



## Pengaruh Rasio Perekat *Hardener*/Resin Epoxy Terhadap *T-peel* Test dalam Lingkungan Kering dan Basah

### *Effect of Ratio of Hardener/Epoxy Resin Adhesive on the Peel Resistance of Adhesive (T-peel Test) in Dry and Wet Environments*

Teguh Tatas Syahrani, Sugiman\*, Paryanto Dwi Setyawan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jln. Majapahit No. 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat

Pengarang korespondensi: s.sugiman@unram.ac.id

(Diterima: 11 Nopember 2021, Direvisi: 25 Agustus 2021, Diterima: 25 Agustus 2021)

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to find out the effect of the ratio of hardener/epoxy resin on the strength of *T-peel* steel-steel joints in dry and wet conditions. The ratio of hardener/epoxy is 0.4:1, 0.5:1, 0.75:1, and 1:1 with 3 wt%CaCO<sub>3</sub> nano filler. In the wet condition, specimens were immersed in distillate water at temperature of 28 and 45 °C for 71 days. The results obtained that in dry and wet (aging temperature of 28 °C) condition, the *T-peel* strength tended to increase with the increase of ratio of hardener/epoxy. In wet (aging temperature of 45°C) conditions, the optimum results of *T-peel* strength were obtained at the ratio of hardener/epoxy of 0.5:1, therefore this hardener epoxy ratio was recommended for the adhesively bonded structures exposed in hot/wet condition.

#### Keywords:

Epoxy, hardener/resin ratio, *T-peel*

#### ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio *hardener*/resin epoksi terhadap kekuatan sambungan baja-baja *T-peel* pada kondisi kering dan basah. Rasio pengeras/epoksi adalah 0,4:1, 0,5:1, 0,75:1, dan 1:1 dengan filler nano CaCO<sub>3</sub> 3 wt%. Dalam kondisi basah spesimen direndam dalam aquades pada suhu 28 dan 45 °C selama 71 hari. Hasil penelitian diperoleh bahwa pada kondisi kering dan basah (temperatur aging 28 °C) kekuatan *T-peel* cenderung meningkat seiring dengan peningkatan rasio *hardener*/epoxy. Pada kondisi basah (temperatur aging 45°C), kekuatan *T-peel* optimum diperoleh pada perbandingan *hardener*/epoxy 0,5:1, oleh karena itu rasio *hardener* epoxy ini direkomendasikan untuk struktur sambungan perekat yang terpapar pada kondisi panas/basah.

#### Kata kunci:

Epoxy, rasio *hardener*/resin, *T-peel*

## 1. Pendahuluan

Dahulu sambungan lem biasa digunakan pada kertas, karbon, kulit, karet. Dengan kemajuan teknologi saat ini perekatan sambungan lem digunakan untuk menyambung logam. Metode ini lebih efektif dibandingkan seperti sambungan las, sambungan paku keling, dan sambungan baut, dan sambungan ini bisa diaplikasikan pada struktur non logam karena mempunyai distribusi tegangan yang lebih merata, ringan, dan kenampakan permukaan yang lebih rata (Kahraman, *et al.*, 2008).

