

Simulasi Perambatan Retak pada Baja dan Aluminium Akibat Pembebanan Statis dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Nimba Sharon Lande, Mas Irfan P. Hidayat dan Wikan Jatimurti
Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: irfan@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Mengetahui mekanisme terjadinya retakan membantu industri untuk menghindari kerugian. Penelitian ini dilakukan dengan bentuk simulasi berbasis metode elemen hingga, dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh jenis material dan pengaruh lubang pada spesimen terhadap perambatan retak. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah jumlah lubang, posisi lubang dan jenis material, yaitu AISI 1020 dan AA 2024 – T3. Hasil dari penelitian ini berupa kekuatan spesimen terhadap perambatan retak dengan membandingkan faktor intensitas tegangan (K). K terkecil pada spesimen satu, dua, dan empat lubang adalah $8,23 \times 10^6$ MPa.mm^{0.5}, $6,96 \times 10^6$ MPa.mm^{0.5} dan $5,96 \times 10^6$ MPa. Semakin banyak lubang maka semakin tinggi kekuatan spesimen, dengan perbandingan K pada spesimen dua lubang dan empat lubang yang sejenis sebesar $6,96 \times 10^6$ MPa.mm^{0.5} dan $5,96 \times 10^6$ MPa.mm^{0.5}. AA 2024 – T3, dengan K senilai $3,94 \times 10^6$ MPa.mm^{0.5}, memiliki ketahanan terhadap retak lebih tinggi dari AISI 1020, dengan K senilai $9,95 \times 10^6$ MPa.mm^{0.5}.

Kata Kunci—Elemen Hingga, Lubang, Mekanisme Rambatan, Perambatan Retak.

I. PENDAHULUAN

RETAK merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya kegagalan pada sebuah material. Sehingga merupakan kewajiban bagi industri untuk mengetahui mekanisme perambatan retak untuk menghindari kerugian. Ketahanan material terhadap beban tentu berbeda-beda, oleh karena itu industri perlu mengklasifikasi material yang digunakan, untuk meningkatkan *lifetime* demi meningkatkan efektivitas penggunaan material tersebut. Retak disebabkan oleh dua jenis beban, yaitu beban statis dan dinamis. Kegagalan biasanya terjadi saat level tegangan dibawah *yield strength* material. Semakin besar amplitudo pembebanan maka semakin cepat retak merambat [1]. Ada tiga fase di dalam kerusakan yaitu: pengintian retak (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*), dan patah statik (*fracture*). Kegagalan material terjadi disebabkan adanya cacat atau retakan dan juga adanya pembebanan. Retak yang terjadi akan semakin bertambah panjang dan retakan ini akan berpengaruh terhadap kekuatan struktur suatu material [2].

Dari penelitian sebelumnya, diketahui bahwa lubang dapat mempengaruhi arah perambatan retak pada sebuah plat. Lubang dapat membuat arah rambatan retak menjadi terdefleksi. Lubang pada sebuah plat juga dapat mempengaruhi kekuatan dari plat tersebut, dimana lubang mempengaruhi nilai faktor intensitas tegangan di daerah sekitar ujung retak [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lubang dan posisi lubang terhadap kekuatan spesimen pada jenis material yang yang berbeda, yaitu AISI 1020 dan

AA 2024 – T3, yang mengalami pembebanan statis dengan menggunakan metode elemen hingga. Untuk spesimen permodelan yang digunakan dibuat dengan aplikasi *SolidWorks*, sedangkan untuk permodelan rambatan retak menggunakan aplikasi *ANSYS Workbench*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Material

Pada penelitian ini digunakan dua jenis material yang dibandingkan hasil simulasinya tentang pengaruh jenis material ketahanan terhadap perambatan retak, yaitu AA 2024 - T3 dan AISI 1020. Sedangkan untuk menganalisis simulasi perambatan retak terhadap lubang digunakan material *structural steel*, yang merupakan material standar dari *software* yang digunakan. Adapun sifat mekanik dari material tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1.
Sifat Mekanik AA 2024 – T3

| Mechanical Properties | Metric |
|---------------------------|------------------------|
| Density | 2780 kg/m ³ |
| Ultimate Tensile Strength | 483 MPa |
| Yield Strength | 345 MPa |
| Poisson's Ratio | 0.33 |
| Modulus of Elasticity | 73.1 GPa |

