

ISBN 978-602-73114-6-6

Rancang Bangun Model Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan

Reda Rizal



ISBN 978-602-73114-6-6



Tahun 2018

Reda Rizal

Rancang Bangun Model Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan

Reda Rizal

RANCANG BANGUN MODEL SUBSTITUSI MATERIAL
BARU TERBARUKAN UNTUK PENGEMBANGAN
MANUFAKTUR BERKELANJUTAN / Reda Rizal.

--Jakarta: Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada
Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”
Jakarta (LPPM UPNVJ), 2018.

vi, 93 hlm: 21 cm x 14,8 cm

Bibliografi hlm. 94

ISBN 978-602-73114-6-6

1. RANCANG BANGUN MODEL SUBSTITUSI
MATERIAL BARU TERBARUKAN UNTUK
PENGEMBANGAN MANUFAKTUR
BERKELANJUTAN I. Judul

© Hak pengarang dan penerbit dilindungi Undang-Undang
Tahun 2018



Pengarang: Reda Rizal

Dicetak oleh: Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada
Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta

Jl. R.S. Fatmawati, Pondok Labu, Jakarta Selatan 12450

Telp./Fax. 021-7656971 Ext. 234

e-mail: lppm@upnvj.ac.id

PRAKATA

Buku ini ditulis berdasarkan hasil penelitian unggulan perguruan tinggi (PUPT) sebagaimana Keputusan Rektor UPNVJ Nomor 488/UN61/2018. Penelitian dilatarbelakangi oleh adanya persoalan yang ditimbulkan oleh kegiatan masyarakat dan industri manufaktur yang masih menggunakan plastic *styrofoam* yang tidak ramah lingkungan. Sehingga diperlukan inovasi pemanfaatan material dari sumberdaya alam terbarukan dan ramah lingkungan. Substitusi material sintetis dengan material alamiah sebagai material yang digunakan oleh industri manufaktur dijadikan sebagai kata kunci dalam upaya meminimumkan dampak negative pencemaran dan kerusakan lingkungan. Perancangan model material sampah Debog Pisang sebagai pengganti material *styrofoam* pada kemasan barang elektronik bertujuan untuk mendukung program PBB dalam pembangunan berkelanjutan dan berwawasan. Metode penelitian menggunakan metode uji dan coba (*trial and error*). Uji coba pembuatan rancang bangun model substitusi material baru terbarukan untuk pengembangan manufaktur berkelanjutan telah berhasil dilaksanakan dengan tingkat ketercapaian kinerja penelitian sebesar 95%. Material debog pisang mudah terurai oleh mikro organisme dalam tanah sehingga material ini pada saat menjadi sampah tidak akan mengganggu lingkungan. Sedangkan material *styrofoam* tidak bisa diurai oleh mikro organisme dalam tanah sehingga materialnya akan mengganggu lingkungan kehidupan. Dengan demikian maka material Debog pisang akan lebih ramah lingkungan dibanding menggunakan material *styrofoam*.

Ucapan terimakasih disampaikan kepada semua pihak yang dapat memanfaatkan hasil penelitian yang dituangkan dalam buku ini.

Kota Tangerang Selatan, Nonember 2018
Penulis

Reda Rizal



Daftar Isi

PRAKATA	i	
DAFTAR ISI	ii	
DAFTAR TABEL	iii	
DAFTAR GAMBAR	iv	
BAB 1	PENDAHULUAN	1
	Latar Belakang	1
	Masalah Lingkungan	2
	Tujuan Penelitian	3
	Urgensi Penelitian	3
	Inovasi Hasil Penelitian	4
BAB 2	TINJAUAN PUSTAKA	5
	Pembangunan Berkelanjutan	5
	Manufaktur Berkelanjutan	8
BAB 3	TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	15
	Tujuan Penelitian	15
	Manfaat Penelitian	15
BAB 4	METODE PENELITIAN	17
	Metode <i>Survey</i>	17
	Metode Uji Coba	17
	Rancangan Percobaan Penelitian	20
BAB 5	HASIL DAN PEMBAHASAN	24
	Material Baru Terbarukan	24
	Material Tak Terbarukan	31
	Sistem Industri Manufaktur	44
	Rancang Bangun Model Debog	49
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	91
DAFTAR PUSTAKA		93



Daftar Tabel

Tabel 2.1.	Indicator Keberlanjutan Manufaktur	14
Tabel 4.1.	Matriks Rancangan Percobaan Model Debog	20
Tabel 5.1.	Konsumsi Global Polystyrene	49
Tabel 5.2.	Dokumentasi Hasil dan Proses-proses Penelitian dan Percobaan	64
Tabel 5.3.	Perbedaan Sifat Fisik-Kimia-Biologi antara Material Debog dan Material <i>styrofoam</i>	85

Daftar Gambar

Gambar 2.1.	Tiga Pilar Pembangunan Berkelanjutan	5
Gambar 4.1.	Metode Penelitian	18
Gambar 4.2.	Rancangan Metode Penelitian dan Percobaan <i>Trial and Error</i>	22
Gambar 5.1.	Kebun Pisang siap Panen	24
Gambar 5.2.	Panen Pisang Menimbulkan Limbah Debog	25
Gambar 5.3.	Panen Pisang Menimbulkan Limbah Debog	25
Gambar 5.4.	Limbah Debog Pisang	25
Gambar 5.5.	Limbah Debog Pisang	25
Gambar 5.6.	Pemilahan Limbah Debog Pisang	26
Gambar 5.7.	Pemilahan Limbah Debog Pisang	27
Gambar 5.8.	Pemanfaatan Limbah Debog Pisang untuk Kerajinan Tangan (Industri Kreatif)	28
Gambar 5.9.	Pemanfaatan Limbah Debog Pisang untuk Media Tanaman	28
Gambar 5.10.	Pemanfaatan Debog Pisang untuk Pakan Ternak	29
Gambar 5.11.	Pemanfaatan Debog Pisang untuk Makanan/Sayuran	29
Gambar 5.12.	Sampah Debog Pisang	30
Gambar 5.13.	Produk Styrofoam untuk Kemasan Barang Elektronik	40
Gambar 5.14.	<i>Styrofoam</i> pada Kemasan Barang Elektronik Dispenser	35
Gambar 5.15.	<i>Styrofoam</i> pada Kemasan Barang Elektronik Mesin Cuci	35
Gambar 5.16.	<i>Styrofoam</i> pada Kemasan Barang Elektronik <i>Air Conditioner</i>	35
Gambar 5.17.	<i>Styrofoam</i> Tempat Makanan	36
Gambar 5.18.	<i>Styrofoam</i> Peti Kemas Makanan	36
Gambar 5.19.	<i>Styrofoam</i> Untuk Dekorasi Panggung	37
Gambar 5.20.	<i>Styrofoam</i> Mudah Dibentuk untuk Berbagai Keperluan	37
Gambar 5.21.	<i>Styrofoam</i> Untuk Dekorasi	37

Reda Rizal 2018: Rancang Bangun Model Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan

Gambar 5.22.	<i>Styrofoam</i> Pembungkus Makanan	38
Gambar 5.23.	Peringatan Bahaya Kesehatan Penggunaan <i>Styrofoam</i> sebagai Wadah Makanan	39
Gambar 5.24.	Sampah <i>Styrofoam</i> pada Tempat Pembuangan Sementara (TPS)	41
Gambar 5.25.	Tumpukan Sampah <i>Styrofoam</i> di Pintu Air Sungai	42
Gambar 5.26.	Tumpukan Sampah <i>Styrofoam</i> di Sungai	42
Gambar 5.27.	Tumpukan Sampah <i>Styrofoam</i> di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Bantar Gebang	42
Gambar 5.28.	<i>Flow of Processing</i> Manufaktur Elektronik	43
Gambar 5.29.	Kegiatan Industri Manufaktur Menggunakan Material <i>Styrene/Styrofoam</i>	45
Gambar 5.30.	Kegiatan Industri Manufaktur Menggunakan Material <i>Styrene/Styrofoam</i>	45
Gambar 5.31.	Produsen <i>Styrene/Styrofoam</i>	46
Gambar 5.32.	Produsen <i>Styrene/Styrofoam</i>	46
Gambar 5.33.	Produk <i>Styrene/Styrofoam</i> Siap Dipasarkan	47
Gambar 5.34.	Industri Manufaktur Pengguna <i>Styrene/Styrofoam</i>	47
Gambar 5.35.	Limbah Debog Pisang	49
Gambar 5.36.	Limbah Debog Pisang dan Daun Pisang untuk Uji Coba	50
Gambar 5.37.	Tahapan Proses Penelitian dan Percobaan Metode <i>Trial and Error</i>	51
Gambar 5.38.	Persiapan Uji Coba Material Debog dan Daun Pisang	52
Gambar 5.39.	Uji Coba Pencacahan Material Debog Pisang	53
Gambar 5.40.	Tekstur Material Debog Pisang	54
Gambar 5.41.	Persiapan Uji Coba Material Debog dan Daun Pisang	54
Gambar 5.42.	Peralatan Penelitian Oven Pengering Material Debog	55
Gambar 5.43.	Persiapan Percobaan Penelitian Material Debog	55
Gambar 5.44.	Pengukuran Hasil Percobaan Debog Pisang	56
Gambar 5.45.	Pengukuran Hasil Percobaan Daun Pisang	57
Gambar 5.46.	Percobaan Pemberian Bahan Perekat	58

Reda Rizal 2018: Rancang Bangun Model Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan

Gambar 5.47.	Pengukuran Hasil Percobaan Daun Pisang	66
Gambar 5.48.	Persiapan Percobaan Pembuatan Model Sistem Tekanan	60
Gambar 5.49.	Percobaan Pembuatan Model Sistem Tekanan Rendah	62
Gambar 5.50.	Percobaan Gagal	63
Gambar 5.51.	Hasil Penelitian Pembuatan Model Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan	87
Gambar 5.52.	Perbandingan Model Manufaktur Konvensional dan Berkelanjutan	88

BAB 1. PENDAHULUAN



Latar belakang

Sering kita temukan material ganjalan barang-barang elektronik dalam kemasannya (*packaging*) menggunakan material jenis sintetis yang dikenal sebagai *styrofoam*. Sifat fisik-kimia-biologi material sintetis *styrofoam* ini tidak mudah didegradasi (*nondegradable*) oleh mikro-organisme tanah, sehingga pada saat material tersebut dibuang sebagai sampah maka berimplikasi pada pencemaran lingkungan kehidupan

. Masyarakat global telah menolak membeli semua produk yang masih mengandung material *styrofoam*, meskipun kehadiran material sintetis *styrofoam* hanya berfungsi sebagai ganjalan barang dalam kemasan produk. Mengapa masyarakat global menolak kehadiran produk yang mengandung material sintetis *Styrofoam*; karena mereka sadar bahwa material *styrofoam* dapat merusak lingkungan kehidupan mereka dan material yang diproduksi dari produk minyak bumi bersifat tak terbarukan (*non renewable resources*) serta material ini tidak ramah lingkungan (*not environmentally friendly*). Adapun alasan mengapa material *styrofoam* masih banyak digunakan oleh berbagai keperluan kegiatan produksi barang pada industri manufaktur lebih disebabkan oleh karena; materialnya ringan (*light in weight*), secara fisik terlihat bersih (*clean*), mudah didapatkan (*availability*), dan harganya relative murah (*inexpensive*).

Penelitian ini bertujuan jangka panjang untuk menciptakan dan mewujudkan system operasional manufaktur berkelanjutan, yang memanfaatkan sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*) dan menghasilkan produk barang yang dapat diterima oleh seluruh konsumen dunia, serta produk pascapakai tidak mencemari lingkungan. Tujuan jangka menengah adalah untuk mengarahkan pebisnis manufaktur untuk ikut bertanggungjawab atas produk yang diproduksinya, dan bertanggungjawab terhadap sumber daya alam yang dimanfaatkannya sebagai bahan input kegiatan manufaktur. Tujuan

jangka pendek penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun model substitusi material baru terbarukan dalam rangka pengembangan manufaktur berkelanjutan. Target khusus yang hendak dicapai dalam kegiatan penelitian ini adalah untuk memanfaatkan sumber daya alam terbarukan dalam setiap bahan baku yang akan digunakan oleh kegiatan manufaktur untuk memproduksi barang yang ramah lingkungan dan tidak merusak tatanan ketersediaan bahan baku dari sumber daya alam. Metode yang akan digunakan dalam upaya pencapaian tujuan penelitian ini pada dasarnya menggunakan 2 (dua) metode penelitian yaitu; metode survey dan metode uji dan coba (*trial and error*). Metode penelitian *survey* digunakan untuk mengumpulkan data dan informasi tentang fakta dan permasalahan serta analisisnya, sedangkan metode uji dan coba (*trial and error*) digunakan untuk menjelajah (*explore*) rancangan ide/gagasan/rencana yang dibuat langsung dan diikuti dengan pengujian-pengujian secara kuantitatif dan kualitatif. Pada metode uji dan coba (*trial and error*), bila suatu rancangan ide/gagasan/rencana teknologi atau material yang dibuat menghasilkan produk teknologi yang tidak sesuai dengan rencana atau terjadi kesalahan teknologi, maka segera dilakukan rancangan ulang dan melakukan pengujian-pengujian terhadap teknologi atau material tersebut.



Masalah Lingkungan

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh adanya persoalan/masalah sampah *Styrofoam* yang mengganggu lingkungan, karena material *styrofoam* tidak terdegradasi oleh mikroorganisme dalam tanah. Banyaknya industry manufaktur yang menggunakan material *styrofoam* yang tergolong pada material bahan berbahaya dan beracun (B₃) sebagai bahan baku produksi yang nantinya setelah produk tersebut sampai pada konsumen dapat mengganggu kesehatan lingkungan.



Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan/memperoleh material ramah lingkungan untuk digunakan sebagai bahan baku pembantu produksi industry manufaktur.
2. Tujuan jangka panjang untuk menciptakan dan mewujudkan system operasional manufaktur berkelanjutan (*sustainability*), yang memanfaatkan sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*) dan menghasilkan produk barang yang dapat diterima oleh seluruh konsumen dunia (*economy*) serta produk pascapakai tidak mencemari lingkungan, dampak penurunan derajat kesehatan masyarakat dapat diminimumkan (*social*).
3. Tujuan jangka menengah adalah untuk mengarahkan pebisnis manufaktur untuk ikut bertanggungjawab atas produk yang diproduksinya, dan bertanggungjawab terhadap sumber daya alam yang dimanfaatkannya sebagai bahan input kegiatan manufaktur (*environmental stewardship*).
4. Tujuan jangka pendek penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun model substitusi material baru terbarukan dalam rangka pengembangan manufaktur berkelanjutan (*sustainable manufacturing*).