Epoxy adalah polimer thermosetting yang merupakan produk reaksi dari epoxy resin dan *hardener* amino. Banyak produk epoxy resin dan *hardener* yang dapat dipakai sebagai perekat. Perbandingan antara resin dengan *hardener* biasanya direkomendasikan oleh pembuat, berdasarkan pada sifat mekanik dari epoxy yang dihasilkan. Dalam proses penggunaan epoxy, perbandingan epoxy dan *hardener* dapat bervariasi, yang dapat kaya resin atau kaya *hardener*. Bila kaya resin (epoxy lebih banyak), epoxy menjadi getas dengan deformasi yang rendah, tetapi bila kaya *hardener*, epoxy mempunyai kekuatan luluh lebih rendah dan mempunyai deformasi yang panjang (Almeida and Monteiro, 1996). Penelitian lanjutan pada komposit *glass microsphere/epoxy* dan komposit serta kaca pendek, Almeida dan Monteiro (1997) menunjukkan bahwa kekuatan fleksural meningkat dengan meningkatnya kandungan *hardener*, tetapi modulus elastis tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara komposisi kaya resin dan kaya *hardener*. Bignotti et al. meneliti pengaruh ratio epoxy/*hardener* dengan epoxy equivalent 181 dan amine equivalent 62 pada curing, struktur and suhu transisi kaca epoxy dan hasilnya menunjukkan bahwa suhu transisi kaca dan derajat cross-link tertinggi diperoleh pada rasio epoxy equivalent/amine equivalent = 1. Pereira and Almeida (2016) meneliti pengaruh rasio epoxy/*hardener* pada penyerapan air dan melaporkan bahwa dengan meningkatnya *hardener*, air yang terserap semakin banyak tetapi laju difusi menurun. Gao et al. (2016) menyelidiki pengaruh rasio epoxy/*hardener* pada curing dan suhu transisi kaca komposit nano MWCNTs-NH<sub>2</sub>/epoxy. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah epoxy yang berlebih mampu meningkatkan suhu transisi kaca komposit nano. Kemudian Li et al. (2016) melaporkan bahwa kandungan *hardener* DEA dalam epoxy DGEBA sekitar 12-14% mampu memberikan suhu transisi kaca yang tertinggi. Pandini et al. (2011) melaporkan pengaruh rasio epoxy/*hardener* pada perpatahan epoxy and komposit nano clay/epoxy. Pada epoxy murni, nilai ketangguhan retak epoxy sangat dipengaruhi oleh rasio epoxy/*hardener*, tetapi pada komposit nano clay/epoxy, rasio epoxy/*hardener* tidak berpengaruh.

Dari beberapa penelitian di atas, belum banyak dilaporkan pengaruh rasio epoxy/*hardener* untuk perekat sambungan baja-baja pada lingkungan basah dan suhu bervariasi. Dalam paper ini, pengaruh rasio epoxy/*hardener* pada kekuatan *T-peel* sambungan perekat baja-baja diteliti dilaporkan. Pengaruh suhu aging juga dilaporkan yang dapat memberikan kontribusi pada aplikasi sambungan perekat di lingkungan nyata.

## 2. Metodologi

### 2.1 Material

Bahan yang digunakan adalah plat baja karbon rendah sebagai *adherend*, resin epoxy sebagai perekat dan nano-*CaCO<sub>3</sub>* sebagai *filler*. Resin epoxy adalah dari *bisphenol A-epichlorohydrin*, sedangkan *hardener* dari *polyaminoamide*.

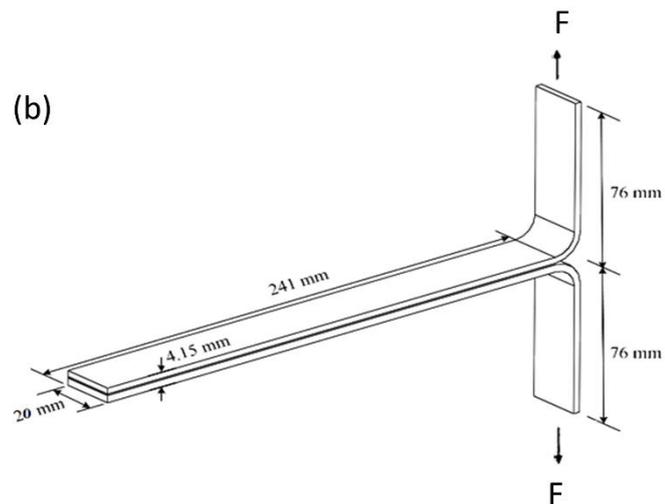
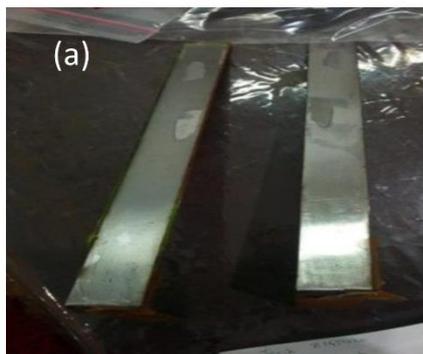
#### 2.1. Pembuatan spesimen sambungan

