

NASKAH ORISINAL

Optimalisasi Proses Pemanasan pada Pengolahan Limbah Sampah Plastik di Robries

Ika Dewi Wijayanti* | Putu Suwarta | Sutikno | Fahmi Mubarak | H.C. Kis
Agustin | Suwarno | Wahyu Wijanarko | Indra Sidharta

Departemen Teknik Mesin, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya,
Indonesia

Korespondensi

*Ika Dewi Wijayanti, Departemen Teknik
Mesin, Institut Teknologi Sepuluh
Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat
e-mail: ika.dewi.wijayanti@its.ac.id

Alamat

Laboratorium Metalurgi, Departemen
Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh
Nopember, Surabaya, Indonesia

Abstrak

Robries adalah perusahaan daur ulang limbah plastik di Surabaya yang didirikan pada tahun 2018 oleh alumni Desain Produk ITS. Perusahaan ini bertujuan mengurangi limbah termoplastik dengan mengolahnya menjadi perabot rumah tangga seperti bangku, lemari, dan pot bunga, serta tutup botol dan wadah kosmetik. Namun, beberapa masalah dalam produk daur ulangnya, seperti penyusutan yang tidak terkontrol, dimensi produk yang tidak konsisten serta *void*, menyebabkan Robries kesulitan untuk memasarkan produknya ke luar negeri. Berdasarkan pengamatan Tim Departemen Teknik Mesin (DTM) ITS di pabrik, diketahui bahwa selama proses pencetakan berlangsung, distribusi temperatur pada peralatan oven yang ada saat ini tidak merata sehingga menyebabkan penyusutan dan dimensi produk yang tidak konsisten. Langkah yang dilakukan oleh tim DTM ITS adalah dengan melakukan pengukuran temperatur dan studi peralatan oven yang ada lalu solusi yang ditawarkan adalah (1) memastikan temperatur pemanasan di oven sudah merata sebelum memasukkan limbah termoplastik dan (2) *re-design* peralatan oven yang ada saat ini dengan menambahkan sistem pendinginan untuk memastikan distribusi panas di dalam oven merata sehingga produk memiliki dimensi yang konsisten dan cacat semaksimal mungkin. Cacat yang dihasilkan lebih sedikit setelah menggunakan kedua solusi tersebut sehingga dapat disimpulkan kualitas produk daur ulang plastik telah ditingkatkan.

Kata Kunci:

Daur ulang, Oven, Sampah plastik, Robries, *Temperature*, *Thermoplastic*

1.1 | Latar Belakang

Peningkatan volume sampah dapat menimbulkan permasalahan crucial jika tidak tertangani dengan baik, terutama karena dampak negatifnya terhadap lingkungan. Ditinjau dari jenisnya, sampah dibedakan menjadi dua, yaitu sampah organik yang berjumlah sekitar 60%-70% dari total volume sampah dan sampah non-organik dengan jumlah kontribusi sebesar 30%-40% dari total volume sampah^[1]. Sampah plastik adalah penyumbang terbesar jenis sampah non-organik, dimana plastik ini dapat berasal dari tutup botol minum, wadah kosmetik, maupun sedotan. Indonesia adalah penyumbang sampah plastik terbesar nomor dua setelah China, dengan volume sampah plastik yang dihasilkan sekitar 187,2 juta ton^[1]. Jumlah sampah plastik yang besar tersebut sangat berbahaya bagi lingkungan karena sifat plastik yang *non-biodegradable* dimana membutuhkan waktu sekitar 20–100 tahun untuk mampu terurai di tanah.

Salah satu metode untuk mengurangi penumpukan limbah sampah plastik adalah dengan mendaur ulang plastik tersebut untuk menjadi produk yang dapat dimanfaatkan kembali. Karena sifat plastik yang mudah dilelehkan dan dibentuk kembali^[2] maka *cast moulding* adalah metode menjanjikan yang dapat digunakan untuk mendaur ulang limbah sampah plastik. Metode ini juga digunakan oleh Robries atau PT. Siklus Karya Global, salah satu perusahaan di Surabaya besutan alumni ITS tahun 2018 yang bergerak di bidang daur ulang limbah plastik. Tujuan didirikannya perusahaan tersebut adalah untuk mendayagunakan limbah plastik dan mengurangi sirkulasi limbah tersebut di masyarakat. Limbah plastik yang didaur ulang adalah jenis termoplastik seperti *Polypropylene* (PP) dan *High Density Polyethylene* (HDPE) yang dapat digunakan sebagai bahan penyusun tutup botol minum kemasan dan wadah kosmetik. Contoh limbah plastik yang didaur ulang oleh Robries ditunjukkan pada Gambar (1). Variasi warna pada limbah plastik menjadikannya cocok untuk didaur ulang menjadi perabotan rumah tangga.



