

PERBANDINGAN KEKUATAN STRUKTUR SAMBUNGAN HYBRID FRP – STEEL MENGGUNAKAN ANALISIS ELEMEN HINGGA

Syahira Diphda Elvira ^{1*}, Budianto ², I. Putu Sindhu A ³

D – IV Teknik Desain dan Manufaktur, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Dosen D – IV Teknik Desain dan Konstruksi, Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{2,3}

Email: syahiradiphda@student.ppns.ac.id¹

Abstract – FRP is a type of composite material consisting of a polymer resin matrix reinforced with glass or carbon fibers. Fiber Reinforced Polymer (FRP) material is a new alternative in structural planning that has the advantage of a very high strength to self-weight ratio. This final project, is comparing the structural strength of joints with adhesive also joints with adhesive and mechanical fastener (bond / bolts). The connection uses Fiber Metal Laminate components which are laminated by sandwich method and the adhesive used is epoxy resin. The comparison of normal and shear stress values between the design of joints using adhesives and joints with mechanical fastener shows that the normal stress and shear stress values of adhesive joints with mechanical fastener are higher than adhesive joints, the values are 311.1 MPa and 366.2 MPa. Joints with adhesive and mechanical fastener have shear stress and normal stress higher than the value of shear stress and normal stress in joints without mechanical fastener.

Keyword: Composite, FRP (Fiber Reinforced Polymer), FML (Fiber Metal Laminate), Joint, Stress.

Nomenclature

- A** Luas permukaan (mm²)
D Diameter pada lubang (mm)
F/P Gaya pada tegangan (N)
k Faktor koefisien pada lubang (1.0 jika terdapat satu lubang baut)
l Panjang *adherent* (mm)
t tebal *adherent* (mm)
w Lebar *adherent* (mm)
 σ Tegangan Normal (MPa)
 τ Tegangan Geser (MPa)

1 PENDAHULUAN

Kata ‘komposit’ diartikan sebagai ‘menggabungkan dua atau lebih bagian yang berbeda’. Dengan demikian komposit dapat disebut sebagai bahan atau material yang memiliki dua atau lebih bahan atau fase penyusun yang berbeda. Kita dapat mengenali material komposit ketika fase konstituen memiliki sifat fisik yang berbeda. Dengan demikian, sifat komposit mudah terlihat perbedaannya dengan sifat konstituen.

Komposit pada umumnya digunakan untuk bangunan pada setiap struktur. Serta, telah digunakan pada berbagai industri manufaktur sebagai bahan alternatif untuk membuat berbagai macam spesimen. Selain itu, serat alami pada komposit mendapat perhatian dari para peneliti dan akademisi untuk dimanfaatkan sebagai komposit polimer karena sifatnya yang ramah lingkungan dan tahan lama.

Fiber Metal Laminate memiliki struktur komposit berdasarkan lapisan tipis metal dan

lapisan material fiber. Banyak penelitian dengan menggabungkan dua sifat material tersebut. Pada kebanyakan penelitian melakukan penggabungan antara CFRP dan Aluminium.

Penggabungan antara CFRP dan Aluminium banyak digunakan pada sektor transportasi seperti pada bidang industri perkapalan, pesawat terbang maupun otomotif. Dan pada Tugas Akhir ini digunakan steel sebagai bahan pengganti aluminium yang dilaminasi dengan CFRP. Pada perkembangan penelitian penggunaan metal antara aluminium dan *steel* memiliki perbedaan yang dominan. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan *composite hybrid joint* meningkat pesat khususnya dalam aplikasi dibidang transportasi perkapalan, otomotif dan penerbangan maupun pada sektor sipil yaitu pembangunan gedung, jembatan dll. Namun pada umumnya penggunaan penguat mekanik baut banyak diaplikasikan pada sektor sipil yaitu pembangunan jembatan.

Composite hybrid joint dengan metode perekat dan penguat mekanik memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada unsur perekat memiliki konsentrasi tegangan yang rendah, serta dapat mengurangi efektivitas beban, ketahanan *fatigue* yang tinggi dan biaya yang cukup rendah. Namun, dengan adanya bantuan penguat mekanik kekuatan sambungan pada *composite hybrid joint* akan meningkat jika dibandingkan hanya dengan menggunakan perekat.

Dewasa ini, penelitian terus dilakukan untuk mengembangkan efektivitas penggunaan sambungan pada struktur komposit..