Baja strip sebagai *adherend* dengan ketebalan 2 mm lebar 20 mm, panjang 241 mm (*bonded*) dan 76 mm (*unbonded*), seperti pada Gambar 1(a). Proses pemotongan baja menggunakan gergaji besi dan gerinda. Tahap selanjutnya adalah baja strip diratakan sisi-sisinya dan membersihkan sisa-sisa kotoran yang masih menempel pada permukaan *adherend* yang akan disambung. Selanjutnya, baja diampelas dengan amplas nomor 150 mesh. Proses pengamplasan ini diulang 3-4 kali yang bertujuan agar sisa oksida tidak ada lagi pada permukaan spesimen yang akan direkatkan. Kemudian baja dibersihkan dengan kain dan tisu yang dibasahi aseton supaya mendapatkan hasil yang maksimal (permukaan yang menghasilkan daya rekat yang baik)

Perekat epoxy disiapkan dengan menambahkan nano-*CaCO<sub>3</sub>* 3% (dalam berat) yang sudah

dicampur dengan aseton (untuk memperbaiki disperse partikel) ke dalam epoxy. Campuran epoxy tersebut kemudian diaduk menggunakan sendok dan mixer selama 5 menit. Setelah itu campuran divakum selama 15-30 menit untuk mengangkat gelembung udara yang terjebak dalam campuran tersebut. Setelah itu campuran ditambah *hardener*, dan kemudian diaduk menggunakan sendok. Setelah *hardener* dicampur kemudian dilakukan pemvakuman lagi dengan durasi selama 15-30 menit agar gelembung udara yang terjebak benar-benar hilang. Tahap diatas dilakukan secara berturut-turut dengan filler nano- $\text{CaCO}_3$  adalah untuk rasio berat *hardener*/epoxy 0,4:1, 0,5:1, 0,75:1, dan 1:1.

Setelah perekat dipersiapkan, kemudian penyambungan baja dilakukan. Ketebalan ketebalan perekat 0,15 mm diperoleh dengan menyisipkan 6-9 kawat tembaga yang sudah dipotong dengan panjang 5 mm di dalam sambungan (di bagian tengah dan ujung). Kemudian perekat dioleskan pada permukaan baja yang akan disambung secara merata dan kemudian dilakukan tahap penyambungan antara baja *adherend* satu dengan yang lainnya. Panjang perekat (*overlap length*) adalah 241 mm, sambungan dijepit dengan klip agar *adherend* tidak bergerak. Sambungan dimasukkan ke dalam oven untuk proses curing dengan suhu 100 °C selama (1 jam). Setelah perekat mengeras (curing), penjepit klip pada spesimen dilepas. Setelah itu, proses selanjutnya yaitu proses *finishing*. Proses finishing ini sangat perlu dilakukan agar spesimen yang dibuat sesuai dengan standar ASTM D1876 yang dipakai pada pengujian, seperti Gambar 1(b).



**Gambar 1.** Spesimen *T-peel* test (a) sebelum direkatkan, (b) dimensi spesimen yang telah direkatkan.

### 2.2.2. Perendaman

Bila pembuatan specimen telah selesai dilakukan, kemudian specimen direndam dalam air destilasi dengan suhu (28 °C) dan suhu kamar (45 °C), seperti pada Gambar 2. Waktu perendaman specimen uji adalah selama 71 hari. Pengangkatan specimen dilakukan dalam waktu yang telah ditentukan.

### 2.2.3. Pengujian *T-peel*

Hal yang dilakukan selanjutnya adalah melakukan pengujian *T-peel* untuk kedua kondisi. Pengujian dilakukan dengan mesin uji tarik universal dengan laju penarikan 1 mm/menit. Permukaan specimen yang sudah diuji kemudian diamati dengan mata telanjang untuk mengetahui mode kegagalannya. Kekuatan *T-peel* ( $P$ ) dihitung menggunakan Persamaan (1).