Urgensi Penelitian

Urgensi penelitian ini adalah untuk memenuhi tuntutan masyarakat global akan produk industry manufaktur yang ramah lingkungan, dengan karakteristik:

1. Penelitian ini sebagai Unggulan Perguruan Tinggi (UPN “Veteran” Jakarta) dalam melaksanakan Visi Bela Negara pada Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan / Industri-Manufaktur Ramah Lingkungan.
2. Penelitian ini dimaksud untuk memanfaatkan sumber daya alam (SDA) terbarukan (*renewable resources uses*) dalam setiap bahan

baku yang akan digunakan oleh kegiatan industri/ manufaktur untuk memproduksi barang yang ramah lingkungan dan tidak merusak tatanan lingkungan hidup (LH) dan ketersediaan bahan baku dari SDA & LH.

3. Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan (*sustainable manufacturing*) yang mendukung harapan dunia terhadap implementasi SDGs.



Inovasi Hasil Penelitian

Rencana target capaian penelitian ini adalah untuk menemukan inovasi material substitusi berupa material baru terbarukan yang dapat dipergunakan oleh industry manufaktur, dengan jenis luaran penelitian (*research output-product*) berupa:

- 1) *Draft* artikel publikasi ilmiah Nasional Terakreditasi/Jurnal Internasional;
- 2) Hak Kekayaan Intelektual (HKI);
- 3) Produk Model Substitusi Material Baru Terbarukan (*Renewable Material*) Untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan, dan
- 4) Produk Buku Ajar yang memiliki ISBN.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA



Pembangunan Berkelanjutan

Agar proses-proses pembangunan berkelanjutan secara fisik dapat dilakukan dengan baik, maka Smith dan Ball (2012) mensyaratkan 3 (tiga) hal yang harus dilakukan yaitu; i) tingkat ekstraksi sumber daya alam tidak melebihi tingkat kemampuan regenerasi oleh alam, ii) emisi yang dihasilkan tidak melebihi kemampuan alam untuk menyerapnya secara alamiah, dan iii) kapasitas regenerasi sumber daya alam dan penyerapan faktor emisi harus dianggap sebagai modal alam. Apabila gagal memelihara ketiga hal tersebut di atas, maka pembangunan tersebut adalah tidak berkelanjutan. Smith dan Ball (2012) dalam tulisannya menyatakan bahwa pembangunan berkelanjutan harus didasarkan pada prinsip pemenuhan kebutuhan generasi sekarang dengan mengkompromikan kemampuan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhannya.



Gambar 2.1. Tiga Pilar Pembangunan Berkelanjutan

Tiga pilar yang harus ditegakkan dalam pembangunan berkelanjutan terdiri atas pembangunan bidang lingkungan kehidupan, bidang social dan bidang ekonomi yang harus dilaksanakan secara berkeimbangan dan berkelanjutan. Apabila kita melakukan pembangunan apapun bentuk kegiatannya, maka secara simultan harus dapat mengangkat kesejahteraan social kemasyarakatan, berkeadilan dan berkepatutan, mendorong produktivitas ekonomi masyarakat dan bangsa secara berkelanjutan, bertanggungjawab penuh atas keselamatan dan kesehatan lingkungan serta melindungi keterpulihan sumber daya alam yang dimanfaatkan oleh setiap bentuk kegiatan pembangunan.

Azas yang diberlakukan dalam konteks pembangunan berkelanjutan adalah perlindungan terhadap lingkungan hidup dan sumber daya alam baik secara local, regional maupun secara global, berfikirilah secara global dan bertindaklah dengan kearifan lokal (*think globally and act locally/ecological wisdom*), memberikan insentif dan atau subsidi kepada pihak yang pro-lingkungan dan pajak terhadap pihak yang memanfaatkan sumber daya alam dan lingkungan, bersikap sebagai pramugara lingkungan (*environmental stewardship*), tanggungjawab perusahaan terhadap komunitas social lingkungan (*corporate social responsibility*), menegakkan etika berbisnis, perdagangan yang elok (*fair trade*) dan perlindungan tenaga kerja serta konsumen.

Alasan mengapa pembangunan berkelanjutan harus dilakukan oleh semua Negara dan bangsa manusia di seluruh dunia adalah; karena selama puluhan tahun kegiatan pembangunan perekonomian di berbagai Negara telah mendatangkan berbagai persoalan besar bagi lingkungan kehidupan masyarakat dunia. Permasalahan tersebut terutama karena kepentingan ekonomi yang dilakukan harus berhadapan dengan upaya perlindungan lingkungan hidup dan sumber daya alam. Pada saat pembangunan untuk kepentingan ekonomi dilakukan, maka lingkungan hidup dan sumber daya alam selalu menjadi korban dan tidak diperhatikan, sehingga pada akhirnya kerugian material dan energy ditanggung bersama oleh seluruh masyarakat dunia yang bertempat tinggal di hanya satu bumi alam semesta ini (*the only one earth*). Setelah itu, muncul kesadaran bangsa-bangsa manusia bahwa kerusakan lingkungan hidup serta menipisnya cadangan sumber daya alam sebagai akibat dari kegiatan ekonomi yang mengekstraksi sumber daya alam secara berlebihan dan menimbulkan bencana kemanusiaan pada generasi

mendatang. Pada sektor energi misalnya, keinginan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi telah mendorong peningkatan konsumsi energi di seluruh dunia, dan sumber energi yang digunakan pada umumnya berasal dari sumber energi tak terbarukan (*non-renewable energy resources*) seperti batu bara dan minyak bumi. Konsumsi energi yang besar mendorong adanya produksi dan eksploitasi pada dua sumber energi batu bara dan minyak bumi ini, yang secara langsung maupun tidak langsung memberi dampak negatif kerusakan lingkungan. Pada saat pembangunan ekonomi berlangsung, dibutuhkan konsumsi energi yang sangat besar sehingga mengakibatkan cadangan energi semakin menipis. Sehingga teori pembangunan berkelanjutan menjadi sangat penting, dimana kepentingan ekonomi-sosial-budaya dan kepentingan lingkungan hidup dapat berlangsung secara bersinergi dan bersamaan.

Pada tahun 1987, Persatuan Bangsa-Bangsa (PBB) mengeluarkan dokumen *Brundtland Report* atau yang lebih dikenal dengan “Masa Depan Kita Bersama” (*Our Common Future*), dan secara politis, laporan ini memberi sinyal dimasukkannya aspek *lingkungan* kehidupan ke dalam agenda politik perekonomian bangsa-bangsa di seluruh dunia.

Prinsip utama pembangunan berkelanjutan adalah proses-proses pemanfaatan sumber daya alam dalam kegiatan pembangunan ekonomi tidak mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Pembangunan berkelanjutan melingkupi upaya untuk melindungi lingkungan hidup, melindungi masyarakat sekitar serta melindungi ketersediaan sumber daya alam di masa yang akan datang. Berdasarkan dokumen *World Commission on Environment and Development* (WCED) dijelaskan bahwa pembangunan berkelanjutan menekankan pada pentingnya untuk pengendalian pengambilan sumber daya alam, baik sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) maupun sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (*non-renewable resources*).

Kedua jenis sumber daya alam tersebut masih dapat diambil, namun harus mengkaji dampak negatif pengambilan sumber daya alam tersebut dan meminimumkan dampak negative yang ditimbulkannya jika terpaksa harus menggunakan sumber daya alam tersebut. Negara-negara di seluruh dunia didorong untuk memperhatikan implikasi sosial-budaya serta implikasi lingkungan hidup dari pengaruh kegiatan ekonomi yang dilakukan oleh masyarakatnya, misalnya suatu negara masih

diperbolehkan menebang hutan mereka namun harus menanam benihnya di tempat lain.

Akhirnya, bahwa dalam rangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang berkelanjutan harus dilaksanakan berdasarkan asas; tanggung jawab Negara, asas kelestarian dan keberlanjutan, asas keserasian dan keseimbangan, asas keterpaduan, asas manfaat, asas kehati-hatian, asas keadilan, asas ekoregion, asas keanekaragaman hayati, asas pencemar membayar, asas partisipatif, asas kearifan local, asas tata kelola pemerintahan yang baik, dan asas otonomi daerah. Tindakan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup secara berkelanjutan harus dilaksanakan pada setiap tahap kegiatan meliputi: kegiatan perencanaan, kegiatan pemanfaatan, kegiatan pengendalian, kegiatan pemeliharaan dan kegiatan pengawasan, serta melakukan kegiatan penegakan hukum.



Manufaktur Berkelanjutan

Manufaktur berkelanjutan mulai digaungkan sejak setelah Doktor Brundtland (1978) mantan Direktur Jenderal WHO dan mantan Perdana Menteri Norwegia mempromosikan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) sebagai upaya-upaya yang dilakukan dalam kegiatan pembangunan di semua bidang dengan fokus pemenuhan kebutuhan generasi sekarang tanpa mengorbankan kemampuan generasi yang akan datang dalam memenuhi kebutuhannya. Tiga persyaratan yang ditetapkan oleh dunia internasional dalam mewujudkan manufaktur berkelanjutan adalah; i) bahwa tingkat ekstraksi SDA yang dilakukan oleh kegiatan manufaktur tidak melebihi tingkat kemampuan regenerasi oleh alam; ii) bahwa tingkat emisi yang dihasilkan tidak melebihi kemampuan alam untuk menyerapnya secara alamiah; serta iii) kapasitas regenerasi SDA dan penyerapan faktor emisi harus dianggap oleh pengusaha sebagai modal alam dan bukan modal ekonomi-social-budaya. Manufaktur berkelanjutan (*sustainable manufacturing*) sebagai manufaktur yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan, sehingga mampu menyelaraskan pembangunan manufaktur dengan

kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat yang besar bagi masyarakat. OECD (*organization of environmental commission on development*) mendefinisikan *sustainable manufacturing* sebagai upaya kreatif dari pengusaha manufaktur untuk menghasilkan produk yang menggunakan sumber daya alam dan lingkungan sebagai input, dan memprosesnya secara efisien dan produktif dan meminimumkan dampak negative lingkungan hidup, melakukan konservasi energy dan sumber daya alam, menyelamatkan dan melindungi para pekerja, masyarakat lingkungan dan konsumen pengguna produk.

Terdapat berbagai macam pendekatan (*approaches*) dalam upaya mewujudkan *green manufacturing* dan atau *sustainable manufacturing* atau manufaktur berkelanjutan antara lain adalah:

1. Pendekatan kajian terhadap *input* material dan energy yang digunakan oleh manufaktur berbasis terbarukan (*renewable material* dan *renewable energy*);
2. Pendekatan kajian terhadap apek *processing* (*green process, cleaner process, cleaner production, cleaner product, cleaner technology*); dimana kegiatan *processing* pada manufaktur menghasilkan zero-pollutant, zero-waste, zero-accident dan zero-illness pada pekerja manufaktur dan masyarakat yang berada di sekitar lokasi manufaktur.
3. Pendekatan kajian terhadap apek *product* yang dihasilkan adalah produk bersih lingkungan (*cleaner product, green product, eco-product*) termasuk juga tidak ada dampak negative penurunan derajat kesehatan pada pengguna produk. Misal; produk tidak mengandung bahan pengawet yang dapat mengganggu kesehatan konsumen pengguna produk, produk tidak mencelakai konsumen pengguna produk, produk apabila sudah tidak layak pakai dibuang ke tempat sampah tidak akan mengganggu kesehatan lingkungan.
4. Kajian terhadap aspek *entropy* yang ditimbulkan oleh kegiatan industry-manufaktur, dimana *entropy* yang timbul harus diminimumkan dan meningkatkan efisiensi ekonomi dan efisiensi ekologi (*eco-efficiency*) serta meningkatkan produktivitas industry-manufaktur.
5. Kajian terhadap aspek siklus hidup material *product*; dimana daur hidup material produk yang dihasilkan harus memberikan manfaat

durabilitas yang setinggi-tingginya bagi konsumen, atau dengan kata lain bahwa produk barang yang dihasilkan harus berkualitas baik sehingga daya tahan produk di tangan konsumen lebih lama (tahan lama atau awet).

6. Kajian terhadap aspek keselamatan dan kesehatan kerja; apakah industry-manufaktur selama beroperasi menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja selama bekerja, apabila manajemen industry-manufaktur tidak menjamin keselamatan dan kesehatan para pekerja, maka manufaktur tidak dapat digolongkan sebagai manufaktur hijau.
7. Kajian terhadap aspek keamanan dan keselamatan pengguna produk; apakah industry-manufaktur selama beroperasi menjamin keamanan dan keselamatan serta kesehatan para konsumen, apabila manajemen industry-manufaktur tidak menjamin keamanan dan keselamatan serta kesehatan para konsumen, maka manufaktur tidak dapat digolongkan sebagai manufaktur hijau.
8. Kajian terhadap penerapan teori dematerialisasi dan decarbonisasi pada operasionalisasi manufaktur; dimana teori dematerialisasi mengandung prinsip meminimumkan penggunaan material pada produk barang yang dihasilkan oleh industry-manufaktur. Dengan menghemat materi maka dihasilkan produk yang sederhana dan tidak banyak membutuhkan tempat dan tidak banyak menggunakan energy, sehingga dengan penggunaan energy yang sedikit maka polutan (karbon) yang ditimbulkan oleh proses produksi maupun polutan yang ditimbulkan pada penggunaan produk menjadi minimum (minimum karbon atau minimum pencemaran).
9. Kajian terhadap penerapan aspek keberlanjutan penggunaan teknologi dan lingkungan; apakah teknologi yang digunakan industry-manufaktur tergolong pada teknologi berkelanjutan ataukah tidak. Teknologi berkelanjutan dicirikan oleh penerapan tiga pilar ekonomi-sosial-lingkungan yaitu teknologi yang efisien dan produktif, teknologi yang menampung aspirasi social kemasyarakatan (tidak membahayakan keamanan, keselamatan dan kesehatan masyarakat), dan teknologi yang tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Jika teknologi yang dipakai oleh industry-manufaktur menyentuh ketiga pilar ekonomi-sosial dan lingkungan,

maka teknologi yang dipakai termasuk pada golongan teknologi berkelanjutan (*sustainable technology* atau *green technology*).

