

Pengaruh media dan kondisi *ageing* pada kekuatan sambungan perekat baja-komposit fiberglass/polyester

Sugiman Sugiman*, Paryanto Dwi Setyawan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas mataram

Jl. Majapahit 62 Mataram 83125

*Email: s.sugiman@unram.ac.id

Abstrak

Makalah ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media (air distilat dan air garam) dan kondisi *ageing* (stabil dan fluktuatif) pada kekuatan geser sambungan perekat baja-komposit pada suhu *ageing* 45°C. Terjadi penurunan kekuatan geser spesimen sambungan yang diekspos dalam kedua media *ageing* dan kedua kondisi relative terhadap spesimen kering. Dalam media air distilat, penurunan kekuatan geser kondisi stabil lebih tinggi dibanding kondisi fluktuatif, sedangkan dalam air garam sebaliknya, penurunan kekuatan geser kondisi fluktuatif lebih tinggi dibanding kondisi stabil. Penurunan terjadi karena proses plastisasi perekat dan juga karena serangan air pada interface perekat/baja dan perekat/komposit. Pada kondisi fluktuatif dalam air garam, korosi terjadi di substrate baja di interface perekat/baja yang mampu menyebabkan debonding.

Kata kunci: sambungan perekat; *ageing*; air distilat; air garam; stabil; fluktuatif

Pendahuluan

Sambungan perekat telah banyak digunakan untuk menyambung dua material yang tidak sama seperti baja-komposit, aluminium-komposit sebagai usaha untuk perbaikan struktur baja (retak pada baja), penguatan struktur baja (penguatan kerangka jembatan baja) dan rehabilitasi infrastruktur yang terbuat dari baja seperti tangki, pipa air minum, dan lain-lain [1]. Namun perekat berbasis epoxy untuk menyambung baja-komposit tersebut mampu menyerap air sampai 7% [2], dan berpengaruh buruk terhadap durabilitas sambungan tersebut. Air dapat masuk ke lapisan perekat pada sambungan melalui perekat, interface perekat/substrate, proses kapilaritas melalui retak-retak mikro dan void, dan difusi melalui substrate yang permeable [3]. Pada umumnya air masuk ke perekat yang tebal melalui difusi yang mengikuti hukum Fick, sehingga distribusi spasial air dalam lapisan perekat dapat diprediksi [4,5].

Untuk sambungan metal-komposit, *ageing* dilakukan dengan mengekspos spesimen dalam ruangan dengan kandungan kelembaban, merendam dalam air atau air garam pada kondisi stabil. Besarnya kecilnya air terserap tergantung pada konsentrasi air dalam lingkungan, media, suhu dan juga waktu. Semakin besar konsentrasi air di lingkungan kadar air jenuh yang masuk ke perekat juga bertambah [2], demikian juga bila meningkatnya suhu [5]. Media dimana sambungan bekerja juga berpengaruh buruk, namun besar atau kecil pengaruhnya tergantung pada polaritas dari media tersebut. Media yang polar mempunyai pengaruh yang lebih buruk dibanding media non polar [6]. Namun pengaruh kondisi perendaman dalam dua media yang berbeda pada kekuatan geser sambungan baja-komposit masih jarang dilaporkan. Paper ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh media perendaman (air distilat dan air garam) dan kondisi perendaman (stabil dan fluktuatif) pada kekuatan geser

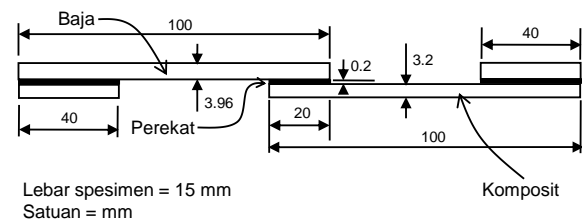
sambungan baja-komposit fiberglass/polyester. Perendaman dilakukan selama 14 hari pada suhu 45°C. Kekuatan geser dan mode kegagalan dipelajari untuk mendapatkan pengaruh dari masing-masing variable.

Metode Penelitian

Material. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah dengan ketebalan nominal 3,2 mm dan lebar 15 mm. Komposit dibuat dari resin polyester tak jenuh yang diperkuat fiberglass anyam (*plain weave*) dengan densitas area 200 g/m². Komposit (30 x 30) cm² dibuat dengan cetak press. Sebanyak 16 lapis fiberglass dibasahi dengan resin polyester dan kemudian dipress untuk menghasilkan ketebalan sekitar 3 mm dengan bantuan *spacer* selama pengepresan. Perbandingan resin polyester dengan *hardener* adalah 100:1 (dalam berat). *Curing* komposit dilakukan pada suhu kamar selama 24 jam. Perekat yang digunakan adalah Devcon home plastic steel.