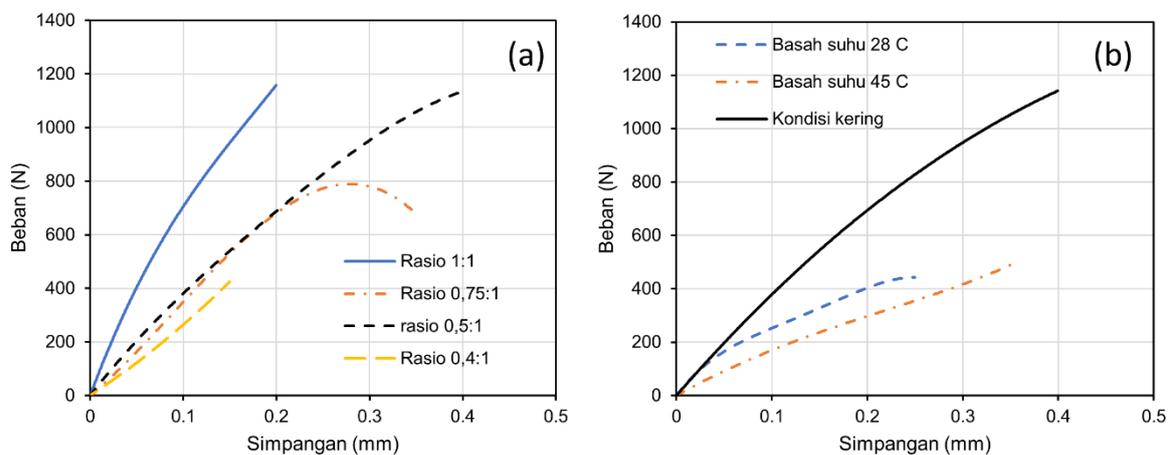
$$P = F/W \tag{1}$$

dimana  $F$  adalah gaya maksimum dan  $W$  adalah lebar specimen.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Kekuatan *T-peel*

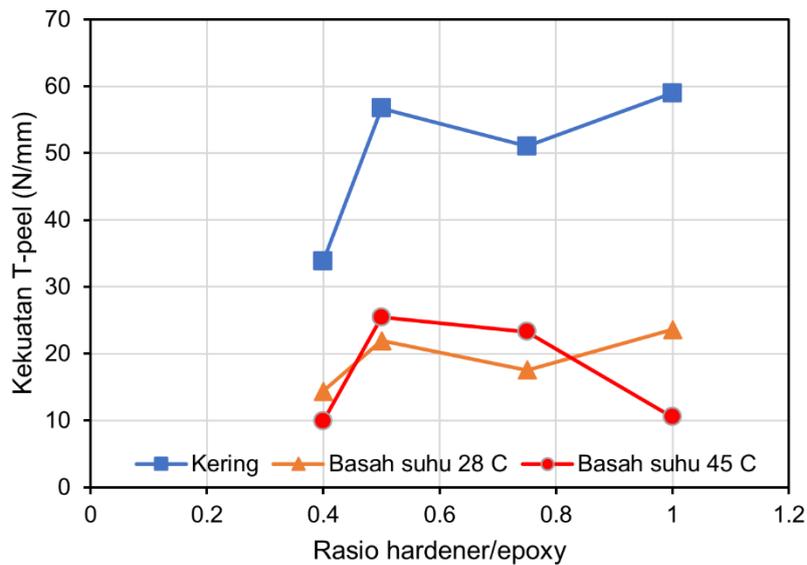
Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan hubungan beban dengan simpangan dalam lingkungan kering pada berbagai rasio *hardener/epoxy* dan kondisi basah suhu kamar (28°C) dan suhu 45°C. Setelah puncak tercapai retak mulai merambat dan beban turun drastis, namun penurunan beban setelah beban puncak tidak ditunjukkan pada kurva beban-simpangan di Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik hubungan beban-simpangan uji kekuatan *T-peel* (a) pengaruh rasio *hardener/epoxy* pada kondisi kering, (b) pengaruh suhu perendaman pada rasio *hardener/epoxy* 0,5:1.

Gambar 3 menunjukkan hubungan rasio *hardener/epoxy* versus kekuatan *T-peel* sambungan perekat baja-baja. Seperti terlihat pada Gambar 3, kekuatan *T-peel* untuk kondisi kering cenderung menurun dengan berkurangnya *hardener* (dari rasio *hardener/resin* 1:1 ke 0,4:1). Penelitian sebelumnya (Zikrullah, 2020) menunjukkan bahwa kekuatan bending optimal terjadi pada rasio *hardener/epoxy* 0,5:1, yang tidak konsisten dengan hasil ini. Sehingga, peningkatan kekuatan *T-peel* tidak sepenuhnya bergantung pada kekuatan perekat. Meningkatnya *hardener* dapat menyebabkan adhesi antar perekat dengan substrat yang lebih baik atau meningkatnya ketangguhan perekat, yang kemudian meningkatkan energi patah.

