

# Plat Strip Aluminium Berlubang Sebagai Material Perkuatan Yang Mengalami Tegangan Tarik

Prasetya Adi<sup>1</sup>, Sukamto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Yogyakarta

<sup>2</sup> Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Yogyakarta

Email: prasetya@janabadra.ac.id

## ABSTRACT

Aluminum has a unique combination of properties that can be strengthened through an alloying process. Aluminum when combined with other metals, especially magnesium, can produce a material that is strong and even as strong as steel. Aluminum has properties that are easy to form in the metal industry such as rolling, forging, and casting. The airtight nature of the aluminum oxide layer makes aluminum more resistant to corrosion than steel and has a lighter density. Aluminum strip plate material can be used as an alternative reinforcement material, for example as a reinforcement for timber structures. The research was conducted by testing the aluminum plate in the form of a strip with a tensile force. The treatment given is to provide holes which will later be used to attach aluminum when used as timber beam reinforcement. Finite element modeling is made as a companion to experimental testing, especially when the material is in an elastic state. The results showed that the presence of holes can cause plastic strain shortening. In this study the emergence of stress concentration is not very visible. Modeling on a perforated plate shows a higher stress due to the assumption of elasticity in the modeling.

**Keywords:** aluminium plate; hole; strengthening; tensile force

## ABSTRAK

Aluminium memiliki kombinasi sifat yang unik yang dapat diperkuat melalui proses paduan. Aluminium jika dipadukan dengan logam lain terutama magnesium dapat menghasilkan material yang kuat bahkan sekuat baja. Aluminium memiliki sifat yang mudah dibentuk dalam industri logam seperti penggulungan (*roll*), penempaan, dan pengecoran. Sifat kedap udara pada lapisan oksida aluminium menjadikan aluminium lebih tahan terhadap korosi dibandingkan baja serta memiliki berat jenis yang lebih ringan. Material plat strip aluminium dapat digunakan sebagai alternatif bahan perkuatan, sebagai contoh sebagai perkuatan struktur kayu. Penelitian dilakukan dengan menguji plat aluminium berbentuk strip dengan gaya tarik. Perlakuan yang diberikan adalah pemberian lubang yang nantinya dipergunakan untuk memasangkan aluminium saat digunakan sebagai perkuatan balok kayu. Pemodelan dengan elemen hingga dibuat sebagai pendamping pengujian eksperimental terutama pada saat material dalam kondisi elastis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya lubang dapat menyebabkan pemendekan rengangan plastis. Pada penelitian ini munculnya konsentrasi tegangan tidak begitu terlihat. Pemodelan pada plat berlubang menunjukkan tegangan yang lebih tinggi karena anggapan elastis pada pemodelan.

**Kata kunci :** lubang ; perkuatan; plat aluminium; tegangan tarik

## PENDAHULUAN

Beberapa material umum digunakan sebagai bahan perkuatan. Bahan serat karbon sering digunakan pada perkuatan beton karena memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Bahan baja sering digunakan pada bahan kayu mengingat harganya yang jauh lebih murah dari serat karbon. Kekurangan bahan baja adalah dari sisi berat dan ketahanan terhadap korosi. Aluminium sebagai bahan yang ringan dan tahan korosi sebagai alternatif pengganti bahan baja untuk perkuatan kayu. Proses pemasangan aluminium ke bahan kayu menggunakan baut yang memerlukan perlubangan pada plat aluminium. Pelubangan perlu mendapat perhatian karena dapat mengubah perilaku tarik. Proses penyatuhan dengan bahan perekat tidak perlu perlubangan namun memerlukan biaya yang lebih mahal.

Penggunaan plat sebagai perkuatan batang lentur banyak digunakan, antara lain untuk meningkatkan kuat lentur balok kayu dengan memasang Glass Fiber Reinforced Polymer/GFRP [1].