Spesimen sambungan. Spesimen sambungan yang digunakan pada adalah *single lap joint* (SLJ), dengan dimensi seperti Gambar 1. Sebelum disambung permukaan baja dibersihkan dari karat, dan *smudge* dan kotoran lain dengan merendamnya dalam asam klorida. Setelah dicuci dengan air kran, permukaan baja kemudian diampas dengan amplas grid 120 sampai bersih dan mengkilat. Pengamplasan dilakukan pada satu arah, ke arah lebar spesimen. Setelah pengamplasan, permukaan baja dibersihkan dengan menggunakan thinner w90 agar minyak dan kotoran hasil amplas hilang dari permukaan. Sebelum disambung baja dipanaskan pada suhu 90°C. Untuk komposit perlakuan permukaan dilakukan dengan mengamplas secara ringan (agar permukaan kasar) juga dengan amplas grid 120 dan kemudian dilap dengan thinner w90. Perekat dipersiapkan dengan mencampur resin epoxy dan *hardener*, dengan perbandingan resin : *hardener* adalah 1:1 (dalam volume). Pencampuran dilakukan secara perlahan untuk mengurangi udara terjebak dalam perekat sampai homogen. Setelah homogen, perekat di-*degass* dalam

vakum untuk menghilangkan udara terjebak kira-kira selama 10 menit. Penyambungan dilakukan ketika baja masih panas agar perekat dapat membasahi permukaan baja dengan baik. Ketebalan perekat dijaga 0,2 mm dengan menggunakan kawat tembaga yang tempatkan di kedua sisi daerah sambungan. Setelah disambung perekat dijepit dengan penjepit kertas dan dibiarkan mengering (*curing*) pada suhu 90°C selama 2 jam. Panjang overlap adalah 20 mm.



Gambar 1. Spesimen single lap joint (SLJ).

Pengkondisian dan pengujian spesimen.

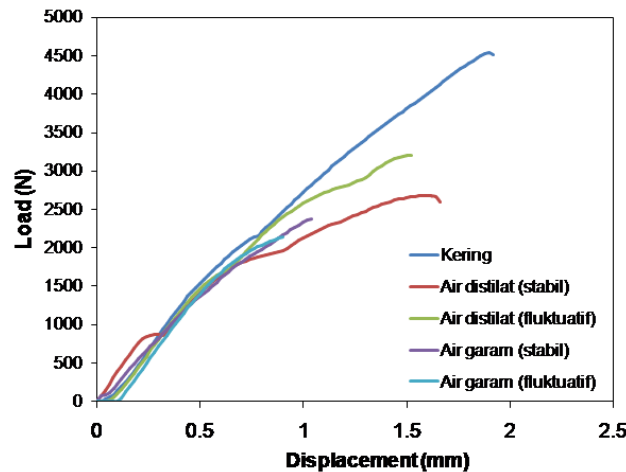
Setelah spesimen sambungan kering, spesimen direndam dalam air distilat dan air garam pada suhu 45°C. Air garam dibuat dengan melarutkan garam NaCl dalam air distilat. Kandungan garam adalah 3,5%, seperti kandungan NaCl dalam air laut normal. Selama pengkondisian, spesimen dibagi menjadi 2 kelompok; kondisi stabil dan fluktuatif. Kondisi stabil dilakukan dengan merendam spesimen secara kontinyu selama 14 hari, pada suhu 45°C, sedangkan pada kondisi fluktuatif, spesimen direndam selama 4 hari pada suhu 45°C, kemudian diambil dan dikeringkan pada udara terbuka pada suhu kamar selama 3 hari. Setelah 14 hari spesimen diuji secara tarik menggunakan mesin uji tarik Tensilon dengan kapasitas load cell 10 kN dengan kecepatan penarikan 1 mm/min. Sebagai kontrol, spesimen kering (tidak direndam) juga diuji. Setelah pengujian permukaan patah spesimen dianalisa untuk mengetahui jenis kegagalannya.

Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 menunjukkan tipikal kurva load (beban)-displacement spesimen SLJ akibat pembebanan geser setelah proses perendaman. Setiap kurva mempunyai sifat unik yang

tergantung pada bagaimana spesimen mengalami proses kegagalan untuk setiap kondisi perlakuan. Namun hampir semua

kurva menunjukkan kurva nonlinearitas yang berhubungan dengan proses kegagalan yang unik.



Gambar 2. Tipikal load-displacement spesimen SLJ dalam berbagai kondisi *ageing*.

Tabel 1. Kekuatan geser rata-rata SLJ dalam berbagai kondisi *ageing*.

