

Pembuatan Cetakan Sendok Puding Dengan *Injection Molding* Dari Material *Polylactic Acid (PLA)* Dan Pati Singkong

Yhun Al Fath Hasby Ash Shiddiqy¹, Andita Nataria Fitri Ganda², Diah Wulandari³,
Lailatus Sa'diyah Yuniar Arifianti⁴,

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: anditaganda@unesa.ac.id

Abstrak: Plastik konvensional banyak digunakan di Indonesia, namun sulit terurai dan berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan. Salah satu alternatif yang dikembangkan adalah bioplastik berbahan dasar *Polylactic Acid (PLA)* dan pati singkong. Penelitian ini bertujuan merancang cetakan sendok puding serta mengevaluasi kesesuaian hasil simulasi Moldflow dengan hasil pencetakan aktual menggunakan metode *injection molding*. Perancangan produk dan cetakan dilakukan menggunakan Autodesk Fusion 360 dengan dimensi produk $125,5 \times 25,2 \times 2$ mm dan dimensi cetakan $132 \times 60 \times 35,6$ mm. Simulasi Moldflow meliputi analisis *fill confidence*, *visual defects*, *warpage*, *air traps*, dan *deflection*. Variasi komposisi material PLA dan pati singkong yangdigunakan adalah 40/60, 50/50, dan 60/40 (% volume), masing-masing dilakukan tiga kali pengujian ($n = 3$). Proses pencetakan dilakukan pada suhu cetakan 160°C dan suhu injeksi 190°C dengan waktu pendinginan sekitar 5 menit. Pengukuran dimensi dilakukan menggunakan jangka sorong digital setelah produk mencapai kondisi stabil. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan dimensi antara hasil simulasi dan produk aktual yang bervariasi pada setiap rasio material. Deviasi dimensi terbesar terjadi pada rasio 40% PLA dan 60% pati singkong dengan nilai maksimum 14,9%, sedangkan rasio 50% PLA dan 50% pati singkong menunjukkan hasil paling mendekati desain dengan deviasi minimum sebesar 0,72%. Hasil ini menunjukkan adanya tren bahwa komposisi material berpengaruh terhadap stabilitas dimensi dan jenis cacat produk bioplastik hasil *injection molding*.

Kata kunci: Bioplastik, Sendok Puding, *Injection Molding*, *Polylactic Acid*, Pati Singkong.

Abstract: Conventional plastics are widely used in Indonesia, yet they are difficult to decompose and contribute to environmental pollution. An alternative being developed is bioplastics based on *Polylactic Acid (PLA)* and cassava starch. This study aims to design a pudding spoon mold and evaluate the consistency between Moldflow simulation results and actual molding outcomes using the injection molding method. Product and mold designs were created using Autodesk Fusion 360, with product dimensions of $125,5 \times 25,2 \times 2$ mm and mold dimensions of $132 \times 60 \times 35,6$ mm. Moldflow simulations included analyses of *fill confidence*, *visual defects*, *warpage*, *air traps*, and *deflection*. The material compositions of PLA and cassava starch were varied at 40/60, 50/50, and 60/40 (% volume), with each variation conducted in three trials ($n = 3$). The molding process was carried out at a mold temperature of 160°C and an injection temperature of 190°C , with a cooling time of approximately 5 minutes. Dimensional measurements were taken using digital calipers once the products reached a stable condition. The results indicated dimensional differences between the simulation and actual products that varied across each material ratio. The largest dimensional deviation occurred at the 40% PLA and 60% cassava starch ratio, reaching a maximum of 14.9%, while the 50% PLA and 50% cassava starch ratio showed the result closest to the design with a minimum deviation of 0.72%. These findings show a clear trend that material composition influences the dimensional stability and defect types of bioplastic products produced via injection molding.

Keywords: Bioplastic, Pudding Spoon, *Injection Molding*, *Polylactic Acid*, Cassava Starch.

© 2025, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Plastik merupakan produk polimerisasi sintetik dibuat dari bahan baku minyak bumi dan dapat terurai setelah 500 hingga 1000 tahun [1]. Tercatat penggunaan plastik di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan hingga 17 kg per tahunnya [2]. Peningkatan limbah plastik diperlukan alternatif yang ramah lingkungan seperti bioplastik

Bioplastik merupakan plastik yang terbuat dari bahan polimer alam. Keuntungan dari penggunaan bioplastik salah satunya adalah mudah terurai oleh suatu mikroorganisme menjadi air (H_2O) dan gas karbondioksida (CO_2) tanpa meninggalkan zat beracun [3]. Proses pembuatan plastik mempunyai banyak metode seperti, *extrusion molding*, *injection molding*, *thermoforming*, *blow molding* dan masih banyak lagi

[4]. Selain itu pembuatan bioplastik didukung dengan *Poly Lactic Acid* (PLA).

PLA merupakan polimer alam yang terbuat dari sumber alami. PLA dipilih karena mempunyai beberapa keunggulan dibanding polimer lain seperti mempunyai sifat tahan panas karena mempunyai titik leleh hingga 220°C [5], mempunyai sifat mekanik kuat tarik yang relatif kuat yaitu sebesar 109,97 MPa [6], mempunyai sifat *elongation at break* sebesar 21,25% dan sifat *swelling* sebesar 46,44% [7].

Identifikasi proses simulasi menggunakan sistem analisa aliran di *software solidworks* didapatkan bahwa produk tutup galon air minum minim terdapat cacat *sinkmark*, karena ketebalan produk hampir sama secara keseluruhannya, dengan dibuktikan pada nilai indikator yang *full* pada parameter *fill time*. Produk tutup galon air minum terdapat cacat *weld line* dan *air trap* namun tidak terlalu banyak [8].

Pembuatan Cetakan kotak sabun yang berdimensi 140 × 105 mm, dengan ketebalan *cavity* 31 mm dan *core* 41 mm menggunakan bahan alumunium 7075. Proses pencetakan produk kotak sabun menggunakan metode pemanasan cetakan pada suhu 160 °C – 250 °C agar lelehan material dapat mengalir dengan sempurna kedalam cetakan. Setelah itu cairan yang telah dilelehkan diinjeksikan kedalam cetakan yang telah dipanaskan [9].