Tabel 2.
Sifat Mekanik AISI 1020

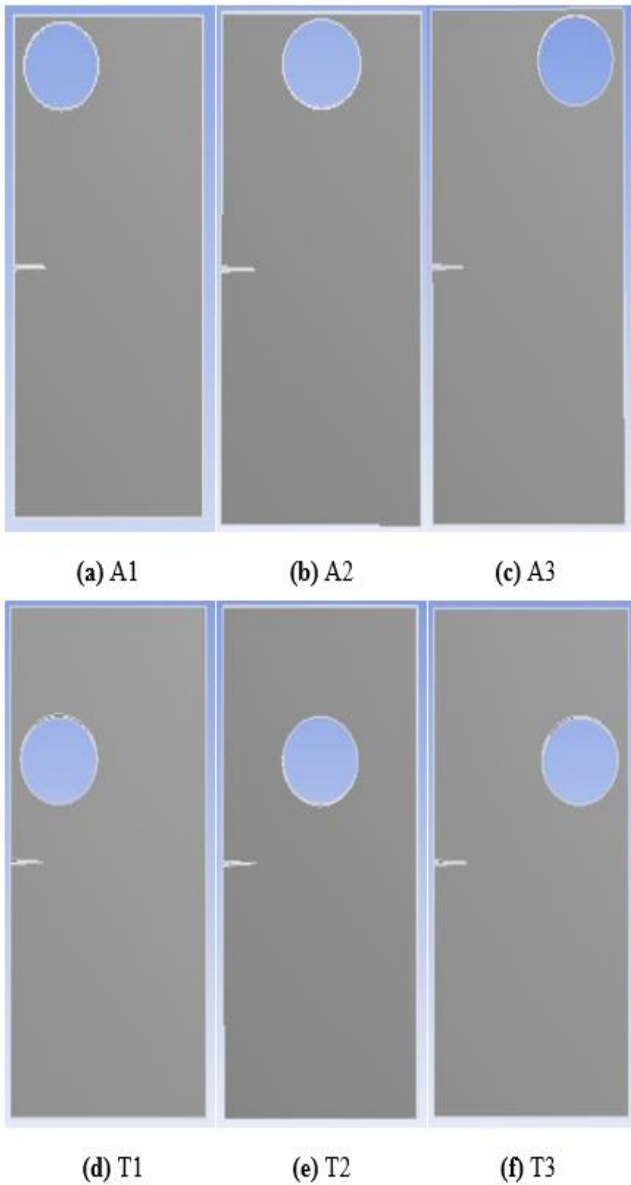
| Mechanical Properties | Metric |
|---------------------------|------------------------|
| Density | 7870 kg/m ³ |
| Ultimate Tensile Strength | 420 MPa |
| Yield Strength | 350 MPa |
| Poisson's Ratio | 0.29 |
| Modulus of Elasticity | 186 GPa |

Tabel 3.
Sifat Mekanik Structural Steel (1998 ASME BPV Code)

| Mechanical Properties | Metric |
|---------------------------|------------------------|
| Density | 7850 kg/m ³ |
| Ultimate Tensile Strength | 483 MPa |
| Yield Strength | 345 MPa |
| Poisson's Ratio | 0.3 |
| Modulus of Elasticity | 200 GPa |

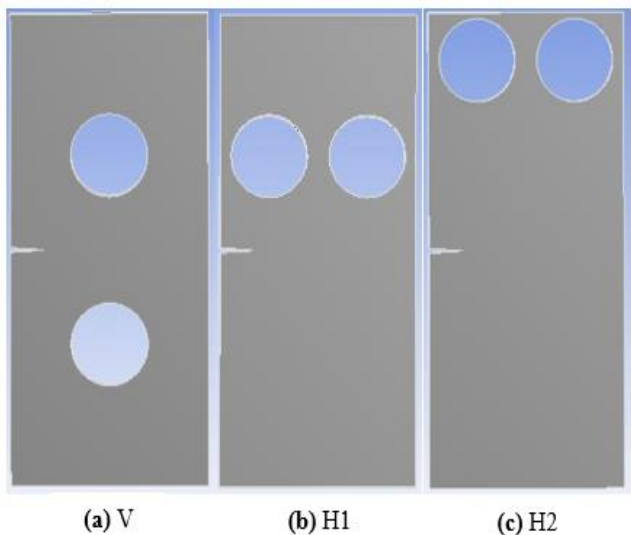
B. Geometri Spesimen

Penelitian ini dilakukan pada spesimen dengan variasi jumlah lubang dan posisi lubang, dibuat dengan menggunakan *software SolidWorks 2016*. Ukuran semua spesimen sama, yaitu panjang 200 mm, lebar 90 mm, dan tebal 6 mm, dengan ukuran semua lubang sama, yaitu berjari-jari 17.5 mm.



