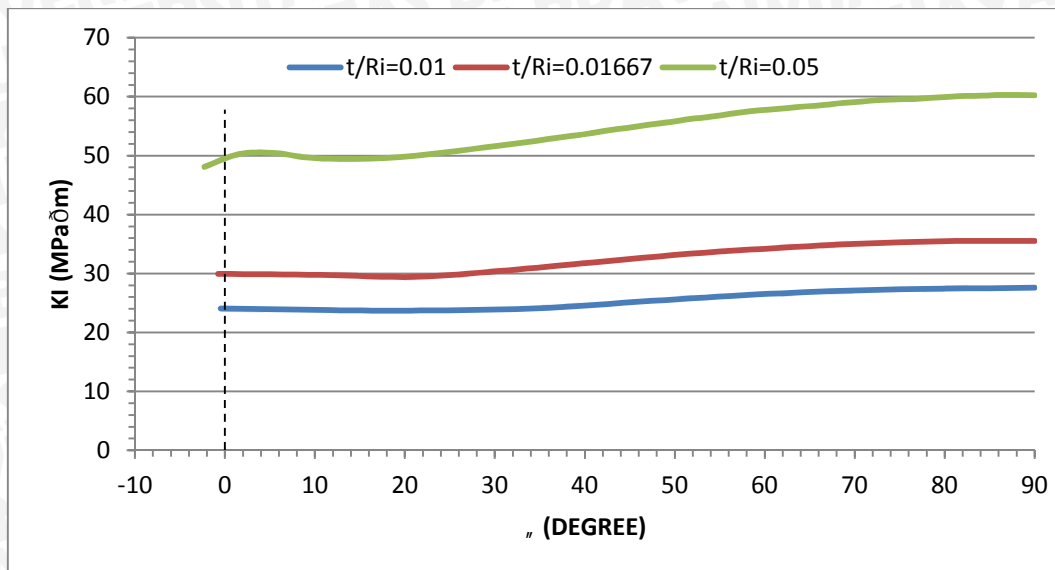
Gambar 4.8 sampai 4.10 menunjukkan perbandingan distribusi KI sepanjang garis retak variasi t/R_i dengan ukuran retak yang sama. Secara keseluruhan pada $t/R_i = 0.05$ atau tebal 37.5 mm menghasilkan distribusi KI paling tinggi, kemudian $t/R_i = 0.01667$ atau tebal 12,5025 mm dan terakhir $t/R_i = 0.01$ atau tebal 7.5mm. Gambar 4.9 dan 4.10 terlihat jelas bahwa distribusi KI akan meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan, hal ini berlaku untuk sepanjang garis retak dari rentang $\alpha_0 - 90^\circ$. Namun, untuk kasus $a/c = 0.5$ distribusi KI menurun seiring bertambahnya ketebalan hanya pada rentang $0^\circ - 90^\circ$ meskipun terdapat satu titik pada sudut 8° untuk $t/R_i = 0.01667$ yang nilai KI lebih kecil dari pada $t/R_i = 0.01$. Sedangkan untuk rentang $\alpha_0 - 0^\circ$, $t/R_i = 0.05$ memiliki distribusi KI yang lebih besar daripada $t/R_i = 0.01$ dan $t/R_i = 0.01667$.