2 Perhitungan Movement

2.1 Prosedur Penelitian

CFRP material dimodelkan dan di Analisa dengan pemodelan 3D pada tipe sambungan menggunakan perekat adhesif dan perekat adhesif dengan tambahan baut. Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software ANSYS workbench*. Setelah disimulasikan hasil tersebut dihitung menggunakan perhitungan manual untuk mengetahui berapa *error* yang dihasilkan dari hasil simulasi.

Hasil dari Analisa tersebut dijelaskan melalui tegangan deformasi, tegangan normal, serta tegangan geser yang terjadi pada sambungan. Parameter pembelajaran sambungan *single – lap* menggunakan FML (*Fiber Metal Laminate*) menyajikan parameter pembelajaran analisa tentang geometri yang berbeda pada sambungan *single – lap* yang terikat dengan adhesif dan penguat mekanik.

Tujuan utama dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari berbagai parameter yaitu tebal perekat, Panjang tindihan perekat, beban *failure* dan mode *failure* pada sambungan dengan bentuk laminasi yang berbeda dari analisa yang terdahulu. Sambungan *single – lap* telah dipertimbangkan untuk fabrikasi dan pengujian eksperimental spesimen dengan diuji di bawah *quasistatic* tarik *uniaksial*. Setelah gaya pada tegangan telah disimulasikan, kemudian hasil tegangan pada sambungan adhesif dapat diperoleh.

2.2 Perhitungan Manual Nilai Tegangan pada Sambungan Menggunakan Perekat Adhesif

Perhitungan tegangan normal pada struktur sambungan *hybrid FRP - steel* menggunakan perekat adhesif. Pada poin nomor satu menghitung luas permukaan pada spesimen tegak lurus dengan gaya, poin nomor dua mencari nilai tegangan normal, poin nomor tiga mencari luas permukaan sejajar dengan gaya, dan poin nomer empat mencari nilai tegangan geser:

1. Mencari nilai luas permukaan untuk tegangan normal pada adherent.

$$A = w \times t \quad (1)$$
2. Mencari nilai tegangan normal pada sambungan adesif.

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A} \quad (2)$$
3. Mencari nilai luas permukaan untuk tegangan geser pada adheren.

$$A = w \times l \quad (3)$$

4. Mencari nilai Tegangan Geser pada sambungan adesif.

$$\tau_{geser} = \frac{F}{A} \quad (4)$$

5. Persentase Error (%)

$$\frac{|\text{Hasil Analisa} - \text{Hasil Perhitungan}|}{\text{Hasil Perhitungan}} \times 100\% \quad (5)$$

2.3 Perhitungan Manual Nilai Tegangan pada Sambungan Menggunakan Perekat Adesif dan Penguat Mekanik

Nilai tegangan geser yang dihitung merupakan tegangan yang diakibatkan oleh baut dan tegangan geser adesif. Berikut ini merupakan perhitungan nilai tegangan geser pada struktur sambungan *hybrid FRP - steel* menggunakan perekat adhesif dan penguat mekanik:

1. Mencari nilai tegangan normal pada sambungan adesif. dan penguat mekanik.

$$\sigma_{normal} = \left(\frac{P}{(k \times D \times h)} + \frac{P}{A} \right) \quad (6)$$

2. Mencari nilai luas permukaan untuk tegangan geser pada adherent

$$(\tau_{geser \text{ baut total}}) = \left(\frac{4F}{\pi(D)^2} + \frac{F}{A} \right) \quad (7)$$

3. Persentase Error (%)

$$\frac{|\text{Hasil Analisa} - \text{Hasil Perhitungan}|}{\text{Hasil Perhitungan}} \times 100\% \quad (8)$$

(23)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Spesifikasi

Data spesifikasi yang digunakan untuk dapat melakukan perhitungan dan analisa tegangan serta pembebanan pada sambungan *hybrid FRP – Steel*. Data spesifikasi struktur *adherent* pada sambungan dijelaskan pada Tabel 1:

Tabel 1 : Data Spesifikasi Struktur Adherent pada Sambungan

Parameter	Nilai	Satuan
Lebar Struktur <i>Adherent</i>	22,5	mm
Panjang Struktur <i>Adherent</i>	100	mm
Tebal Spesimen <i>Adherent</i>	2,5	mm
Tindihan pada Sambungan	20	mm
Diameter Lubang pada Sambungan	4	mm

Sumber : Venkateswarlu & Rajasekhar, 2013

Data spesifikasi baut sebagai pada sambungan struktur *hybrid FRP – Steel* menggunakan penguat mekanik akan dijelaskan pada Tabel 2:

Tabel 2 : Data Spesifikasi Baut dan Mur

Parameter	Nilai	Satuan
Ukuran Baut	M6	-
<i>Pitch</i>	1	-
Luas Permukaan Tegangan	20,1	mm ²
Baut Tegangan <i>Proof</i>	580	N/mm ²

Mur	Beban Proof	11,7	kN
	Tegangan Tarik	800	N/mm ²
	Tenaga Putar	9,4	N.m
	Kekakuan	22 - 32	HRC
	Perpanjangan	12	%
	Tegangan Proof	855	N/mm ²
	Beban Proof	17,2	kN
	Kekakuan	30 Max	HRC

Sumber : Data Penulis, 2020

Data spesifikasi epoxy yang digunakan sebagai perekat adesif pada struktur sambungan akan dijelaskan pada Tabel 3:

Tabel 3 : Data Spesifikasi Tebal Epoxy

Parameter	Nilai	Satuan
Lebar Epoxy	22,5	mm
Panjang Epoxy	20	mm
Tebal Epoxy	1	mm

Sumber : Venkateswarlu & Rajasekhar, 2013

Metode dan urutan lapisan pada struktur laminasi struktur sambungan hybrid FRP – Steel akan dijelaskan pada Tabel 4:

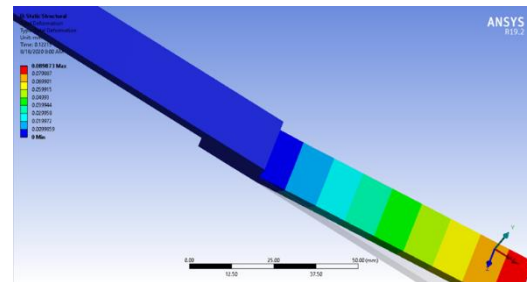
Tabel 4 : Metode dan Urutan Lapisan pada Struktur Laminasi

Metode		Sandwich
Tebal (mm)	Sudut (°)	Material
0,125	0	Carbon Fiber (395 Gpa)
0,125	90	Carbon Fiber (395 Gpa)
0,125	0	Carbon Fiber (395 Gpa)
0,125	90	Carbon Fiber (395 Gpa)
1,5	0	Structural Steel
0,125	90	Carbon Fiber (395 Gpa)
0,125	0	Carbon Fiber (395 Gpa)
0,125	90	Carbon Fiber (395 Gpa)
0,125	0	Carbon Fiber (395 Gpa)

Sumber : Tamilarasan et al., 2015

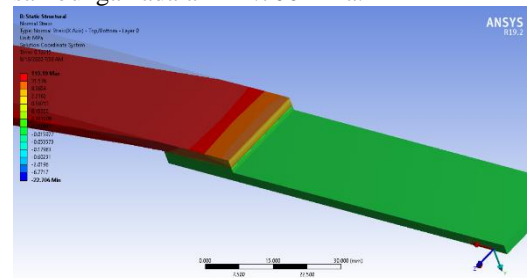
3.2 Tegangan pada Sambungan Hybrid Menggunakan Sambungan Adhesif

Pada Gambar 1 dihasilkan nilai analisa deformasi pada struktur FRP - Steel sambungan hybrid menggunakan perekat adhesif. Nilai deformasi maksimum yang dihasilkan pada analisa sambungan tersebut adalah 0.089873 mm, sedangkan nilai deformasi minimum yang dihasilkan analisa sambungan adalah 0 mm. Terdapat penambahan panjang sebesar 0.089 mm terhadap nilai deformasi yang didapatkan



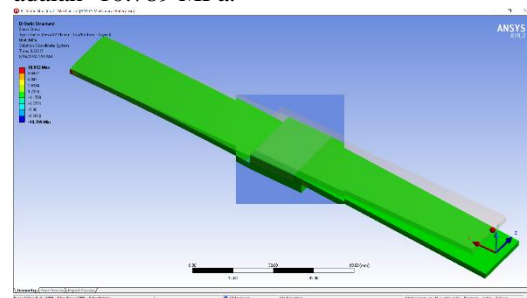
Gambar 1. Analisa Deformasi Sambungan Adesif (Data Penulis, 2020)

Pada Gambar 2 telah dihasilkan nilai analisa tegangan normal pada struktur FRP - Steel sambungan hybrid variasi perekat adhesif. Dengan menggunakan beban sebesar 5000 N, Nilai tegangan normal maksimum yang dihasilkan pada analisa sambungan tersebut adalah 119.9 MPa, sedangkan nilai tegangan normal minimum yang dihasilkan analisa sambungan adalah -22.706 MPa.