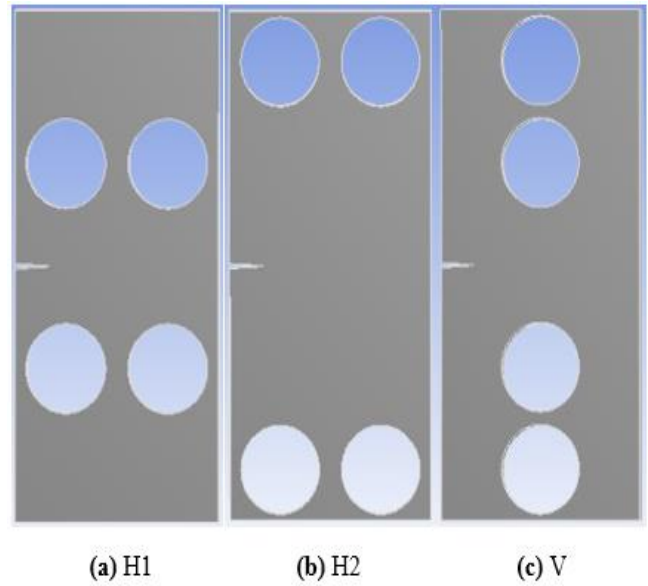
Gambar 1. Spesimen Satu Lubang

Gambar 1 merupakan spesimen dengan satu lubang, dengan posisi lubang A1 di kiri atas, A2 di tengah atas, A3 di kanan atas, T1 di kiri tengah, T2 di tengah-tengah, T3 di kanan tengah.

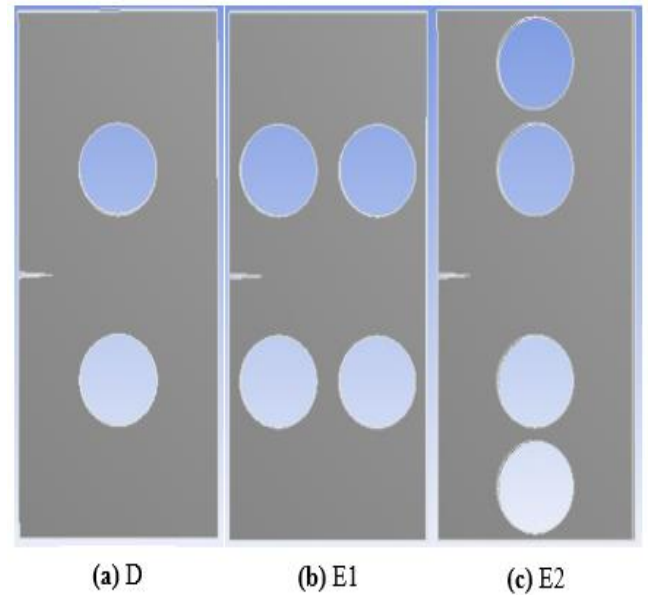


Gambar 2. Spesimen Dua Lubang

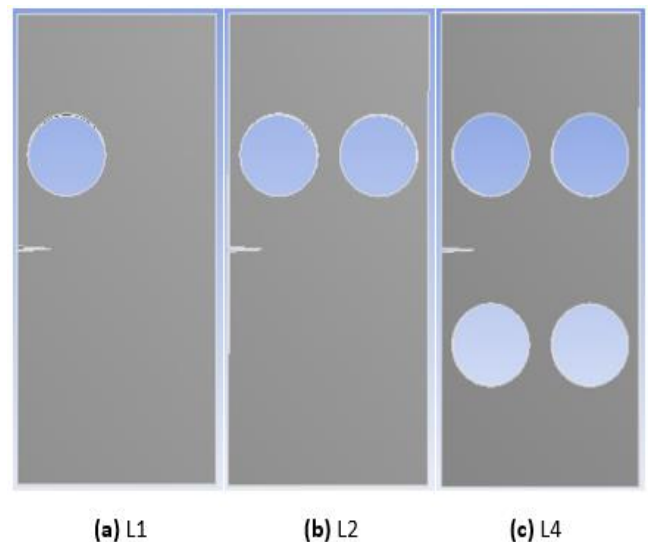
Gambar 2 merupakan spesimen dengan dua lubang, dengan bentuk spesimen V lubang berseberangan, spesimen H tidak berseberangan.



Gambar 3. Spesimen Empat Lubang



Gambar 4. Spesimen Variasi Jumlah Lubang



Gambar 5. Spesimen Variasi Material

Gambar 3 merupakan spesimen dengan empat lubang, dengan bentuk spesimen H lubang horizontal dan spesimen V lubang vertical.

Gambar 4 merupakan spesimen yang digunakan untuk menganalisis pengaruh jumlah lubang terhadap kekuatan spesimen

Gambar 5 merupakan spesimen yang digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi material terhadap kekuatan spesimen.