Gambar 4.8 Grafik hubungan sudut dan KI untuk $a/c = 0.125$ dengan variasi t/R_i



Gambar 4.9 Grafik hubungan sudut dan KI untuk $a/c = 0.25$ dengan variasi t/R_i



Gambar 4.10 Grafik hubungan sudut dan KI untuk $a/c = 0.5$ dengan variasi t/R_i

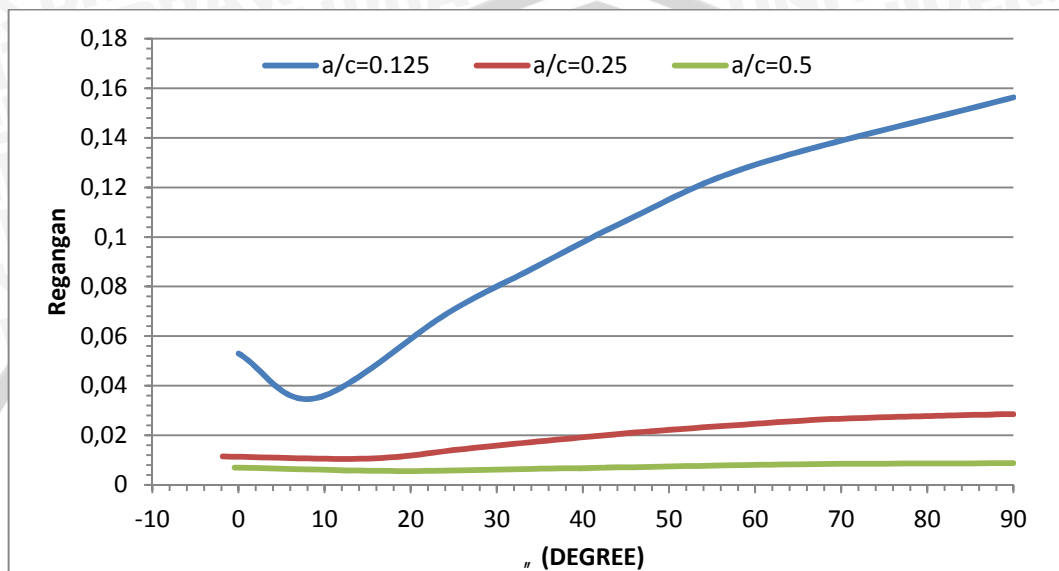
4.3 Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Geometri Retak (a/c) terhadap distribusi KI

Secara umum untuk semua pemodelan menunjukkan bahwa semakin besar sudut maka nilai KI juga semakin besar, hal ini dipengaruhi oleh nilai regangan (*equivalent plastic strain*) sepanjang garis retak itu sendiri. Dapat dilihat pada Lampiran 2 yang menunjukkan kontur regangan sepanjang garis retak untuk masing-masing pemodelan. Hampir semua pemodelan menunjukkan bahwa semakin besar sudut maka semakin besar pula nilai regangannya, terlihat dari warna kontur pada retak serta keterangan *max* dan *min*. Hal ini diperjelas pada Gambar 4.11 yang menunjukkan grafik hubungan sudut dan regangan untuk $t/R_i = 0.01$. Masing-masing a/c memberikan kecenderungan yang sama yaitu semakin besar sudut maka nilai regangan juga semakin besar.

Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa nilai KI dipengaruhi oleh nilai regangannya, maka hal ini juga berlaku ketika membandingkan distribusi KI antar a/c dengan ketebalan yang sama. Semakin besar a/c yang berarti semakin pendek retaknya maka semakin kecil distribusi KI atau selisih nilai KI_{max} dan KI_{min} semakin kecil sehingga grafiknya semakin landai. Hal ini dikarenakan nilai regangan antar a/c dengan ketebalan yang sama juga menunjukkan hal yang sama dengan distribusi KI . Jadi untuk membuktikan bahwa nilai regangan antar a/c serupa dengan KI adalah dengan melihat distribusi regangan untuk pemodelan yang sama seperti pada Gambar 4.11 atau secara sederhana dengan menghitung selisih regangan maksimum dan minimum.

Misalkan dengan membandingkan distribusi regangan antar a/c dengan $t/Ri = 0.01$. Berdasarkan Gambar 4.11 terlihat bahwa semakin besar nilai a/c maka grafiknya akan semakin melandai karena selisih antara nilai regangan maksimum dan minimum semakin kecil. Hal ini juga serupa dengan kecenderungan grafik distribusi KI yang lain khususnya untuk variasi yang sama yaitu pada Gambar 4.5.



Gambar 4.11 Grafik hubungan sudut dan regangan untuk $t/Ri = 0.01$ dengan variasi a/c

Tampak pada Tabel 4.1 yang menunjukkan selisih regangan maksimum dan minimum untuk masing-masing a/c pada $t/Ri = 0.01$. Dari data tersebut terlihat bahwa semakin besar a/c maka semakin kecil pula selisih nilai regangan maksimum dan minimum.