Laju biodegradasi bioplastik tercepat dilakukan selama 20 hari mendapat presentase 78,09% dengan rasio bahan baku 20% pati biji durian dan 80% pati singkong, dan laju paling lambat diperoleh presentase 69,15% dengan rasio bahan baku 60% pati singkong dan 40% pati biji durian [10].

penggabungan PLA dan pati dengan metode *blending* dengan variasi rasio PLA dan pati sebesar 0/100, 20/80, 40/60, dan 50/50 menghasilkan karakteristik *blend film* terbaik adalah 40/60 dengan nilai *tensile strength* 2,32 MPa, *elongation at break* 21,25% dan *swelling* 46,44%. [7]

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas karakteristik mekanik dan biodegradasi bioplastik berbasis PLA-pati, namun kajian perancangan cetakan, simulasi *Moldflow*, serta validasi hasil cetak aktual khususnya pada aspek akurasi dimensi masih terbatas. Selain itu, pengaruh variasi rasio PLA dan pati singkong terhadap deviasi dimensi serta jenis cacat produk pada proses *injection molding* belum banyak dilaporkan.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan pada integrasi antara desain cetakan, simulasi *Moldflow*, dan evaluasi hasil pencetakan aktual untuk beberapa variasi komposisi PLA-pati singkong. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat cetakan sendok puding berbahan bioplastik PLA-pati singkong, menganalisis hasil simulasi *Moldflow* dan membandingkannya dengan hasil aktual, serta menentukan komposisi material yang menghasilkan stabilitas dimensi terbaik dan memetakan cacat produk yang dominan.

DASAR TEORI

A. Bioplastik

Bioplastik atau plastik *biodegradable* merupakan plastik yang dibuat dari sumber biomassa terbarukan seperti minyak nabati, pati jagung, pati kacang polong, dan lainnya [11]. Bioplastik, dapat mengalami proses degradasi 10 hingga 20 kali lebih cepat dari plastik konvensional hal ini dikarenakan struktur bioplastik yang dibuat dengan bahan terbarukan mendukung proses degradasi lebih cepat [12]. Selain itu degradasi dipengaruhi oleh suatu mikroorganisme dan cuaca, yang nantinya menghasilkan air (H_2O) dan gas karbondioksida (CO_2), sehingga bersifat *biocompatible* yang berarti dapat diterima oleh makhluk hidup tanpa efek yang berbahaya, sehingga aman untuk lingkungan [13].

Bioplastik dibagi menjadi 2 jenis utama yaitu bioplastik *biodegradable* yang merupakan plastik yang mudah terurai. Bahan yang biasa digunakan diantara lain: *PolyLactic Acid* (PLA), *Polyhydroxy alkanoates* (PHA). sedangkan bioplastik *biobased* yang merupakan plastik yang memiliki sifat yang mirip dengan plastik konvensional tetapi lebih ramah lingkungan dalam proses produksinya. Bahan yang digunakan antara lain: *Bio Polyethylene* (Bio-PE), *Bio Polyethylene Terephthalate* (Bio-PET), *Bio Polypropylene* (PP).

B. Pati Singkong

Pati merupakan polimer yang tersusun dari monomer-monomer amilosa dan amilopektin. Kandungan pati bergantung pada kandungan dari perbandingan antara amilosa dan amilopektin dari tanaman itu sendiri [14].

Ketersediaan yang melimpah menjadikan pati sebagai alternatif bahan yang ekonomis. Selain itu, pengelolaan pati yang mudah serta kemampuan biodegradasi yang baik menjadikan pati sebagai salah satu pilihan utama dalam pembuatan bioplastik setelah selulosa [15].

Pati singkong memiliki densitas padat sekitar 1,50–1,63 g/cm³ dan 0,60–0,80 g/cm³ dalam bentuk bubuk[16]. Pati dapat diperoleh dari berbagai jenis tanaman pangan salah satunya adalah singkong. Singkong menjadi salah satu sumber pati utama karena kandungan pati yang tinggi serta ketersediaan tanaman yang melimpah.

Tabel 1 Kandungan Pati pada Beberapa Bahan [17]

Bahan Pangan	Kandungan Pati (% basis kering)
Biji gandum	67
Beras	89
Jagung	57
Biji sorghum	72
Kentang	75
Ubi jalar	90
singkong	90

Dari pengumpulan data diatas bahwa ubi jalar dan singkong memiliki kandungan pati yang tinggi yaitu sekitar 90% [18]. Kandungan pati pada singkong yang tinggi memungkinkan penggunaan singkong sebagai *film plastik biodegradable*. [19]

C. Poly Lactic Acid (PLA)

PLA merupakan polimer yang *biodegradable*, *biocompatible* berasal dari sumber daya terbarukan [20]. PLA merupakan polimer yang dapat diperoleh dari asam laktat yang berasal dari sumber alami seperti gula pada tanaman, pati-patiannya dari bahan pangan, serta selulosa yang dihasilkan dari limbah pertanian dan juga gliserin dari sisa produksi biodiesel [21].

PLA dibuat melalui fermentasi karbohidrat dimana proses ini mengubah gula dan sumber karbohidrat menjadi asam laktat yang kemudian dipolimerisasi menjadi PLA. Selain itu PLA juga dapat dibuat melalui proses polimerisasi kondensasi yaitu proses yang melibatkan reaksi kimia dan penghilangan air secara azeotropik untuk membentuk rantai polimer yang efisien [22]. PLA bersifat *biodegradable* karena pada ujung rantainya memiliki beberapa gugus hidroksil, yang memudahkan bioplastik dapat terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme dan lingkungan.