Gambar 1 Limbah plastik yang didaur ulang oleh Robries, mempunyai warna yang bervariasi. (Sumber: <https://id.aliexpress.com>).

Metode daur ulang limbah plastik yang digunakan oleh Robries adalah dengan melelehkan plastik di dalam oven pada temperatur 160°C untuk material *Polypropylene* (PP) dan temperatur 125°C untuk material *High Density Polyethylene* (HDPE)^[3]. Setelah itu, lelehan plastik dialirkan ke dalam cetakan yang terbuat dari *Stainless Steel* untuk selanjutnya dibentuk sesuai dengan produk yang diinginkan. Produk perabotan rumah tangga hasil daur ulang limbah plastik oleh Robries ditunjukkan pada Gambar (2). Produk tersebut mendapatkan animo yang tinggi dari masyarakat lokal, yang dibuktikan dengan peningkatan pemesanan produk secara terus-menerus selama tahun 2018-2023.

Dengan adanya peningkatan pemesanan dari masyarakat lokal, Robries memutuskan untuk memperluas pemasaran produknya ke luar negeri. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, Robries menghadapi kesulitan untuk mengontrol kualitas produk daur ulangnya. Adapun beberapa permasalahan yang dihadapi oleh Robries ketika produk dikeluarkan dari cetakan, antara lain:

1. Penyusutan (*shrinkage*) dari produk yang tidak terkontrol seperti terlihat pada Gambar (3);
2. Dimensi produk yang tidak konsisten akibat penyusutan yang tidak terkontrol;
3. Adanya *void* pada produk karena laju pendinginan yang terlalu cepat dan tidak tersedia saluran untuk mengeluarkan udara yang terjebak di cetakan tersebut;
4. Produk lengket pada cetakan ketika akan dilepas



Gambar 2 Perabotan rumah tangga hasil daur ulang limbah plastik oleh Robries. Variasi warna pada produk tersebut menjadi salah satu nilai jual yang ditawarkan. (Sumber: <https://www.instagram.com/robries/?hl=en>)



Gambar 3 Contoh produk Robries yang gagal karena adanya *shrinkage* pada permukaan. Beberapa *shrinkage* ditunjukkan oleh kotak merah. (Sumber: dokumentasi pribadi)

Adanya empat permasalahan tersebut di atas, Robries mengalami kesulitan untuk memasarkan produk mereka ke luar negeri karena produk yang dihasilkan belum memiliki kualitas yang layak untuk dipasarkan ke luar negeri. Hasil pengamatan di lokasi pabrik Robries menunjukkan bahwa penggunaan alat produksi belum optimal dan pengetahuan karyawan perlu ditingkatkan. Sebagai langkah awal untuk meningkatkan kualitas produksi daur ulang limbah plastik di Robries, diperlukan pengoptimalan dalam pengoperasian alat produksi serta pelatihan bagi karyawan mengenai pengoperasian alat tersebut.

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Hasil diskusi dengan direktur dan karyawan Robries menunjukkan perlunya pemahaman mengenai pengoperasian optimal peralatan produksi serta pelatihan bagi karyawan terkait penggunaan alat produksi. Untuk menghasilkan produk daur ulang limbah plastik yang minim cacat, diperlukan pengukuran distribusi temperatur dan geometri cetakan (*moulding*) yang digunakan. Setelah data-data tersebut diperoleh, dilakukan perancangan ulang peralatan produksi daur ulang limbah plastik.

1.3 | Target Luaran

Sesuai dengan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, kegiatan pengabdian masyarakat ini memiliki target luaran sebagai berikut:

1. Mendapatkan data distribusi temperatur serta geometri cetakan (*moulding*).
2. Memahami cara kerja alat produksi daur ulang limbah plastik.
3. Memberikan pelatihan kepada karyawan terkait pemakaian alat produksi.
4. Melakukan perancangan ulang peralatan produksi daur ulang limbah plastik.

2 | TINJAUAN PUSTAKA

Proses daur ulang limbah plastik menggunakan metode *casting moulding* telah menjadi salah satu pendekatan utama dalam mengatasi masalah sampah plastik. Dalam metode ini, plastik dilelehkan dalam oven pada suhu yang cukup tinggi, biasanya di atas 100°C, hingga menjadi cair dan mudah dibentuk. Proses ini memungkinkan plastik bekas, seperti tutup botol dan wadah kosmetik, untuk dilelehkan dan dicetak kembali menjadi produk baru yang bermanfaat^[3].