Spesimen	Kekuatan geser (MPa)	Standard deviasi (MPa)	Variasi (%)
Dry	13,72	1,85	-
Air distilat (stabil)	8,48	0,54	38
Air distilat (fluktuatif)	9,59	0,86	30
Air garam (stabil)	7,46	1,76	46
Air garam (fluktuatif)	6,77	1,70	51

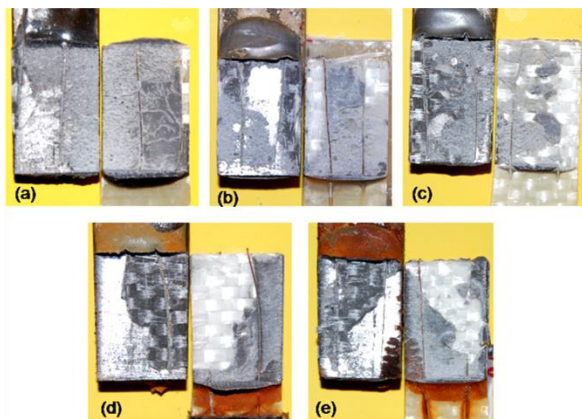
Terlihat pada Tabel 1 bahwa pada kondisi kering, spesimen mempunyai kekuatan geser paling tinggi karena tidak ada pengaruh air yang terserap. Kegagalan sambungan adalah kohesif di perekat (Gambar 3a) yang menunjukkan bahwa ikatan antara perekat dengan substrate (baja dan komposit) terjadi dengan baik dan lebih kuat dibanding kekuatan geser perekat. Namun demikian kegagalan kohesif tidak secara sempurna terjadi di tengah semua, tetapi ada yang terjadi dekat ke interface, dan lebih dekat ke interface perekat/baja dari pada ke interface perekat/komposit. Hal ini berkaitan dengan kondisi tegangan yang terjadi dan dapat diketahui dengan pemodelan elemen hingga. Setelah direndam dalam air distilat secara kontinyu selama 14 hari pada suhu 45°C, kekuatan geser menunjukkan penurunan yang cukup signifikan sekitar 38% dibanding kondisi kering. Penurunan ini terjadi karena air

yang masuk ke perekat, baik melalui perekat sendiri dan juga melalui komposit mampu menyebabkan plastisasi perekat yang menurunkan sifat mekaniknya.

Air yang terserap menyebabkan penurunan sifat mekanik (kekuatan tarik dan modulus elastis) perekat dan juga mempengaruhi interface perekat substrate baik interface perekat/baja dan interface perekat/komposit. Bila dilihat dari mode kegagalannya, terjadi kegagalan interfacial (di tengah) dan juga kegagalan kohesif pada perekat (Gambar 3b). Kegagalan interfacial terjadi pada interface perekat/baja dan dekat ke ujung sambungan. Hal ini terjadi karena interface perekat/baja lebih tidak stabil dalam air dibanding interface perekat/komposit [7].

Untuk kondisi fluktuatif dalam air distilat, kekuatan sambungan pada kondisi fluktuatif ini lebih rendah sekitar 30% dibanding kondisi kering tetapi masih lebih

tinggi (8%) dibanding pada kondisi stabil. Pada kondisi fluktuatif, pengujian dilakukan setelah spesimen diambil dari perendaman selama 4 hari dan kemudian dikeringkan pada suhu kamar selama 3 hari. Sehingga air yang terserap keluar lagi, namun karena pengeringan dilakukan pada suhu lebih rendah dibanding suhu perendaman, ada kemungkinan air tertinggal dalam perekat yang tidak ikut keluar [8]. Pengaruh air lebih moderat pada penurunan kekuatan geser, karena sifat mekanik perekat dapat diperoleh kembali setelah pengeringan. Namun karena ada air tersisa, yang jumlahnya lebih sedikit dibanding pada kondisi stabil, maka pengaruhnya lebih kecil. Mode kegagalan spesimen pada kondisi fluktuatif (distilat), secara umum masih kohesif di perekat (Gambar 3c), namun terjadi dekat dengan interface, yang berarti bahwa interface perekat/baja dan interface perekat/komposit belum secara signifikan dipengaruhi oleh air yang terserap karena jumlah air terserap yang lebih sedikit dibanding kondisi stabil. Lagi pula terjadi pemulihan sifat mekanik setelah pengeringan.



Gambar 3. Mode kegagalan SLJ untuk berbagai kondisi *ageing*.

Dengan media perendaman air garam, kekuatan geser sambungan menurun lebih drastis dibanding dalam media air distilat.

