

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi mengenai dampak (*RFW*) pada multi-material *Polylactic Acid (PLA)* dan *Nylon* hasil cetak 3D, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kualitas sambungan multi-material *PLA* dan *Nylon* Penelitian ini memperlihatkan bahwa kualitas sambungan yang terbentuk dari proses *Rotary Friction welding* pada material *PLA* dan *Nylon* masih menghadapi tantangan yang cukup signifikan. Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan integritas mekanik sambungan yang dipengaruhi oleh terbentuknya cacat mikro, terutama berupa pori-pori dan *void* pada area antarmuka. Cacat ini mengganggu proses transfer beban antar material, sehingga kekuatan tarik nilai yang dihasilkan cenderung lebih rendah dibandingkan material tunggal. Pola kegagalannya dominan ditemukan di daerah *interface* semakin memperkuat indikasi bahwa proses fusi antar material belum sepenuhnya berhasil mencapai kondisi yang optimal.

Fenomena terbentuknya cacat mikro tersebut berkaitan erat dengan sifat dasar kedua material yang berbeda. *PLA* dengan karakteristik termal lebih rendah cenderung lebih cepat melemah ketika menerima panas gesekan, sementara *Nylon* yang relatif lebih stabil secara termal tidak mengalami perubahan serupa pada tingkat yang sama. Perbedaan karakteristik ini menyebabkan ikatan molekuler antar material tidak menyatu sempurna, sehingga

menghasilkan sambungan yang kurang homogen. Akibatnya, daerah antarmuka justru menjadi titik lemah sambungan dan rentan mengalami kegagalan ketika menerima pembebanan mekanik.

Hasil temuan ini menegaskan bahwa parameter proses yang digunakan, seperti kecepatan putar, tekanan aksial, dan waktu gesek, belum berada pada titik optimum untuk menghasilkan fusi yang sempurna. Jika parameter tersebut dapat diatur lebih tepat, kemungkinan besar terbentuknya cacat mikro dapat diminimalisir dan kualitas sambungan dapat ditingkatkan. Dengan demikian, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi kombinasi parameter yang lebih ideal, sehingga metode *RFW* berpotensi digunakan secara lebih efektif pada penggabungan material berbeda seperti PLA dan *Nylon*.

2. Perubahan dimensi spesimen setelah proses *RFW* Selain memengaruhi integritas sambungan, penelitian ini juga menemukan adanya perubahan dimensi pada spesimen setelah melalui proses *Rotary Friction Welding*. Perubahan tersebut berupa penyusutan panjang, yang nilainya bervariasi antara material. Material PLA mengalami penyusutan yang relatif besar, yaitu sekitar 0,42 mm, sedangkan *Nylon* hanya menyusut sekitar 0,12 mm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa PLA lebih rentan terhadap deformasi termomekanik, sedangkan *Nylon* mampu mempertahankan bentuknya dengan lebih stabil.

Penyusutan yang dialami PLA disebabkan oleh sifat termal dan mekaniknya yang berbeda dengan *Nylon*. PLA memiliki titik leleh yang lebih rendah serta modulus elastisitas yang lebih kecil, sehingga lebih cepat mengalami

pelunakan dan deformasi plastis saat terpapar panas gesekan dan tekanan aksial. Sementara itu, *Nylon* yang memiliki titik leleh lebih tinggi dan sifat mekanik yang lebih kuat tidak mengalami perubahan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik intrinsik material sangat berpengaruh terhadap responsnya terhadap energi gesek dan tekanan selama proses *RFW*.

Perbedaan perilaku deformasi antara PLA dan *Nylon* ini memberikan implikasi penting dalam penerapan proses *RFW* pada multi-material. Pemilihan material dengan sifat yang sangat berbeda memerlukan pengaturan parameter proses yang lebih hati-hati agar salah satu material tidak mengalami deformasi berlebih. Dalam konteks ini, material dengan ketahanan termal rendah seperti PLA perlu mendapat perhatian khusus, misalnya dengan mengurangi kecepatan putar atau menyesuaikan tekanan aksial agar tidak terjadi penyusutan berlebihan. Dengan pengaturan yang tepat, kualitas dimensi spesimen dapat dipertahankan lebih baik, sehingga hasil pengelasan menjadi lebih seragam dan layak diaplikasikan pada kebutuhan industri berbasis polimer.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian yang telah dilaksanakan dan masukan dari dosen pembimbing, maka saran untuk penelitian mendatang dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Optimasi parameter proses seperti kecepatan putar, gaya aksial, dan waktu kontak perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas sambungan dan

meminimalisasi cacat pada hasil *RFW*, terutama pada material PLA yang rentan terhadap deformasi termal.

2. Penggunaan sistem pendinginan atau kontrol suhu selama proses *RFW* disarankan agar pembentukan dapat lebih stabil dan cacat akibat *overheating* dapat diminimalkan.
3. Penambahan variasi desain antarmuka atau geometri interlocking pada permukaan sambungan dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kekuatan tarik sambungan dengan memperbesar luas kontak dan meningkatkan perlekatan mekanik.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan kombinasi material dengan sifat mekanik dan termal yang lebih seimbang, serta menerapkan *post-processing* seperti *annealing* untuk meningkatkan kualitas mekanik hasil sambungan *RFW* pada material cetak 3D.
5. Pengembangan desain sambungan dan material penelitian. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi desain antarmuka atau geometri interlocking pada material PLA untuk meningkatkan kualitas sambungan. Dengan demikian, PLA dapat berperan sebagai elemen "*inter-lock*" sedangkan *Nylon* sebagai pasangan penerima, sehingga area kontak lebih luas, ikatan mekanik lebih kuat, dan kekuatan tarik sambungan dapat meningkat. Untuk penelitian selanjutnya, kombinasi material dengan sifat termal dan mekanik yang lebih seimbang serta penerapan *post-processing* seperti *annealing* dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan performa sambungan *RFW*.