Setelah plastik dilelehkan, langkah berikutnya adalah menuangkan cairan plastik ke dalam cetakan atau *moulding*. Cetakan ini telah dirancang sebelumnya untuk membentuk produk akhir dengan bentuk dan ukuran tertentu. Pendinginan plastik dalam cetakan dilakukan secara perlahan di udara untuk memastikan bahwa plastik dapat mengeras dan membentuk fase padat tanpa cacat yang signifikan^[4]. Proses pendinginan yang lambat membantu dalam mempertahankan integritas struktural produk akhir.

Meskipun demikian, selama proses pendinginan, produk daur ulang plastik berisiko mengalami cacat seperti *void* dan *shrinkage*. *Void* adalah kekosongan atau rongga yang terjadi akibat udara yang terperangkap dalam cetakan, sedangkan *shrinkage* adalah penyusutan volume yang terjadi saat plastik mengeras dan mendingin. Kedua jenis cacat ini dapat mengurangi kualitas dan kekuatan produk akhir, membuatnya kurang layak untuk digunakan^{[2][5]}.

Untuk meminimalkan risiko cacat, penting untuk mengoptimalkan parameter-parameter proses seperti suhu dan tekanan dalam oven serta geometri cetakan. Suhu dan tekanan yang tepat selama proses pelelehan dan pendinginan sangat krusial untuk memastikan bahwa plastik mencair dan mengeras dengan baik tanpa terjadinya cacat struktural. Desain cetakan yang baik juga harus memungkinkan udara untuk keluar dengan mudah, mencegah terbentuknya *void* dalam produk akhir^{[6][7]}.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pengendalian suhu dan tekanan yang baik selama proses pelelehan dapat secara signifikan mengurangi cacat pada produk daur ulang plastik. Misalnya, suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan masalah dalam aliran plastik cair, yang dapat menghasilkan produk akhir dengan kualitas yang buruk. Demikian pula, tekanan yang tidak memadai dapat mengakibatkan terjebaknya udara dalam cetakan, menghasilkan *void* yang merusak^[6].

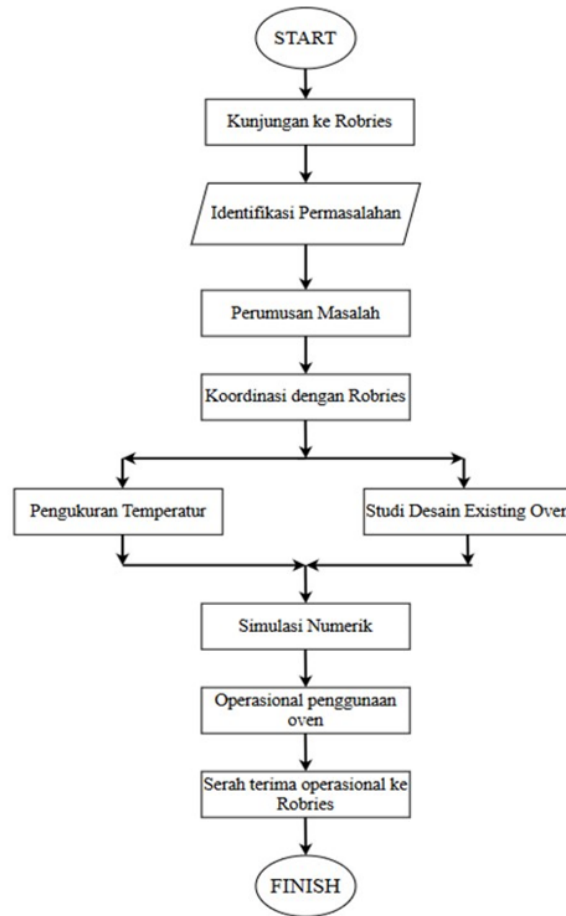
Selain itu, geometri cetakan juga memainkan peran penting dalam kualitas produk akhir. Cetakan harus dirancang sedemikian rupa sehingga memungkinkan aliran plastik cair yang optimal dan keluarnya udara yang terperangkap. Bentuk dan ukuran cetakan yang tepat dapat membantu dalam mengurangi risiko *shrinkage* dan *void*, memastikan produk akhir yang lebih konsisten dan berkualitas tinggi^[7].

Dalam upaya untuk meningkatkan kualitas produk daur ulang plastik, diperlukan penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknologi baru dalam proses *casting moulding*.

Pengoptimalan parameter proses dan desain cetakan yang lebih baik dapat membantu dalam menghasilkan produk daur ulang plastik yang lebih baik dan lebih ramah lingkungan. Dengan demikian, metode ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan limbah plastik tetapi juga pada pelestarian lingkungan secara keseluruhan.

