

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian spesimen PLA+, ABS+, dan PC yang direndam selama 19 hari dalam air laut dan bensin Pertamina terhadap sifat mekanis material hasil 3D printing berbahan PLA+, ABS+, dan PC melalui uji bending, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses perendaman selama 19 hari menghasilkan karakteristik penyerapan yang berbeda berdasarkan sifat polaritas, hidrofilisitas, dan lipofilisitas masing-masing material. Pada media air laut, material PLA+ yang bersifat hidrofilik mengalami penurunan massa sebesar 3,98% akibat dominasi fenomena hidrolisis yang mengikis rantai polimer. Sebaliknya, material ABS+ dan PC yang bersifat hidrofobik justru mengalami kenaikan massa (masing-masing sebesar 4,96% dan 3,68%), yang disebabkan oleh air laut yang terjebak secara fisik di dalam celah dan rongga antarlapisan (*antarlayers*) hasil 3D printing, bukan karena penyerapan pada tingkat molekuler matriks polimernya. Sementara itu, pada media bensin Pertamina, terjadi difusi hidrokarbon secara masif pada material yang bersifat lipofilik (suka minyak), di mana ABS+ mengalami pembengkakan ekstrem (*swelling*) dengan lonjakan massa hingga 58,61%, disusul oleh PC sebesar 14,49%. Di sisi lain, material PLA+ yang bersifat lipofobik (menolak minyak) terbukti sangat stabil di lingkungan bahan bakar dengan perubahan massa minimal yang hanya sebesar 0,08%.

2. Karakteristik kekuatan bending (*flexural strength*) material secara keseluruhan mengalami penurunan dengan tingkat degradasi paling parah terjadi pada media bensin Pertamina. Pada media air laut, penurunan kekuatan mekanis relatif minim, dengan PC sebagai yang paling tangguh (turun 1,31% menjadi 51,28 MPa), diikuti ABS+ (turun 4,13% menjadi 40,62 MPa), dan PLA+ (turun 5,38% menjadi 66,54 MPa). Penurunan ini disebabkan oleh fenomena degradasi hidrolitik yang memutus sebagian ikatan rantai polimer pada material hidrofilik (PLA+), serta akibat tekanan hidrostatik dari air yang terjebak di dalam rongga celah *antarlayers* pada material hidrofobik (ABS+ dan

PC), sehingga sedikit melemahkan ikatan antar-lapisan saat diberi beban cetak. Sebaliknya, pada media bensin Pertamina, kekuatan bending ABS+ anjlok ekstrem sebesar 85,83% (tersisa 6,00 MPa) dan PC turun 71,48% (menjadi 14,82 MPa). Material PLA+ juga mengalami pelemahan signifikan sebesar 42,86% (menjadi 40,19 MPa). Penurunan drastis pada media hidrokarbon ini disebabkan oleh bensin yang bertindak sebagai agen pemlastis (*plasticizer*). Cairan bensin berpenetrasi secara agresif ke dalam celah *antarlayer* dan menyusup di antara rantai-rantai polimer material yang lipofilik.

3. Kekakuan material (modulus elastisitas bending) mengalami penurunan drastis akibat efek pelunakan (*plasticizing effect*) oleh fluida yang terperangkap. Di lingkungan air laut, PC mempertahankan kekakuannya dengan sangat baik (hanya turun 1,71% menjadi 1147 MPa) dan PLA+ turun 2,92% (menjadi 2655 MPa), sementara ABS+ kehilangan kekakuan hingga 28,90%. Di lingkungan bensin Pertamina, penurunan modulus elastisitas terjadi secara masif pada seluruh material, dengan penurunan terbesar pada ABS+ sebesar 88,44% (tersisa 204 MPa) dan PLA+ sebesar 67,88% (menjadi 878 MPa), sedangkan PC turun sebesar 64,10% (menjadi 420 MPa). Hal ini mengindikasikan bahwa paparan bensin Pertamina memberikan efek pelunakan yang jauh lebih kuat dibandingkan air laut, dengan PC sebagai material yang paling mampu mempertahankan kekakuannya, sedangkan ABS+ paling rentan mengalami penurunan modulus elastisitas.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan untuk pengembangan dan penyempurnaan penelitian selanjutnya, beberapa langkah strategis perlu diterapkan secara komprehensif. Pertama, penelitian lanjutan sebaiknya memvariasikan parameter proses *3D printing*, seperti orientasi cetak (*printing orientation*) dan kerapatan dinding (*perimeter shells/walls*), guna mengevaluasi efektivitasnya dalam meminimalkan porositas internal yang menjadi jalur masuk utama fluida ke dalam material. Selain itu, disarankan untuk menambahkan pengujian mikroskopis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengamati visualisasi patahan serta rongga

spesimen secara detail, yang kemudian dipadukan dengan pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk menganalisis perubahan atau degradasi gugus kimia pada polimer setelah proses perendaman. Terakhir, guna memetakan karakteristik degradasi mekanis material secara lebih menyeluruh, perlu dilakukan pengujian mekanis komplementer lainnya, seperti uji tarik (*tensile test*) dan uji impak (*impact test*), sehingga sifat mekanis sisa dari material *3D printing* setelah terpapar lingkungan agresif dapat diketahui secara utuh.