C. Analisis Perambatan Retak

Permasalahan yang akan dianalisis pada penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

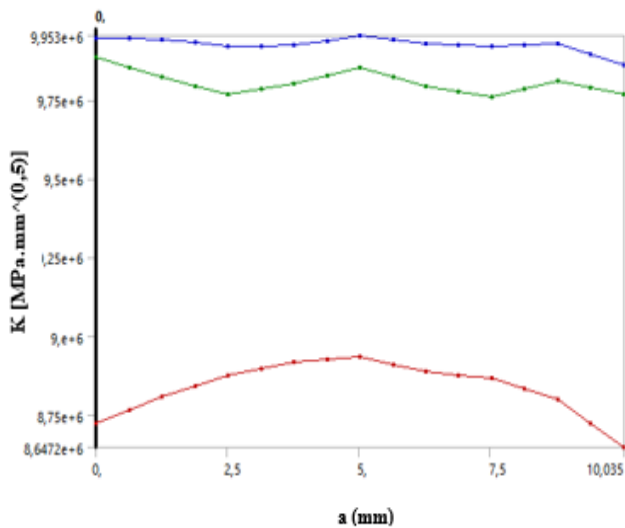
Tabel 4.
Analisis Permasalahan

| Analisis | Modul | Input | Output |
|-------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Pertumbuhan Retak | Static Structural | Mechanical Properties, Displacement | Stress Intensity Factor |

III. HASIL DAN ANALISA

A. Pengaruh Posisi Lubang terhadap Kekuatan Spesimen

Untuk membandingkan kekuatan tiap spesimen, digunakan parameter faktor intensitas tegangan (K) maksimum, yang didapatkan dari hasil simulasi seperti pada Gambar 6. Dimana K berbanding terbalik dengan kekuatan spesimen, semakin rendah nilai K maka semakin tinggi kekuatan spesimen tersebut [4]. Retakan yang merambat mencari jalur dengan hambatan paling kecil (atau jalur dengan kekuatan pendorong maksimum) dan tidak perlu terbatas pada bidang awalnya, dimana faktor intensitas tegangan merupakan parameter yang berbanding lurus dengan kekuatan pendorong retakan [5].



Gambar 6. Hasil Simulasi *Fracture Tool* Berupa Grafik Faktor Intensitas Tegangan (K) terhadap Panjang Retak (a)

1) Simulasi Satu Lubang

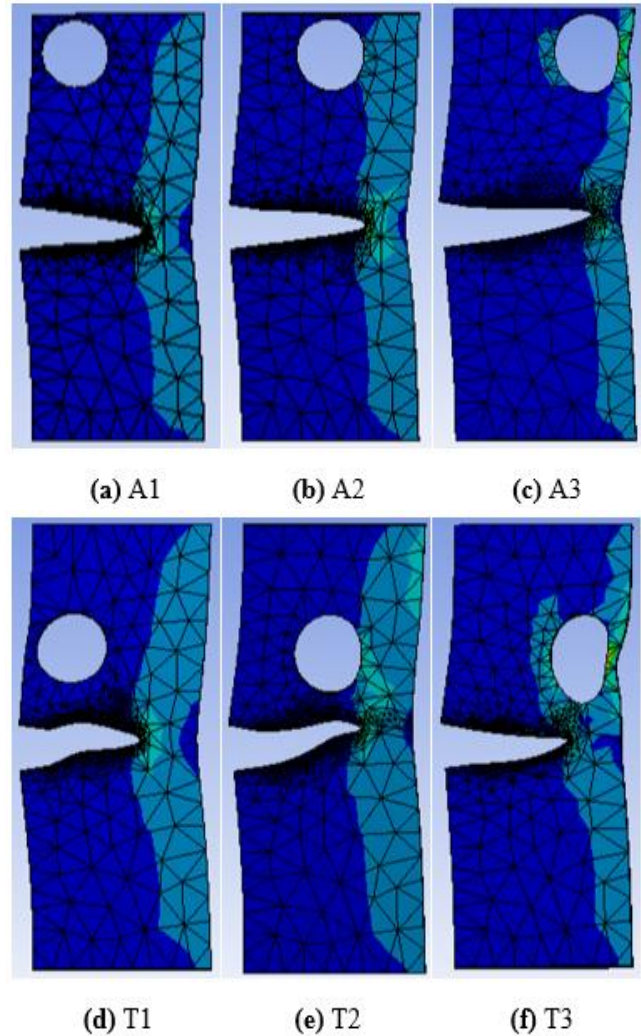
Gambar 7 merupakan hasil simulasi spesimen perambatan retak pada spesimen dengan satu lubang, dengan perbandingan nilai K seperti pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 dapat disimpulkan, pada sumbu X semakin jauh letak lubang dari *initial crack* maka semakin rendah Nilai K atau kekuatan spesimen semakin tinggi, sedangkan pada sumbu Y semakin dekat dengan *initial crack* maka semakin rendah nilai K atau semakin tinggi kekuatan spesimen, terkecuali pada spesimen A1 dan T1, dimana nilai