Tabel 4.1 Data regangan maksimum dan minimum untuk masing-masing a/c pada $t/Ri = 0.01$

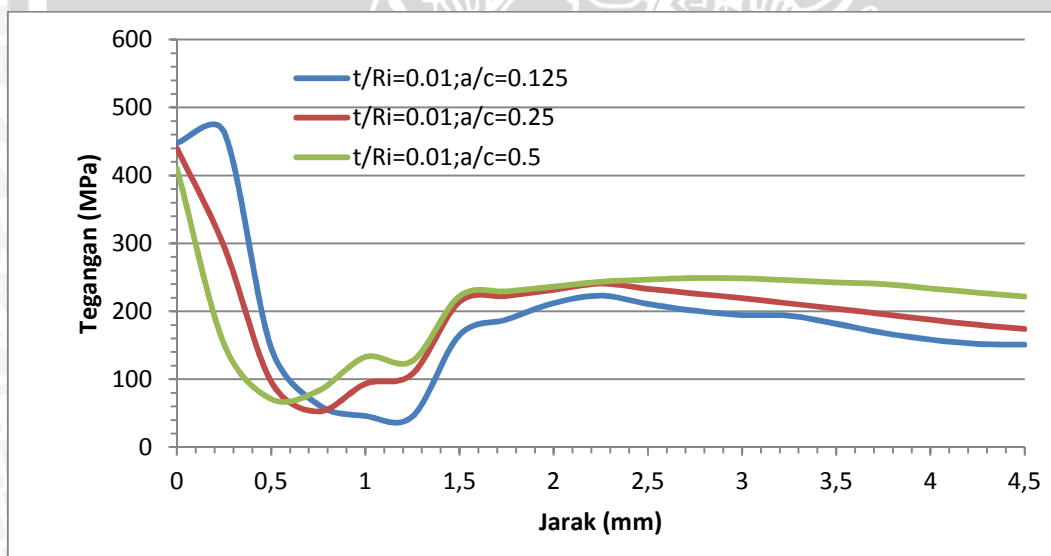
a/c	Regangan Maksimum	Regangan minimum	Selisih (maks – min)
0.125	0.16612	0.034878	0.131242
0.25	0.028535	0.010562	0.017973
0.5	0.0087108	0.0054617	0.0032491

Tegangan disekitar retak juga berpengaruh terhadap distribusi KI , dalam hal ini tegangan yang dipakai adalah *equivalent stress* (*Von-Mises*). Distribusi tegangan masing-masing pemodelan dapat dilihat pada Lampiran 3 dan 4. Lampiran 3 menunjukkan kontur

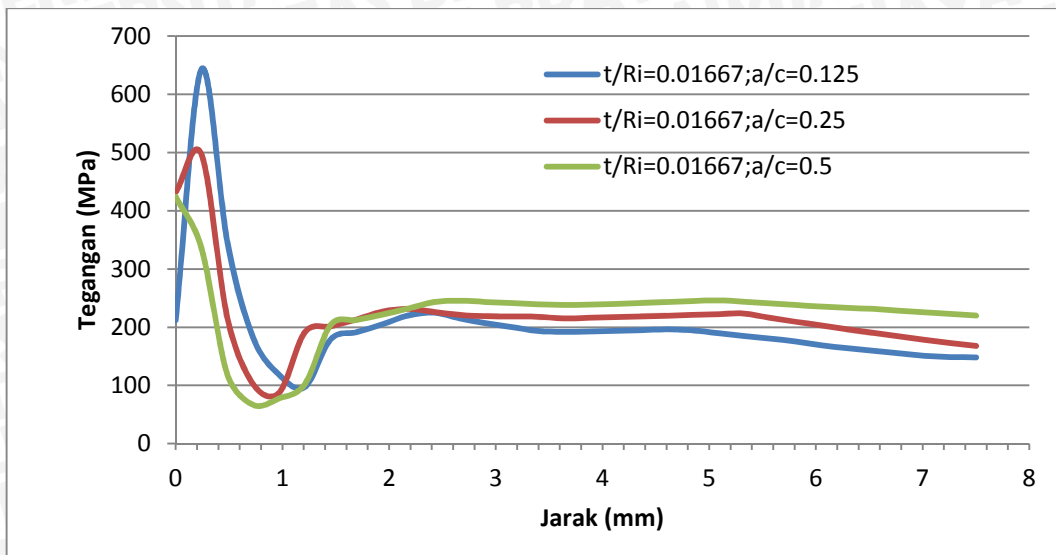
distribusi tegangan pada daerah sekitar sepanjang garis retak dan Lampiran 4 menunjukkan kontur distribusi tegangan di depan ujung retak $\theta = 90^\circ$.