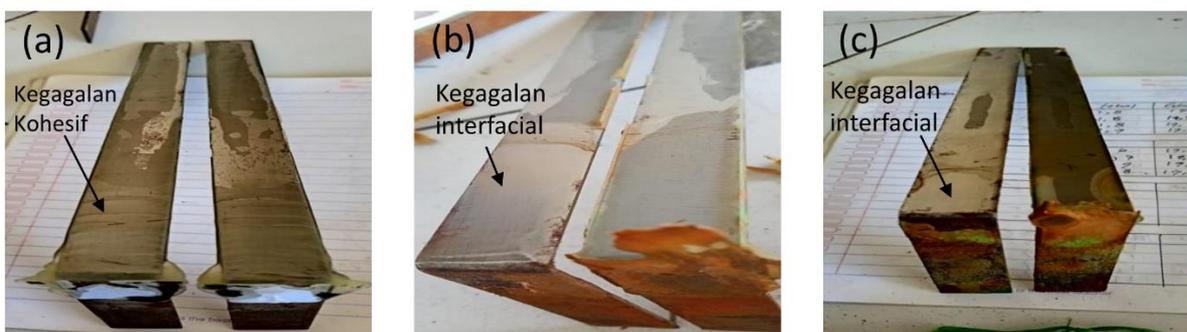
Untuk kondisi basah (setelah direndam dalam air distilat suhu 28°C), kekuatan peel sangat jauh menurun (57-65%) dibandingkan kondisi kering dan kekuatan peel paling besar terjadi pada rasio resin/*hardener* = 0,5:1. Sedangkan untuk kondisi setelah direndam di air distilat pada suhu 45°C, kekuatan *peel* antara rasio 0,4:1 – 0,75:1 hampir sama dengan kekuatan peel pada suhu 28°C, tetapi pada rasion 1:1 kekuatan *T-peel* menjadi cukup rendah (menurun 80%) dibanding kondisi kering. Hal ini menunjukkan bahwa pada rasio *hardener/epoxy* =1:1, perendaman suhu tinggi menyebabkan penurunan drastic karena kekakuan perekat menjadi sangat menurun (Sugiman et al., 2015). Pada rasio ini penyerapan air paling besar dibandingkan dengan rasio yang lain (Zikrullah, 2020).



**Gambar 3.** Grafik hubungan kekuatan *T-peel* dengan rasio *hardener*/resin epoxy 0,4:1; 0,5:1; 0,75:1; dan 1:1 dalam lingkungan kering, basah (28 °C) dan basah (45 °C).

### 3.2. Mode kegagalan

Setelah pengujian *T-peel*, mode kegagalan perekat diamati dengan mata telanjang, baik dalam kondisi kering (tanpa perendaman) dan basah (dengan perendaman 71 hari). Contoh mode kegagalan sambungan perekat yang diambil pada rasio *hardener*/resin epoxy 0,75:1, dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Mode kegagalan specimen *T-peel*, pada rasio *hardener*/epoxy 0,75:1 pada kondisi (a) kering, (b) basah suhu 28 °C, (c) basah suhu 45 °C.

Pada kondisi kering, Gambar 4(a) sambungan mengalami kegagalan *interfacial*, tetapi menunjukkan ada bagian yang menunjukkan kegagalan kohesif. Pada kegagalan kohesif, kegagalan terjadi di dalam perekat dan perekat menempel pada kedua bagian substrat. Kegagalan kohesif menunjukkan bahwa adhesi perekat-substrat baik menghasilkan kekuatan *T-peel* yang cukup tinggi. Pada kondisi basah (suhu 28 °C dan 45 °C), kegagalan yang terjadi didominasi oleh kegagalan *interfacial*. Dalam kegagalan *interfacial*, perekat masih menempel pada satu sisi spesimen tetapi kegagalan *interfacial* itu bisa melompat ke sisi permukaan yang lain, dengan

terjadi robekan pada perekat. Dari semua gambar di atas bisa disimpulkan bahwa spesimen yang mengalami kegagalan kohesif mempunyai kekuatan *T-peel* lebih tinggi dibanding specimen yang mengalami kegagalan *interfacial* (adhesi).