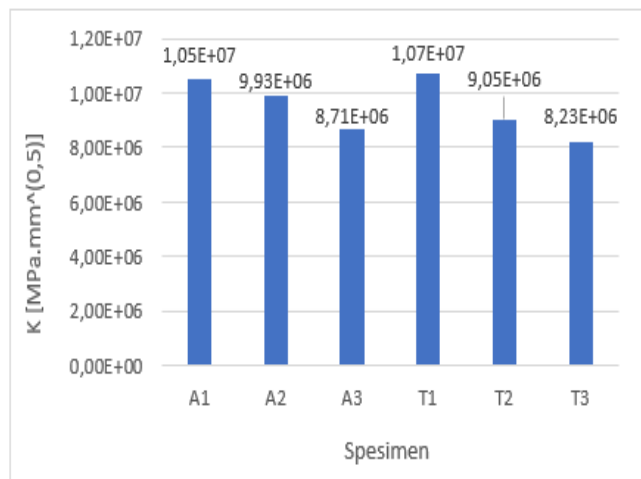
K spesimen T1 lebih tinggi dari A1, karena letak lubang pada T1 sangat dekat dengan *initial crack* yang mempengaruhi hambatan retak untuk merambat sehingga sangat mudah retakan merambat pada spesimen T1. Dari enam simulasi tersebut, spesimen T3 memiliki nilai K terendah senilai $8,23 \times 10^6 \text{ MPa}\cdot\text{mm}^{0,5}$, dan spesimen T1 dengan nilai K tertinggi senilai $1,07 \times 10^7 \text{ MPa}\cdot\text{mm}^{0,5}$.

2) Simulasi Dua Lubang

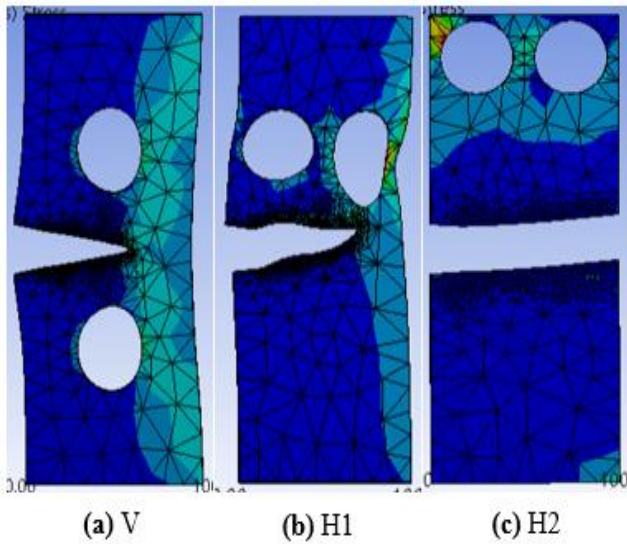
Gambar 9 merupakan hasil simulasi spesimen perambatan retak pada spesimen dengan dua lubang, dengan perbandingan nilai K seperti pada Gambar 10.



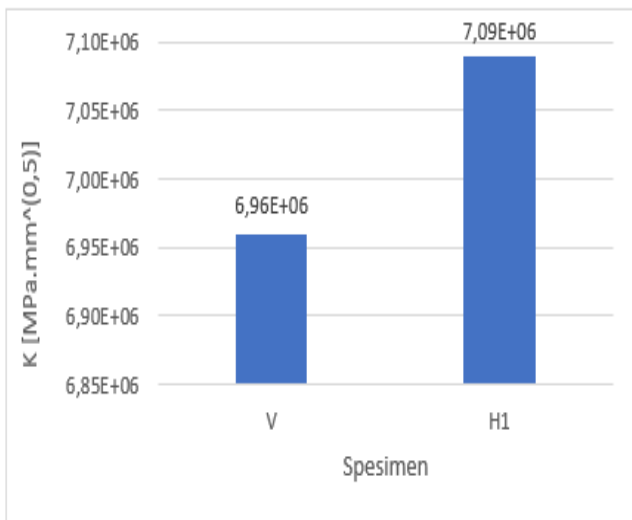
Gambar 7. Hasil Simulasi Spesimen Satu Lubang



