

Pengembangan Blade Pemotong Berbasis PLA Hasil 3D Printing dengan Penguat Plat Stainless untuk Meningkatkan Konsistensi Dimensi Pelet pada Mesin Produksi Pakan Ikan

^{1*} Rian Prasetyo, ² Ainur Komariah, ³ Suprpto, ⁴ Maria Puspita Sari

^{1, 2, 3, 4}Program Studi Teknik Industri, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjen. S. Humardani No.1, Sukoharjo

e-mail: ^{1*}rnprasetyo286@gmail.com, ²ainurkomariah.ak@gmail.com, ³suprptodd2@gmail.com, ⁴maria_puspita_1989@yahoo.com

ABSTRACT

The cutting blade used in pellet production machines directly affects the dimensional consistency of produced pellets. Polymer-based blades manufactured using 3D printing offer advantages in production cost and fabrication flexibility, but still have limitations in mechanical durability under repeated use. This study aimed to develop a cutting blade made of PLA (Polylactic Acid) using 3D printing technology with a 2 mm stainless steel reinforcement at the blade tip, and to evaluate its effect on pellet length stability in a pellet production machine. The blade was designed using SolidWorks and fabricated using Fused Deposition Modeling (FDM) with a 0.4 mm nozzle, 0.22 mm layer height, 100% infill, 60°C bed temperature, 210°C extruder temperature, and 4500 mm/min printing speed. Testing was conducted using a pellet machine operating at 70 rpm for 6 cycles, with 200 g of feed material per cycle and 8 pellet samples measured in each cycle. The results showed that the full PLA blade experienced an increase in average pellet length from 4.99 mm to 7.05 mm, while the hybrid blade only increased from 3.78 mm to 4.22 mm. One-Way ANOVA results indicated that testing cycles significantly affected pellet length in both the full PLA blade ($F = 365.015$; $p < 0.001$) and the hybrid blade ($F = 61.255$; $p < 0.001$). The study concludes that stainless steel reinforcement resulted in more stable pellet dimensions during repeated testing, compared to full PLA blades.

Keywords: 3D printing, ANOVA, cutting blade, pellet machine, PLA, stainless steel

ABSTRAK

Kualitas blade pemotong pada mesin produksi pelet berpengaruh langsung terhadap konsistensi dimensi pelet yang dihasilkan. Penggunaan blade berbahan polimer hasil 3D printing memiliki keunggulan dari sisi biaya dan kemudahan fabrikasi, namun masih memiliki keterbatasan pada ketahanan mekanik selama penggunaan berulang. Penelitian ini bertujuan mengembangkan blade pemotong berbahan PLA (Polylactic Acid) hasil 3D printing dengan penguat plat stainless steel setebal 2 mm pada ujung blade, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap kestabilan panjang pelet pada mesin produksi pelet. Blade dirancang menggunakan SolidWorks, kemudian difabrikasi dengan teknologi Fused Deposition Modeling (FDM) menggunakan nozzle 0,4 mm, layer height 0,22 mm, infill 100%, temperatur bed 60°C, temperatur ekstruder 210°C, dan kecepatan cetak 4500 mm/min. Pengujian dilakukan pada mesin pelet dengan putaran 70 rpm selama 6 siklus, masing-masing menggunakan 200 gram bahan pakan dan 8 sampel pengukuran per siklus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa blade full PLA mengalami peningkatan panjang pelet dari rata-rata 4,99 mm menjadi 7,05 mm, sedangkan blade hybrid hanya meningkat dari 3,78 mm menjadi 4,22 mm. Hasil One-Way ANOVA menunjukkan bahwa siklus pengujian berpengaruh signifikan terhadap panjang pelet pada blade full PLA ($F = 365,015$; $p < 0,001$) dan blade hybrid ($F = 61,255$; $p < 0,001$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan penguat stainless steel menghasilkan dimensi pelet yang lebih stabil selama pengujian berulang, dibanding blade full PLA.