10. Kajian terhadap aspek toksikologi industry-manufaktur dan produk; apakah kegiatan manufaktur menimbulkan toksin pada lingkungan hidup dan apakah produk barang yang dihasilkan bersifat toksik (beracun) yang dapat membahayakan lingkungan termasuk menimbulkan risiko keamanan, keselamatan dan kesehatan terhadap konsumen. Apabila kegiatan industry-manufaktur menimbulkan risiko terhadap keamanan, keselamatan dan kesehatan lingkungan termasuk konsumen, maka industry-manufaktur tidak dapat dikategorikan sebagai manufaktur hijau atau manufaktur berkelanjutan.
11. Kajian terhadap aspek pemenuhan kebutuhan, keinginan dan permintaan konsumen global; apabila kegiatan industry-manufaktur tidak dapat memenuhi kebutuhan, keinginan dan permintaan konsumen global, maka industry-manufaktur tidak dapat dikategorikan sebagai manufaktur hijau atau manufaktur berkelanjutan.
12. Kajian terhadap aspek penerapan filosofi “*from cradle to grave*” dan “*from soil to soil*”; penerapannya dalam upaya mewujudkan *green manufacturing* dan atau *sustainable manufacturing* dapat dilakukan dengan cara: i) mengimplementasikan kehidupan yang berasal dari tanah akan kembali ke tanah (semua yang hidup pasti akan mati dan masuk kuburan menjadi sampah); ii) mengimplementasikan kegiatan industry-manufaktur menuju keseimbangan alam, sepanjang *entropy* yang terbentuk tidak berkelebihan; iii) menyelamatkan lingkungan hidup dari perusakan dan pencemaran; dan iv) menyelamatkan ketersediaan sumber daya alam (bahan baku industri-manufaktur/ekonomi) agar tidak cepat habis atau agar tidak cepat punah.
13. Meningkatkan nilai efisiensi ekonomi dan efisiensi ekologi yang diwujudkan pada peningkatan nilai ekoefisiensi industry-manufaktur.
14. Menerapkan sertifikasi lingkungan atau *ecolabel* pada setiap tahapan kegiatan proses produksi dan produk serta pendistribusian produk industry manufaktur dengan cara taat dan patuh pada aturan-perundangan yang berlaku (*compliance*).

Manajemen manufaktur hijau merupakan studi tentang bagaimana mengelola siklus materi dan aliran energi dalam aktivitas kegiatan manufaktur, mempelajari dampak siklus materi dan aliran energi terhadap lingkungan hidup. Secara umum manajemen manufaktur juga mempelajari pengaruh faktor social-ekonomi-politik dan aspek hukum terhadap siklus materi dan aliran energi, serta mengkaji pengaruh penggunaan dan transformasi sumber daya alam oleh kegiatan industri dan manufaktur terhadap kualitas lingkungan hidup. Tujuan studi tentang manajemen manufaktur hijau adalah untuk memahami dan menerapkan bagaimana cara mengintegrasikan aspek kepentingan alam atau lingkungan hidup ke dalam aktivitas kegiatan manufaktur yang selama ini hanya mengarah pada kepentingan ekonomi semata. Ilmu Manajemen manufaktur hijau memberikan pemahaman bagaimana cara dan upaya untuk mengintegrasikan aspek ekologi ke dalam aspek ekonomi atau sebaliknya mengintegrasikan kepentingan ekonomi ke dalam kepentingan ekologi. Sistem pengintegrasian tersebut akan dilakukan dalam proses-proses kegiatan manufaktur yang sedang berlangsung dan yang akan berlangsung. Pengintegrasian sistem ekologi ke dalam sistem manufaktur akan mengarahkan pelaku manufaktur dalam aktivitas usahanya untuk selalu memperhatikan dan mengutamakan kepentingan generasi masa depan dan keberlanjutan kualitas lingkungan hidup yang lebih baik dari kondisi sekarang. Manajemen manufaktur hijau merupakan kerangka kerja pengelolaan lingkungan yang melibatkan berbagai disiplin ilmu dalam mendisain dan mengoperasikan system manufaktur sebagai system kehidupan yang saling ketergantungan dengan system alami. Hal ini dimaksudkan sebagai upaya untuk dapat memahami kendala ekologi lokal dan global guna mencapai keseimbangan antara performa ekonomi dan keberlanjutan ekologi. Upaya ini telah dilakukan oleh para ahli lingkungan (*environmental science*) dalam pengembangan system manufaktur hijau, dan mereka sering menyebutnya sebagai upaya keberlanjutan atau “ilmu pengetahuan berkelanjutan” (*the science of sustainability*). Graedel (1995) menyebutkan bahwa manufaktur hijau dan metabolisme manufaktur adalah suatu konsep untuk membuat pola-pola produksi manufaktur yang memiliki hubungan sangat dekat dengan

konsep produksi bersih (*cleaner production*). Manufaktur hijau dan metabolisme manufaktur merupakan suatu studi terhadap sistem manufaktur dan aktivitas ekonomi yang secara mendasar terkait dengan system alami (ekologi). Pada prinsipnya, hasil studi metabolisme manufaktur membantu manufaktur untuk mengarahkan kegiatannya pada aspek penggunaan material yang dapat didaur ulang dalam suatu ekosistem, mengelola siklus material dan aliran energi dalam manufaktur merupakan aspek penting (*crucial*) dalam pendekatan metabolisme manufaktur.

Siklus materi dan aliran energi dalam sistem manufaktur dapat dianalogikan sebagai interaksi sistem manufaktur dengan sistem lingkungan alam di sekitarnya atau disebut sebagai metabolisme manufaktur. Weisz (2007) menyatakan bahwa metabolisme manufaktur sama dengan metabolisme dalam tubuh manusia dimana terdapat bahan baku (makanan), proses (pencernaan), produk (kerja) dan entropi (kerugian berupa kotoran atau limbah). Konsep metabolisme manufaktur mengkaji masalah pengintegrasian proses-proses fisik yang mengonversikan bahan baku, energi dan tenaga kerja menjadi produk akhir dan limbah. Faktor output tenaga kerja dalam proses produksi dan output produk untuk konsumen berperan sebagai komponen manusia dapat dijadikan alat pengontrol stabilitas proses produksi dalam suatu kegiatan manufaktur yang berwawasan lingkungan. Kata “metabolisme” mengacu pada proses-proses internal dari suatu organisme hidup yang dibutuhkan untuk menjaga dan mempertahankan kehidupan. Tolok ukur keberhasilan dalam melaksanakan manajemen manufaktur hijau adalah: i) efisien dan efektif menggunakan material dan energi pada proses-proses kegiatan manufaktur, ii) efisien dalam aspek ekonomi dan efisien pada aspek ekologi (*eco-efficient*), iii) manufaktur beroperasi dengan prinsip minimum limbah dan minimum pencemaran (*minimum waste and pollutant*), iv) menghasilkan output product ramah lingkungan (*eco-friendly product*), v) manufaktur dapat berlangsung secara berkelanjutan (*sustainable*), dan vi) industry menggunakan materi dan energi (sumber daya alam) yang bersifat terbarukan (*renewable resources*). Menurut OECD (2009); terdapat 18 (delapanbelas) indicator kuantitatif untuk menilai kinerja lingkungan kegiatan manufaktur guna memudahkan pengendalian kegiatan operasional manufaktur yang ramah lingkungan atau manufaktur berkelanjutan, dan atau manufaktur hijau. Peralatan

(*tools*) indikator tersebut di atas diperkenalkan dan disediakan untuk dianjurkan menggunakan 18 aspek penting yang secara umum dapat diaplikasikan sebagai indikator kuantitatif untuk meningkatkan kinerja lingkungan yang akan membantu mengevaluasi dan mengendalikan kinerja manufaktur. Delapanbelas indikator di bawah ini akan membantu manajemen internal dan membuat keputusan, serta dapat digunakan oleh seluruh jenis manufaktur.

Tabel 2.1. Indikator Keberlanjutan Manufaktur

<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>
1. Intensitas atau jumlah material bahan baku tak terbarukan	4. intensitas atau jumlah penggunaan air	12. Jumlah material content yang dapat/ telah digunakan kembali (<i>reused</i>) atau material yang dapat/ telah didaur ulang (<i>recycled</i>)
2. Intensitas atau jumlah zat/bahan kimia berbahaya	5. intensitas atau jumlah penggunaan energy	13. Kemampuan untuk melakukan daur ulang
3. Jumlah material content yang dapat diperbarui atau material yang dapat didaur ulang	6. Proporsi penggunaan energy yang terbarukan	14. Jumlah kandungan material terbarukan
	7. intensitas atau jumlah timbulan gas rumah kaca (NO ₂ , SO ₂ , HC, dan lain sebagainya)	15. Intensitas material tak terbarukan
	8. Intensitas atau jumlah bahan sisa (limbah)	16. Kandungan bahan kimia berbahaya
	9. Intensitas atau jumlah udara bersih yang terlepas atau tidak termanfaatkan	17. Intensitas atau jumlah konsumsi energi
	10. Intensitas atau jumlah air bersih tidak termanfaatkan	18. Intensitas emisi gas rumah kaca
	11. Proporsi penggunaan lahan alamiah (natural land)	

Sumber: OECD: *Sustainable Manufacturing Indicators*, 2010.

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN



Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan/memperoleh material ramah lingkungan untuk digunakan sebagai bahan baku pembantu produksi pada kegiatan industry manufaktur.
2. Tujuan penelitian jangka panjang adalah untuk menciptakan dan mewujudkan system operasional manufaktur berkelanjutan (*sustainability*), yang memanfaatkan sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*) dan menghasilkan produk barang yang dapat diterima oleh seluruh konsumen dunia (*economy*) serta produk pascapakai tidak mencemari lingkungan, dampak penurunan derajat kesehatan masyarakat dapat diminimumkan (*social*).
3. Tujuan penelitian jangka menengah adalah untuk mengarahkan pebisnis manufaktur untuk ikut bertanggungjawab atas produk yang diproduksinya, dan bertanggungjawab terhadap sumber daya alam yang dimanfaatkannya sebagai bahan input kegiatan manufaktur (*environmental stewardship*).
4. Tujuan penelitian jangka pendek penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun model substitusi material baru terbarukan dalam rangka pengembangan manufaktur berkelanjutan (*sustainable manufacturing*).



Manfaat Penelitian

Manfaat hasil penelitian ini adalah untuk memenuhi tuntutan masyarakat global akan produk industry manufaktur yang ramah lingkungan, dengan karakteristik:

1. Penelitian ini sebagai Unggulan Perguruan Tinggi (UPN “Veteran” Jakarta) dalam melaksanakan Visi Bela Negara pada Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan / Industri-Manufaktur Ramah Lingkungan.
2. Penelitian ini dimaksud untuk memanfaatkan sumber daya alam **terbarukan** (*renewable resources uses*) dalam setiap bahan baku yang akan digunakan oleh kegiatan industri/ manufaktur untuk memproduksi barang yang ramah lingkungan dan tidak merusak tatanan lingkungan hidup dan tidak menguras ketersediaan bahan baku dari sumber daya alam dan lingkungan hidup.
3. Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan (*sustainable manufacturing*) yang mendukung harapan dunia terhadap implementasi SDGs.

BAB 4. METODE PENELITIAN

Metode yang akan digunakan dalam upaya pencapaian tujuan penelitian ini pada dasarnya menggunakan 2 (dua) metode penelitian yaitu; metode survey dan metode uji dan coba (*trial and error*). Metode penelitian survey digunakan untuk mengumpulkan data dan informasi tentang fakta dan permasalahan serta analisisnya, sedangkan metode uji dan coba (*trial and error*) digunakan untuk menjelajah (*explore*) rancangan ide/gagasan/rencana yang dibuat langsung dan diikuti dengan pengujian-pengujian secara kuantitatif dan kualitatif. Pada metode uji dan coba (*trial and error*), bila suatu rancangan ide/gagasan/rencana teknologi atau material yang dibuat menghasilkan produk teknologi yang tidak sesuai dengan rencana atau terjadi kesalahan teknologi, maka segera dilakukan rancangan ulang dan melakukan pengujian-pengujian terhadap teknologi atau material tersebut.



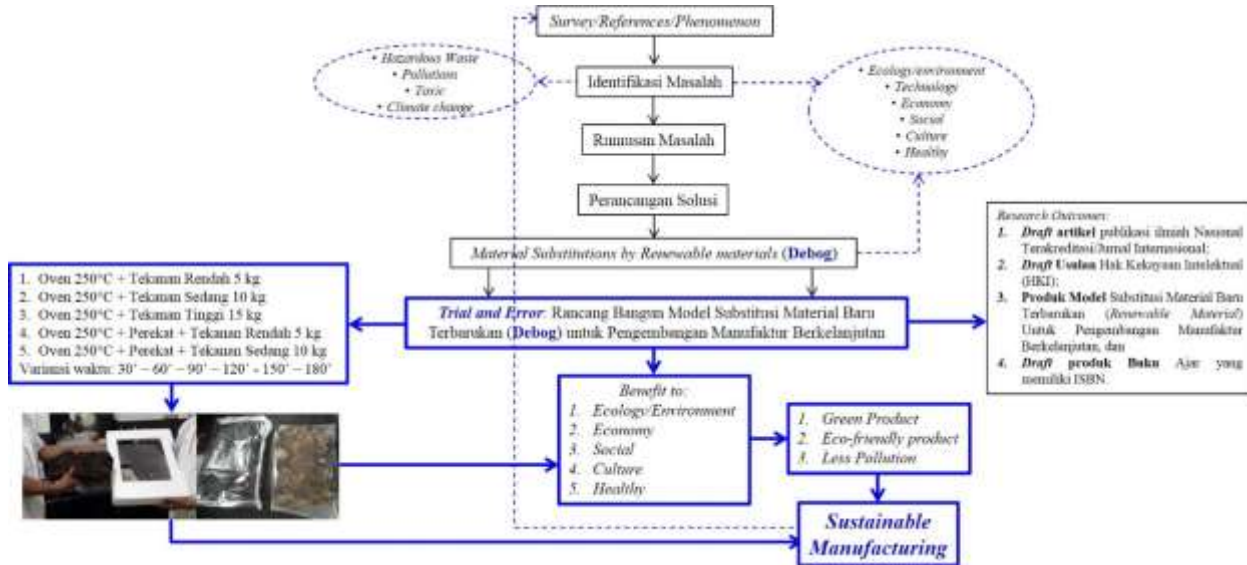
Metode Survey

Metode penelitian *survey* dilakukan untuk meneliti dan mengumpulkan data tentang fakta dan permasalahan serta analisisnya. Sampling penelitian dilakukan pada tiga wilayah penelitian yaitu: wilayah Kabupaten Tangerang, Kabupaten Bekasi dan Kabupaten Bogor.