3 | METODE KEGIATAN

Sesuai dengan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, maka metode yang digunakan pada kegiatan pengabdian masyarakat ini memiliki strategi yang dituangkan ke dalam *flowchart* seperti terlihat pada Gambar (4). Penjelasan *flowchart* metode kegiatan pengabdian masyarakat tersebut sebagai berikut: Diawali dengan kunjungan ke Robries kemudian dilanjutkan dengan kegiatan-kegiatan sebagai berikut hingga dihasilkan re-desain *moulding* multifungsi dengan meminimalisir terjadinya *void* dan *shrinkage*.



Gambar 4 Flowchart kegiatan pengabdian masyarakat oleh Tim DTM ITS.

3.1 | Kunjungan ke Robries

Kunjungan ke Robries dilakukan sebagai tahapan awal dalam kegiatan pengabdian masyarakat ini. Tim dari DTM ITS melakukan kunjungan untuk mengamati langsung setiap tahapan dalam proses daur ulang limbah termoplastik di Robries. Selama kunjungan tersebut, Tim DTM ITS mengamati berbagai aspek, mulai dari pengumpulan dan pemilahan limbah plastik, proses pelelehan di oven, pencetakan menggunakan *moulding*, hingga pendinginan dan *finishing* produk akhir. Setiap langkah diamati dengan cermat untuk memahami bagaimana prosedur berjalan dan di mana mungkin terjadi masalah kualitas.

3.2 | Identifikasi Permasalahan

Setelah observasi, tim melakukan diskusi dengan pihak Robries untuk mengklarifikasi temuan-temuan yang diperoleh selama pengamatan. Diskusi ini mencakup identifikasi kendala dalam proses produksi, seperti kontrol suhu dan tekanan, desain cetakan, serta metode pendinginan. Kedua belah pihak juga membahas potensi solusi dan perbaikan yang bisa diterapkan untuk meningkatkan kualitas produk daur ulang.

3.3 | Perumusan Masalah

Temuan-temuan yang diperoleh selama proses pengamatan dan diskusi dengan Robries kemudian dikumpulkan dan dirumuskan menjadi sejumlah permasalahan spesifik untuk mencari solusi yang paling efektif dan efisien.

3.4 | Koordinasi dengan Robries

Tujuan utama koordinasi dengan Robries adalah untuk memastikan sinergi antara Tim DTM ITS dan pihak Robries dalam mengidentifikasi masalah, merumuskan solusi, dan menerapkan perbaikan pada proses daur ulang plastik. Koordinasi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional, kualitas produk, dan kompetensi karyawan.

3.5 | Pengukuran Temperatur dan Studi Desain Oven

Desain ini bertujuan untuk mempelajari studi desain oven *existing* dan pengaruhnya ke distribusi temperatur selama proses produksi (pelelehan dan pendinginan) dari limbah termoplastik. Pengukuran distribusi temperatur di dalam oven menggunakan *thermal infrared* dilakukan di 25 titik untuk mendapatkan data yang mewakili kondisi distribusi temperatur di dalam oven.

3.6 | Studi Numerikal dan Penyusunan Operasional Penggunaan Oven

Studi numerik untuk mempelajari pengaruh distribusi temperatur terhadap deformasi plastik yang terjadi pada limbah termoplastik. Untuk studi numerik ini, menggunakan *software* ANSYS 2023 R2. Berdasarkan hasil studi numerik ini, dilakukan pembuatan operasional penggunaan oven untuk mendapatkan produk minimal cacat.

3.7 | Serah Terima Operasional ke Robries dan Desain *Moulding* Multifungsi

Setelah studi numerik dan pembuatan operasional yang baru berhasil dibuat, diskusi lebih lanjut pun juga dilakukan bersama Robries. Robries melakukan produksi berdasarkan dokumen operasional yang baru. Berdasarkan studi desain pada oven *existing*, dilakukan juga desain *moulding* multifungsi. Pekerjaan desain ini dilakukan bersama antara Tim ITS dan Robries. Desain *existing* dibandingkan dengan desain yang disarankan oleh Tim ITS untuk melihat *feasibility*-nya. Namun karena satu dan lain hal, untuk sementara waktu, desain *existing* masih akan terus digunakan mengingat beberapa sistem di desain multifungsi masih belum memungkinkan untuk diadakan. Dalam hal ini, Tim ITS berupaya untuk menyarankan Robries merealisasikan desain multifungsi dalam jangka panjang ke depan tersebut mengingat efisiensi proses yang akan didapatkan. Untuk jangka pendek, Tim ITS memberikan masukan terkait proses pengolahan limbah plastik terutama pada proses produksi yang melibatkan distribusi temperatur yang merata pada saat pemanasan di oven.