Kata kunci: blade pemotong, 3D printing, PLA, stainless steel, mesin pelet, ANOVA

PENDAHULUAN

Pakan ikan merupakan salah satu komponen utama dalam biaya operasional budidaya perikanan, dengan kontribusi yang dapat mencapai lebih dari 60% dari total biaya produksi [1],[2]. Salah satu jenis pakan yang banyak digunakan dalam budidaya adalah pelet apung

karena memiliki keunggulan dalam efisiensi pemberian pakan, kemudahan pengamatan konsumsi ikan, serta mampu mengurangi pencemaran perairan akibat sisa pakan [3]. Untuk mendukung produksi pakan secara mandiri, mesin pelet pakan ikan telah banyak digunakan oleh pelaku usaha budidaya, kelompok masyarakat, maupun institusi pendidikan sebagai teknologi pendukung produksi pakan skala kecil hingga menengah [4][5].

Dalam sistem produksi pelet, komponen pemotong (blade atau cutter) memiliki fungsi penting dalam menentukan kualitas fisik pelet yang dihasilkan. Blade berperan memotong material yang keluar dari die menjadi ukuran tertentu sehingga menghasilkan pelet yang seragam. Keseragaman ukuran pelet sangat berpengaruh terhadap kualitas pakan, kemudahan konsumsi oleh ikan, serta efisiensi penggunaan pakan dalam budidaya. Selain itu, performa blade dalam mempertahankan konsistensi hasil pemotongan selama proses produksi menjadi faktor penting untuk menjaga kualitas produk yang dihasilkan. Blade konvensional yang umumnya berbahan logam memang memiliki karakteristik mekanik yang baik, namun memiliki keterbatasan dalam fleksibilitas desain, biaya produksi, dan kemudahan modifikasi ketika diperlukan penyesuaian dimensi atau ukuran.

Perkembangan teknologi manufaktur aditif melalui *3D printing* memberikan peluang baru dalam pengembangan komponen mesin yang lebih fleksibel dan ekonomis. Salah satu material yang umum digunakan adalah *Polylactic Acid* (PLA), yaitu material termoplastik yang memiliki keunggulan berupa kemudahan proses manufaktur, biaya relatif rendah, serta kemampuan membentuk desain yang kompleks [6]. Namun, material PLA memiliki keterbatasan pada ketahanan aus ketika digunakan pada aplikasi yang mengalami gesekan atau kontak mekanis berulang [7]. Untuk meningkatkan performa material tersebut, pendekatan material hybrid dapat dilakukan dengan menambahkan plat stainless steel pada bagian ujung blade yang berfungsi sebagai area utama pemotongan. Kombinasi ini diharapkan dapat meningkatkan ketahanan aus tanpa mengurangi fleksibilitas desain yang ditawarkan teknologi *3D printing*.

Penelitian sebelumnya terkait mesin pelet pakan ikan sebagian besar masih berfokus pada formulasi pakan, parameter proses ekstrusi, serta karakteristik pelet yang dihasilkan [8][9][10]. Kajian mengenai pengembangan komponen mekanik mesin, khususnya blade pemotong, masih relatif terbatas dan sebagian besar menggunakan material logam konvensional [11][12][13]. Di sisi lain, pemanfaatan teknologi *3D printing* untuk pengembangan komponen mekanik telah banyak dilakukan pada berbagai aplikasi teknik, namun penerapannya pada blade mesin pelet pakan ikan masih belum banyak dilaporkan [14][15]. Hal ini menunjukkan adanya peluang pengembangan komponen blade yang lebih adaptif, ekonomis, dan mudah diproduksi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan blade pemotong mesin pelet pakan ikan berbahan PLA hasil *3D printing* yang diperkuat dengan plat stainless steel setebal 2 mm pada bagian ujung pemotong. Penelitian difokuskan pada evaluasi kualitas hasil pemotongan berdasarkan keseragaman ukuran pelet yang dihasilkan serta ketahanan aus blade setelah digunakan pada proses produksi. Hasil penelitian diharapkan dapat menghasilkan desain blade yang lebih efektif, ekonomis, dan aplikatif untuk mendukung pengembangan mesin pelet pakan ikan skala UMKM maupun laboratorium pendidikan.

