

INTISARI

Penggunaan panel surya menurut laporan yang disampaikan oleh *International Renewable Energy Agency* (IRENA) limbahnya pada tahun 2050 akan mencapai kurang lebih 78 jt ton. Angka limbah ini tentu sangat fantastis, sehingga pada penelitian ini bermaksud memanfaatkan limbah solar panel atau *photovoltaic* (PV) dengan menjadikannya sebagai bubuk berukuran mikro untuk dijadikan *filler* pada matriks komposit. Bubuk limbah PV dipadukan dengan *Multi-Walled Carbon Nanotubes* (MWCNT) sebagai *hybrid filler* yang ditunjukkan untuk meningkatkan sifat mekanis komposit *Glass Fiber Reinforced polymer* (GFRP). Proses manufaktur komposit ini menggunakan teknik *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI), dengan variasi kandungan *filler* limbah PV (1-5%) dan MWCNT (0,1-0,5%). Hasil pengujian kekuatan tarik terbaik dari perpaduan *filler* tersebut berada pada 2% PV dan 0,4% MWCNT. Jika dibandingkan GFRP biasa tanpa *filler* kekuatan dapat ditingkatkan hingga 200,5%, dengan nilai UTS sebesar 397,54 MPa. Pada jumlah *filler* tersebut kekuatan spesifik komposit memiliki nilai tertinggi sebesar 209,62 MPa.cm³/g, dimana perilaku ini menandakan bahwa material memiliki efisiensi yang sangat baik. Namun, dengan bertambahnya *filler* di dalam matriks komposit dapat membuat komposit menjadi lebih tidak *ductile* dan lebih menjadi *brittle*.

Hasil pengukuran fraksi volume penyusun komposit, dengan menggunakan konsep *Archimedes* dan standar ASMT D2584, ditemukan fraksi volume serat sebesar 53,34% dan matriks sebesar 46,66%. Pengujian DSC menunjukkan stabilitas termal tertinggi pada komposit berada pada komposisi *filler* 1% PV dan 0,4% MWCNT. Kemudian, pengamatan SEM menemukan bahwa komposit dengan *filler* PV dan MWCNT memiliki perpaduan yang membentuk *mechanical interlocking* dan *bigde effect*, dimana hal tersebut menjadi penjemabatanan distribusi tegangan antara *filler* PV dengan PV dan PV dengan matriks. Selain itu, pengamatan SEM menemukan partikel PV berbentuk *irreguler particle* dan distribusi rata-rata ukurannya $\pm 2 \mu\text{m}$. Pengujian FTIR menunjukkan bahwa dengan menambahkan *filler* PV dan MWCNT pada matriks komposit tidak muncul gugus fungsi baru. Hasil tersebut mengartikan *filler* tidak menciptakan ikatan kovalen antara matriks dan *filler*. Pendekatan DIC yang dilakukan pada penelitian ini berhasil digunakan untuk melihat distribusi tegangan selama pengujian mekanis dan dapat digunakan sebagai pendekatan perhitungan *poisson rasio* material.

Selain melakukan pengujian eksperimental, penelitian ini menggunakan pendekatan *Artificial Neural Netwok* (ANN) untuk memprediksi pertambahan panjang dan tegangan komposit. Model terbaik yang ditemukan pada penelitian ini untuk memprediksi tegangan adalah 2 *hidden layer* (HL), 175 *neuron* pada HL pertama, 147 *neuron* pada HL kedua, dengan aktivasi fungsi ReLU, dan *optimizer* Amsgrad. Validasi model ini menunjukkan *mean square error* (MSE) 28,745 dan koefisien determinasi (R^2) menjadi 0,9962. Selanjutnya, model ANN terbaik dalam memprediksi pertambahan panjang adalah 1 HL, 191 *neuron*, dengan aktivasi fungsi ReLU, dan *optimizer* Adam. Validasi model ini menunjukkan *mean square error* (MSE) 0,027219 dan koefisien determinasi (R^2) menjadi 0,987. Hasil pembangunan ini menunjukkan model ANN mampu belajar dan memprediksi dengan baik. Secara keseluruhan pemanfaatan limbah PV dipadukan dengan MWCNT yang difungsikan sebagai *filler* komposit mampu



Karakterisasi, Analisis Komposit dengan Filler Limbah PV/MWCNT serta Prediksi Stress dan Displacement Menggunakan ANN Berbasis Optimasi

Edi Purnomo, Ir. Muhammad Akhsin Muflikhun, S.T., MSME., Ph.D.; Yi Chieh Wu, Ph. D.