4 | HASIL DAN DISKUSI

Kunjungan ke Robries dilakukan sebagai tahapan awal dalam kegiatan pengabdian masyarakat ini. Tim dari DTM ITS melakukan kunjungan untuk mengamati langsung setiap tahapan dalam proses daur ulang limbah termoplastik di Robries. Selama kunjungan tersebut, Tim DTM ITS mengamati berbagai aspek, mulai dari pengumpulan dan pemilahan limbah plastik, proses pelelehan di oven, pencetakan menggunakan *moulding*, hingga pendinginan dan *finishing* produk akhir. Setiap langkah diamati dengan cermat untuk memahami bagaimana prosedur berjalan dan di mana mungkin terjadi masalah kualitas.

Gambar yang menunjukkan diskusi antara Tim DTM ITS dan Robries ditampilkan di Gambar (5). Diskusi ini penting untuk memastikan bahwa semua pihak memiliki pemahaman yang sama mengenai tantangan yang dihadapi dan langkah-langkah yang perlu diambil untuk mengatasinya. Dengan demikian, kunjungan dan diskusi ini diharapkan dapat memberikan dasar yang kuat untuk perbaikan proses daur ulang limbah plastik di Robries.

Peralatan yang digunakan di Robries untuk menghasilkan produk dari limbah plastik ditunjukkan pada Gambar (6). Dari desain cetakan tersebut, terlihat bahwa tidak ada metode pendinginan berkelanjutan (*continuous*) pada cetakan termoplastik. Selain itu, tidak tersedia *vacuum pump* yang terhubung dengan saluran untuk mengeluarkan udara yang terjebak di dalam cetakan. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas produk akhir, karena pendinginan yang tidak optimal dan udara yang terjebak dapat menyebabkan cacat seperti *void* dan *shrinkage*.

Peralatan pada Gambar (6) tersebut terdiri dari dua bagian utama yaitu oven untuk melelehkan plastik dan *moulding* untuk membentuk produk.



Gambar 5 Diskusi antara Tim DTM ITS dengan Robries.



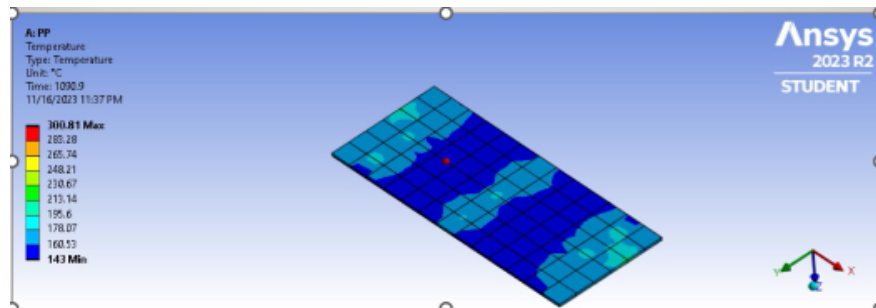
Gambar 6 Peralatan pengolahan limbah plastik menjadi produk Robries.

Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik terkait cara kerja alat tersebut, distribusi temperatur di dalam oven perlu diukur secara detail. Pengukuran dilakukan pada lima bagian berbeda di dalam oven, dengan masing-masing bagian diukur sebanyak enam kali untuk memastikan akurasi dan konsistensi data. Hasil dari pengukuran ini disajikan dalam Tabel 1 .

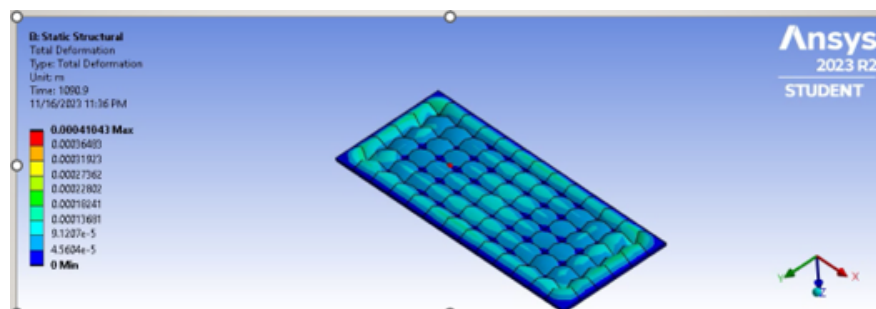
Tabel 1 Distribusi Temperatur di Dalam Oven Ketika Pemanas Beroperasi