METODE

Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental terapan yang bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi blade pemotong pada mesin pelet pakan ikan berbasis *Polylactic Acid* (PLA) hasil *3D printing*. Penelitian difokuskan pada pengaruh penggunaan material blade terhadap kualitas hasil pemotongan berdasarkan panjang pelet yang

dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara dua jenis blade, yaitu blade yang sepenuhnya berbahan PLA (*full PLA*) dan blade hybrid berbahan PLA dengan penguat plat stainless steel setebal 2 mm pada bagian ujung pemotong.

Tahap awal penelitian dilakukan melalui identifikasi permasalahan pada blade pemotong mesin pelet konvensional dan studi literatur terkait teknologi *3D printing*, karakteristik material PLA, stainless steel, serta penelitian terdahulu mengenai pengembangan komponen mekanik pada mesin produksi. Hasil kajian literatur digunakan sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi desain blade yang akan dikembangkan.

Perancangan blade dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks versi 2026 (Gambar 1) dengan konfigurasi empat mata pisau (*four-blade design*). Dua jenis blade dirancang dengan geometri yang sama untuk memastikan bahwa perbedaan hasil pengujian hanya dipengaruhi oleh material pada bagian ujung blade. Blade pertama dibuat sepenuhnya menggunakan material PLA, sedangkan blade kedua menggunakan material PLA dengan tambahan plat stainless steel setebal 2 mm pada bagian ujung pemotong.

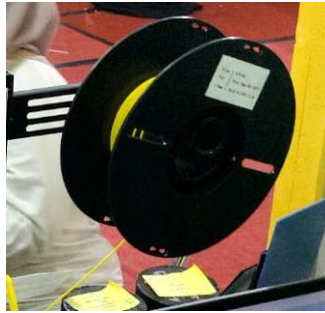


Gambar 1. Interface software Solidworks versi 2026

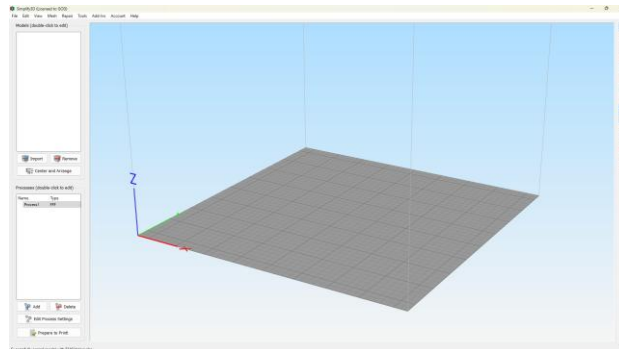
Proses fabrikasi blade dilakukan menggunakan printer 3D (Gambar 2) berbasis teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) dengan material PLA diameter 1,75 mm (Gambar 3). Parameter pencetakan meliputi Diameter *nozzle*, *Layer height*, *Infill density*, Temperatur *bed*, Temperatur *extruder*, dan *Printing speed*. Semua pengaturan parameter dilakukan menggunakan *software* Simplify3D (Gambar 4). Pada blade hybrid, plat stainless steel dipotong sesuai bentuk ujung blade dan dipasang menggunakan baut M 2, sehingga diperoleh blade yang siap diuji.



Gambar 2. Mesin 3D print tipe FDM



Gambar 3. *Fillament PLA*



Gambar 4. *Interface software Simplify3D*

Pengujian dilakukan menggunakan mesin pelet pakan ikan dengan putaran 70 rpm (Gambar 5). Bahan baku pakan terdiri atas tepung ikan, bekatul jagung, tepung tapioka, dan air panas sebagai bahan pencampur. Seluruh bahan dicampur hingga menghasilkan adonan homogen dengan karakteristik plastis yang sesuai untuk proses ekstrusi. Total bahan yang digunakan dalam pengujian setiap *blade* adalah 1,2 kg, dengan pengujian dilakukan sebanyak 6 siklus, di mana setiap siklus menggunakan 200 gram bahan adonan. Antar siklus pengujian diberikan jeda waktu selama 10 menit untuk menjaga kestabilan proses produksi.