Perkuatan kayu lemah dapat ditingkatkan kuat lenturnya dengan menambahkan perkuatan plat melalui rekayasa komposit. Plat yang dipergunakan adalah plat baja (*steel plate*). Pemasangan steel plate juga dapat menjaga balok untuk tidak runtuh setelah mengalami kerusakan akibat beban [2]. Plat strip aluminium diharapkan dapat mengantikan steel plate sebagai bahan perkuatan.

Alumunium merupakan unsur non ferrous yang paling banyak terdapat di bumi yang merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui

proses pembentukan maupun permesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Di alam, alumunium berupa oksida yang stabil sehingga tidak dapat direduksi dengan cara seperti mereduksi logam lainnya [3].

Aluminium merupakan logam yang lunak dengan tampilan menarik, ringan, tahan korosi, mempunyai daya hantar panas dan daya hantar listrik yang relatif tinggi, dan mudah dibentuk serta cadangannya dikerak bumi melimpah melebihi cadangan besi (Fe) [4].

Bentuk murni logam aluminium pertama kali berhasil diekstraksi dari bijih pada tahun 1825 oleh kimiawan Denmark Hans-Christian. Teknik-teknik untuk menghasilkan aluminium dengan cara sederhana yang hemat biaya muncul pada tahun 1889 [5].

Daur ulang aluminium menghemat lebih dari 90 persen dari biaya energi yang dibutuhkan dalam produksi primer. Aluminium 100 persen dapat didaur ulang, menjadikan salah satu logam yang paling dapat didaur ulang dari semua bahan. Aluminium daur ulang mempertahankan sifat-sifatnya tanpa batas [5].

Pada adhesive joint, struktur tidak perlu diberi lubang untuk menyambungkan antar bagian. Dalam penerapannya, tidak akan terjadi konsentrasi tegangan yang timbul akibat adanya lubang, dengan metode sambungan ini struktur akan lebih ringan karena tidak ada komponen tambahan yang dipakai untuk menyambungkan dua bagian struktur. Pada mechanical joint, struktur perlu diberi lubang sebagai akses penyambung antara bagian satu dengan bagian yang lainnya. Lubang pada struktur akan diberi pin untuk menyambung dua bagian struktur [6].

Pada adhesive joint, struktur tidak perlu diberi lubang untuk menyambungkan antar bagian. Dalam penerapannya, tidak akan terjadi konsentrasi tegangan yang timbul akibat adanya lubang, dengan metode sambungan ini struktur akan lebih ringan karena tidak ada komponen tambahan yang dipakai untuk menyambungkan dua bagian struktur. Pada mechanical joint, struktur perlu diberi lubang sebagai akses penyambung antara bagian satu dengan bagian yang lainnya. Lubang pada struktur akan diberi pin untuk menyambung dua bagian struktur [6].

Bahan kayu yang sampai saat ini masih digunakan untuk bahan bangunan seringkali memerlukan perkuatan. Bangunan lama yang umumnya memiliki nilai sejarah banyak yang menggunakan bahan kayu. Beberapa penelitian menunjukkan penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) untuk perkuatan kayu, namun harga CFRP yang dapat menjadi hambatan.

Penggunaan baja menguntungkan karena memiliki harga yang lebih murah. Kekurangan bahan baja adalah kurang tahan terhadap korosi jika tidak diberikan perlindungan yang memadai. Aluminium yang memiliki berat jenis yang lebih kecil dibandingkan baja, lebih tahan korosi dan memiliki harga yang lebih murah dari CFRP dapat menjadi alternatif.

Alternatif meningkatkan kuat lentur balok kayu adalah dengan memasangkan plat baja sebagai perkuatan yang harganya lebih murah dari CFRP [7].

Salah satu cara untuk merekatkan material perkuatan dan material yang diperkuat adalah menggunakan epoxy. Harga epoxy cukup mahal, sebagai alternatif adalah menggunakan baut. Lubang baut yang diaplikasikan pada plat aluminium selain mengurangi luas penampang juga memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan.