Nomor Pengukuran	Bagian kiri (°)	Bagian kanan (°)	Bagian atas (°)	Bagian bawah (°)	Bagian belakang (°)
1	180	153	195	208	147
2	156	146	206	223	152
3	155	150	200	242	155
4	167	146	299	240	150
5	154	143	185	238	148
Rata-rata	158	148	217	230	150
Standar deviasi	6	4	46	14	3
<i>Coefficient of variation</i>	4	3	21	6	2

Dari hasil pengukuran yang disajikan di Tabel 1, terlihat bahwa distribusi temperatur di dalam oven tidak merata, yang dapat menyebabkan laju pemanasan untuk melelehkan plastik di *moulding* menjadi tidak konsisten. Ketidakteraturan ini mengakibatkan adanya material plastik yang tidak sepenuhnya meleleh, yang kemudian terjebak dan menjadi kotoran dalam produk akhir. Kotoran tersebut berpotensi menjadi tempat terbentuknya *void*. Selain dilakukan pengukuran temperatur pada oven, pengukuran dimensi cetakan juga dilakukan untuk memodelkan *moulding* di *software* ANSYS. Simulasi dilakukan untuk menganalisis distribusi temperatur dan deformasi yang menyebabkan *shrinkage* pada material tersebut. Hasil simulasi ANSYS ditunjukkan di Gambar (7) dan Gambar (8).



Gambar 7 Distribusi temperatur plastik di *moulding*.

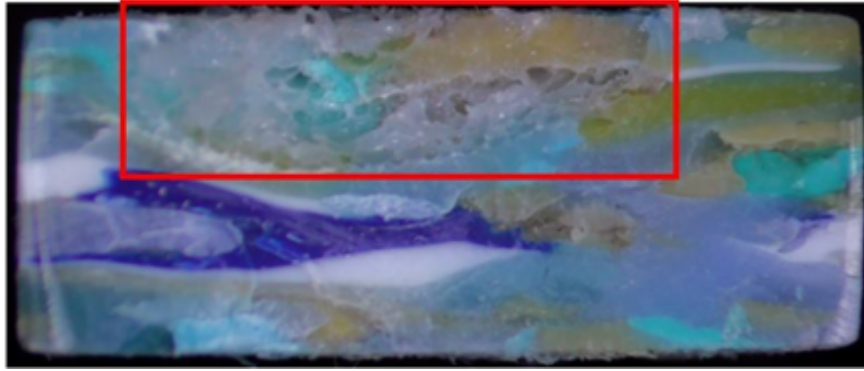


Gambar 8 Distribusi deformasi plastik di-*moulding*.

Dari Gambar (7), terlihat bahwa distribusi temperatur di kedua ujung tidak sama dengan distribusi temperatur di tengah material yang berpotensi menimbulkan *void* dan *shrinkage*.

Dari Gambar (8) terlihat bahwa akibat pendinginan dari kondisi leleh terjadi deformasi di bagian tepi material yang menekan hingga ke bagian dalam material sehingga geometri material menjadi tidak presisi. Berdasarkan studi numerik, disarankan agar memastikan temperatur pemanasan di oven sudah merata sebelum memasukkan limbah termoplastik. Ketika temperatur di dalam oven sudah mencapai temperatur leleh dari termoplastik yaitu di temperatur 135°C untuk *High Density Polyethylene* (HDPE) dan temperatur 170°C untuk *Polypropylene* (PP)^{[3][4][5]}, maka produk bisa dimasukkan ke dalam oven. Ketika temperatur pemanasan merata, maka proses pelelehan akan lebih merata dan tidak ada bagian dari termoplastik yang tidak meleleh. Ketika dilakukan proses pendinginan ke temperatur kamar, maka proses solidifikasi akan lebih merata sehingga tidak ada cacat yang terbentuk pada produk termoplastik. Beberapa masukan penting yang kami berikan adalah pada saat meleburkan plastik, perlu untuk menunggu suhu di dalam oven seragam sekitar 135°C - 170°C (tergantung dari jenis termoplastik yang dilelehkan) yang akan memastikan laju pelelehan plastik konsisten dan menyeluruh, sehingga mampu mengurangi risiko adanya bagian plastik yang tidak sepenuhnya meleleh dan menghindari kotoran dalam produk akhir^[6]. Setelah plastik meleleh, proses pendinginan harus dilakukan dengan sistem konveksi yang efisien. Disarankan menggunakan *convection fan* di semua sisi *moulding* untuk memastikan pendinginan yang merata. Pendinginan yang merata akan membantu mencegah terbentuknya *void* dan mengurangi risiko *shrinkage* akibat laju pendinginan yang tidak seragam.