Metode Uji-Coba

Metode metode *trial and error* digunakan untuk menjelajah (*explore*) rancangan ide/gagasan yang dibuat langsung dan diikuti dengan pengujian-pengujian secara kuantitatif dan kualitatif. Pada metode uji dan coba, bila suatu rancangan ide/gagasan/ teknologi atau material yang dibuat menghasilkan produk teknologi yang tidak sesuai dengan rencana atau terjadi kesalahan teknologi, maka segera dilakukan rancangan ulang dan melakukan pengujian terhadap teknologi atau material tersebut sehingga dapat diakasikan oleh masyarakat industry.



Gambar 4.1 Metode Penelitian



Rancangan Percobaan Penelitian

Rancangan percobaan penelitian model debog meliputi kombinasi perlakuan parameter berikut:

1. Material Debog ukuran 4 x 4 cm + Oven 250°C + Tekanan Rendah 5 kg
2. Material Debog ukuran 3 x 3 cm + Oven 250°C + Tekanan Rendah 5 kg
3. Material Debog ukuran 2 x 2 cm + Oven 250°C + Tekanan Rendah 5 kg
4. Material Debog ukuran 1 x 1 cm + Oven 250°C + Tekanan Rendah 5 kg
5. Material Debog ukuran 4 x 4 cm + Oven 250°C + Tekanan Sedang 10 kg
6. Material Debog ukuran 3 x 3 cm + Oven 250°C + Tekanan Sedang 10 kg
7. Material Debog ukuran 2 x 2 cm + Oven 250°C + Tekanan Sedang 10 kg
8. Material Debog ukuran 1 x 1 cm + Oven 250°C + Tekanan Sedang 10 kg
9. Material Debog ukuran 4 x 4 cm + Oven 250°C + Tekanan Tinggi 15 kg
10. Material Debog ukuran 3 x 3 cm + Oven 250°C + Tekanan Tinggi 15 kg
11. Material Debog ukuran 2 x 2 cm + Oven 250°C + Tekanan Tinggi 15 kg
12. Material Debog ukuran 1 x 1 cm + Oven 250°C + Tekanan Tinggi 15 kg
13. Material Debog ukuran 4 x 4 cm + Oven 250°C + Tekanan Rendah 5 kg
14. Material Debog ukuran 3 x 3 cm + Oven 250°C + Tekanan Rendah 5 kg
15. Material Debog ukuran 2 x 2 cm + Oven 250°C + Tekanan Rendah 5 kg + Tapioka 15 Gram

16. Material Debog ukuran 1 x 1 cm + Oven 250°C + Tekanan Rendah 5 kg + Tapioka 15 Gram
17. Material Debog ukuran 4 x 4 cm + Oven 250°C + Tekanan Sedang 10 kg + Tapioka 15 Gram
18. Material Debog ukuran 3 x 3 cm + Oven 250°C + Tekanan Sedang 10 kg + Tapioka 15 Gram
19. Material Debog ukuran 2 x 2 cm + Oven 250°C + Tekanan Sedang 10 kg + Tapioka 15 Gram
20. Material Debog ukuran 1 x 1 cm + Oven 250°C + Tekanan Sedang 10 kg + Tapioka 15 Gram
21. Material Debog ukuran 4 x 4 cm + Oven 250°C + Tekanan Tinggi 15 kg + Tapioka 15 Gram
22. Material Debog ukuran 3 x 3 cm + Oven 250°C + Tekanan Tinggi 15 kg + Tapioka 15 Gram
23. Material Debog ukuran 2 x 2 cm + Oven 250°C + Tekanan Tinggi 15 kg + Tapioka 15 Gram
24. Material Debog ukuran 1 x 1 cm + Oven 250°C + Tekanan Tinggi 15 kg + Tapioka 15 Gram
25. Varians waktu pemanggangan: 30' – 60' – 90' – 120' - 150' – 180'

Tabel 4.1. Matriks Rancangan Percobaan Model Debog Pisang

	S+B ₁ +A+W ₁	S+B ₂ +A+W ₁	S+B ₃ +A+W ₁
M ₁	1	2	3
M ₂	10	11	12
M ₃	19	20	21
M ₄	28	29	30

	S+B ₁ +A+W ₂	S+B ₂ +A+W ₂	S+B ₃ +A+W ₂
M ₁	4	5	6
M ₂	13	14	15
M ₃	22	23	24
M ₄	31	32	33

	S+B ₁ +A+W ₃	S+B ₂ +A+W ₃	S+B ₃ +A+W ₃
M ₁	7	8	9
M ₂	16	17	18

M ₃	25	26	27
M ₄	34	35	36

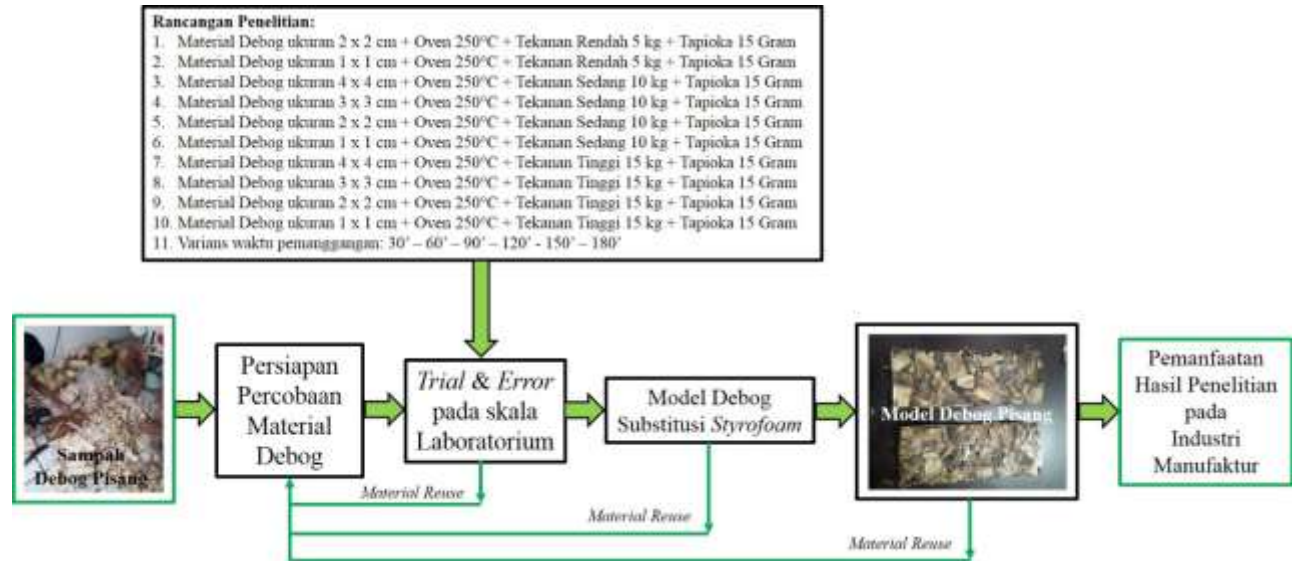
	S+B ₁ +A+W ₄	S+B ₂ +A+W ₄	S+B ₃ +A+W ₄
M ₁	37	38	39
M ₂	46	47	48
M ₃	55	56	57
M ₄	64	65	66

	S+B ₁ +A+W ₅	S+B ₂ +A+W ₅	S+B ₃ +A+W ₅
M ₁	40	41	42
M ₂	49	50	51
M ₃	58	59	60
M ₄	67	68	69

	S+B ₁ +A+W ₆	S+B ₂ +A+W ₆	S+B ₃ +A+W ₆
M ₁	43	44	45
M ₂	52	53	54
M ₃	61	62	63
M ₄	70	71	72

Notasi rancangan percobaan dengan variasi percobaan penelitian Model Debog:

1. Material (M) : 4 Variasi (M₁ dimensi 4 x 4 cm, M₂ dimensi 3 x 3 cm, M₃ dimensi 2 x 2 cm, M₄ dimensi 1 x 1 cm)
2. Beban (B) : 3 Variasi (B₁ = 15 kg, B₂ = 10 kg, B₃ = 5 kg)
3. Waktu (W) : 6 Variasi (W₁ = 30', W₂ = 60', W₃ = 90', W₄ = 120', W₅ = 150', W₆ = 180')
4. Suhu (S) : 1 x 250°C
5. Adhesive (A) : 1 x 15 gram



Gambar 4.2 Rancangan Metode Penelitian dan Percobaan *Trial and Error*

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN



Material Baru Terbarukan

Material terbarukan adalah material yang dapat memperbarui dirinya secara mandiri atau material yang secara berkala dapat terbarukan secara alamiah. Ilmu lingkungan atau ekologi menyebut material terbarukan sebagai makhluk hidup atau biota, dan material yang dapat memperbarui dirinya sendiri secara alamiah dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu material yang berasal dari makhluk hidup vegetasi dan hewani. Salah satu contoh material terbarukan yang bersumber dari vegetasi yang dipergunakan oleh industri manufaktur adalah material kapas atau *cotton* untuk diproduksi menjadi produk benang, kain, baju, sepatu, tas, jacket, ikat pinggang dan lain sebagainya. Contoh material terbarukan yang bersumber dari hewani yang dipergunakan oleh industri manufaktur adalah material kulit sapi untuk diproduksi menjadi produk alas kaki, sepatu, tas, *jacket*, ikat pinggang dan lain sebagainya.

Material baru terbarukan seperti debog pisang pada penelitian ini merupakan material yang belum pernah dipergunakan sebelumnya untuk berbagai keperluan industri manufaktur. Sebagai contoh, sebelumnya belum pernah ada pengganti bahan bakar solar yang kemudian ditemukan material minyak sawit sebagai bahan baku produksi bahan bakar solar yang dikenal sebagai *Bio-Solar* atau *Bio-Fuel*, demikian seterusnya sesuai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi ditemukan pula material baru yaitu Buah Jarak sebagai bahan baku produksi bahan bakar *Bio-Solar* atau *Bio-Fuel*.

Vegetasi

Salah satu jenis vegetasi yang dapat dijadikan sebagai material baru terbarukan dalam penelitian ini adalah pohon pisang atau debog pisang, dimana sumber daya alam ini dapat dijadikan sebagai material dasar untuk menggantikan material sintetik yang selama ini dipergunakan oleh

industri manufaktur untuk dijadikan sebagai bagian dari pengemas produk barang (*packaging*) elektronik.

Limbah Vegetasi

Limbah vegetasi adalah material sisa vegetasi sesaat setelah produk vegetasi dipanen, dimana limbah vegetasi sering tidak dimanfaatkan dan dibuang/dibiarkan berserakan di lahan perkebunannya, dan atau ada sebagian kecil masyarakat menggunakannya untuk membuat produk tertentu untuk media tanaman dan lain sebagainya.

Limbah Debog Pisang

Limbah debog pisang adalah material yang diperoleh sesaat setelah pisang dipanen, dimana batang pisang sering tidak dimanfaatkan dan dibuang/dibiarkan berserakan di lahan perkebunannya, dan atau ada sebagian kecil masyarakat menggunakannya untuk membuat pakan ternak, dibuat tali, dibuat untuk media tanaman dan lain sebagainya. Pada penelitian ini, debog pisang akan dirancang menjadi material pengganti material sintetik yang selama ini dipergunakan oleh industri manufaktur untuk dijadikan bagian dari pengemas produk barang (*packaging*).



Gambar 5.1. Kebun Pisang siap Panen



Gambar 5.2. Panen Pisang Menimbulkan Limbah Debog



Gambar 5.3. Panen Pisang Menimbulkan Limbah Debog



Gambar 5.4. Limbah Debog Pisang



Gambar 5.5. Limbah Debog Pisang

Diandra Advena et al. 2014. *Fermentasi Batang Pisang Menggunakan Probiotik dan Lama Inkubasi Berbeda Terhadap Perubahan Kandungan Bahan Kering, Protein Kasar Dan Serat Kasar*. Fakultas Pertanian Jurusan Peternakan Universitas Tamansiswa Padang. Telah terjadi penurunan berat bahan kering batang pisang fermentasi pada lama inkubasi 15 hari - 21 hari dari sebelum fermentasi (87,70%) menjadi 67,90% - 50,63%.



Gambar 5.6. Pemilahan Limbah Debog Pisang



Gambar 5.7. Pemilahan Limbah Debog Pisang

Batang pisang memiliki kadar air yang tinggi yaitu 96,2% (Eva Setianingsih, *et al.* *Pemanfaatan Batang Semu Pisang Sebagai Pot Dengan Berbagai Komposisi Media Tanam Terhadap Produktivitas Tanaman Kangkung Darat*. *Jurnal Produksi Tanaman*, Volume 4, Nomor 2, Maret 2016, hlm. 117-122).

Pemanfaatan Limbah Debog Pisang Saat Ini (*existing*)

Vigneswaran, *et al.* (2015) menyatakan bahwa ekstraksi pohon pisang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan benang dan tekstil, pembuatan kerajinan tangan, bahan baku kertas, bahan bakar, enzyme dan bahan makanan. Demikian pula, Mohiuddin, *et al.* (2014) menyatakan bahwa beberapa negara telah mengembangkan pemanfaatan limbah debog pisang menjadi bio-product seperti; serat untuk pembuatan benang, kain, pupuk, makanan ikan, bio-kimia, kertas, produk kerajinan tangan dan lain sebagainya.

Pemanfaatan limbah Debog Pisang sebagai bahan baku pembuatan produk kerajinan tangan (industri kreatif) diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 5.8. Pemanfaatan Limbah Debog Pisang untuk Kerajinan Tangan (Industri Kreatif)

Pemanfaatan Limbah Debog Pisang sebagai media tanaman di lahan perkebunan atau lahan perumahan ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5.9. Limbah Debog Pisang sebagai Media Tanaman

Pemanfaatan Limbah Debog Pisang sebagai bahan baku pembuatan Pakan Ternak ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5.10. Pemanfaatan Debog Pisang untuk Pakan Ternak

Pemanfaatan Limbah Debog Pisang sebagai Bahan baku pembuatan Makanan (Sayur) ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5.11. Pemanfaatan Debog Pisang untuk Makanan/Sayuran

Sampah Debog pisang adalah material yang akan digunakan sebagai material pensubstitusi atau pengganti material *Styrofoam* yang digunakan oleh industry maufaktur elektronik sebagai kemasan produk barang elektronik.