Nilai konsentrasi tegangan sebagai faktor pemeringgi tegangan (stress raiser), selain dipengaruhi oleh adanya notch dan diskontinuitas, juga dipengaruhi oleh arah pembebahan. Semakin kecil sudut pembebahan atau makin besar komponen mode II harga faktor konsentrasi tegangan semakin besar [8].

Pengujian tarik dilakukan dengan memberikan beban tarik pada plat strip aluminium. Benda uji harus dibentuk sedemikian rupa sehingga memenuhi standar yang berlaku [9].

Komposit adalah material yang terdiri dari 2 bahan atau lebih yang disatukan dengan sempurna yaitu tidak ada pergeseran diantara bahan penyusunnya atau dengan kata lain regangan material akan sama pada tempat yang sama [10].

Perkuatan kayu lemah dapat ditingkatkan kuat lenturnya dengan menambahkan perkuatan plat melalui rekayasa komposit. Plat yang dipergunakan adalah plat baja (steel plate). Pemasangan steel plate juga dapat menjaga balok untuk tidak runtuh setelah mengalami kerusakan akibat beban [10].

## METODE

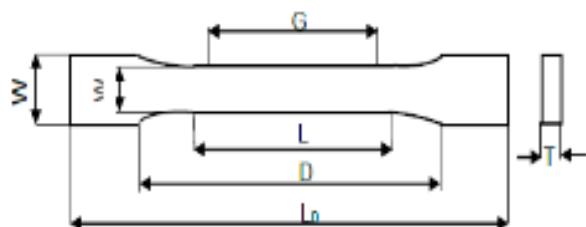
Penelitian ini adalah penelitian awal untuk selanjutnya memanfaatkan plat strip aluminium sebagai perkuatan terutama balok kayu. Penelitian berupa pengujian kuat tarik plat strip aluminium dalam kondisi utuh dan kondisi berlubang yang berfungsi untuk pemasangan baut atau paku. Pengujian secara eksperimental juga akan didampingi dengan pengujian numerikal dengan metoda elemen hingga menggunakan program bantu SAP2000.



**Gambar 1.** Analisis kemungkinan terjadinya patah pada plat aluminium sebelum tegangan ijin tercapai

**Tabel 1.** Dimensi benda uji ASTM D638-03

Dimensi	Nilai, mm (in)
Ketebalan<7mm(0,28in), T	32±0,4 (0,12±0,02)
Lebar bidang ukur, W	13 (0,5)
Panjang penyempitan, L	57 (2,25)
Lebar total, W <sub>O</sub>	19 (0,75)
Panjang total, L <sub>O</sub>	165 (6,5)
Panjang ukur, G	165 (6,5)
Panjang antar cekam, D	115 (4,5)
Radius fillet, R	76 (3,00)



**Gambar 2.** Benda uji tarik aluminium ASTM D638-03

Penelitian dilakukan dengan benda uji plat aluminium yang dibentuk mengikuti standar ASTM seperti digambarkan dalam Gambar 2. Variasi yang dilakukan pada benda uji adalah diameter lubang yaitu 2 mm; 2,5 mm dan 3 mm serta benda uji utuh sebagai referensi. Jumlah benda uji pada masing-masing variasi adalah 4 yaitu 3 benda uji yang dipergunakan sebagai data dan 1 benda uji sebagai referensi jika data yang diperoleh menunjukkan variasi yang tidak sesuai rencana.

Pengujian secara eksperimental dilakukan dengan menarik benda uji pada mesin uji tarik. Data yang diambil dari pengujian ini adalah gaya tarik yang dibebankan dan perpanjangan benda uji.

**Tabel 2.** Kode benda uji dan variasi

No	Kode	Diameter lubang	Jumlah
1	T	Tanpa lubang	4
2	L15	1,5	4
3	L20	2,0	4
4	L25	3,0	4
5	L30	3,5	4
Total			20

## HASIL

Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Janabadra. Mesin uji tarik yang digunakan memiliki kemampuan untuk menampilkan hasil berupa plot grafik dalam bentuk hardcopy maupun softcopy.