#### 4. Kesimpulan

Investigasi pengaruh rasio *hardener/epoxy* terhadap kekuatan *T-peel* sambungan perekat baja-baja telah dilakukan. Pada kondisi kering, kekuatan *T-peel* sambungan meningkat dengan meningkatnya rasio *hardener/epoxy* dari 0,4:1 sampai 0,5:1, tetapi pada rasio *hardener/epoxy* antara 0,5:1 dan 1:1 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Trend tersebut juga terjadi pada kondisi basah suhu 28 °C, tetapi kekuatan *T-peel* jauh lebih rendah (57-65%) dibanding kondisi kering pada rasio *hardener/epoxy* yang sama. Pada suhu 45 °C, kekuatan *T-peel* juga turun seperti pada suhu 28 °C, tetapi kekuatannya sedikit lebih tinggi pada rasio 0,5:1 dan 0,75:1 dibanding pada suhu 28 °C. Sedangkan pada rasio *hardener/epoxy* 1:1, kekuatan *T-peel* mengalami penurunan yang paling besar (80%).

Mode kegagalan yang terjadi pada sambungan baja-baja untuk semua rasio *hardener/resin epoxy* dalam kondisi kering adalah didominasi oleh kegagalan *interfacial*, terutama pada kondisi basah.

#### Daftar Pustaka

- ASTM D1817. 2001. Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (*T-peel* Test). ASTM International, PA.
- Bignotti, F., Pandini, S., Baldi, F., De Santis, R. 2011. Effect of the resin/*hardener* ratio on curing, structure and glass transition temperature of nanofilled epoxies. *POLYM. COMPOS.*, Vol. 32, pp.1034–1048.
- d’Almeida, J.R.M., & Monteiro, S.N. 1996. The Effect of the resin/*hardener* ratio on the compressive behavior of an epoxy system. *Polymer Testing*, Vol. 15, pp. 329-339.
- d’Almeida J.R.M., & Monteiro, S.N. 1997. The Role of the resin matrix/*hardener* ratio on the mechanical properties of low volume fraction epoxy composites. *Advanced Performance Materials*, Vol. 4, pp. 285–295.
- Gao, L., Zhang, Q., Guo, J., Li, H., Wu, J., Yang, X., Sui, G. 2016. Effects of the amine/epoxy stoichiometry on the curing behavior and glass transition temperature of MWCNTs-NH<sub>2</sub>/epoxy nanocomposites. *Thermochimica Acta*, Vol. 639, pp. 98–107.
- Kahraman, R., Sunar, M., dan Yilbas, B. 2008. Influence of adhesive thickness and filler content on the mechanical performance of aluminium single-lap joints bonded with aluminium powder filled epoxy adhesive. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 205, pp. 183–189.
- Li, Y.F., Xiao, M.Z., Wu, Z., Peng, K., Han, C.M., Xiang, W., and Dai, J.Y. 2016. Effects of epoxy/*hardener* stoichiometry on structures and properties of a diethanolamine cured epoxy encapsulant. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 137 012012.
- Pandini, S., Baldi, F., De Santis, R., Bignotti, F. 2011. Effect of the resin/*hardener* ratio on yield, post-yield, and fracture behavior of nanofilled epoxies. *POLYM. COMPOS.*, Vol. 32, pp. 1461–1472.
- Pereira A.A.C., and d’Almeida, J.R.M. 2016. Effect of the *hardener* to epoxy monomer ratio on the water absorption behavior of the DGEBA/TETA epoxy system. *Polímeros*, Vol. 26(1), pp. 30-37.

- Sugiman, Putra, I.K.P., Gozali, H.M., Setyawan, P.D. 2015. Penyerapan air pada epoxy dan poliester tak jenuh dan pengaruhnya pada kekuatan tarik. In: Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Indonesia XIV, 7-8 Oktober 2015, Banjarmasin.
- Zikrullah, M. 2020. *Pengaruh rasio epoxy resin terhadap hardener dengan filler nano-caco<sub>3</sub> pada kekuatan bending epoxy dan kekuatan geser sambungan baja-baja secara perekatan dalam lingkungan kering dan basah*. Skripsi, Universitas Mataram, Mataram.