Dibanding kondisi kering, kekuatan geser spesimen setelah direndam dalam air garam secara stabil menurun 46%, bahkan pada kondisi fluktuatif lebih buruk lagi, dengan penurunan sekitar 51%. Hal ini berlawanan dengan kondisi fluktuatif dalam air distilat, yang masih lebih tinggi dibanding kondisi perendaman stabil. Walau air yang terserap dalam perekat dan komposit dalam air garam lebih rendah dibanding dalam air distilat [9], adanya ion-ion garam lebih degradatif terhadap kekuatan sambungan. Air garam tentu saja lebih korosif dibanding air distilat karena lebih bersifat lebih polar (kandungan ion-ion Na dan Cl). Air garam menyebabkan degradasi yang lebih besar dibanding air distilat baik pada perekat maupun pada komposit. Jika dilihat mode kegagalannya, baik kondisi stabil dan kondisi fluktuatif, kegagalan terjadi pada interface perekat/baja dan juga pada interface perekat/komposit (Gambar 3(d-e)). Pada kondisi stabil, kegagalan banyak terjadi pada interface perekat/komposit, tetapi ada tanda fiberglass terkelupas dari kompositnya dan juga patah. Namun demikian ada 30% spesimen yang didominasi oleh kegagalan pada interface perekat/baja. Sedang pada kondisi fluktuatif, sebagian besar kegagalan (sekitar 66%), kegagalan terjadi pada interface perekat/baja, sedangkan sekitar 33% pada interface perekat/komposit. Kegagalan pada interface perekat/komposit juga ada tanda fiberglass terkelupas dari komposit. Korosi terlihat pada permukaan baja terutama dari bagian tepi sambungan) setelah diekspos pada kondisi fluktuatif. Produk korosi ini akibat dari masuknya udara (oksigen) ke void-void yang ditinggalkan oleh air setelah pengeringan pada daerah yang terekspos air garam. Korosi yang terbentuk mendorong perekat untuk terjadi debonding dari baja, sehingga kekuatan sambungan secara keseluruhan menjadi lebih rendah. Pada kondisi produk korosi tidak terlihat sebanyak seperti pada kondisi fluktuatif.

Kesimpulan

Pengaruh air terserap pada kekuatan geser sambungan perekat baja-komposit telah diselidiki, baik pada kondisi stabil dan fluktuatif dan pada media *ageing* yang berbeda (air distilat dan air garam). Secara umum, pada semua kondisi, air yang terserap dalam sambungan menurunkan kekuatan sambungan. Dalam air distilat, dibanding kondisi kering, pada kondisi stabil penurunan kekuatan geser (38%) lebih tinggi dari penurunannya pada kondisi fluktuatif (30%). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh jumlah air yang terserap lebih dominan karena jumlah air terserap pada kondisi stabil lebih tinggi dibanding pada kondisi fluktuatif. Namun, dalam air garam, penurunan kekuatan geser pada kondisi stabil (46%) lebih rendah dibanding pada kondisi fluktuatif (51%). Dalam air garam, kondisi fluktuatif menimbulkan efek yang lebih besar dalam menurunkan kekuatan geser karena pengaruh korosi baja pada interface perekat/baja.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih pada Direktorat Pendidikan Tinggi, Kemenristekdikti atas hibah penelitian Fundamental 2016.

Referensi

- [1] X. Jiang, H. Kolstein, F.S.K. Bijlaard, Moisture diffusion in glass–fiber-reinforced polymer composite bridge under hot/wet environment, *Composites: Part B* 45 (2013) 407–416.
- [2] W.K. Loh, A.D. Crocombe, M.M.A. Wahab, I.A. Ashcroft, Modelling anomalous moisture uptake, swelling and thermal characteristics of a rubber toughened epoxy adhesive, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 25(2005)1–12.
- [3] R.D. Adams, J.W. Cowap, G. Farquharson, G.M. Margary, D. Vaughn, The relative merits of the Boeing wedge test and double cantilever beam test for assessing the durability of adhesively bonded joints, with particular reference to the use of fracture mechanics, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 29 (2009) 609–620.
- [4] S. Sugiman, A.D. Crocombe, I.A. Ashcroft, Experimental and numerical investigation of the static response of environmentally aged adhesively bonded joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 40 (2013) 224–237.
- [5] A. Mubhasar, I.A. Ashcroft, G.W. Critchlow, A.D. Crocombe, Modelling cyclic moisture uptake in an epoxy adhesive, *The Journal of Adhesion* 85 (2009) 711–735.
- [6] G. Doyle, R.A. Pethrick, Environmental effects on the *ageing* of epoxy joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 29 (2009) 77–90.
- [7] R.A. Gledhill, A.J. Kinloch, Environmental failure of structural adhesive joints, *Journal of Adhesion* 6 Issue 4 (1974) 315–330.
- [8] Sugiman, Sulardjaka, Water absorption and desorption behaviour and their effect on the tensile properties of FM 73M adhesive film, *International Journal of Technology* 3 (2016) 438–446.
- [9] Sugiman, M.H. Gozali, P.D. Setyawan, Tensile properties and translaminal fracture toughness of glass fiber reinforced unsaturated polyester resin composites aged in distilled and salt water, *AIP Conference Proceedings* 1717, 040015 (2016); doi: 10.1063/1.4943458.