Pengukuran benda uji dilakukan sebelum dilakukan uji tarik untuk mendapatkan panjang ukur, tebal plat dan diameter benda uji. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong. Keseluruhan benda uji memiliki panjang ukur 55 mm dan tebal 1 mm yang selanjutnya digunakan sebagai data mesin uji tarik.



**Gambar 3.** Benda uji sebelum pengujian

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban tarik secara bertahap sampai benda uji putus atau tidak menunjukkan kenaikan beban atau bahkan penurunan. Tidak terjadinya kenaikan beban meskipun dilakukan penarikan menunjukkan bahwa benda uji telah mengalami fase luluh, sedangkan jika beban terjadi penurunan berarti benda uji telah mengalami kegagalan meskipun beberapa benda uji tidak menunjukkan putus.

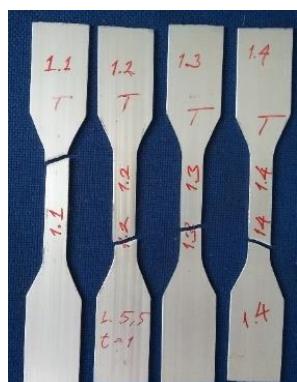
Pengaturan luas penampang pada mesin uji tarik tidak dilakukan variasi, yaitu mengacu pada penampang yang utuh sehingga pembacaan tegangan yang muncul dari mesin uji tarik perlu dilakukan koreksi penampang. Mesin uji tarik juga memunculkan gaya yang terjadi, sehingga akan lebih mudah jika gaya tersebut yang digunakan

sebagai perbandingan.



Gambar 4. Alat uji tarik yang dipergunakan

Pembacaan pertambahan panjang pada beberapa benda uji perlu dilakukan koreksi mengingat adanya garis horisontal pada bagian elastis yang menunjukkan adanya geseran (slip) pada grip pemegang benda uji.



Gambar 5. Pola kerusakan benda uji tanpa lubang



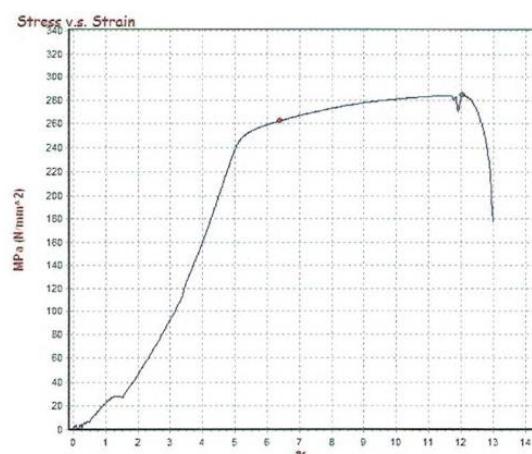
Gambar 6. Pola kerusakan benda uji berlubang

Gaya maksimum yang dapat ditahan oleh tiap sampel di setiap variasi ditampilkan dalam Tabel 3 dan dilakukan rerata.

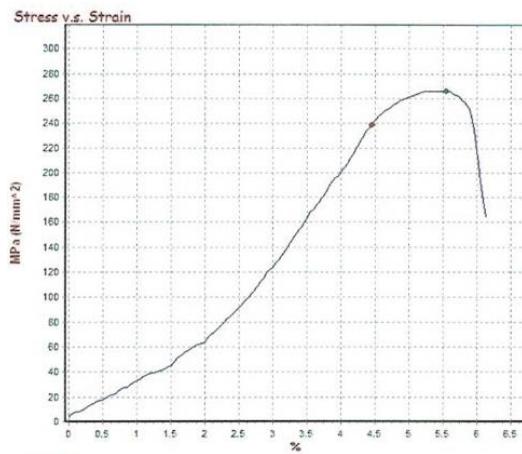
Tabel 3. Keluaran gaya maksimal pada tiap sampel