Gambar 5. Mesin produksi pellet pakan ikan

Adonan dimasukkan ke dalam *hopper* mesin, kemudian diproses melalui sistem ekstrusi hingga keluar melalui *die* dan dipotong oleh *blade* yang sedang diuji. Pelet hasil produksi selanjutnya dikeringkan pada kondisi lingkungan yang sama hingga mencapai kondisi kering. Setelah pelet kering, dilakukan pengambilan sampel sebanyak 8 butir pelet

pada setiap siklus pengujian. Panjang pelet diukur menggunakan *digital caliper* dengan ketelitian 0,02 mm.

Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan menggunakan One-Way Analysis of Variance (ANOVA) untuk mengevaluasi pengaruh siklus pengujian terhadap panjang pelet yang dihasilkan pada masing-masing jenis blade. Pada penelitian ini, analisis dilakukan secara terpisah untuk setiap blade, yaitu blade full PLA dan blade PLA–stainless steel (hybrid), sehingga dapat diketahui perubahan performa pemotongan selama penggunaan berulang pada masing-masing desain blade.

One-Way ANOVA digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata panjang pelet antar kelompok siklus pengujian (siklus 1 sampai siklus 6) pada setiap jenis blade [16][17]. Variabel bebas (*independent variable*) pada penelitian ini adalah siklus pengujian, sedangkan variabel respon (*dependent variable*) adalah panjang pelet (mm).

Tujuan analisis statistik pada penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi:

1. Pengaruh siklus pengujian (siklus 1–6) terhadap panjang pelet pada blade full PLA.
2. Pengaruh siklus pengujian (siklus 1–6) terhadap panjang pelet pada blade hybrid

Sebelum analisis ANOVA dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengujian asumsi statistik untuk memastikan data memenuhi persyaratan analisis parametrik. Uji normalitas residual dilakukan menggunakan Kolmogorov-Smirnov Test untuk memastikan residual model memiliki distribusi normal. Nilai signifikansi $p > 0,05$ menunjukkan bahwa data residual berdistribusi normal.

Selanjutnya, homogenitas varians antar kelompok siklus diuji menggunakan Levene's Test. Nilai signifikansi $p > 0,05$ menunjukkan bahwa varians data antar kelompok bersifat homogen, sehingga data memenuhi asumsi homogenitas varians.

Pada seluruh pengujian statistik, tingkat kesalahan tipe I ditetapkan sebesar $\alpha = 0,05$. Jika nilai signifikansi (*p-value*) lebih kecil atau sama dengan 0,05, maka hipotesis nol (H_0) ditolak dan hasil dinyatakan signifikan secara statistik. Sebaliknya, jika nilai $p > 0,05$, maka hipotesis nol tidak dapat ditolak.

Apabila hasil One-Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar kelompok siklus, maka analisis dilanjutkan dengan uji lanjut (*post hoc test*) *Least Significant Difference* (LSD) untuk mengetahui pasangan siklus mana yang memiliki perbedaan signifikan [18][19]. Seluruh analisis data dilakukan menggunakan IBM SPSS Statistics versi 27.

Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada Blade Full PLA

1. H_{01} : Tidak terdapat perbedaan panjang pelet pada siklus pengujian 1 sampai 6 pada blade full PLA.
2. H_{11} : Terdapat perbedaan panjang pelet pada siklus pengujian 1 sampai 6 pada blade full PLA.

Hipotesis pada Blade hybrid

1. H_{02} : Tidak terdapat perbedaan panjang pelet pada siklus pengujian 1 sampai 6 pada blade PLA–stainless steel.
2. H_{12} : Terdapat perbedaan panjang pelet pada siklus pengujian 1 sampai 6 pada blade PLA–stainless steel.