Proses produksi pada produk PP dilakukan ketika temperatur di dalam oven telah mencapai 165°C karena produk PP yang digunakan di Robries memiliki temperatur leleh yang lebih rendah dibandingkan produk PP yang tersedia di pasaran komersil. Produk PP dilelehkan di dalam oven selama 1 jam di temperatur 165°C . Setelah produk PP dikeluarkan dari oven lalu didinginkan secara perlahan di temperatur. Dari hasil uji produksi dan pengamatan di penampang spesimen yang dipotong, terlihat cacat dengan area yang kecil seperti terlihat di Gambar (9). Berdasarkan hasil uji coba tersebut, bisa disimpulkan bahwa distribusi temperatur pemanasan dan pendinginan yang merata akan memperkecil area dari cacat.



Gambar 9 Penampang patahan pada spesimen PP yang menunjukkan adanya cacat yang kecil.

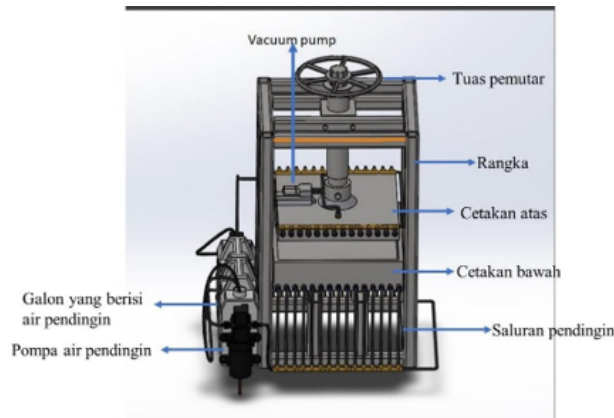
Berdasarkan hasil pengukuran temperatur dan simulasi permodelan *moulding* menggunakan ANSYS, maka Tim DTM ITS menawarkan solusi desain *moulding* yang mengintegrasikan saluran pendinginan dan saluran yang terhubung ke *vacuum pump* seperti terlihat pada Gambar (9). Desain Robries yang ditunjukkan di Gambar (10), oven tidak terkoneksi dengan *vacuum pump*, sehingga udara terjebak dalam plastik yang meleleh dan menghasilkan *void* tambahan. Ketika plastik telah meleleh dan cetakan dikeluarkan dari *moulding*, terjadi laju pendinginan yang tidak merata di antara bagian-bagian material tersebut. Hal ini menyebabkan laju penyusutan yang tidak seragam, yang pada akhirnya menimbulkan *shrinkage* [2] [6] [7] [8]. Selain menawarkan desain *moulding* multifungsi, diskusi juga mencakup solusi terkait pelatihan singkat bagi karyawan Robries mengenai operasi peralatan.

Dari hasil diskusi dengan Robries, kerjasama ini nantinya akan dilanjutkan dengan rancang bangun *moulding* limbah sampah plastik skala laboratorium yang dilengkapi teknologi untuk mengatur laju penyusutan dan kandungan *void* pada produk daur ulang limbah plastik dengan desain peralatan *moulding* [9] [10] yang ditunjukkan pada Gambar (10) mengatasi berbagai masalah yang dihadapi selama produksi, seperti kontrol suhu yang tidak stabil, pendinginan yang tidak merata, dan keterbatasan dalam variasi produk yang bisa dihasilkan. Desain *moulding* multifungsi memiliki beberapa fitur utama yang dirancang untuk mengoptimalkan proses produksi:

1. Sistem pendingin terintegrasi yang memastikan pendinginan merata selama proses pencetakan.
2. Saluran pendingin yang dialiri air untuk mengontrol suhu secara lebih efektif.
3. *Vacuum pump* yang terhubung dengan saluran khusus untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam cetakan, mengurangi risiko *void*.

Desain cetakan yang ditawarkan memiliki beberapa kelebihan antara lain:

1. *Compact* dan mudah dipindahkan sehingga memudahkan mobilitas pengguna jika sewaktu-waktu perlu memindahkan *moulding* tersebut.
2. *Moulding* tersambungkan dengan saluran pendingin yang dialiri air.
3. Kondisi di dalam *moulding* tersambungkan dengan *vacuum pump* sehingga mampu mengeluarkan udara yang terperangkap.



Gambar 10 Desain cetakan (*moulding*) yang mengintegrasikan saluran pendinginan dan saluran yang terhubung ke *vacuum pump*.

Dengan mengatur debit, laju aliran air pendingin serta tekanan *vacuum* di dalam cetakan maka kandungan *void* dan cacat permukaan bisa diminimalisir bahkan bisa dihilangkan.