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

meningkatkan menciptakan material baru yang kuat, serta menjadi solusi inovatif dalam mencegah pencemaran lingkungan dan dukungan terhadap *Sustainable Development Goals* (SDGs) ke-12.

Keywords : *Limbah Photovoltaic, MWCNT, GFRP, VARI, Artificial Neural Network.*

ABSTRACT

According to a report by the *International Renewable Energy Agency* (IRENA), the deployment of solar panels is projected to produce almost 78 million tons of garbage by 2050. This waste number is indeed substantial; so, this research aims to repurpose solar panel or *photovoltaic* (PV) waste by converting it into micro-sized powder for use as a filler in the composite matrix. Photovoltaic waste powder is amalgamated with *Multi-Walled Carbon Nanotubes* (MWCNT) as a hybrid filler, demonstrating an enhancement in the mechanical characteristics of *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) composites. The composite production process employs the *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) technique, incorporating changes in the filler content of PV waste (1-5%) and MWCNT (0,1-0,5%). The optimal tensile strength test results from this filler combination were observed at 2% PV and 0,4% MWCNT. When compared to standard GFRP without filler, the strength can be enhanced by as much as 205,5%, yielding a UTS value of 397,54 MPa. At this filler quantity, the composite's specific strength reaches a maximum of 209,62 MPa.cm³/g, signifying excellent material efficiency. Nevertheless, the incorporation of filler into the composite matrix may result in decreased ductility and increased brittleness.

The results of the measurement of the volume fraction of the composite components, using the Archimedes concept and ASMT D2584 standard, found a fiber volume fraction of 53,34% and a matrix of 46,66%. DSC testing showed the highest thermal stability in the composite at a filler composition of 1% PV and 0,4% MWCNT. Then, SEM observations found that the composite with PV and MWCNT fillers has a combination that forms mechanical interlocking and the bigde effect, which bridges the stress distribution between PV filler and PV, and PV and the matrix. Additionally, SEM observations found that PV particles are irregularly shaped and have an average size distribution of $\pm 2 \mu\text{m}$. FTIR testing shows that adding PV and MWCNT fillers to the composite matrix does not introduce new functional groups. The results indicate that the filler does not create covalent bonds between the matrix and the filler. The DIC approach used in this study was successfully employed to observe the stress distribution during mechanical testing and can be used as an approach for calculating the material's Poisson's ratio.

In addition to conducting experimental tests, this research uses the *Artificial Neural Network* (ANN) approach to predict the elongation and stress of composites. The best model found in this study for predicting stress is 2 *hidden layers* (HL), 175 neurons in the first HL, 147 neurons in the second HL, with ReLU activation function, and Amsgrad optimizer. Validation of this model shows a *mean square error* (MSE) of 28,745 and a coefficient of determination (R²) of 0,9962. Furthermore, the best ANN model for predicting elongation is 1 HL, 191 neurons, with ReLu activation function, and Adam optimizer. Validation of this model shows a mean square error (MSE) of 0,027219 and a coefficient of determination (R²) of 0,987. The results of this development show that the ANN model is capable of learning and predicting well. Overall, the utilization of PV waste combined with MWCNTs functioning as composite fillers can enhance the creation of strong new materials, as well as provide an innovative solution in preventing environmental pollution and supporting the 12th Sustainable Development Goals (SDGs).



Karakterisasi, Analisis Komposit dengan Filler Limbah PV/MWCNT serta Prediksi Stress dan Displacement Menggunakan ANN Berbasis Optimasi

Edi Purnomo, Ir. Muhammad Akhsin Muflikhun, S.T., MSME., Ph.D.; Yi Chieh Wu, Ph. D.

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Keywords : *Photovoltaic Waste, MWCNT, GFRP, VARI, Artificial Neural Network.*