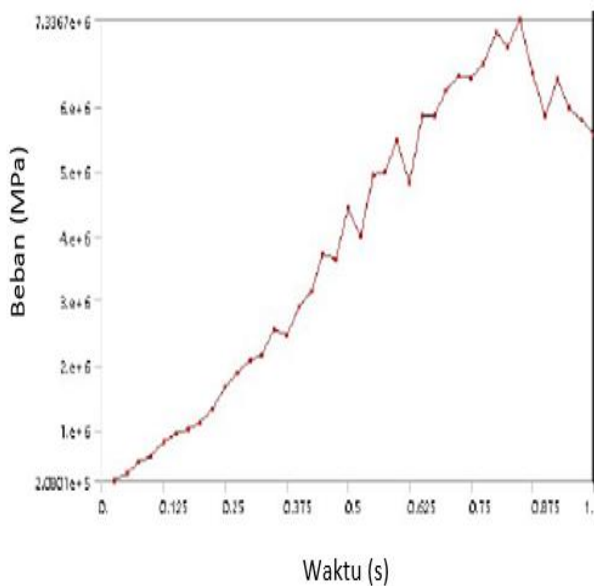
Gambar 8. Perbandingan K pada Spesimen Satu Lubang



Gambar 9. Hasil Simulasi Spesimen Dua Lubang



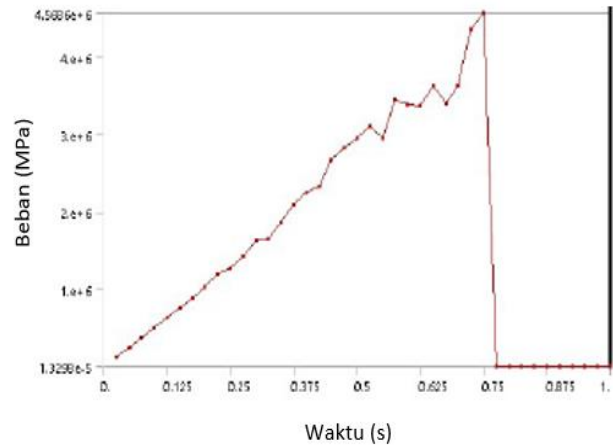
Gambar 10. Perbandingan K pada Spesimen Dua Lubang



Gambar 11. Tegangan pada Sumbu Y Spesimen H1

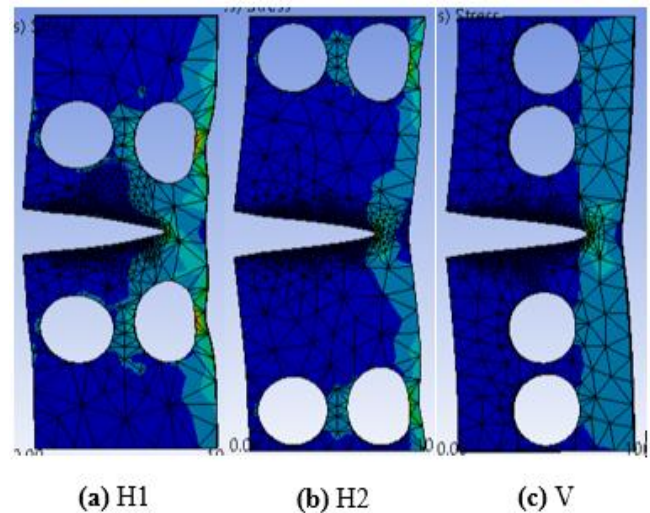
Dari Gambar 10 dapat disimpulkan bahwa lubang yang berseberangan memiliki nilai K yang lebih rendah, atau memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan spesimen yang lubangnya tidak berseberangan, dengan K pada spesimen V sebesar $6,96 \text{ MPa}\cdot\text{mm}^{0,5}$ dan pada spesimen H1

sebesar $7,09 \text{ MPa}\cdot\text{mm}^{0,5}$. Sedangkan pada spesimen H1 dan H2, dapat dilihat bahwa spesimen H2 mengalami patah, sehingga dapat disimpulkan semakin ke tepi posisi lubang maka semakin rendah kekuatan spesimen tersebut. Untuk membandingkan kekuatan spesimen H1 dan H2, digunakan parameter tegangan pada sumbu Y, searah dengan beban yang diberikan, seperti pada Gambar 11 dan Gambar 12, dimana dapat dilihat bahwa spesimen H1 dapat menahan beban sebesar $7,3 \times 10^6 \text{ MPa}$, sedangkan spesimen H2 hanya sebesar $4,5 \times 10^6 \text{ MPa}$.