PLA mempunyai beberapa kelebihan yang menjadikannya salah satu material yang unggul dan sering menjadi pilihan dalam pembuatan bioplastik *biodegradable* [23]. Berikut adalah sifat-sifat fisik dari PLA:

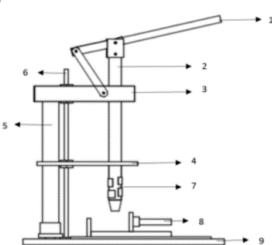
Tabel 2 Sifat-sifat Fisik PLA [24]

Sifat Fisik	satuan	Nilai
Densitas Padat	g/cm^3	1.24-1.27
Glass Transition Temp (Tg)	°C	55-65
Melting Temperature (Tm)	°C	150-170
Melt Flow Rate (MFR)	$\text{g}/10 \text{ min}$	5-15(190°C/2,16 kg)
Shrinkage	%	0,3-0,5
Tensile Strength	MPa	59

D. Injection Molding

Injection molding merupakan salah satu teknik pada industri manufaktur untuk memproduksi produk plastik. Proses *injection molding* melibatkan pelelehan bahan baku plastik menjadi bentuk cair dan menginjeksikannya kedalam cetakan. Setelah rongga dalam cetakan terisi, material akan didinginkan dan mengeras membentuk produk yang diinginkan [25].

Terdapat tiga komponen utama pada *Injection Molding*, yaitu *Injection Unit* berfungsi untuk mencairkan serta menyuntikkan material ke dalam cetakan, *Molding Unit* berperan untuk membentuk produk sesuai dengan cetakan, dan *Clamping Unit* menjaga cetakan tetap tertutup selama proses berlangsung [26].



Gambar 1 Komponen Injection Molding Hand Press [27].

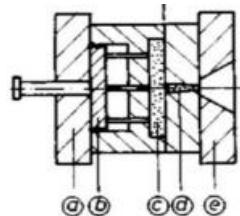
Keterangan:

- | | |
|-------------------|-----------|
| 1. Tuas | 6. Ular |
| 2. Penekan/Piston | 7. Heater |

- | | |
|---------------------------|-------------|
| 3. Batang Penyangga Atas | 8. Clamping |
| 4. Batang Penyangga Bawah | 9. Alas |
| 5. Poros Penyangga | |

E. Cetakan

Cetakan merupakan komponen penting dalam proses *injection molding*, dimana cetakan berfungsi sebagai penahan atau penampung material cair yang dilelehkan. Material tersebut ditahan hingga suhu material menurun dan mengeras. Cetakan *injection molding* terdiri dari komponen-komponen penyusun yang dirangkai menjadi satu kesatuan, dimana masing-masing komponen memiliki fungsi penting dalam penggunaan cetakan.



Gambar 2 cetakan *Injection Molding* [28].

Keterangan:

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1. Moving Plate | 4. Sprue |
| 2. Ejector System | 5. Stasionary Plate |
| 3. Cavity | |

Untuk menghitung material yang digunakan dalam pencampuran bahan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rasio bahan (gram)} = V_m \times \text{Rasio\%}$$

Keterangan:

$$V_m = \text{Volume tabung (mm}^3\text{)}$$

Untuk mengetahui volume tabung digunakan persamaan:

$$V_m = L_A \times h$$

$$V_m = \pi r^2 \times h$$

Keterangan:

$$L_A = \text{Luas alas (mm)}$$

$$r = \text{Jari-jari tabung (mm)}$$

$$h = \text{Tinggi (mm)}$$

kemudian massa material dihitung menggunakan persamaan:

$$m = \rho \times V$$

Keterangan:

$$m = \text{Massa material (gram)}$$

$$\rho = \text{Densitas material (g/mm}^3\text{)}$$

$$V = \text{Volume material (mm}^3\text{)}$$

F. Cacat Produk

Proses *injection molding* merupakan metode manufaktur yang sangat efisien untuk memproduksi plastik. Namun, proses yang kompleks ini rentan terhadap munculnya berbagai jenis cacat produk. Cacat dapat timbul akibat desain cetakan yang kurang optimal, parameter proses yang tidak tepat (suhu, tekanan, waktu pendinginan), atau karakteristik aliran material.

METODE

Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen yang dilakukan dengan percobaan, yang bertujuan untuk menguji hubungan sebab akibat antara variabel yang diteliti dengan memberikan perlakuan (*treatment*) pada objek penelitian kemudian dilakukan pengamatan adanya perubahan setelah pemberian perlakuan [29]. Langkah-langkah penelitian meliputi pengumpulan data, perancangan cetakan, pembuatan cetakan, pengujian serta evaluasi.

A. Alat dan bahan

Penelitian ini menggunakan peralatan pendukung agar proses pembuatan sendok puding berlangsung dengan baik. Proses pembuatan sendok puding diawali dengan perancangan yang didukung oleh *Software Autodesk Fusion 360*. Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang model 2D dan 3D produk dan cetakan. Selanjutnya cetakan dibuat menggunakan bantuan mesin CNC dengan memotong dan membentuk material aluminium sebagai bahan dasar cetakan dengan tingkat presisi yang tinggi.

Dalam persiapan pencetakan didukung dengan alat bantu seperti *blender* yang digunakan untuk menghaluskan material PLA yang berupa biji agar memiliki tekstur yang lebih halus sehingga lebih mudah bercampur dengan pati singkong dari tepung tapioka. Selanjutnya gelas beker dan timbangan digital digunakan sebagai wadah untuk menakar material sebelum proses pembentukan sendok puding. Sebelum proses injeksi dilakukan diperlukan cetakan yang rapat agar material cair tidak keluar dari cetakan, untuk memastikan kondisi tersebut kunci pas digunakan untuk mengencangkan baut yang berfungsi untuk menahan kedua bagian cetakan sehingga tetap stabil pada proses injeksi.

Proses pembentukan produk sendok puding dilakukan dengan mesin *injection molding*, mesin ini memanfaatkan panas yang digunakan untuk melelehkan material lalu disuntikkan kedalam cetakan sehingga membentuk produk sendok puding. Selama proses ini berlangsung. *Themo gun* digunakan untuk memantau temperatur material maupun temperatur cetakan agar proses pembentukan produk berjalan stabil, selain itu pemanasan tambahan juga dilakukan menggunakan bantuan *torch*, terutama pemanasan pada bagian tertentu. Penambahan panas ini bertujuan untuk memperlancar aliran material cair agar tidak memadat terlalu cepat.