Secara alamiah material Debog pisang adalah salah satu sumber daya alam terbarukan dalam kurun waktu 6 – 12 bulan setelah produk pisang dapat dipanen untuk dikunsumsi masyarakat atau untuk dijual oleh masyarakat. Secara alamiah sampah Debog pisang ini jika tidak termanfaatkan atau tidak dimanfaatkan oleh masyarakat, maka material Debog ini akan terurai dengan mudah di tanah dan akan menjadi unsur hara bagi tanah perkebunan. Sehingga jika material Debog ini dijadikan sebagai material pensubstitusi *Styrofoam* yang digunakan oleh industry maufaktur elektronik sebagai kemasan produk barang elektronik, maka dapat dipastikan pula bahwa material kemasan produk barang elektronik tersebut menjadi lebih ramah lingkungan disbanding penggunaan material *Styrofoam* yang jelas-jelas tidak bisa terurai oleh mikroorganisme tanah pada saat dia menjadi sampah.



Gambar 5.12. Sampah Debog Pisang

Mohiuddin, *et al.* (2014) menyebutkan bahwa sifat fisika-kimia material debog pisang meliputi; komposisi *cellulose* (50-60%), *hemicelluloses* (25-30%), *pectin* (3-5%), *lignin* (12-18%), *water soluble materials* (2-3%), *fat and wax* (3-5%) and *ash* (1-1.5%). Tampilan fisik hampir

menyerupai serat bamboo dan serat ramie, namun serat pohon pisang lebih halus dan mudah dipintal dibanding serat bamboo dan serat ramie. Kekuatan serat debog pisang sangat tinggi dengan mulur 3%, tingkat kehalusan serat 2386 Nm, kekuatan rata-rata mencapai 3,93 cN/dtex, panjang rata-rata 50 – 60 mm, mudah menyerap dan melepaskan kelembaban, dapat dipintal dengan berbagai metode seperti; *ring spinning, open-end spinning, bast fibre spinning, and semi-worsted spinning*.



Material Tak Terbarukan

Material *Polystyrene* sebagai *Styrofoam*

Styrofoam adalah nama dagang dari material kimia polimer sintetik *polystyrene*, *Styrofoam* ini banyak digunakan oleh masyarakat dalam kehidupannya sehari harinya. Penggunaan material *styrofoam* ini sangat banyak digunakan di Indonesia untuk berbagai keperluan. Keistimewaan penggunaan material *styrofoam* bagi pedagang makanan untuk dijadikan kemasan makanan diantaranya adalah; i) *styrofoam* tidak mudah bocor, ii) penggunaannya bersifat praktis, iii) ringan, iv) secara kasat mata terlihat bersih, dan v) harganya relative murah. *Polystyrene* merupakan salah satu material kimia polimer yang ditemukan pada sekitar tahun 1930, dibuat melalui proses polimerisasi adisi dengan cara suspensi. Material *styrene* dapat diperoleh dari sumber daya alam yaitu Petroleum. *Styrene* merupakan cairan yang tidak berwarna menyerupai minyak dengan bau seperti benzena dan memiliki rumus kimia $C_6H_5CH=CH_2$ atau ditulis sebagai C_8H_8 .



Gambar 5.13. Produk *Styrofoam* untuk Kemasan Barang Elektronik

Sifat fisika material *Styrofoam* antara lain adalah:

- a) Ketahanan kerja pada suhu rendah (dingin) : Jelek
- b) Kuat Tensile 256 (j/12) : 0,13-0,34
- c) Modulus elastisitas tegangan ASTM D747 (MNm x 10^{-4}):27,4-41,4
- d) Kuat kompresif ASTM D696 (MNm) : 74,9-110
- e) Muai termal ASTM 696 (mm C x 10) : 6-8
- f) Titik leleh (lunak $^{\circ}$ C) : 82-103
- g) Berat jenis ASTMd 792 : 1,04-1,1
- h) Elongasi tegangan ASTM 638 (%) : 1,0-2,5
- i) Kuat fexural ASTM D790 (mnM) : 83,9-118
- j) Tetapan elektrik ASTM 150 (10 Hz) : 2,4-3,1
- k) Kalor jenis (kph) (Kg) : 1,3-1,45

Salah satu jenis polistirena yang cukup populer di kalangan masyarakat produsen maupun konsumen adalah ***polystyrene-foam***. Polistirena foam dikenal luas dengan istilah *styrofoam* yang seringkali digunakan secara tidak tepat oleh publik karena sebenarnya *styrofoam* merupakan nama dagang yang telah dipatenkan oleh perusahaan Dow Chemical. Oleh pembuatnya *Styrofoam* dimaksudkan untuk digunakan sebagai **insulator** pada bahan konstruksi bangunan.

Polistirena foam dihasilkan dari campuran 90-95% polistirena dan 5-10% gas seperti n-butana atau n-pentana. **Polystyrene-foam** dibuat dari monomer styrene melalui proses polimerisasi suspensi pada tekanan dan suhu tertentu, selanjutnya dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin dan menguapkan sisa *blowing agent*. Polistirena foam merupakan bahan plastik yang memiliki sifat khusus dengan struktur yang tersusun dari

butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantar panas sehingga hal ini membuatnya menjadi insulator panas yang sangat baik. Polistirena foam begitu banyak dimanfaatkan dalam kehidupan, tetapi tidak dapat dengan mudah direcycle sehingga pengolahan limbahnya harus dilakukan secara benar agar tidak merugikan lingkungan. Pemanfaatan polistirena bekas untuk bahan aditif dalam pembuatan aspal polimer merupakan salah satu cara meminimalisir limbah tersebut.

Pembuatan Styrofoam

Secara laboratorium *Styrofoam* dapat dibuat dengan metode dehidrogenasi etil benzene, yaitu dengan melewati etilena melalui cairan benzena dengan tekanan yang cukup dan aluminiumklorida sebagai katalisnya. Etil benzena didehidrogenasi menjadi stirena dengan melewatkannya melalui katalis oksida aktif. Pada suhu sekitar 600^oC stirena disuling dengan cara destilasi sehingga didapatkan polistirena. Polistirena padat murni adalah sebuah plastik tak berwarna, keras dengan fleksibilitas yang terbatas yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam produk dengan detail yang bagus. Penambahan karet pada saat polimerisasi dapat meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan kejut. Polistirena jenis ini dikenal dengan nama *High Impact Polystyrene* (HIPS). Polistirena murni yang transparan bisa dibuat menjadi beraneka warna melalui proses *compounding*. Polistirena foam yang dihasilkan dari percampuran 90-95% polistirena dan 5-10% gas-gas tertentu seperti n-butana atau n-pentana. Pada teknologi terdahulu, blowing agent yang digunakan adalah berupa senyawa CFC (Freon) dan oleh karena golongan senyawa ini dapat merusak lapisan ozon maka pada saat ini tidak dipergunakan lagi, sehingga teknologi blowing agent yang digunakan saat ini lebih ramah lingkungan. Polistirena yang dibuat dari monomer stirena dilakukan melalui proses polimerisasi. Polistirena foam yang dibuat dari monomer stirena melalui polimerisasi suspensi pada tekanan-tekanan dan suhu tertentu, selanjutnya dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin yang ada serta ikut menguapkan sisa-sisa blowing merupakan insulator-insulator yang baik. Sedangkan monomer polistirena foam merupakan bahan plastik yang memiliki sifat tertentu atau khusus dengan struktur yang tersusun dari beberapa butiran

dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat di dalam ruang-ruang antar butiran yang berisi udara beralkohol.

Penggunaan *Styrofoam* pada Industri Manufaktur

Styrofoam pertama kali diproduksi secara komersil pada tahun 1930 sebelum terjadi perang dunia ke-II dan memegang peranan penting dalam perkembangan kimia polimer. Setelah perang dunia II sudah banyak pengolahan *Styrofoam* menjadi polistirena dan kopolimernya secara komersial. *Styrofoam* banyak dipakai dalam produk-produk elektronik sebagai casing, kabinet dan komponen-komponen lainnya. Peralatan rumah tangga yang terbuat dari polistirena, antara lain: sapu, sisir, baskom, gantungan baju, ember.

Penggunaan material *Styrofoam* pada ganjalan produk barang elektronik sebagai bagian pengemasan product (*packaging*) diperlihatkan pada beberapa gambar berikut.





Gambar 5.14. *Styrofoam* pada Kemasan Barang Elektronik Dispenser



Gambar 5.15. *Styrofoam* pada Kemasan Barang Elektronik Mesin Cuci



Gambar 5.16. *Styrofoam* pada Kemasan Barang Elektronik Air Conditioner



Gambar 5.17. *Styrofoam* Tempat Makanan



Gambar 5.18. *Styrofoam* Peti Kemas Makanan



Gambar 5.19. *Styrofoam* Untuk Dekorasi Panggung



Gambar 5.20. *Styrofoam* Mudah Dibentuk untuk Berbagai Keperluan



Gambar 5.21. *Styrofoam* Untuk Dekorasi



Gambar 5.22. *Styrofoam* Pembungkus Makanan

Dampak Negatif Lingkungan Penggunaan *Styrofoam*

Dampak negative penggunaan *styrofoam* sebagai material pembantu kegiatan industri untuk memproduksi berbagai produk, maka material *styrofoam* dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi keberlanjutan kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya di bumi. Bila ditinjau dari faktor alam atau lingkungan maka kita semua sudah mengetahui kalau *styrofoam* sangat berbahaya bagi lingkungan hidup karena bila sampahnya terus menumpuk dan tidak ada upaya untuk mendaur ulang material ini maka akan dapat menimbulkan timbunan sampah yang sulit untuk diurai. Meskipun faktanya sudah banyak pengrajin yang menggunakan *styrofoam* sebagai bahan utamanya untuk diolah lebih lanjut (*recycling*), akan tetapi jumlah sampah *styrofoam* tetap saja meningkat setiap harinya. Bila sampah *styrofoam* masuk ke sungai dan mengalir ke arah laut maka akan mencemari ekosistem laut dan mengganggu kehidupan biota laut.

Dampak negatif lainnya penggunaan *styrofoam* bagi kesehatan manusia adalah, bahwa kandungan yang terdapat pada *styrofoam* seperti benzen, carsinogen, dan styrene akan bereaksi dengan cepat pada saat makanan dimasukkan kedalam wadah makanan berbhan *styrofoam*. Uap panas

dari makanan akan memicu reaksi kimia terjadi lebih cepat, misalnya zat benzen yang terkandung pada *styrofoam* bila telah bereaksi dan masuk kedalam tubuh manusia dan masuk kedalam jaringan darah serta terakumulasi selama bertahun-tahun akan menimbulkan kerusakan pada sum-sum tulang belakang, menimbulkan anemia dan bahkan mengurangi produksi sel darah merah yang sangat dibutuhkan tubuh untuk mengangkut saripati makanan dan oksigen ke seluruh tubuh. Bila jumlah sel darah merah kita semakin berkurang akibat dari reaksi *styrofoam* ini maka tubuh kita akan mengalami beberapa gejala yang kurang wajar. Selanjutnya, zat yang sangat bahaya adalah *carsinogen* yang dapat mengakibatkan kanker, *carsinoge* sangat berbahaya bila makanan bersentuhan dengan wadah *styrofoam* atau plastik digunakan secara berulang-ulang karena *carsinogen* mudah larut. Hasil penelitian di New Jersey ditemukan 75% ASI (air susu ibu) terkontaminasi styrene. Hal ini dapat terjadi akibat si ibu menggunakan wadah *styrofoam* saat mengonsumsi makanan. Penelitian yang sama juga menyebutkan bahwa styrene bisa bermigrasi ke janin melalui plasenta pada ibu-ibu yang sedang mengandung. Terpapar kimia styrene dalam jangka panjang akan menyebabkan penumpukan styrene dalam tubuh, akibatnya muncul gejala gangguan saraf, kelelahan, gelisah, sulit tidur, dan anemia.



Gambar 5.23. Peringatan Bahaya Kesehatan Penggunaan *Styrofoam* sebagai Wadah Makanan

Plastik busa yang lazim dipakai sebagai tatakan kemasan bahan pangan dan pelindung barang elektronik - belakangan makin sering digunakan sebagai wadah makanan dan minuman. Padahal semua bahan penyusun plastik adalah bersifat racun sehingga dapat mencemari makanan atau

minuman. Lebih buruk lagi kalau hidangan makanan dikemas dalam kondisi panas, bahan ini disinyalir bisa merangsang tumbuhnya sel tumor dan kanker serta berpotensi besar mengakibatkan cacat lahir bagi ibu-ibu yang sedang hamil.

Styrofoam merupakan salah satu dari puluhan, bahkan ratusan jenis plastik. Orang awam sangat sulit membedakan jenis-jenis plastik, meskipun barang ini sangat mudah ditemukan di sekitar kita. Mulai dari sikat gigi, ember, gantungan baju, kabinet, peralatan dapur, sisir, tutup kaset, sampai kantung plastik. Plastik merupakan hasil proses pencampuran bahan kimia organik yang berasal dari minyak bumi, batu bara atau gas alam. Sebagai suatu bahan, plastik umumnya memiliki keistimewaan, materialnya mudah dibentuk menjadi bentuk serat, lembaran, maupun padatan, bersifat kuat dan awet, serta harganya relatif murah. Tergantung pada bahan dasar pembuatan plastik yang secara umum disebut monomer, maka pada pembentukan plastik, monomer-monomer ini diproses menjadi rantai-rantai molekul panjang yang disebut polimer. Untuk menghasilkan plastik mentah dikenal dengan nama resin polimer ditambah dengan berbagai bahan kimia lain, baik yang berfungsi sebagai pengisi, pelentur, pewarna, peliat, maupun pelumas. Perbedaan kombinasi jenis dan jumlah polimer serta bahan tambahan (aditif) inilah yang membedakan karakter dan jenis plastik yang dihasilkan.