Variasi	No. Sampel	Gaya maks. (N)	Rerata (N)
Utuh	1,1	3704	3919,8
Utuh	1,2	4032	
Utuh	1,3	3915	
Utuh	1,4	4028	
Lubang 1,5 mm	2,1	3459	3598,5
Lubang 1,5 mm	2,2	3660	
Lubang 1,5 mm	2,3	3650	
Lubang 1,5 mm	2,4	3625	
Lubang 2,0 mm	3,1	3310	3373,8
Lubang 2,0 mm	3,2	3423	
Lubang 2,0 mm	3,3	3442	
Lubang 2,0 mm	3,4	3320	
Lubang 3,0 mm	4,1	3163	3263,3
Lubang 3,0 mm	4,2	3234	
Lubang 3,0 mm	4,3	3305	
Lubang 3,0 mm	4,4	3351	
Lubang 3,5 mm	5,1	3096	3046,3
Lubang 3,5 mm	5,2	3243	
Lubang 3,5 mm	5,3	2932	
Lubang 3,5 mm	5,4	2914	

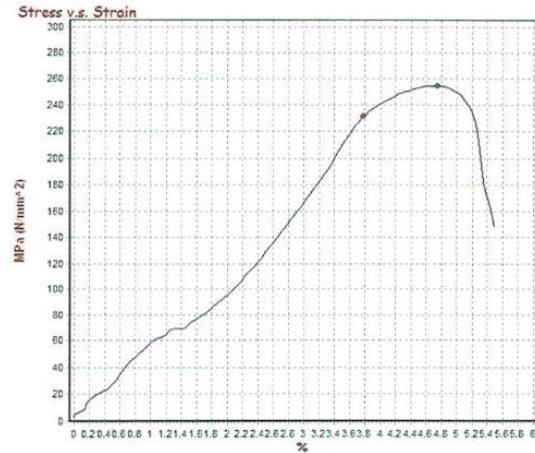
Diagram tegangan dan regangan yang terjadi pada benda uji ditampilkan dalam Gambar 7 sampai dengan Gambar 11.



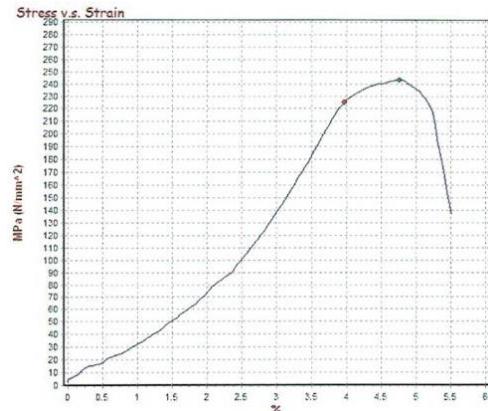
Gambar 7. Tegangan regangan benda uji utuh



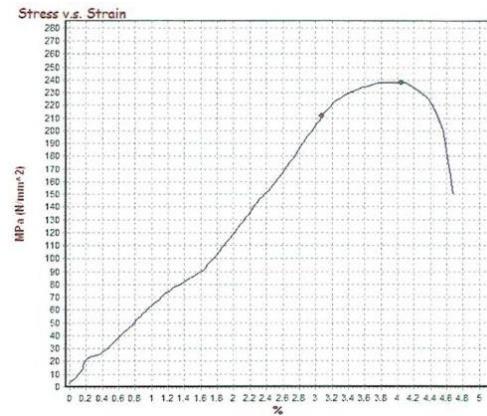
**Gambar 8.** Tegangan regangan benda uji lubang 1,5 mm



**Gambar 9.** Tegangan regangan benda uji lubang 2,0 mm



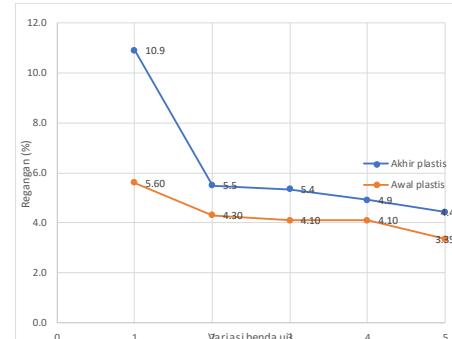
**Gambar 10.** Tegangan regangan benda uji lubang 3,0 mm