Setelah proses injeksi selesai dilanjutkan dengan proses *cooling* dilakukan dengan mencelupkan cetakan yang telah terisi dengan material kedalam baskom yang diisi dengan air untuk mempercepat pengerasan material. Setelah produk melalui proses *cooling* produk dilepaskan dari cetakan, tang dan obeng digunakan sebagai alat bantu untuk memisahkan kedua bagian cetakan.

Pada proses merapikan dilakukan dengan *cutter* dan amplas untuk menghilangkan sisa material yang berlebih dan memperhalus bagian. Setelah proses

perapian selesai, jangka sorong digunakan sebagai alat ukur untuk megukur dimensi produk secara akurat dan sesuai dengan desain.

B. Proses Desain

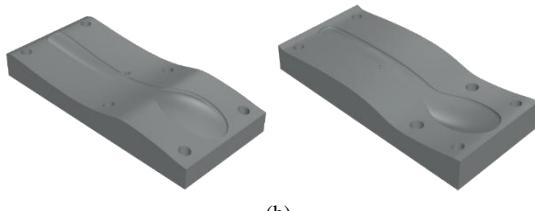
Perancangan desain cetakan diawali dengan mendesain bentuk produk sendok, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan cetakan yang terdiri dari komponen penyusun seperti *core* dan *cavity*. Proses desain dimulai dengan membuat sketsa awal sendok menggunakan fitur *Create Sketch*. Setelah sketsa selesai, ditambahkan *plane* dengan memilih menu *Construct*, kemudian *Plane at Angle* pada bagian kepala sendok. Pada *plane* tersebut dibuat sketsa kepala sendok dengan memproyeksikan bentuk dari sketsa awal menggunakan fitur *Project*. Selanjutnya, dibuat lengkungan pada bagian kepala sendok dengan menambahkan *plane at angle* yang diputar sebesar 90°, kemudian dilakukan pembuatan sketsa menggunakan fitur *Intersect* untuk membentuk lengkungan pada sisi atau bibir sendok serta lengkungan bagian bawahnya.

Tahap berikutnya adalah pembuatan pegangan sendok. Proses ini dilakukan dengan menambahkan *plane at angle* pada garis belakang sendok dan memutarnya sebesar 90°. Pada *plane* tersebut dibuat garis-garis pembentuk pegangan sendok menggunakan fitur *Line*, termasuk garis pada ujung kepala sendok. Pegangan sendok kemudian dibentuk menggunakan fitur *Loft* pada menu *Surface* dengan menghubungkan garis pegangan dan garis pada bibir kepala sendok. Setelah itu, kepala sendok dibuat dengan memilih fitur *Patch* pada menu *Surface* untuk membentuk dasar sendok dari garis bibir kepala sendok dan lengkungan bagian bawahnya. Kepala sendok dan pegangan yang telah terbentuk kemudian digabungkan menggunakan fitur *Stitch* pada menu *Modify*.

Setelah bentuk sendok menyatu, dilakukan perapian bentuk agar sesuai dengan sketsa yang diinginkan menggunakan fitur *Trim*. Selanjutnya, sendok diberi ketebalan dengan memilih fitur *Thicken* dan memasukkan nilai ketebalan yang sesuai. Setelah model sendok selesai, dibuat sketsa cetakan yang disesuaikan dengan bentuk sendok menggunakan fitur *Create Sketch*. Sketsa cetakan tersebut kemudian ditebalkan menggunakan fitur *Extrude*. Pada tahap ini juga dibuat lubang untuk baut serta *gate* dengan memilih *Extrude* dan opsi *Cut*. Tahap akhir adalah menggabungkan model sendok dengan cetakan menggunakan fitur *Combine* pada menu *Modify*, dengan cetakan sebagai *body* utama dan sendok sebagai *bodies*, sehingga diperoleh desain cetakan yang siap digunakan.



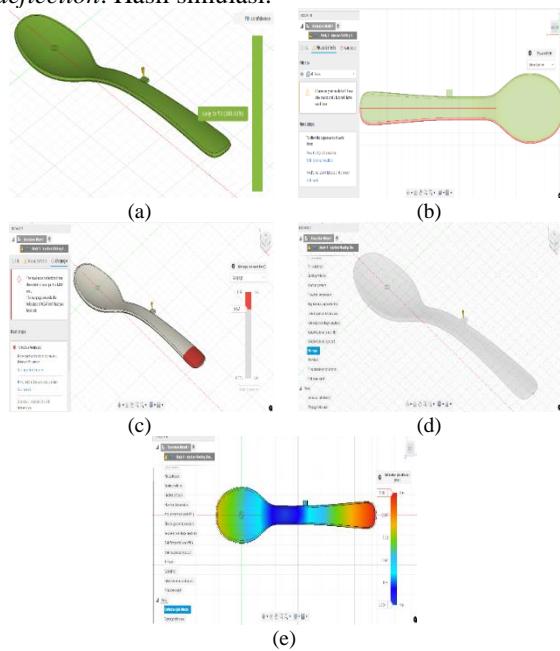
(a)



Gambar 4 (a) 3D Sendok (b) Core dan Cavity

C. Simulasi Mold Flow

Simulasi *Flow Mold* dilakukan untuk menganalisis proses produksi sendok puding. Pada penelitian ini dilakukan lima jenis simulasi, yaitu *fill confidence*, *visual defects*, *warpage*, *air traps*, dan *deflection*. Hasil simulasinya.