Perkembangan produksi dan penggunaan plastik dimulai sejak akhir abad IX yang dianggap berhasil dikembangkan secara komersial oleh John W. Hyatt, seorang ilmuwan AS. Pada tahun 1968 John berhasil menciptakan bahan pembuat bola biliar, sisir, dan pengisi kerah baju dari campuran serat selulosa, asam nitrat, dan kamper. Bahan ini oleh Perusahaan Eastman Kodak pada tahun 1884 dikembangkan menjadi pita seluloid yang kini dikenal sebagai bahan dasar pita film dan foto. Beberapa tahun kemudian pada tahun 1909, plastik sintesis berbahan dasar polimer organik ditemukan oleh Leo H. Baekland. Pada tahun 1930-an, setelah teori makromolekuler yang mampu menjelaskan susunan molekul polimer berkembang, teknologi plastik berkembang pula dengan pesat. Pada 1935 tim peneliti Perusahaan Du-Pont menemukan nilon. Disusul penemuan jenis plastik lain oleh berbagai pihak, misalnya akrilik, teflon, melamin, saran, formika, sampai plastik busa atau *styrofoam*. Semua sebutan tersebut merupakan istilah umum

dari berbagai jenis plastik yang berbeda bahan dasarnya. Monomer plastik yang paling banyak dikenal saat ini diantaranya vinil klorida, stirena, etilena, propilena, formaldehida, akrilik, dan lain sebagainya. Hasil penggabungan beberapa monomer yang dikenal sebagai polimer merupakan bahan dasar utama plastik, diberi nama sesuai monomernya setelah ditambahi kata "poli". Diantaranya polivinil klorida, polietilena, polistirena, polipropilena.



Gambar 5.24. Sampah *Styrofoam* pada Tempat Pembuangan Sementara (TPS)



Gambar 5.25. Tumpukan Sampah *Styrofoam* di Pintu Air Sungai



Gambar 5.26. Tumpukan Sampah *Styrofoam* di Sungai



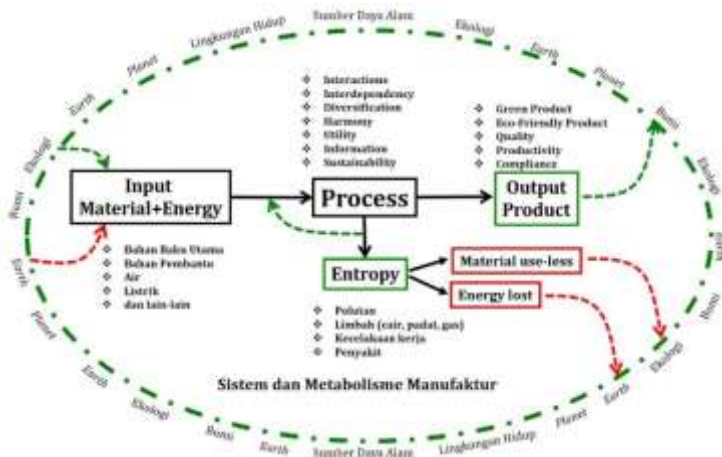
Gambar 5.27. Tumpukan Sampah *Styrofoam* di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Bantar Gebang Bekasi



Sistem Industri Manufaktur

Input, Process, Output, Entropy, Market, Ecology

Secara teoritis sistem industri manufaktur dan lingkungannya yang berlangsung secara berkelanjutan dapat dijelaskan pada gambar di bawah ini. Pada dasarnya terdapat 6 sub-sistem yang bekerja membentuk sistem berkelanjutan meliputi sub-sub sistem; bahan baku dan bahan pembantu serta energy sebagai *input*, proses-proses produksi sebagai (*process*), hasil produksi sebagai (*output*), limbah dan pencemaran sebagai *entropy*, konsumen dan pasar (*market*), dan lingkungan fisik-kimia-biologi sebagai ekologi sumber daya alam (*ecology-resources*). Keseluruhan sub-sub system industry manufaktur dan lingkungan terdapat di satu bumi alam yang kita tempati dan manfaatkan secara bersama-sama seluruh bangsa dunia (*earth*).



Gambar 5.28. Sistem dan Metabolisme Manufaktur

Pada sistem dan metabolisme manufaktur terdapat input berupa material dan energi untuk menggerakkan roda manufaktur untuk memproses bahan baku menjadi produk barang yang dibutuhkan oleh manusia dan pasar. Pada saat yang bersamaan dengan metabolisme manufaktur akan timbul limbah dan pencemar sebagai entropy, dan entropy inilah yang menimbulkan dampak negative terhadap lingkungan hidup. Tergantung pada jenis material yang digunakan oleh industri manufaktur, jika material bahan baku yang digunakan sebagai input bersifat sintetis, maka produk yang diterima konsumen juga bersifat sintetis yang tidak mudah terurai dalam tanah pada saat produk tersebut menjadi sampah.

Hasil pengamatan pada berbagai jenis industri dan manufaktur yang menggunakan material *styrofoam* sebagai bahan baku utama maupun sebagai bahan baku pembantu proses produksi diperoleh data dan informasi sebagai berikut.

Pada industri manufaktur barang elektronik rice cooker misalnya, bahan baku utamanya adalah logam besi, seng, plastic dan kapasitor pemanas. Sedangkan bahan baku pembantu untuk kemasan menggunakan bahan Styrofoam dan kertas kardus. Terkait dengan *sustainability*, maka penggunaan material styrofoam adalah sesuatu yang telah dilarang penggunaannya oleh *environmental protection agency* (EPA) yaitu badan dunia yang melindungi lingkungan hidup dari kerusakan dan pencemaran.



Gambar 5.29. Kegiatan Industri Manufaktur Menggunakan Material *Styrene/Styrofoam*



Gambar 5.30. Kegiatan Industri Manufaktur Menggunakan Material *Styrene/Styrofoam*



Gambar 5.31. Produsen *Styrene/Styrofoam*



Gambar 5.32. Produsen *Styrene/Styrofoam*



Gambar 5.33. Produk *Styrene/Styrofoam* Siap Dipasarkan



Gambar 5.34. Industri Manufaktur Pengguna *Styrene/Styrofoam*

Substitusi Material input Industri Manufaktur

Substitusi material input industry-manufaktur yang masih menggunakan sumber daya alam tak terbarukan seperti *Styrofoam* sebagai bahan baku pembantu pembuatan kemasan barang elektronik seperti; *Styrofoam*

ganjalan kemasan televisi, *Styrofoam* ganjalan kemasan rice cooker, *Styrofoam* ganjalan kemasan washer/mesin cuci, *Styrofoam* ganjalan kemasan oven, *Styrofoam* ganjalan kemasan dispenser, *Styrofoam* ganjalan kemasan mesin pompa air (*water-pump*) dan *Styrofoam* kemasan barang elektronik lainnya.

Material pensubstitusi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah berupa sampah pohon pisang yang lazim disebut sebagai debog pisang. Debog pisang akan direkayasa menjadi pengganti material *Styrofoam* yang biasanya dipakai oleh industry-manufaktur barang elektronik tersebut di atas. Sehingga produk industry-manufaktur Nasional diharapkan dapat memenuhi tuntutan masyarakat pasar global akan produk ramah lingkungan (*cleaner production, cleaner product, cleaner process*) dapat terpenuhi dan industry-manufaktur dapat dikembangkan menjadi manufaktur berkelanjutan (*sustainable manufacturing*).



Rancang Bangun Model Debog

Pengumpulan Data Penggunaan Styrofoam pada Industri Manufaktur

Data dan informasi penggunaan material Styrofoam pada industry manufaktur yang ada di wilayah rencana penelitian yaitu wilayah Jakarta – Bogor – Depok – Tangerang – dan Bekasi tidak berhasil didapatkan. Berikut data sekunder diperoleh dari laporan berkala komoditas plastic khususnya konsumsi global Styrofoam/Polystyrene CMAI dalam Kunststoffe International tahun 2011 sebagai berikut.

Tabel 5.1. Konsumsi Global *Polystyrene*

Region	Consumption (million ton)					
	2001	2003	2005	2007	2009	2011
Asia	1.447	1.903	1.943	2.330	2.493	3.079
Europe (incl. Russia)	1.118	1.100	1.266	1.624	1.614	1.801
North America	0.518	0.551	0.640	0.610	0.488	0.513
<i>Rest of the world</i>	0.168	0.211	0.250	0.347	0.382	0.440
Global consumption	3.251	3.765	4.099	4.911	4.977	5.833

Sumber: CMAI dalam *Kunststoffe International* 10/2011. *Commodity Plastics: Trend Report*.

Tampak pada tabel di atas, bahwa konsumsi global Styrofoam/Polystyrene meningkat signifikan 10 % setiap tahunnya, dan konsumsi terbesar terdapat di wilayah Asia sebanyak 3.079 million ton pada tahun 2011.

Sampling Limbah Debog Pisang

Pengambilan sampel limbah Debog pisang untuk penelitian ini diambil di wilayah kelurahan Sawah Baru, kecamatan Ciputat, kota Tangsel berdekatan dengan domisili peneliti. Total jumlah limbah Debog pisang yang diambil sebagai sampel adalah sebanyak 63 kilogram yang terdiri atas beberapa limbah pohon pisang.



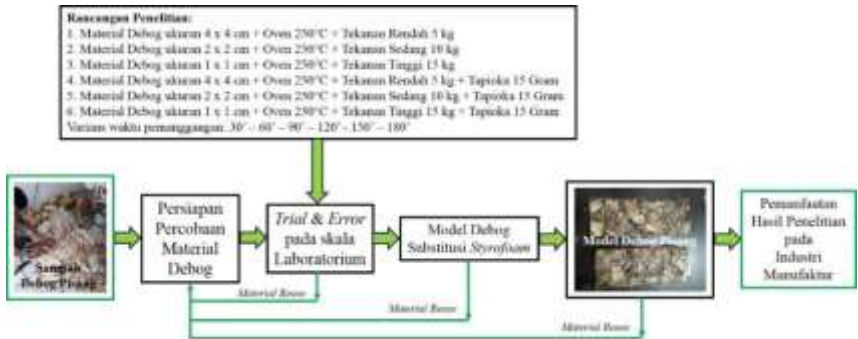
Gambar 5.35. Limbah Debog Pisang



Gambar 5.36. Limbah Debog Pisang dan Daun Pisang untuk Uji Coba

Tahapan Proses Penelitian dan Percobaan

Tahapan proses penelitian dan percobaan menggunakan metode trial and error dapat dijelaskan pada Gambar sebagai berikut:



Gambar 5.37. Tahapan Proses Penelitian dan Percobaan Metode *Trial and Error*

Persiapan Pengujian/Percobaan



Gambar 5.38. Persiapan Uji Coba Material Debog dan Daun Pisang



Gambar 5.39. Uji Coba Pencacahan Material Debog Pisang



Gambar 5.40. Tekstur Material Debog Pisang



Gambar 5.41. Persiapan Uji Coba Material Debog dan Daun Pisang



Gambar 5.42. Peralatan Penelitian Oven Pengering Material Debog



Gambar 5.43. Persiapan Percobaan Penelitian Material Debog

Pengukuran Pengujian Debog Pisang



Gambar 5.44. Pengukuran Hasil Percobaan Debog Pisang



Gambar 5.45. Pengukuran Hasil Percobaan Daun Pisang



Gambar 5.46. Percobaan Pemberian Bahan Perekat



Gambar 5.47. Persiapan Percobaan Pembuatan Model Sistem Tekanan

Rancangan Model Material Limbah Debog Pisang

Variabel Percobaan Penelitian:

1. Ukuran material debog pisang kering:
 - a. (1 cm x 1 cm x ketebalan normal lapisan debog).
 - b. (2 cm x 2 cm x ketebalan normal lapisan debog).
 - c. (3 cm x 3 cm x ketebalan normal lapisan debog).
 - d. (4 cm x 4 cm x ketebalan normal lapisan debog).
2. Temperature pemanggangan dan pengeringan material dalam oven (150 °C, 200 °C, dan 250 °C).
3. Kurun waktu pemanggangan dan atau pengeringan pada oven (30 menit, 60 menit, dan 120 menit).
4. Tekanan dan atau pembebanan terhadap material dalam cetakan dan pemanggangan (5 kg dan 10 kg).
5. Jumlah penggunaan bahan perekat alam (adhesive) jenis Tapioka pada pencetakan model (15 gram, 30 gram, dan 45 gram).
6. Ekstra percobaan menggunakan material sampah daun pisang kering dengan ukuran 1 cm x 1 cm x ketebalan normal daun pisang kering.

Prosedur 1:

1. Sampah batang pisang (debog) dipotong-potong ukuran 1 cm x 1 cm.
2. Sampah batang pisang (debog) dipotong-potong ukuran 2 cm x 2 cm.
3. Sampah batang pisang (debog) dipotong-potong ukuran 3 cm x 3 cm.
4. Sampah batang pisang (debog) dipotong-potong ukuran 4 cm x 4 cm.
5. Menggunakan nampan logam, potongan debog pisang tersebut diletakkan dan disebar keseluruh permukaan nampan. Kemudian dimasukkan ke dalam oven.
6. Dalam oven material tersebut dipanaskan untuk dikeringkan pada suhu 250 °C selama 1 jam.

7. Keluarkan material dari oven kemudian masukkan dalam cetakan dan ditambahkan larutan lem tapioca.
8. Cetakan dimasukkan kedalam oven dan panaskan pada suhu 250 °C selama 1 jam.
9. Keluarkan cetakan dari oven dan pada temperature kamar keluarkan material dari cetakan.