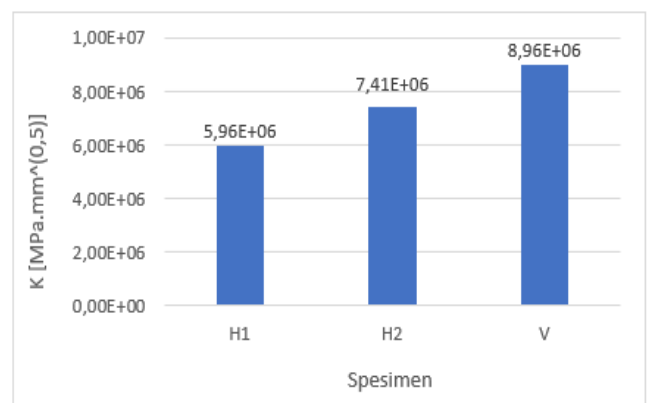
Gambar 12. Tegangan pada Sumbu Y Spesimen H2

3) Simulasi Empat Lubang



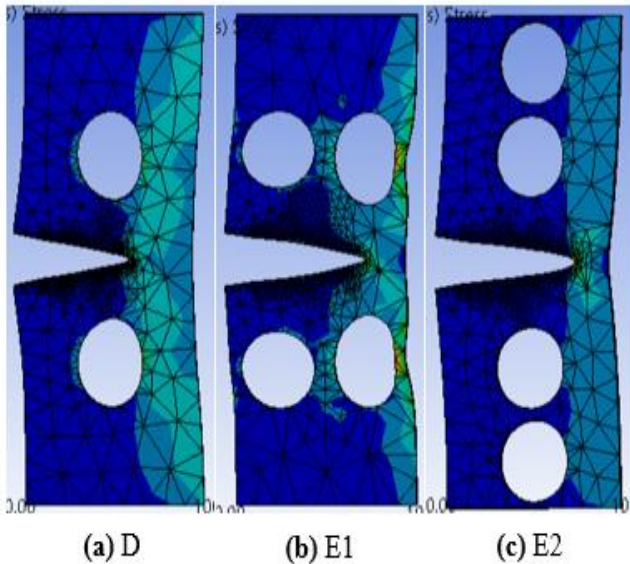
Gambar 13. Hasil Simulasi Spesimen Empat Lubang

Gambar 13 merupakan hasil simulasi spesimen perambatan retak pada spesimen dengan empat lubang, dengan perbandingan nilai K seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Perbandingan K pada Spesimen Empat Lubang

Dari Gambar 14, dapat disimpulkan posisi lubang horizontal memiliki nilai K lebih rendah atau memiliki kekuatan spesimen lebih tinggi dari spesimen lubang vertikal. Dari Gambar 14 juga dapat disimpulkan semakin ke tepi letak lubang maka semakin tinggi nilai K atau semakin rendah kekuatan spesimen. Dari tiga spesimen tersebut, spesimen H1 memiliki nilai K terendah sebesar $5,96 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$, dan spesimen V memiliki nilai K tertinggi sebesar $8,96 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$.

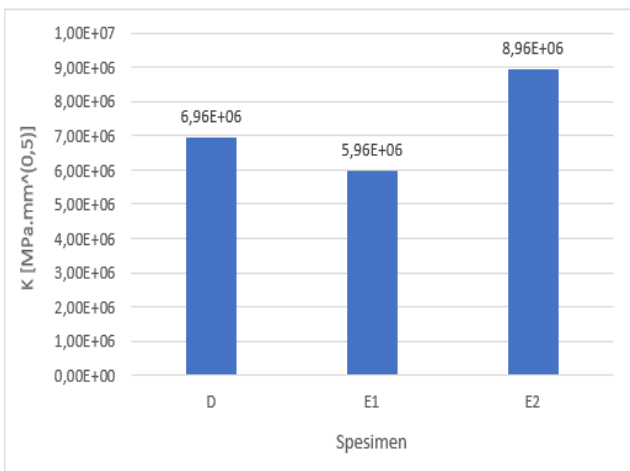


Gambar 15. Hasil Simulasi dengan Variasi Jumlah Lubang

B. Pengaruh Jumlah Lubang terhadap Kekuatan Spesimen

Untuk membandingkan kekuatan tiap spesimen berdasarkan jumlah lubang, digunakan spesimen dengan lubang yang sesuai, yaitu spesimen dua lubang dan spesimen empat lubang, yang posisinya memiliki kesesuaian.

Gambar 15 merupakan hasil simulasi spesimen perambatan retak pada spesimen dengan variasi jumlah lubang, dengan perbandingan nilai K seperti pada Gambar 16.