Dengan pendekatan ini, perubahan performa pemotongan pada masing-masing blade dapat dianalisis secara independen, sehingga karakteristik stabilitas dimensi hasil pemotongan dari setiap desain blade dapat dievaluasi secara lebih spesifik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Blade Menggunakan SolidWorks

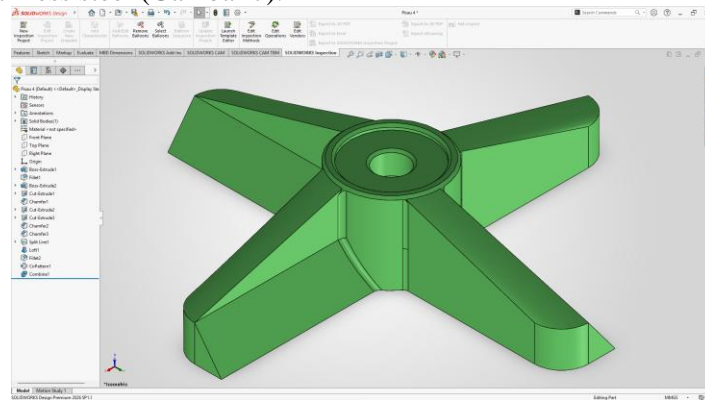
Tahap awal penelitian dilakukan dengan merancang blade pemotong untuk mesin

produksi pelet menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Desain blade dibuat dengan konfigurasi empat mata pisau (*four-blade cutter*) untuk memperoleh frekuensi pemotongan yang lebih tinggi dan distribusi gaya potong yang lebih merata selama proses ekstrusi pelet.

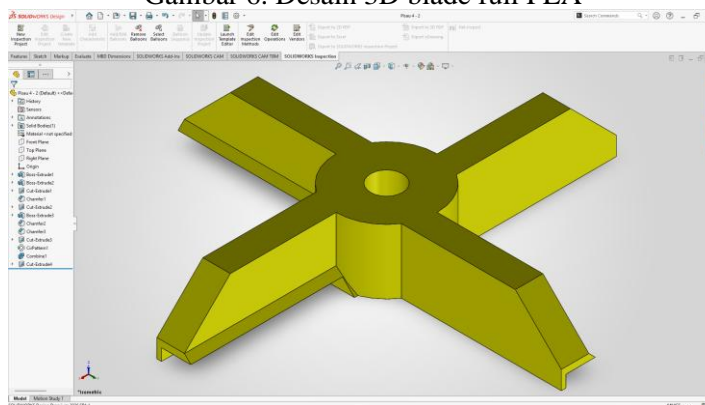
Dimensi blade disesuaikan dengan kedudukan poros pada mesin pelet yang digunakan, sehingga blade dapat dipasang secara langsung tanpa modifikasi tambahan pada sistem transmisi. Pada tahap desain, dikembangkan dua tipe blade dengan geometri yang identik agar variabel penelitian hanya terfokus pada jenis material pemotong. Blade pertama dirancang sepenuhnya menggunakan material PLA (*full PLA*), sedangkan blade kedua menggunakan material PLA dengan penambahan plat stainless steel setebal 2 mm pada bagian ujung pemotong.

Secara geometris, penggunaan empat mata pisau dipilih untuk meningkatkan jumlah kontak pemotongan dalam satu putaran, sehingga diharapkan panjang pelet yang dihasilkan lebih seragam. Selain itu, penambahan stainless steel pada ujung blade bertujuan meningkatkan kekakuan lokal pada area kontak dan mengurangi deformasi plastis pada ujung pemotong selama operasi berulang.

Hasil desain visual menunjukkan bahwa area kritis pembebanan berada pada bagian ujung blade. Pada blade full PLA, dibuat desain langsung menajam pada bagian ujung (Gambar 6). Pada blade hybrid desain dibuat memiliki alur pada bagian ujung untuk tempat plat stainless steel (Gambar 7).