Berdasarkan pengukuran distribusi temperatur serta simulasi numerikal yang menghubungkan distribusi temperatur ke deformasi pada limbah plastik, maka diusulkan agar memastikan temperatur pemanasan di oven sudah merata sebelum memasukkan limbah termoplastik sebelum produk dimasukkan ke oven serta menambahkan sistem pendinginan untuk memastikan distribusi panas di dalam oven merata sehingga produk memiliki dimensi yang konsisten dan cacat seminimal mungkin. Dari hasil pengabdian masyarakat ini, Robries mendapatkan informasi mengenai operasional oven untuk meminimalkan cacat pada produk.

5 | KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kunjungan ke Robries, pengambilan data, serta diskusi dengan Robries, didapatkan beberapa kesimpulan:

- *Void* dan *shrinkage* yang terjadi pada material daur ulang limbah plastik disebabkan oleh distribusi temperatur dan pendinginan yang tidak seragam selama proses pemanasan di dalam oven dan pendinginan di udara.
- Diperlukan pelatihan kepada karyawan mengenai pentingnya menunggu hingga suhu di dalam oven menjadi seragam pada sekitar 240°C untuk memastikan laju pelelehan yang konsisten. Selain itu, setelah plastik meleleh, pendinginan harus dilakukan dengan sistem konveksi menggunakan *convection fan* di semua sisi *moulding* untuk memastikan pendinginan yang merata.
- Perlu dibangun *moulding* yang mengintegrasikan saluran pendinginan dan saluran yang terhubung ke *vacuum pump* untuk menghasilkan produk daur ulang yang bebas cacat. Desain ini akan membantu mengurangi *void* dan *shrinkage* dengan memastikan distribusi suhu yang seragam dan pengeluaran udara yang terperangkap selama proses pencetakan.
- Kegiatan pengabdian masyarakat berupa kegiatan abmas ke Robries telah dilaksanakan berhasil mendapatkan distribusi temperatur di-oven dan melakukan simulasi numerikal sebagai bahan masukan kepada Robries ketika mengoperasikan peralatannya agar cacat produk seminimal mungkin.
- Melanjutkan desain yang dilanjutkan dengan *manufacturing* peralatan *moulding* multifungsi agar dapat dimanfaatkan oleh Robries.
- Melanjutkan kerjasama untuk mempelajari pengaruh aliran termoplastik dan distribusi temperatur di dalam oven terhadap cacat produk termoplastik yang terbentuk.

6 | UCAPAN TERIMA KASIH

“Pengabdian masyarakat ini didukung oleh DRPM dana Departemen Teknik Mesin ITS Sesuai Surat Perjanjian Pelaksanaan Pengabdian Nomor: 2551/PKS/ITS/2023.”

Referensi

1. Purwaningrum P. Upaya mengurangi timbunan sampah plastik di lingkungan. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology* 2016;8(2):141–147.
2. Anggono AD. Prediksi Shrinkage Untuk Menghindari Cacat Produk Pada Plastic Injection 2005;.
3. Awad AH, El Gamasy R, Abd El Wahab A, Abdellatif MH. Mechanical and Physical Properties of PP and HDPE. *Eng Sci* 2019;4(2):34.
4. Sutar H, Murmu R, Dutta C, Ozcan M, Mishra SC. High Density Polyethylene (HDPE) and Polypropylene (PP) Polyblend: An Experimental Approach; 2019.
5. Pluimer M. Establishing 100-year service life for corrugated HDPE drainage pipe. In: *Pipelines 2006: Service to the Owner*; 2006.p. 1–8.
6. Postawa P, Koszkuł J. Change in injection moulded parts shrinkage and weight as a function of processing conditions. *Journal of materials processing technology* 2005;162:109–115.
7. Huang T, Yamaguchi M. Effect of cooling conditions on the mechanical properties of crystalline poly (lactic acid). *Journal of Applied Polymer Science* 2017;134(24).
8. Rashid O, Low K, Pittman J. Mold cooling in thermoplastics injection molding: Effectiveness and energy efficiency. *Journal of Cleaner Production* 2020;264:121375.
9. Wibisono B. Desain cetakan vacuum forming untuk pembuatan plastic packaging tray di PT SM Engineering. PhD thesis, Prodi Teknik Industri; 2022.
10. Worgull M. Hot embossing: theory and technology of microreplication. William Andrew; 2009.

Cara mengutip artikel ini: Wijayanti, I.D., Suwarta, P., Sutikno, Mubarak, F., Agustin, H.C.K., Suwarno, Wijanarko, W., Sidharta, I., (2024), Optimalisasi Proses Pemanasan pada Pengolahan Limbah Sampah Plastik di Robries, *Sewagati*, 8(5):2057–2067, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v8i5.1507>.