Sedangkan untuk tegangan sekitar retak secara kuantitatif diwakili dalam bentuk grafik distribusi tegangan didepan ujung retak pada $\theta = 90^\circ$ sampai titik yang berada pada permukaan luar dinding. Hal ini bisa dilihat pada Lampiran 5 yang menunjukkan data distribusi tegangan di depan ujung retak pada $\theta = 90^\circ$. Sehingga distribusi tegangan yang disajikan belum bisa menjelaskan alasan semakin besar sudut maka semakin besar nilai K_I , hanya terbatas pada satu titik yaitu pada $\theta = 90^\circ$.

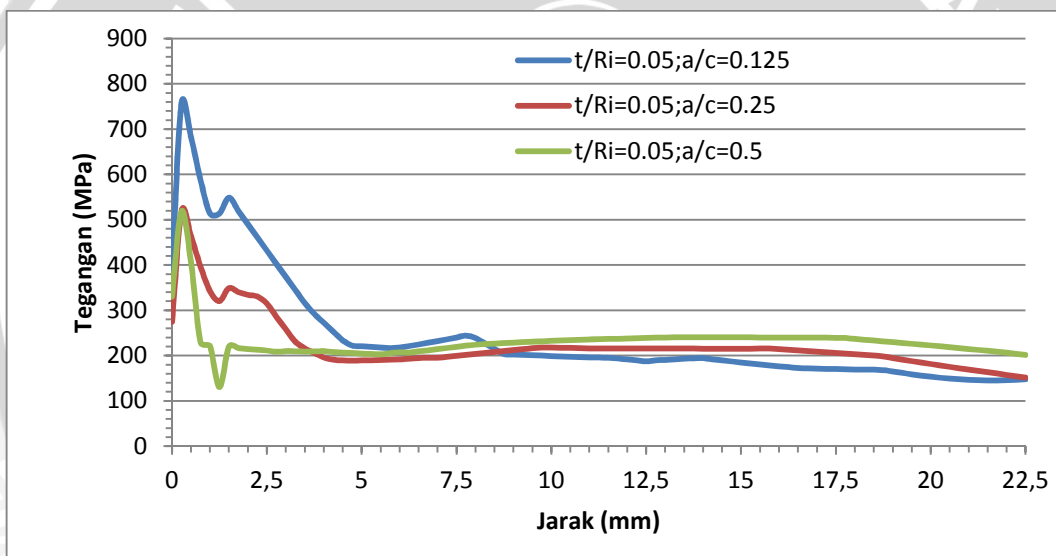
Semakin besar a/c maka semakin kecil distribusi K_I sepanjang garis retak terutama pada titik terdalam ($\theta = 90^\circ$), hal ini dikarenakan pengaruh dari tegangan di depan titik tersebut. Seperti tampak pada Gambar 4.12 - 4.14, secara umum semakin besar a/c maka distribusi tegangan di depan ujung retak juga semakin menurun dari titik nol sampai perpotongan garis yang kemudian posisinya menjadi terbalik. Perpotongan garis grafik untuk setiap t/R_i yaitu 0.6 mm untuk $t/R_i = 0.01$, 1 mm untuk $t/R_i = 0.01667$ dan 6.5 untuk $t/R_i = 0.05$