Gambar 5 Simulasi moldflow, (a) fill confidence, (b) visual defects, (c) warpage, (d) air traps, (e) deflection

fill confidence menunjukkan persentase material cair yang berhasil mengisi cetakan, dan pada simulasinya diperoleh nilai *fill confidence* sebesar 100%, yang menandakan bahwa material mampu mengisi seluruh rongga cetakan dengan sempurna. Simulasinya selanjutnya adalah analisis cacat (*visual defects*), yang bertujuan untuk mengidentifikasi cacat visual pada produk. Hasil simulasinya menunjukkan adanya satu cacat berupa *weld line* pada bagian samping produk. Selain itu, hasil simulasinya *warpage* menunjukkan adanya cacat lengkungan pada ujung ekor sendok dengan nilai deformasi sebesar 0,947 mm dari bentuk asal. Pada simulasinya *air traps* ditemukan adanya perangkap udara pada kedua ujung sendok, yaitu pada bagian kepala dan ekor sendok. Simulasinya terakhir adalah *deflection*, yang menunjukkan perubahan atau deformasi posisi bagian produk dari kondisi awal. Hasil simulasinya *deflection* ditandai dengan warna merah pada ujung ekor sendok yang menunjukkan nilai defleksi terbesar, warna kuning pada ujung kepala sendok, sedangkan defleksi terkecil terdapat pada bagian badan sendok.

D. Pembuatan Cetakan

Langkah pertama dalam proses pembuatan cetakan sendok puding adalah pemasangan benda kerja pada pencekam (*chuck*). Setelah benda kerja terpasang dengan baik, proses dilanjutkan dengan *facing* untuk meratakan permukaan awal benda kerja. Tahap berikutnya adalah proses *roughing*, yaitu pembuangan material dalam jumlah besar yang bertujuan membentuk benda kerja mendekati bentuk cetakan yang diinginkan. Setelah bentuk dasar tercapai, dilakukan proses *finishing* berupa pembubutan halus untuk memperoleh permukaan cetakan yang lebih halus dan presisi. Setelah cetakan terbentuk sepenuhnya, tahap terakhir yang dilakukan adalah pemolesan permukaan cetakan guna meningkatkan kualitas permukaan dan hasil akhir cetakan.



Gambar 6 Cetakan

E. Proses Pencetakan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui rasio yang digunakan sebelum proses pembuatan sendok puding. Untuk mengetahui rasio digunakan persamaan sebagai berikut:

- $r = 15 \text{ mm}, T = \frac{1}{4} \times 150 = 37,5 \text{ mm}$
- $V_{\text{total}} = \pi r^2 T = 3,14 \times 15^2 \times 37,5 = 26,49 \text{ cm}^3 \approx 26,5 \text{ cm}^3$
- $V_{\text{bahan}} = \frac{\%}{100} \times V_{\text{total}}$
- $m_{\text{bahan}} = V_{\text{bahan}} \times \rho$
- $\rho_{\text{PLA}} = 1,25 \text{ g/cm}^3, \rho_{\text{pati}} = 0,60 \text{ g/cm}^3$

Tabel 3 Rasio bahan

komposisi	V_{PLA} (cm 3)	m_{PLA} (cm 3)	V_{Pati} (cm 3)	m_{Pati} (cm 3)
40% PLA / 60% pati	10,60	13,25	15,90	9,54
50% PLA / 50% pati	13,25	16,56	13,25	7,95
60% PLA / 40% pati	15,90	19,88	10,60	6,36

Pada proses pembuatan sendok puding menggunakan metode *injection molding* diawali dengan menghaluskan biji PLA menggunakan blender. Selanjutnya, dilakukan penimbangan bahan dengan timbangan digital untuk menentukan rasio material yang digunakan. Setelah itu, material yang telah ditentukan dicampurkan hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam tabung *heater*. Pada tahap berikutnya, baut, mur, dan ring dipasang pada lubang pengunci *core* dan *cavity* untuk memastikan cetakan terpasang dengan baik.

Setelah cetakan terpasang, dilakukan proses pemanasan cetakan menggunakan *torch* hingga mencapai suhu sekitar 160 °C. Selanjutnya, material cair dengan suhu sekitar 190 °C diinjeksi ke dalam cetakan. Setelah proses injeksi selesai, dilakukan tahap *cooling* dengan memasukkan cetakan ke dalam baskom berisi air selama kurang lebih lima menit. Tahap berikutnya adalah pengeluaran produk sendok puding dari cetakan. Proses diakhiri dengan merapikan

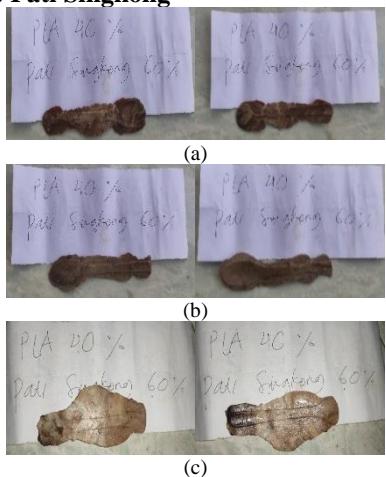
produk dengan cara memotong bagian yang berlebih agar diperoleh hasil sendok puding yang rapi dan sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

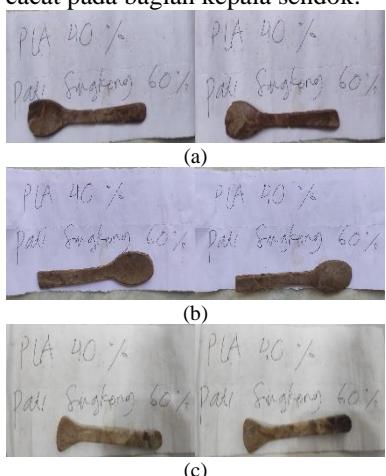
Hasil pengujian dilakukan dengan pengukuran dimensi produk menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm. dimensi yang diukur meliputi Panjang, lebar dan ketebalan.

1. Sendok Puding Dengan Rasio 40% PLA dan 60% Pati Singkong



Gambar 6 (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3

Hasil pengujian 1 terdapat cacat pada kedua ujung sendok, hasil pengujian 2 terdapat cacat pada bagian ekor sendok, sedangkan pada hasil pengujian 3 terdapat cacat pada bagian kepala sendok.



Gambar 7 (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3

Pada proses merapikan produk pengujian 1 mengalami kerusakan (patah). Pada hasil pengujian 2 terdapat cekungan yang terletak pada bagian ekor sendok. Selain itu, ketiga sendok terdapat cacat *weld lines* pada bagian belakang kepala sendok.