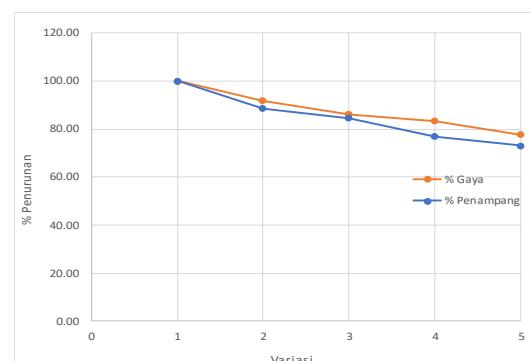
**Gambar 11.** Tegangan regangan benda uji lubang 3,5 mm

**Tabel 4.** Regangan kondisi plastis pada tiap variasi

Variasi	Regangan awal plastis (%)	Regangan akhir plastis (%)
Utuh	5,60	10,9
Lubang diameter 1,5 mm	4,30	5,5
Lubang diameter 2,0 mm	4,10	5,4
Lubang diameter 3,0 mm	4,10	4,9
Lubang diameter 3,5 mm	3,35	4,4



**Gambar 12.** Regangan awal dan akhir batas plastis pada berbagai variasi benda uji



**Gambar 13.** Persentase penurunan gaya maksimum dibandingkan dengan penurunan luas penampang akibat lubang

## PEMBAHASAN

Keseluruhan benda uji mengalami kegagalan pada bidang yang terukur (bidang selebar 13 mm) sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pengujian telah sesuai prosedur.

Benda uji dengan variasi lubang juga menunjukkan kegagalan pada tempat sekitar lubang, berarti betul-betul terjadi perlemahan di tempat tersebut.

Pengujian benda uji dengan variasi tanpa lubang menunjukkan bahwa bahan dapat berperilaku inelastis dengan pola regangan yang panjang (dibandingkan dengan bagian elastis). Perilaku tersebut menunjukkan bahwa bahan dapat digunakan sebagai bahan struktur karena dapat mengembangkan deformasi plastis yang bermanfaat untuk menyerap energi dan mempunyai tipe kegagalan yang daktail.

Pengujian benda uji dengan variasi tanpa lubang berdiameter 1,5 mm menunjukkan bahwa terjadi penurunan panjang bagian plastis yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan benda uji tanpa lubang, meskipun lubang tersebut relatif kecil dibandingkan keseluruhan penampang.

Pengujian benda uji dengan variasi lubang berdiameter 2,0 mm menunjukkan bahwa terjadi penurunan panjang bagian plastis yang tidak begitu signifikan dibandingkan dengan variasi lubang 1,5 mm.

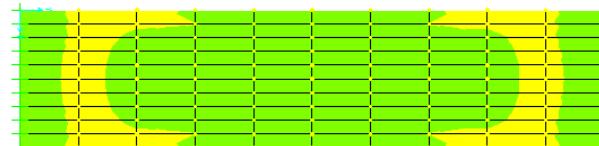
Pengujian benda uji dengan variasi lubang berdiameter 3,0 mm menunjukkan bahwa terjadi penurunan panjang bagian plastis yang tidak begitu signifikan dibandingkan dengan variasi lubang 1,5 mm dan 2,0 mm.

Pengujian benda uji dengan variasi lubang berdiameter 3,5 mm menunjukkan bahwa terjadi penurunan panjang bagian plastis yang tidak begitu signifikan dibandingkan dengan variasi lubang 1,5 mm; 2,0 mm dan 3,0 mm.