Gambar 2. Analisa Tegangan Normal Sambungan Adesif (Data Penulis, 2020)

Pada Gambar 3 telah dihasilkan nilai analisa tegangan geser pada struktur FRP - Steel sambungan hybrid variasi perekat adhesif. Dengan menggunakan beban sebesar 5000 N, Nilai tegangan geser maksimum yang dihasilkan pada analisa sambungan tersebut adalah 10.852 MPa, sedangkan nilai tegangan normal minimum yang dihasilkan analisa sambungan adalah -10.789 MPa.

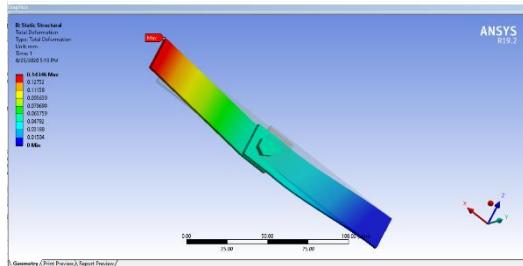


Gambar 3. Analisa Tegangan Geser Sambungan Adesif (Data Penulis, 2020)

3.3 Tegangan pada Sambungan Hybrid Menggunakan Sambungan Adhesif dan Penguat Mekanik

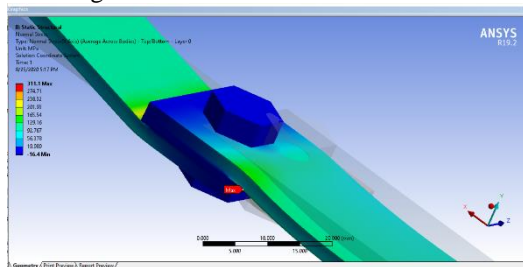
Pada Gambar 4 telah dihasilkan nilai analisa deformasi pada struktur FRP - Steel sambungan hybrid variasi perekat adhesif. Nilai deformasi maksimum yang dihasilkan pada analisa

sambungan tersebut adalah 0.14346 mm, sedangkan nilai deformasi minimum yang dihasilkan analisa sambungan adalah 0 mm.



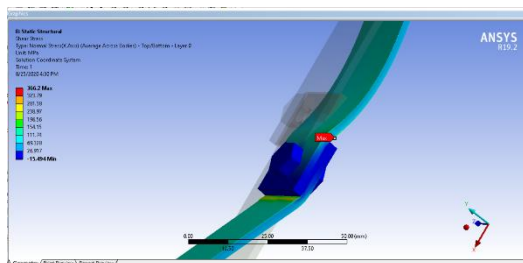
Gambar 4. Analisa Deformasi Sambungan Adesif dan Penguat Mekanik(Data Penulis, 2020)

Pada Gambar 5 telah dihasilkan nilai analisa tegangan normal pada struktur FRP - Steel sambungan *hybrid* variasi perekat adhesif. Dengan menggunakan beban axial sebesar 5000 N, Nilai tegangan normal maksimum yang dihasilkan pada analisa sambungan tersebut adalah 311.1 MPa, sedangkan nilai tegangan normal minimum yang dihasilkan analisa sambungan adalah -16.4 MPa.



Gambar 5. Analisa Tegangan Normal Sambungan Adesif (Data Penulis, 2020)

Pada Gambar 6 telah dihasilkan nilai analisa tegangan geser pada struktur FRP - Steel sambungan *hybrid* variasi perekat adhesif. Dengan menggunakan beban axial sebesar 5000 N, Nilai tegangan geser maksimum yang dihasilkan pada analisa sambungan tersebut adalah 366.2 MPa, sedangkan nilai tegangan normal minimum yang dihasilkan analisa sambungan adalah -15.494 MPa.



Gambar 6. Analisa Tegangan Geser Sambungan Adesif (Data Penulis, 2020)

4 KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa tegangan serta pembebanan yang terjadi pada struktur sambungan *hybrid* menunjukkan bahwa nilai tegangan yang dihasilkan oleh sambungan

adhesif dan penguat mekanik memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan sambungan dengan pengikat adesif saja. Hal ini dapat dipengaruhi akibat adanya penambahan penguat mekanik pada struktur sambungan adhesif. Penguat mekanik memberikan tekanan yang lebih besar pada sambungan sehingga terjadi peningkatan nilai tegangan yang signifikan.