Tabel 4 Hasil pengujian

No.	Pengujian	Parameter pengujian	Desain (mm)	Hasil (mm)	Selisih (mm)	%
1.	Pengujian 1	Panjang	125,5	115,95	9,55	7,61
		Lebar	25,2	26,85	1,65	6,55
		tebal	2	2,45	0,45	22,5

2.	Pengujian 2	Panjang	125,5	116,75	8,75	6,97
		Lebar	25,2	26,4	1,2	4,76
		tebal	2	3,4	1,4	70
3.	Pengujian 3	Panjang	125,5	102,7	22,8	18,17
		Lebar	25,2	24,4	0,8	3,17
		tebal	2	2,85	0,85	42,5



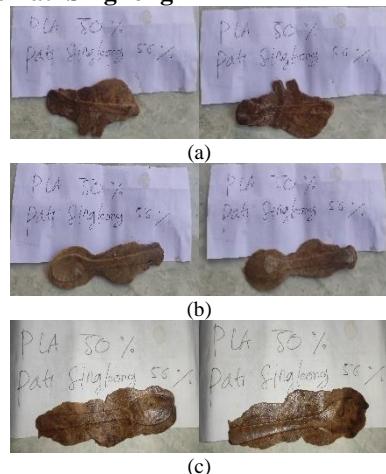
Gambar 8 Grafik perbandingan

Hasil pengujian 1 menunjukkan hasil pengukuran bahwa terjadi perbedaan hampir pada semua parameter. Pada tabel menunjukkan nilai panjang desain 125,5 mm, sedangkan hasil riilnya 115,95 mm dengan selisih 9,55 mm dengan presentase 7,61%. Pada lebar menunjukkan perbedaan 25,2 mm menjadi 26,85 dengan selisih 1,65 mm atau 6,55% dan untuk tebal 2 mm menjadi 3,4 mm dengan selisih 0,45 mm atau 22,5%.

Hasil pengujian 2 terjadi perbedaan hampir pada semua parameter namun lebih kecil dibanding pengujian 1. Pada panjang 116,75 mm dengan selisih 8,75 atau 6,97%, pada lebar 26,4 dengan selisih 1,2 mm atau 4,76% dan tebal 3,4 mm dengan selisih 1,4 mm atau 70%.

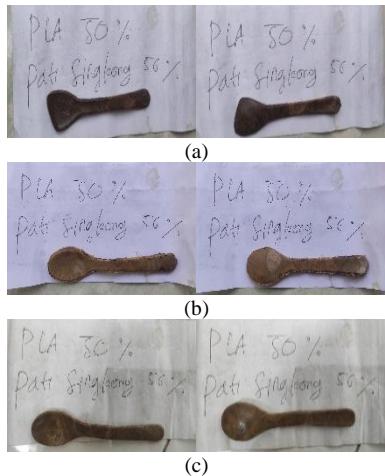
Hasil pengujian 3 memperoleh perbedaan lebih besar dari kedua pengujian awal. Pada panjang mendapat 102,7 mm dengan selisih 22,8 atau 18,17%, pada lebar 24,4 dengan selisih 0,8 mm atau 3,17% dan tebal memiliki perbedaan 2 mm menjadi 2,85 mm dengan selisih 0,85 mm dengan presentase 42,5%.

2. Sendok Puding Dengan Rasio 50% PLA dan 50% Pati Singkong



Gambar 9 (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3

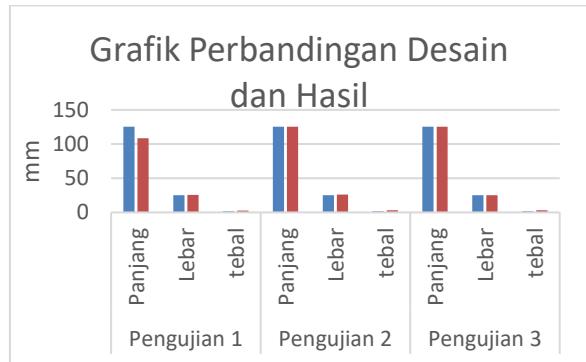
Hasil dari cetakan ketiga produk sendok puding tidak terbentuk secara sempurna. Selain itu pada hasil pengujian 1, terdapat cacat pada bagian ujung kepala sendok.

**Gambar 10** (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3

Setelah proses merapikan produk, hasil pengujian 1 pada kepala sendok bagian belakang terdapat 2 cacat, yaitu *weld lines* dan cekungan pada ujung ekor sendok. Pada hasil pengujian 2 dan 3 terdapat cacat *weld lines* pada kepala bagian belakang sendok.

Tabel 5 Hasil pengujian

No.	Pengujian	Parameter pengujian	Desain (mm)	Hasil (mm)	Selisih (mm)	%
1.	Pengujian 1	Panjang	125,5	108,5	17	13,55
		Lebar	25,2	25,5	0,3	1,19
		tebal	2	2,9	0,9	45
2.	Pengujian 2	Panjang	125,5	125,6	0,1	0,08
		Lebar	25,2	26	0,8	3,17
		tebal	2	3,3	1,3	65
3.	Pengujian 3	Panjang	125,5	125,5	0	0,00
		Lebar	25,2	25,3	0,1	0,40
		tebal	2	3	1	50

**Gambar 11** Grafik perbandingan

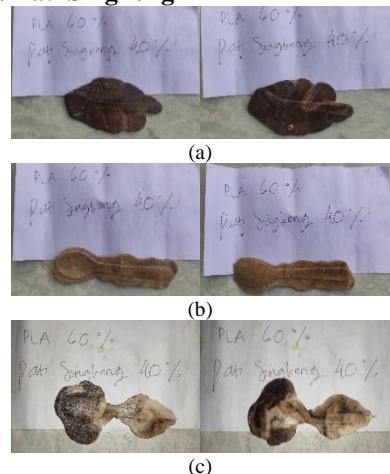
Hasil pengujian 1 menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara ukuran desain dan hasil cetakan. Hal ini ditunjukkan dari perbedaan nilai dari desain 125,5 mm, sedangkan hasil aktualnya 108,5 mm dengan selisih 17 mm atau 13,55%. Pada lebar dan

tebal masing-masing menunjukkan selisih sebesar 0,3 mm atau 1,19% dan 0,9 mm atau 45%.