Gambar 7 sampai dengan Gambar 11 menunjukkan bahwa pada benda uji tanpa lubang dapat mengembangkan kondisi plastis dengan lebih baik. Kondisi ini menurun drastis dengan adanya lubang meskipun lubang tersebut relatif kecil. Hal ini dapat menjadi perhatian bahwa proses pelubangan plat akan menyebabkan plat menjadi lebih getas.

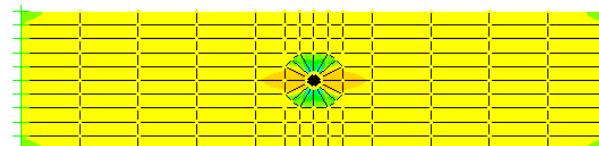
Persentase gaya maksimum yang terjadi pada benda uji tanpa lubang dibandingkan dengan persentase luas penampang ternyata menunjukkan penurunan yang mendekati sama, hal ini menunjukkan pengaruh konsentrasi tegangan pada penelitian ini tidak terlalu signifikan terhadap penurunan kekuatan, namun tetap harus diperhatikan penurunan daktilitas seperti pembahasan sebelumnya.

Pemodelan dilakukan pada bagian terukur saja (sepanjang 55 mm lebar 13 mm) karena bagian ini yang akan diukur tegangannya. Tumpuan ujung diberikan tumpuan sendi sedangkan gaya yang diberikan berupa beban titik pada ujung batang namun sebelumnya joint di constraint sehingga beban akan tersebar di selebar batang. Pemodelan menggunakan elemen shell.



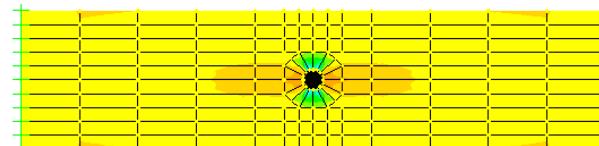
**Gambar 14.** Distribusi tegangan model benda uji utuh

Distribusi tegangan pada pemodelan benda uji lubangberdiameter 1,5 mm menunjukkan distribusi beban lebih besar di sekitar lubang. Nilai beban pada uji eksperimen sebesar 276,79 N/mm<sup>2</sup> sedangkan hasil pemodelan menunjukkan berturut-turut dari tepi sampai mendekati lubang sebesar 271,87 N/mm<sup>2</sup>; 296,15 N/mm<sup>2</sup>; 343,89 N/mm<sup>2</sup>; 395,57 N/mm<sup>2</sup>.



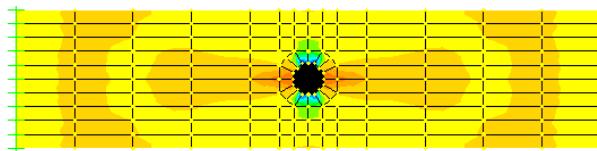
**Gambar 15.** Distribusi tegangan model benda uji lubang diameter 1,5 mm

Distribusi tegangan pada pemodelan benda uji lubangberdiameter 2,0 mm menunjukkan distribusi beban lebih besar di sekitar lubang. Nilai beban pada uji eksperimen sebesar 259,52 N/mm<sup>2</sup> sedangkan hasil pemodelan menunjukkan berturut-turut dari tepi sampai mendekati lubang sebesar 252,9487 N/mm<sup>2</sup>; 277,1887 N/mm<sup>2</sup>; 328,9587 N/mm<sup>2</sup>; 426,3087 N/mm<sup>2</sup>.



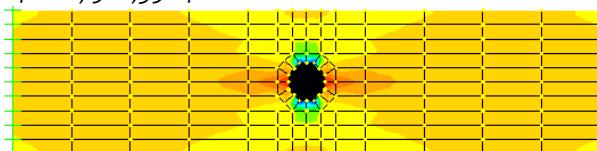
**Gambar 16.** Distribusi tegangan model benda uji lubang diameter 2,0 mm

Distribusi tegangan pada pemodelan benda uji lubangberdiameter 3,0 mm menunjukkan distribusi beban lebih besar di sekitar lubang. Nilai beban pada uji eksperimen sebesar 251,03 N/mm<sup>2</sup> sedangkan hasil pemodelan menunjukkan berturut-turut dari tepi sampai mendekati lubang sebesar 244,33 N/mm<sup>2</sup>; 286,10 N/mm<sup>2</sup>; 373,72 N/mm<sup>2</sup>; 512,95 N/mm<sup>2</sup>.