Gambar 4.12 Grafik hubungan jarak dan tegangan untuk distribusi tegangan didepan ujung retak ($\theta = 90^\circ$) pada $t/R_i = 0.01$ dengan variasi a/c



Gambar 4.13 Grafik hubungan jarak dan tegangan untuk distribusi tegangan didepan ujung retak ($\alpha = 90^\circ$) pada $t/R_i = 0.01667$ dengan variasi a/c



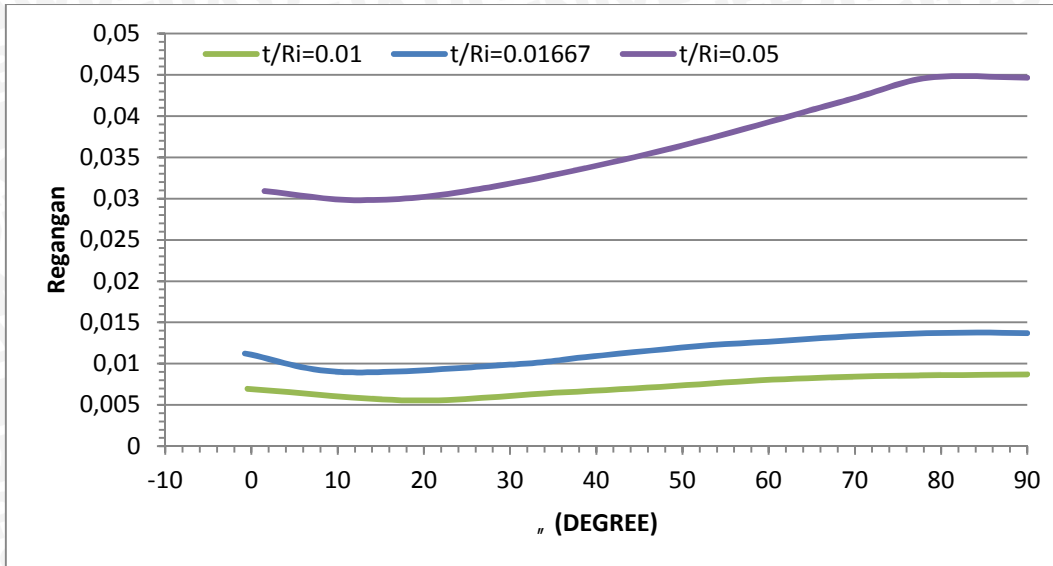
Gambar 4.14 Grafik hubungan jarak dan tegangan untuk distribusi tegangan didepan ujung retak ($\alpha = 90^\circ$) pada $t/R_i = 0.05$ dengan variasi a/c

4.3.2 Pengaruh Tebal Dinding (t/R_i) terhadap Distribusi K_I

Pada dasarnya setiap ketebalan dengan a/c yang sama menghasilkan tingkat distribusi K_I yang hampir sama, hal ini di tandai dengan kecenderungan grafik yang sama hanya tingkat nilai yang berbeda seperti tampak pada Gambar 4.8 – 4.10. Hal ini terjadi juga pada nilai regangan, misalkan dengan membandingkan distribusi regangan dengan $a/c = 0.5$ dengan variasi t/R_i seperti pada Gambar 4.15.

Dari Gambar 4.15 terlihat bahwa kecenderungan grafik untuk masing-masing t/R_i terlihat sama, meskipun untuk $t/R_i = 0.05$ lebih sedikit menanjak dibanding $t/R_i = 0.01$ dan 0.1667 serta jarak grafik antara $t/R_i = 0.01$ dan 0.1667 lebih pendek dibanding $t/R_i = 0.05$

dikarenakan selisih ketebalan yang memang tidak terlalu jauh dibandingkan $t/Ri = 0.05$. Hal ini juga terjadi pada distribusi KI untuk $a/c = 0.5$ pada Gambar 4.10 dimana jarak garis grafik untuk $t/Ri = 0.01$ dan 0.1667 memang lebih pendek dibanding $t/Ri = 0.05$.



Gambar 4.15 Grafik hubungan sudut dan regangan untuk $a/c = 0.5$ dengan variasi t/Ri