Hasil pengujian 2 memperoleh hasil yang lebih stabil. Pada desain awal memiliki nilai 125,5 mm sedangkan hasilnya 125,6 mm dengan selisih 0,1 atau 0,08%, pada lebar memiliki perbedaan 0,8 mm atau 3,17% dan tebal memiliki perbedaan 1,3 mm dengan persentase 65%.

Pada hasil pengujian 3, memperoleh hasil hampir sempurna. Pada parameter panjang memperoleh nilai sempurna dengan 0,00% perbedaan. Sementara pada lebar 0,1 mm mendekati nol (0) atau 0,40%. Pada parameter tebal mendapat hasil 3 mm dengan selisih 1 mm.

3. Sendok Puding Dengan Rasio 60% PLA dan 40% Pati Singkong

**Gambar 12** (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3

Hasil dari ketiga produk sendok puding tidak terbentuk secara sempurna, terdapat bagian yang berlebih pada sisi samping sendok, pada hasil pengujian 1, terdapat cacat di kedua ujung sendok, sedangkan pada pengujian 3 terdapat cacat di bagian ekor sendok.

**Gambar 13** (a) Pengujian 1, (b) Pengujian 2, (c) Pengujian 3

Setelah proses merapikan produk, hasil pengujian 1 dan 3 terdapat cacat *weld lines* pada bagian belakang kepala sendok. Pada hasil pengujian 2 terdapat 2 cacat, yaitu *weld lines* pada kepala bagian belakang sendok dan *deflection* dibagian sisi samping.

Tabel 6 Hasil pengujian

No.	Pengujian	Parameter pengujian	Desain (mm)	Hasil (mm)	Selisih (mm)	%
1.	Pengujian 1	Panjang	125,5	106,5	19	15,14
		Lebar	25,2	24,9	0,3	1,19
		tebal	2	2,8	0,8	40,00
2.	Pengujian 2	Panjang	125,5	125,6	0,1	0,08
		Lebar	25,2	26	0,8	3,17
		tebal	2	3,4	1,4	70,00
3.	Pengujian 3	Panjang	125,5	108,9	16,6	13,23
		Lebar	25,2	25,7	0,5	1,98
		tebal	2	3,4	1,4	70,00

**Gambar 14** Grafik perbandingan

Hasil pengujian 1 mendapat perbedaan yang cukup signifikan, ditunjukkan nilai panjang desain 125,5 mm, sedangkan hasil aktualnya 106,5 mm dengan selisih 19 mm atau 15,14%. Pada lebar dan tebal menunjukkan sedikit perbedaan, dengan masing-masing selisih sebesar 0,3 mm atau 1,19% dan 0,8 mm atau 40%.

Hasil pengujian 2 memperoleh hasil yang lebih stabil. Pada desain awal memiliki panjang 125,5 mm sedangkan hasilnya 125,6 mm dengan selisih 0,1 atau 0,08%, pada lebar memiliki perbedaan 0,8 mm atau 3,17% dan tebal memiliki perbedaan sedikit lebih besar, yaitu 1,4 mm dengan presentase 70%.

Pada hasil pengujian 3 memperoleh hasil dengan parameter panjang dan tebal memiliki perbedaan yang cukup tinggi dibanding parameter lebar, dimana panjang mendapat selisih 16,6 mm atau 13,23% dan tebal mendapat selisih 1,4 mm dan 70%. Sedangkan pada parameter lebar 0,5 mm atau 1,98%.

Secara keseluruhan pengujian ketiga variasi material dengan perlakuan yang sama menunjukkan adanya perbedaan dimensi antara desain dan hasil akhir, terutama pada ketebalan produk. Hasil produk juga disertai cacat fisik seperti *weld lines*, *air traps*, dan *deflection*. Menurut [30] hal ini disebabkan proses injeksi material mengalami perbedaan tekanan dan temperatur antara material dan cetakan, sehingga material yang diinjeksikan tidak dapat mengalir secara sempurna kedalam cetakan, menyebabkan perbedaan hasil dengan desain. Selain itu terdapat kerusakan produk seperti patah yang disebabkan kandungan pati

yang tinggi, yang menyerap kelembapan menyebabkan produk menjadi getas dan menurunnya sifat mekanik dari produk, seperti yang dikatakan oleh [31] dan [32].

SIMPULAN

- Simulasi *Moldflow* menunjukkan kemampuan pengisian cetakan yang baik ditunjukkan oleh *fill confidence* 100%, serta memprediksa adanya cacat produk seperti *weld lines*, *air traps*, dan *warpage* di area tertentu.
- Komposisi material mempengaruhi stabilitas dimensi produk, dengan rasio 50% PLA/50% pati singkong menghasilkan deviasi dimensi paling kecil, yaitu Panjang 0,00%; lebar 0,40%; dan tebal 50%.
- Deviasi terbesar dan cacat produk yang dominan dialami oleh komposisi 40% PLA/ 60% pati singkong.