Gambar 5.48. Percobaan Pembuatan Model Sistem Tanpa Tekanan

10. Seleksi, ambil bagian yang memiliki diameter mencukupi. (photo dokumentasi)
11. Potong debog panjang tertentu (30 cm), (photo dokumentasi)
12. Timbang debog; (persiapan mengukur kadar air), (photo dokumentasi)
13. Keringkan debog dengan system:
 - a. Panas sinar matahari (catat berapa lama keringnya), (photo dokumentasi)
 - b. Panas oven (catat berapa lama keringnya), (photo dokumentasi)
14. Timbang debog kering; (kadar air = RH ruang uji), (photo dokumentasi)

15. Uji kekuatan debog kering (*strength*), kekenyalan (*stress-strain*), (photo dokumentasi)

$$k = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{\Delta P}{\Delta V/V}$$

16. Pembuatan model dari bahan debog (*prototype styrofoam*), lakukan Pematatan (*press*) berbentuk balok ukuran 30cm x 10cm x 10cm, Uji kekuatan debog kering (*strength*), kekenyalan (*stress-strain*), (photo dokumentasi)
17. Uji kekuatan (*strength*), kekenyalan (*stress-strain*) pada material *Styrofoam*. (photo dokumentasi)

Prosedur 2:

1. Sampah batang pisang (debog) diseleksi, ambil bagian yang memiliki diameter mencukupi. (photo dokumentasi)
2. Potong debog panjang tertentu; (photo dokumentasi)
3. Cincang / Rajang sampai Halus (ukuran maksimum 1 cm³); (photo dokumentasi)
4. (photo dokumentasi)
5. Timbang debog; (persiapan mengukur kadar air); (photo dokumentasi)
6. (photo dokumentasi)
7. Keringkan debog dengan system
 - a. Panas sinar matahari (catat berapa lama keringnya); (photo dokumentasi)
 - b. Panas oven (catat berapa lama keringnya); (photo dokumentasi)
 - c. (photo dokumentasi)
8. Timbang debog kering; (kadar air = RH ruang uji); (photo dokumentasi)
9. (photo dokumentasi)
10. Pembuatan model dari bahan debog (*prototype styrofoam*), lakukan Pematatan (*press*) berbentuk balok ukuran 30cm x 10cm x 10cm, bila perlu ditambahkan bahan kanji untuk perekat material, Uji

kekuatan debog kering (*strength*), kekenyalan (*stress-strain*). (photo dokumentasi).






Gambar 5.49. Percobaan Pembuatan Model Sistem Tekanan Rendah









Gambar 5.50. Percobaan Gagal




Tabel 5.2. Dokumentasi Hasil dan Proses-proses Penelitian dan Percobaan

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
1		Setelah panen pisang, ambil sampah debog / batang pisang
2		Sampah debog / batang pisang dibersihkan dan dipotong dengan ukuran 20 cm – 30 cm. Diameter debog pisang antara 15 cm – 25 cm.





No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
3	 A photograph showing a single banana placed on a white digital scale. The scale is on a light-colored surface, and the banana is positioned horizontally across the weighing platform.	Timbang debog pisang sepanjang 30 cm dengan diameter 25 cm teridentifikasi berat basah = 3.714 gram (3,7 kg)
4	 A photograph showing several people sitting on the ground outdoors, processing banana chips. They are surrounded by large quantities of sliced banana pieces and finished chips. A white car is visible in the background.	Debog pisang dicacah dengan ukuran $\frac{1}{2}$ cm x 2 cm x 3 cm = volume 3 cm ² .
5	 A photograph showing a tray of banana chips being placed into an oven. The chips are golden-brown and are arranged on a metal mesh tray. The oven is a dark-colored appliance.	Debog pisang ukuran $\frac{1}{2}$ cm x 2 cm x 3 cm = volume 3 cm ² . Dikeringkan dengan Oven pada Suhu 250°C selama 60 menit. Diperoleh data kadar air sekitar 87%.





No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
6		Dikeringkan dengan Oven pada Suhu 250°C selama 60 menit.
7		1 kg debog pisang basah menjadi 127 gram debog pisang kering.
8		Debog pisang ukuran $\frac{1}{2}$ cm x 2 cm x 3 cm = volume 3 cm ² . Dikeringkan dengan Oven pada Suhu 250°C selama 60 menit. Diperoleh data kadar air sekitar 87 %.




No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
9		Debog pisang kadar air $\pm 50\%$ dimasukkan dalam plat logam dipress, kemudian dikeringkan di dalam oven selama 120 menit.
10		<p>Debog pisang setelah dipress dan dikeringkan di oven selama 2 jam, ternyata masih menyerap uap air lingkungan selama dibiarkan terbuka $\pm 50\%$.</p> <p>Pada saat dibiarkan terkurung selama 24 jam ternyata kadar air kembali menjadi $\pm 50\%$</p>
11		Hasil percobaan tanpa tekanan




No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
12	 A photograph showing two individuals, one wearing a white lab coat and the other a blue hijab and white lab coat, working at a table. They are using tools to mix or handle materials in a bowl and other containers.	Hasil percobaan tanpa tekanan
13	 A photograph showing two rectangular trays filled with a brown, textured material, possibly a composite or biomass-based material, arranged on a dark surface.	Hasil percobaan tanpa tekanan dan menggunakan lem
14	 A photograph showing a large rectangular tray filled with a brown, textured material, and a smaller rectangular tray containing a similar material, both on a dark surface.	Hasil percobaan tanpa tekanan


No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
15		Percobaan selanjutnya menggunakan box logam tertutup dengan berat basah debog pisang
16		Hasil percobaan dengan tekanan dan oven suhu 250°C selama 60 menit
17		Hasil percobaan dengan tekanan dan oven suhu 250°C selama 60 menit





No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
17		Hasil percobaan dengan tekanan dan oven suhu 250°C selama 60 menit
19		Hasil percobaan dengan tekanan dan oven suhu 250°C selama 60 menit
20		Hasil percobaan dengan tekanan dan oven suhu 250°C selama 60 menit
21		Hasil percobaan pemanasan pada suhu 250 °C selama 60 menit dengan tekanan material 10 kg.





No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
22		Hasil percobaan dengan tekanan dan oven suhu 250°C selama 60 menit dan dibandingkan dengan material <i>Styrofoam</i> yang akan disubstitusi.
23		Hasil percobaan dengan tekanan dan oven suhu 250°C selama 60 menit dan dibandingkan dengan material <i>Styrofoam</i> yang akan disubstitusi.
24		Hasil percobaan 1 dan 2.
25		Hasil percobaan yang menunjukkan Kegagalan. Gagal perekatan pada material daun pisang.




No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
26		Percobaan lanjutan.
27		Percobaan Pembuatan Model Sistem Tanpa Tekanan
28		Percobaan Pembuatan Model Sistem Tanpa Tekanan





No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
29		Penggunaan lem/adhesive pada pembuatan model debog
30		Percobaan Pembuatan Model Sistem Tanpa Tekanan
31		Percobaan Pembuatan Model Sistem Tekanan 15 kg





No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
32		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan
33		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan
34		Percobaan Pembuatan Model Sistem Tekanan 10 kg
35		Percobaan gagal




No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
36		Percobaan gagal
37		Percobaan Pembuatan Model Sistem Tekanan 5 kg
38		Struktur model debog setelah dikeluarkan dari oven
39		Struktur model debog setelah dikeluarkan dari oven

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
40		Struktur model debog setelah dikeluarkan dari oven
41		Struktur model debog setelah dikeluarkan dari oven
42		Struktur model debog setelah dikeluarkan dari oven
43		Model debog menggunakan material daun pisang

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
44		Model yang memiliki karakteristik sifat fisik yang mendekati sama dengan sifat fisik material <i>Styrofoam</i> adalah Model $M_4+S+B_3+A+W_6$.
45		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan dan telah dirapihkan
46		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan





No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
47		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan dan telah dirapihkan
48		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan dan telah dirapihkan
49		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan
50		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
51		Menyusun material debog yang telah diberi lem/adhesive ke dalam cetakan.
52		Model dikeluarkan dari cetakan
53		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan
54		Hasil model debog setelah dikeluarkan dari cetakan

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
55	 A photograph showing two identical aluminum foil cups placed on a wooden surface. The cups are shallow and have a central hole. In the background, there are some tools and materials, including a yellow box and a blue object.	Cetakan model debog
56	 A photograph showing two aluminum foil cups on a wooden surface. One cup is on the left and has a hole in its center. The other cup is on the right and is empty. A yellow box is visible in the background.	Cetakan model debog
57	 A photograph showing two sheets of aluminum foil laid out on a dark surface. The sheets are rectangular and appear to be cut from a larger piece.	Penggunaan lembar aluminium foil untuk memudahkan pelepasan model dari cetakan

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
58		Menyusun material debog yang telah diberi lem/adhesive ke dalam cetakan.
59		Hasil percobaan pembuatan model debog menggunakan bentuk kubus dan bentuk bulat kue bolu.
60		Penggunaan lembar aluminium foil untuk memudahkan pelepasan model dari cetakan

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
61		Penggunaan lembar aluminium foil untuk memudahkan pelepasan model dari cetakan
62		Penggunaan lembar aluminium foil untuk memudahkan pelepasan model dari cetakan
63		Persiapan material dan pemberian lem/adhesive pada material sebelum masuk alat cetak

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
64	 A photograph showing the preparation of material. On the left, there are small containers with dark brown granules and a metal funnel. On the right, a large pile of the same granules is spread out on a surface.	Persiapan material dan pemberian lem/adhesive pada material sebelum masuk alat cetak
65	 A photograph showing a printed model being removed from a metal mold. The model is dark brown and has a circular shape with a hole in the center. The mold is a silver metal ring.	Cetakan dan model debog yang dihasilkan
66	 A photograph showing a model being heated in an oven. The model is inside a metal container, and the oven is illuminated from within.	Pemanasan model debog pada oven
67	 A photograph showing the final model and a piece of aluminum foil. The model is dark brown and has a circular shape with a hole in the center. The aluminum foil is a silver metal ring.	Penggunaan lembar aluminium foil untuk memudahkan pelepasan model dari cetakan

No.	Kegiatan dan Material Percobaan	Keterangan
68		Penggunaan lembar aluminium foil untuk memudahkan pelepasan model dari cetakan

Hasil percobaan untuk model $M_4+ S+B_3+A+W_6$ ternyata dapat menjadi model yang memiliki karakteristik sifat fisik yang hampir sama dengan sifat fisik material *Styrofoam*. Karakteristik sifat fisik model yang sama dimaksud meliputi tingkat kekerasan material, tingkat kekenyalan dan ringan. Sustainability manufaktur yang memanfaatkan model material ini dapat diperoleh dari sifat alamiah material debog pisang yang mudah terurai dalam tanah sewaktu material menjadi sampah, sehingga aman bagi lingkungan dan menjadi material substitusi yang ramah lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan perbedaan sifat fisik-kimia-biologi antara material Debog dan material *Styrofoam* adalah sebagaimana pada tabel berikut:

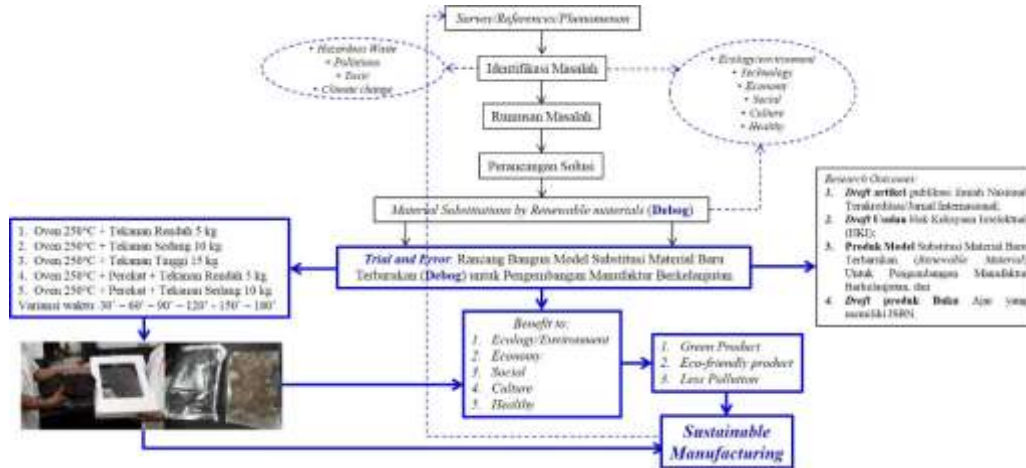
Tabel 5.3. Perbedaan Sifat Fisik-Kimia-Biologi antara Material Debog dan Material *Styrofoam*

No.	Sifat Fisika-Kimia-Biologi Material	
	<i>Styrofoam</i>	Debog
1	Ketahanan kerja pada suhu rendah (dingin) : Jelek	Ketahanan kerja pada suhu rendah sangat baik.
2	Kekuatan Tensile 256 (j/12) : 0,13-0,34	Kekuatan basah lebih baik dibanding kekuatan dalam keadaan kering.
3	Modulus elastisitas tegangan ASTM D747 (MNm x 10 ⁻⁴) : 27,4-41,4	Debog memiliki material kering 17,70%, mengandung air 83%, protein kasar 4,81% dan serat kasar 27,73%.
4	Kekuatan kompresif ASTM D696 (MNm) : 74,9-110	Material debog mengandung selulosa 60-65%, hemiselulosa 10-15%, lignin 6-8%, pigmen khlorofil, zat pectin dan pektosa.
5	Pemuaian Termal ASTM 696 (mm C x 10) : 6-8	Mengandung asam galacturonic, arabinose, galaktosa dan rhamnosa.
6	Titik leleh (lunak °C) : 82-103	Tahan terhadap basa lemah dan asam lemah.
7	Berat jenis ASTMd 792 : 1,04-1,1	Mengalami degradasi kekuatan pada saat terkena asam kuat dan basa kuat.
8	Elongasi tegangan ASTM 638 (%) : 1,0-2,5	Mudah terurai dalam tanah
9	Kekuatan fexural ASTM D790 (mnM) : 83,9-118	Sifat asam lemah sampai basa lemah
10	Tetapan elektrik ASTM 150 (10 Hz) : 2,4-3,1	Tidak bersifat toksik pada lingkungan tanah
11	Kalor jenis (kph) (Kg) : 1,3-1,45	Tidak menimbulkan iritasi pada kulit saat disentuh dan pada saat diuji coba pada penelitian ini
12	Larut dalam benzene	Rusak dan larut dalam larutan H ₂ SO ₄ pekat