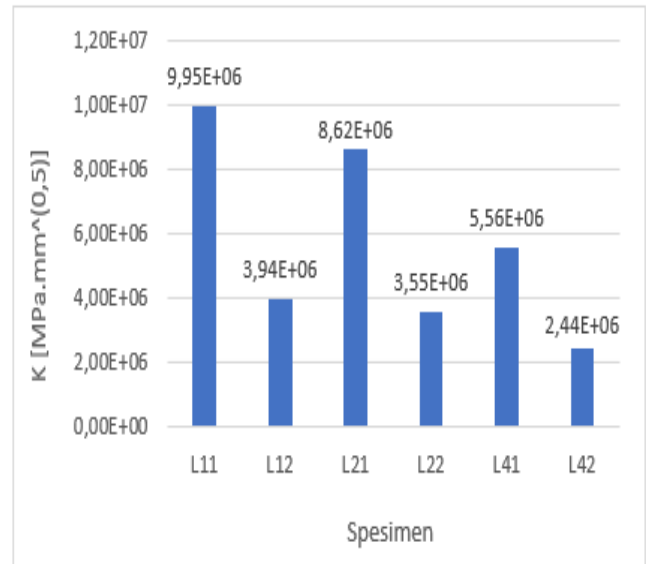
Gambar 16. Perbandingan K pada Simulasi dengan Variasi Jumlah Lubang

Dari Gambar 16 dapat dilihat nilai K pada spesimen E1, sebesar $5,96 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$ lebih rendah dibandingkan dengan spesimen D, sebesar $6,96 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$ yang menunjukkan kekuatan spesimen empat lubang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen dua lubang, yang berarti semakin banyak jumlah lubang maka semakin tinggi kekuatan spesimen. Namun jika membandingkan spesimen D dengan spesimen E2, spesimen empat lubang vertikal, nilai K

spesimen E2 lebih tinggi dibandingkan spesimen D, yaitu $8,96 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$ atau kekuatan spesimen E2 lebih rendah dari spesimen D. Sehingga selain jumlah lubang perlu diperhatikan letak lubang tersebut dalam menentukan pengaruh lubang terhadap kekuatan spesimen.

C. Pengaruh Variasi Material terhadap Kekuatan Spesimen

Jenis material yang dibandingkan pada penelitian ini adalah AISI 1020 dan AA 2024 – T3, dengan spesimen seperti pada Gambar 5, dengan perbandingan K sebagai berikut



Gambar 17. Perbandingan K pada Simulasi dengan Variasi Material

Dari Gambar 17 didapatkan hasil bahwa nilai K pada AA 2024 – T3 lebih rendah daripada AISI 1020, menunjukkan kekuatan spesimen dari AA 2024 – T3 lebih tinggi dibandingkan AISI 1020.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Posisi lubang menentukan kekuatan spesimen. Umumnya, pada sumbu X semakin jauh letak lubang dari initial crack maka semakin tinggi kekuatan spesimen, dan pada sumbu Y semakin dekat letak lubang dengan initial crack maka semakin tinggi kekuatan spesimen.

Jumlah lubang mempengaruhi kekuatan spesimen. Semakin banyak jumlah lubang maka semakin tinggi kekuatan spesimen, atau semakin besar energi yang dibutuhkan untuk retakan dapat merambat, dengan nilai K pada spesimen empat lubang sebesar $5,96 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$ lebih rendah dibandingkan dengan nilai K pada spesimen dua lubang sebesar $6,96 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$

Spesimen paduan aluminium AA 2024 – T3 memiliki kekuatan lebih tinggi dari spesimen baja AISI 1020, dengan nilai K pada spesimen satu lubang AA 2024 – T3 sebesar $3,94 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$, dan AISI 1020 sebesar $9,95 \times 10^6 \text{ MPa.mm}^{0,5}$.

B. Saran

Ukuran dari mesh dan jumlah contour yang digunakan ditingkatkan agar hasil yang didapatkan lebih presisi.

Melakukan penelitian secara eksperimental perlu dilakukan sebagai validasi dari simulasi yang dilakukan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Tada, P. C. Paris, and G. R. Irwin, *The Stress Analysis of Cracks Handbook*. St. Louis, Missouri: Paris Productions, 1985.
- [2] G. Irwin, "Plastic zone near a crack and fracture toughness," in *Sagamore Research Conference Proceedings 4*.
- [3] Y. Liao, Y. Li, M. Huang, B. Wang, Y. Yang, and S. Pei, "Effect of hole relative size and position on crack deflection angle of repaired structure," *Theor. Appl. Fract. Mech.*, vol. 101, pp. 92–102, 2019.
- [4] J. R. Rice, "Weight function theory for three-dimensional elastic crack analysis," in *Fracture Mechanics: Perspectives and Directions (Twentieth Symposium)*, 1989, pp. 29–57.
- [5] T. L. Anderson, *Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005.