5 PUSTAKA

- [1] Agarwal, B. D., Broutman, L. J., & Chandrashekhara, K. (2015). Analysis and Performance of Fiber Composites. New Delhi: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- [2] Ahyar, I. W. (2016). Analisa Computational Fluid Dynamics (CFD) Terhadap Profil Temperatur untuk Kondensasi Steam Arah Circumferential Pada Pipa Konsentrik Horizontal dengan Aliran Pendinginan Searah Di Dalam Ruang Anular. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- [3] Andrawina, R. (2018). Tegangan Normal dan Tegangan Geser. Retrieved August 9, 2020, from https://www.academia.edu/8260918/Tegangan_Normal_Dan_Tegangan_Geser_1_I_TEGANGAN_NORMAL_DAN_TEGANGAN_GESER
- [4] Campbell, F. C. (2010). Structural Composite Material. United States of America: ASM International.
- [5] Dhamara. (2018). Tegangan Normal dan Tegangan Geser pada Konstruksi. Retrieved August 9, 2020, from <https://dhamarar.blogspot.com/2018/02/tegangan-normal-dan-tegangan-geser-pada.html>
- [6] Emami, S. (2017). Development of Probabilistic Models for Long Term Reliability of Sandwich Composites in Saline Freeze/Thaw Environment for Civil Engineering Applications. University of Dayton.
- [7] Fish, J., & Belytschko, T. (2007). A First Course in Finite Elements. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- [8] Frick, H. (1978). Mekanika Teknik 1 : Statika dan Kegunaannya. Semarang: Kanisius.
- [9] Hendriyanto, M. S. (2015). Analisa Struktur Rangka Mesin 3 in 1 Pembuatan Kerupuk Sermier dengan Menggunakan Software Ansys Workbench 14.0. Institut Teknologi Sepuluh, Surabaya.
- [10] Istianto, J. (2012). Modul Perkuliahan Finite Element Multiphysic.
- [11] Isworo, H., & Ansyah, P. R. (2018). Metode Elemen Hingga. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.

- [12] Jones, R. M. (1999). *Mechanics of Composite Materials*. Virginia: Taylor & Francis, Inc.
- [13] Koide, R. M., França, G. von Z. de, & Luersen, M. A. (2012). An ant Colony Algorithm Applied to Lay-up Optimization of Laminated Composite Plates. *Latin American Journal of Solid and Structures*.
- [14] Kumar, S. N. V. (2017). *Composite Material*. Belagavi.
- [15] MacDonald, A. (2002). *Struktur dan Arsitektur, Edisi Ke-2 (2nd ed.; Pariatmono, Ed.)*. Jakarta: Erlangga.
- [16] Majid, M., Afendi, M., Lieh, W. W., & Hafizan, K. (2016). Strength of Composite Hybrid Joint. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11.
- [17] Mallick, P. K. (2007). *Fiber - Reinforced Composites*. United Stated of America: CRC Press.
- [18] Moaveni, S. (2008). *Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS*. United Stated of America: Pearson Prentice Hall.
- [19] Nayiroh, N. (2013). *Teknologi Material Komposit*.
- [20] Putra, B. (2008). *Simulasi Impact Spherical Impactor Nylon dengan Circular Plate GFRP*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- [21] Rani, E., Valeria, L. S., & Anastisia, M. (2017). *Smart Composites: Mechanics and Design (Composite Materials)*. CRC Press.
- [22] Rothbart, H. A. (1964). *Mechanical Design and System*. New York: McGraw-Hill.
- [23] Schwartz, M. . (1984). *Composite Materials Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- [24] Subramani, T., & Kumar, R. S. (2014). Modelling and Analysis of Hybrid Composite Joint Using FEM in ANSYS. *International Journal of Modern Engineering Research*, 4(6).
- [25] Tamilarasan, U., Karunamoorthy, L., & Palanikumar, K. (2015). Mechanical Properties Evaluation of the Carbon Fibre Reinforced Aluminium Sandwich Composite. *Materials Research*.
- [26] Tjerita, K. N. (2018). *Metoda Elemen Hingga - Torsi pada Penampang Batang Non Circular*. Bali: Universitas Udayana.
- [27] Venkateswarlu, S., & Rajasekhar, K. (2013). Design and Analysis of Hybrid Composite Lap Joint Using Finite Element Methods. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4(9).
- [28] Widyarningsih, E., Herbudiman, B., & Hardono, S. (2016). *Kajian Eksperimental Kapasitas Sambungan Material Fiber Reinforced Polymer*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, 2.