No.	Sifat Fisika-Kimia-Biologi Material	
	<i>Styrofoam</i>	Debog
13	Mengeluarkan racun dioxin pada saat terbakar/dibakar	Mengeluarkan asap dengan particulate abu dan CO ₂ .
14	Produk dengan material <i>styrofoam</i> tidak mudah bocor,	Bersifat ramah lingkungan dan tidak membahayakan lingkungan
15	Penggunaan <i>styrofoam</i> bersifat praktis,	Sifat sampah tidak menimbulkan gangguan pada lingkungan kehidupan.
16	Material <i>styrofoam</i> relative ringan,	Material debog relative lebih berat dibanding <i>Styrofoam</i> .
17	Secara kasat mata material <i>styrofoam</i> terlihat bersih,	Secara kasat mata material <i>debog</i> terlihat kotor.
18	Harga <i>styrofoam</i> relative murah	Tidak ada nilai ekonomi pada material debog
19	<i>Polystyrene</i> dibuat melalui proses polimerisasi adisi dengan cara suspensi.	Debog adalah sampah pohon pisang pasca panen
20	Material <i>styrene</i> dapat diperoleh dari sumber daya alam yaitu Petroleum.	Material debog diperoleh dari sumber daya alam terbarukan.
21	<i>Styrene</i> merupakan cairan yang tidak berwarna menyerupai minyak dengan bau seperti benzena dan memiliki rumus kimia C ₆ H ₅ CH=CH ₂ atau ditulis sebagai C ₈ H ₈ .	Debog merupakan material padat dari pohon pisang
22	Mengeluarkan uap racun dioxin pada saat dilarutkan maupun pada saat dibakar/terbakar.	Mengeluarkan asap dengan particulate abu dan CO ₂ pada saat terbakar.
23	Tidak dapat diurai oleh mikro-organisme tanah.	Dapat diurai oleh mikro-organisme tanah
24	Menghambat perkembangan akar tanaman dalam tanah pada saat menjadi sampah	Tidak mengganggu perkembangan tanaman, bahkan sebaliknya sampah debog akan menjadi pupuk dalam tanah pada saat menjadi sampah

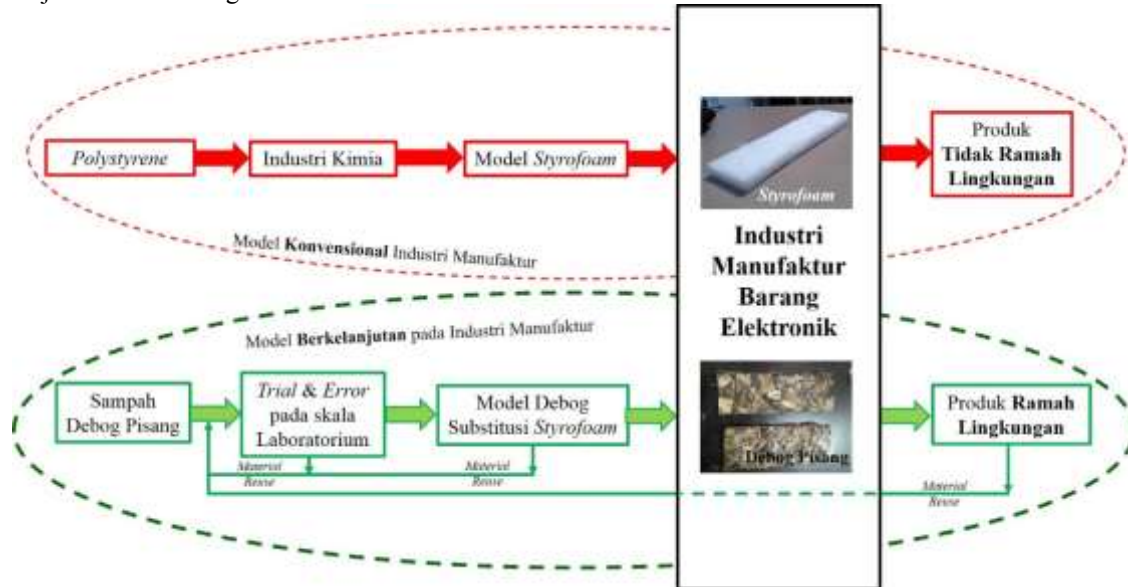
5.1. Model Substitusi Material Baru Terbarukan (*research outcome*)

Berdasarkan atas hasil dan luaran yang dicapai dalam penelitian ini sebagaimana diuraikan pada Sub-Bab 5.1 sampai Sub-Bab 5.4 di atas, maka model yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 5.45 berikut.



Gambar 5.51. Hasil Penelitian Pembuatan Model Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan

Perbandingan model kegiatan industry manufaktur konvensional dan model kegiatan industry manufaktur berkelanjutan adalah sebagai berikut:



Gambar 5.52. Perbandingan Model Kegiatan Industri Manufaktur Konvensional dan Berkelanjutan

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Uji coba pembuatan rancang bangun model substitusi material baru terbarukan untuk pengembangan manufaktur berkelanjutan **telah berhasil** dilaksanakan dengan tingkat ketercapaian kinerja penelitian sebesar 90%.
2. Model yang memiliki karakteristik sifat fisik yang mendekati sama dengan sifat fisik material *Styrofoam* adalah ukuran material debog yang terkecil yaitu berukuran 1 cm x 1 cm sebelum dilakukan pengeringan, dengan Model $M_4+S+B_3+A+W_6$.
3. Penggunaan material debog pisang sebagai pengganti material Styrofoam untuk ganjalan produk elektronik hasil produksi industry manufaktur mampu meminimumkan pencemaran lingkungan hidup disamping penghematan penggunaan bahan fosil.
4. Model yang gagal pada percobaan ternyata dapat digunakan kembali (*reuse*) sebagai bahan baku percobaan berikutnya untuk pembuatan model yang sama.
5. Material debog pisang mudah terurai oleh mikro organisme dalam tanah sehingga material ini menjadi sampah tidak akan mengganggu lingkungan kehidupan. Sedangkan material *Styrofoam* tidak bisa terurai oleh mikro organisme dalam tanah sehingga material ini menjadi sampah akan mengganggu lingkungan kehidupan. Dengan demikian maka material Debog pisang digunakan sebagai pengganti bahan *Styrofoam* akan lebih ramah lingkungan dibanding penggunaan material *Styrofoam*.

6.2. Saran

1. Untuk pengembangan industry-manufaktur yang berkelanjutan, maka disarankan kepada pelaku industry-manufaktur untuk segera mengganti material Styrofoam dengan material debog pisang sebagaimana hasil penelitian ini.

2. Untuk meminimumkan dampak negative lingkungan hidup dari kegiatan industry-manufaktur, maka disarankan kepada pelaku industry-manufaktur untuk segera menggunakan sumber daya alam terbarukan “debag pisang” sebagai bahan baku pembantu kegiatan industry-manufaktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Alayon, Claudia. 2016. *Exploring Sustainable Manufacturing Principles and Practices*. Licentiate Thesis, School of Engineering, Jonkoping University. Dissertation Series No. 16, 2016.
- Anonym. 2011. *Kunststoffe International 10/2011*. Commodity Plastics: Trend Report. 18 – 21 hlm.
- Barzegeer, M. et al. 2018. *Analyzing the Drivers of Green Manufacturing Using an Analytic Network Process Method: A Case Study*. International Journal of Research in Industrial Engineering. Vol. 7, No. 1 (2018) 61–83.
- Diandra Advena et al. 2014. *Fermentasi Batang Pisang Menggunakan Probiotik Dan Lama Inkubasi Berbeda Terhadap Perubahan Kandungan Bahan Kering, Protein Kasar dan Serat Kasar*. Fakultas Pertanian Jurusan Peternakan Universitas Tamansiswa Padang.
- Eva Setianingsih, et al. 2016. *Pemanfaatan Batang Semu Pisang Sebagai Pot Dengan Berbagai Komposisi Media Tanam Terhadap Produktivitas Tanaman Kangkung Darat*. Jurnal Produksi Tanaman, Volume 4, Nomor 2, Maret 2016, hlm. 117-122.
- Graedel & Allenby. 1995. *Industrial Ecology*. AT&T Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Mohiuddin, et al. 2014. *Usefulness of Banana (Musa paradisiaca) Wastes in Manufacturing of Bio-products: A Review*. The Agriculturists 12(1): 148-158 (2014) ISSN 2304-7321 (Online), ISSN 1729-5211 (Print). A Scientific Journal of Krishi Foundation.
- Molamohamadi and Napsiah Ismail. 2013. *Developing a New Scheme for Sustainable Manufacturing*. International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, Vol. 1, No. 1, February 2013
- Moldavska, A. and Welo, Togeir. 2017. *The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review*. Journal of Cleaner Production. 166 (2017) 744-755.

- Nordin, N. *et. al.* 2014. *A Case Study of Sustainable Manufacturing Practices*. Journal of Advanced Management Science Vol. 2, No. 1, March 2014.
- Ocampo *et. al.* 2015. *An integrated sustainable manufacturing strategy framework using fuzzy analytic network process*. Journal Advances in Production Engineering & Management Volume 10, Number 3. September 2015. pp 125-139.
- Ocampo *et. al.* 2015. *A Sustainable Manufacturing Strategy Framework: The Convergence of Two Fields*. Asian Academy of Management Journal Volume 20, No. 2, 29-57, 2015.
- Pathak *et. Al.* 2017. *Sustainable Manufacturing Concepts: A Literature Review*. International Journal of Engineering Technologies and Management Research. Vol.4 (Iss.6): June, 2017.
- Roni, Mastura. *et. al.* 2017. *Sustainable manufacturing drivers and firm performance: Moderating effect of firm size*. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 4(12) 2017, Pages: 243-249.
- Rosen, Marc A. & Kishway, Hossan A., 2012, *Sustainable Manufacturing and Design: Concepts, Practices and Needs*, Sustainability 4: 154-174
- Smith, L. dan Ball, P, 2012, *Steps Towards Sustainable Manufacturing through Modelling Material, Energy and Waste Flows*, International Journal of Production Economics Vol. 140 Issue 1: 227-238.
- Taghavi, Naghmeh. 2015. *Sustainable Manufacturing Strategy; Identifying Gaps in Theory and Practice*. Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering. Department of Technology Management and Economics. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden 2015.
- Vigneswaran, *et al.* 2015. *Banana Fibers: Scope and Value Added Product Development*. Journal of Textile and Apparel, Technology and Management. JTATM, Volume 9, Issue 2, Spring 2015.
- Weisz, Helga. 2007. *Material and Energy Flow Studies: The Industrial Metabolism*. <http://www.mitpressjournals.org/jie>.

Reda Rizal. 2018. *Rancang Bangun Model Substitusi Material Baru Terbarukan untuk Pengembangan Manufaktur Berkelanjutan*

(93)

Wyckoff, Andrew. 2010. *OECD Sustainable Manufacturing Toolkit. Seven Steps to Environmental Excellence. Start-up Guide.*
www.oecd.org/innovation/green/toolkit

Zhou *et. al.* *Green Production – Strategies and Dynamics; A Simulation Based Study. Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference.* College of Management Shenzhen University. Shenzhen, 518054, P.R.CHINA.

RIWAYAT HIDUP



Dr. Ir. Reda Rizal, B.Sc. M.Si. lahir pada tanggal 25 Agustus 1959 di kota Padangpanjang Sumatera Barat. Tahun 1982 menyelesaikan pendidikan tinggi teknik dan manajemen industri, tahun 1983 menjadi Pegawai Negeri Sipil pada Kementerian Pertahanan yang ditugaskan sebagai Dosen Tetap di UPN "Veteran" Jakarta (sejak tahun 2015 menjadi Dosen PNS di Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi). Pada tahun 1998 menyelesaikan pendidikan pascasarjana pada Program Magister Sains Ilmu Lingkungan di Universitas Indonesia, dan pada tahun 2008 menyelesaikan pendidikan Doktor bidang Ilmu Lingkungan di Universitas Indonesia.

Pendidikan tambahan yang pernah diikuti antara lain Kursus Pengembangan Teknologi bidang Desain dan Industri, Pengembangan Manajemen Industri, Kursus Amdal Tipe A dan Tipe B (penyusun Amdal) serta Sertifikat Audit Lingkungan.

Pada tahun 2008 penulis memperoleh Sertifikat Dosen Professional Bidang Teknik dan Manajemen Industri dari Kementerian Pendidikan Nasional. Pada tahun 2012 ditunjuk oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sebagai Dosen Asesor untuk Beban Kinerja Dosen bidang Teknik dan Manajemen Industri. Sejak tahun 1986 Penulis telah menulis 14 (empatbelas) buah buku yaitu; 1) Buku Teknologi dan Material Tekstil Ramah Lingkungan, 2) Buku Teknologi Garmen, 3) Buku Prosedur Pengendalian Mutu Garment, 4) Buku Ekologi yang diterbitkan oleh Kementerian Pendidikan Nasional Universitas Terbuka, 5) Buku Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah yang diterbitkan oleh Kementerian Dalam Negeri-Lembaga Administrasi Negara, 6) Buku Ilmu Pengetahuan Lingkungan, 7) Buku Manajemen Ekologi Industri yang diterbitkan di UI. Press, 8) *Apparel Handbook for Garment Companies and Education Institutes*, 9) Buku Monitoring, Pengendalian Mutu dan Penjaminan Mutu Produk Industri Garment, 10) Buku Analisis Kualitas Lingkungan, 11) Buku Studi Kelayakan Lingkungan, 12) Buku Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Industri, dan 13) Buku *Sustainable Manufacturing*, 14) Buku Rancang Bangun Model Teknologi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Saat ini penulis telah memperoleh 7 (tujuh) Hak Kekayaan Intelektual (HKI) dibidang penulisan 7 (tujuh) buku teks pelajaran untuk pendidikan tinggi. Sejak tahun 1990 hingga sekarang Penulis aktif menulis di berbagai Jurnal Ilmiah diantaranya Jurnal Bina Widy, Jurnal Bina Teknika, Jurnal Matematika, Sains dan Teknologi (JMST) Universitas Terbuka, dan Jurnal Pusat Studi Lingkungan Perguruan Tinggi Seluruh Indonesia, Lingkungan & Pembangunan Universitas Indonesia, dan telah menghasilkan tulisan ilmiah lebih dari 50 topik yang telah diterbitkan di berbagai jurnal lembaga perguruan tinggi.

Sampai saat ini Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar pada Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia (SIL-UI), pengajar tetap pada Fakultas Teknik dan Fakultas Ilmu Kesehatan UPN "Veteran" Jakarta, tenaga pengajar senior pada *International Garment Training Center*, dan sebagai tenaga ahli peneliti bidang Ekologi Industri pada Pusat Penelitian Sumberdaya Manusia dan Lingkungan Hidup Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia (SIL-UI). Profesi peneliti bidang lingkungan hidup telah dilakukan pada berbagai proyek kajian bidang lingkungan hidup pada berbagai kegiatan pembangunan daerah di seluruh Indonesia, termasuk penelitian bekerjasama dengan lembaga internasional seperti *GTZ, GIZ, Swisscontact* dan Konsorsium *Mott MacDonald Limited* yang dilakukan dalam rangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta ekologi industri di Indonesia



Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta

Jl. R.S. Fatmawati, Pondok Labu, Jakarta Selatan 12450

Telp./Fax. 021-7656971 Ext. 234

e-mail: lppm@upnvj.ac.id