REFERENSI

- H. W. Sulistyo and I. Ismiyati, "Pengaruh Formulasi Pati Singkong–Selulosa Terhadap Sifat Mekanik Dan Hidrofobisitas Pada Pembuatan Bioplastik," *Jurnal Konversi*, vol. 1, no. 2, 2012.
- A. Asngad, E. J. Marudin, and D. S. Cahyo, "Kualitas Bioplastik dari Umbi Singkong Karet Dengan Penambahan Kombinasi Plasticizer Gliserol Dengan Sorbitol dan Kitosan," *Bioekspеримен: Jurnal Penelitian Biologi*, vol. 6, no. 1, pp. 36–44, 2020.
- A. Melani, N. Herawati, and A. F. Kurniawan, "Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Intercalation," *Jurnal Distilasi*, vol. 2, no. 2, pp. 53–67, 2022.
- D. Dayono, "Perbaikan Cacat Produksi Bola Plastik Hasil Proses Blow Moulding," *Publikasi Ilmiah UMS*, 2018.
- A. Maximillian and L. L. K. Jonatan, "Perbandingan Eksplorasi Motif Filamen PLA dengan Teknik 3D Printer dan 3D Pen," *Seminar Nasional Manajemen, Desain dan Aplikasi Bisnis Teknologi*, vol. 7, pp. 69–80, Apr. 2024.
- L. Jimenez, M. J. Mena, J. Prendiz, L. Salas, and J. Vega-Baudrit, "Polylactic acid (PLA) as a bioplastic and its possible applications in the food industry," *Food Sci Nutr*, vol. 5, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- Rahmayetty, Nufus Kanani, and Endarto Yudo W., "Pengaruh Penambahan PLA pada Pati Teplastisasi Gliserol Terhadap Sifat Mekanik Blend Film," *Prosiding Semnastek*, 2018.
- Risaldi, Z. G. Hammam, M. T. Muhammad Yunus, and M. T. Idiar, "Desain Cetakan Injeksi Plastik Produk Tutup Galon Air

- [9] Minum," *Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*, 2022.
- [10] R. A. Siregar and A. R. Rangkuti, "Pembuatan Cetakan Kotak Sabun Pada Mesin Injection Molding Plastik," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 1, no. 1, pp. 56–63, 2018.
- [11] R. A. Nur, N. Nazir, and G. Taib, "Karakteristik Bioplastik Dari Pati Biji Durian dan Pati Singkong yang Menggunakan Bahan Pengisi MCC (microcrystalline cellulose) Dari Kulit Kakao," *Gema Agro*, vol. 25, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [12] H. Haryanto and F. R. Titani, "Bioplastik Dari Tepung Tapioka dan Tepung Maizena," *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 18, no. 1, pp. 1–6, 2017.
- [13] T. Huda and F. Firdaus, "Karakteristik Fisikokimiawi Film Plastik Biodegradable dari Komposit Pati Singkong-Ubi Jalar," (4, Trans.). *LOGIKA*, pp. 5–7, 2007.
- [14] C. U. Adam, "Karakteristik Film Bioplastik Selulosa dari Ampas Tebu dan Sekam Padi," *Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*, 2017.
- [15] S. Pilla, *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*. 2011.
- [16] L. M. Fonseca *et al.*, "Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films," *Lwt*, vol. 60, no. 2, pp. 714–720, 2015.
- [17] K. Falade, Bamijoko, and Oluwatoyin, "Comparing properties of starch and flour of yellow-flesh cassava cultivars and effects of modifications on properties of their starch," *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019.
- [18] L. Liu, S. Zhou, X. Deng, X. Li, and W. Jia, "Synthesis and Characterization of Biodegradable Low Molecular Weight Aliphatic Polyesters and Their Use in Protein Delivery Systems," *J Appl Polym Sci*, vol. 91, pp. 184–185, 2004.
- [19] Y. H. Hui, *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering*, 1st ed., vol. 4. 2005.
- [20] F. Akbar, Z. Anita, and H. Harahap, "Pengaruh Waktu Simpan Film Plastik Biodegradasi dari Pati Kulit Singkong Terhadap Sifat Mekanikalnya," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [21] J. Mofokeng and A. Luyt, "Morphology and Thermal Degradation Studies of Melt-Mixed Poly (lactic acid) (PLA)/Poly (ϵ caprolactone) (PCL) Biodegradable Polymer Blend Nanocomposites with TiO₂ as Filler," *Polym Test*, vol. 45, pp. 93–100, 2015.
- [22] A. J. Lasprilla, Martinez G. A., Lunelli B. H., Jardini A. L., and Filho R. M., "Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices-A review," *Biotechnol Adv*, vol. 30, no. 1, pp. 321–328, 2012.
- [23] R. Auras, Loong-Tak Lim, Susan E. M. Selke, and Hideto Tsuji, *Poly (Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications*. 2010.
- [24] R. Auras, B. Harte, and S. Selke, *Poly (Lactic Acid) Film as Food Packaging Materials*. 2002.
- [25] M. Jamshidian, E. A. Tehrany, M. Imran, M. Jacquot, and S. Desobry, "Poly-lactic acid: production, applications, nanocomposites, and release studies," *Compr Rev Food Sci Food Saf*, vol. 9, no. 5, pp. 552–571, 2010.
- [26] S. S. Wibowo, "Pengaruh Variasi Temperatur dan Lama Perendaman Terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Serat Alam Termodifikasi," *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, vol. 29, no. 1, pp. 23–30, 2018.
- [27] G. B. I. Pramudi, "Analisis Kualitas Plastik Daur Ulang Cetakan Mesin Injection Molding," *Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali*, 2024.
- [28] Aripin, Aa Santosa, and Iman Dirja, "Rancang Bangun Mesin Injection Molding Untuk Keperluan Home Industry Dengan Bahan Baku Sampah Plastik," *Infomatek*, vol. 21, no. 2, pp. 87–90, 2019.
- [29] A. M. Faradini, "Rancang Bangun Cetakan Sole Sepatu Rotary Injection Molding," 2018.
- [30] R. Yulianti *et al.*, *Metode Penelitian Eksperimen: Konsep, Implementasi, dan Studi Kasus*, 1st ed., vol. 1. Penerbit Mifandi Mandiri Digital., 2024.
- [31] M. Arif, H. Windyatri, and Suhendra, "Analisa Cacat Produk dan Kerusakan Mold Pada Proses Injection Molding dan Tindakan Perbaikan di PT. Patco Elektronik Teknologi," *Jurnal Jurnal Sains dan Teknologi (JSIT)*, vol. 4, no. 2, pp. 158–167, 2024.
- [32] Zhang *et al.*, "Novel toughening mechanism for polylactic acid (PLA)/starch blends with layer-like microstructure via pressure-induced flow (PIF) processing," *Materials Letters*, vol. 98, 2013.
- Zuo *et al.*, "Preparation and characterization of dry method esterified starch/polylactic acid composite materials," *Int J Biol Macromol*, vol. 64, pp. 174–180, 2014.