**Gambar 17.** Distribusi tegangan model benda uji lubang diameter 3,0 mm

Distribusi tegangan pada pemodelan benda uji lubang berdiameter 3,5 mm menunjukkan distribusi beban lebih besar di sekitar lubang. Nilai beban pada uji eksperimen sebesar  $234,33 \text{ N/mm}^2$  sedangkan hasil pemodelan menunjukkan berturut-turut dari tepi sampai mendekati lubang sebesar  $227,43 \text{ N/mm}^2$ ;  $276,51 \text{ N/mm}^2$ ;  $390,68 \text{ N/mm}^2$ ;  $520,35 \text{ N/mm}^2$ .



**Gambar 18.** Distribusi tegangan model benda uji lubang diameter 3,5 mm

Semakin mendekati lubang, selisih tegangan eksperimen dan pemodelan semakin jauh (lebih besar pada pemodelan). Hal ini disebabkan pemodelan masih menganggap material berada pada kondisi elastis sehingga regangan selalu menghasilkan yang sebanding, sementara pada kondisi plastis regangan bertambah tidak diikuti dengan penambahan tegangan.

## SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Pada penelitian ini adanya lubang pada plat menurunkan gaya maksimal yang dapat didukung seiring dengan pengurangan penampang.
2. Adanya lubang pada penampang membuat perilaku menjadi getas dan kondisi plastis semakin pendek.
3. Konsentrasi tegangan belum muncul pada pengujian bahan ini,
4. Pemodelan dengan elemen hingga menunjukkan tegangan yang berbeda karena anggapan material berada pada kondisi elastis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Alhayek, "Flexural Stiffness and Strength of GFRP-ReinforcedTimber Beams," *Journal of Composites for Construction*, pp. 245-252, 2012.
- [2] T. Mulyo, "Analisis Perkuatan Lentur Balok Kayu Sengon Dengan Sistem Komposit Balok Sandwich (Lamina Dan Plate)," *Inersia*, pp. 129-140, 2017.
- [3] A. Barun, "Analisis Ketahanan Sambungan Keling pada Alumunium 2024 dengan Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro," *Sintek*, pp. 1-11, 2012.
- [4] H. Setiawan, "Pengujian Kekuatan Tarik Produk Cor Propeler Alumunium," in *Prosiding SNATIF Ke -2 Tahun 2015*, Kudus, 2015.
- [5] A. Aluminium, "History of Aluminium," 18 7 2020. [Online]. Available: <https://www.aluminum.org/aluminum-advantage/history-aluminum>.
- [6] D. Hartini, "Analisis Elemen Hingga Untuk Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Pelat Isotropik Berlubang Dengan Pin-Loaded," *Jurnal Angkasa*, pp. 69-78, 2016.
- [7] T. G. Ghazijahani, "Composite Timber Beams Strengthened by Steel and Composites," 14 7 2020. [Online]. Available: <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29CC.1943-5614.0000714>.
- [8] Zuhaimi, "Faktor Konsentrasi Tegangan Di Ujung Retak Aluminium A-6061 Pada Pembebaan Mode Campuran," in *Seminar Nasional Yusuf Benseh 2012*, Lhokseumawe, 2012.
- [9] H. I. Firmansyah, "Pengaruh Mechanical Bonding pada Aluminium dengan Serat Karbon Terhadap Kekuatan Tarik Fiber Metal Laminates," *Jurnal Rekayasa Mesin*, pp. 127-134, 2018.
- [10] S. G. T. James M. Gere, *Mekanika Bahan*, Jakarta: Erlangga, 1985.