Gambar 6. Desain 3D blade full PLA



Gambar 7. Desain blade hybrid

Proses Fabrikasi Blade dengan Teknologi 3D Printing

Setelah tahap perancangan selesai, file desain blade yang dibuat menggunakan SolidWorks diekspor ke format STL untuk proses *slicing* pada perangkat lunak Simplify3D sebelum dilakukan pencetakan. Pada tahap *slicing*, orientasi cetak diatur agar bidang blade sejajar dengan permukaan *build plate*. Konfigurasi ini dipilih untuk meningkatkan kualitas adhesi antar layer serta meminimalkan deformasi geometrik selama proses pencetakan.

Proses fabrikasi dilakukan menggunakan printer 3D berbasis teknologi Fused Deposition Modeling (FDM) dengan material PLA (*Polylactic Acid*). Material PLA dipilih

karena memiliki kemudahan pencetakan, kestabilan dimensi yang baik, serta biaya produksi yang relatif rendah untuk pengembangan komponen prototipe teknik. Pada penelitian ini, beberapa parameter proses pencetakan diatur untuk menghasilkan blade dengan kekuatan mekanik optimal. Parameter pencetakan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Setting parameter proses 3D printing

Parameter	Nilai
Diameter nozzle	0,4 mm
Layer height	0,22 mm
Infill density	100%
Temperatur bed	60°C
Temperatur extruder	210°C
Printing speed	4500 mm/min

Diameter nozzle 0,4 mm dipilih untuk memperoleh keseimbangan antara akurasi dimensi dan efisiensi waktu pencetakan. *Layer height* sebesar 0,22 mm digunakan agar ikatan antar layer cukup kuat, namun tetap menjaga waktu produksi tetap efisien. Pengaturan *infill* sebesar 100% bertujuan menghasilkan struktur internal yang padat sehingga blade memiliki kekakuan dan ketahanan mekanik yang lebih baik saat menerima beban pemotongan.

Temperatur *bed* diatur pada 60°C untuk meningkatkan adhesi lapisan pertama dan mencegah *warping* selama proses pencetakan. Temperatur *extruder* sebesar 210°C digunakan agar material PLA meleleh secara optimal dan membentuk ikatan antar layer yang kuat. Kecepatan pencetakan sebesar 4500 mm/min (75 mm/s) dipilih untuk menjaga stabilitas deposisi material dan kualitas dimensi hasil cetak.

Hasil pencetakan menunjukkan bahwa geometri blade dapat terbentuk dengan baik sesuai desain. Area lubang poros, kontur sudut blade, dan kedudukan pengikat untuk plat stainless berhasil dicetak tanpa cacat signifikan seperti *layer shifting*, *under extrusion*, maupun *warping*.

Pada blade hybrid, setelah proses pencetakan selesai, dilakukan pemasangan plat stainless steel setebal 2 mm pada bagian ujung pemotong. Plat stainless dipotong sesuai geometri ujung blade, kemudian ditajamkan pada ujungnya menggunakan gerinda. Setelah itu plat dipasang secara mekanis menggunakan baut ukuran M2 pada lubang pengikat yang telah disiapkan pada desain blade. Penggunaan baut M2 dipilih agar sambungan antara material PLA dan stainless memiliki kekuatan ikat yang baik serta memudahkan proses bongkar-pasang jika diperlukan penggantian ujung blade. Hasil fabrikasi untuk blade full PLA dapat dilihat pada Gambar 8, dan untuk blade hybrid pada Gambar 9.



Gambar 8. Blade full PLA



Gambar 9. Blade hybrid

Pengujian Blade pada Mesin Produksi Pelet

Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa blade hasil pengembangan pada kondisi operasi aktual menggunakan mesin produksi pelet pakan ikan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua jenis blade, yaitu blade full PLA dan blade hybrid PLA–stainless steel, untuk mengetahui pengaruh material ujung pemotong terhadap kualitas hasil pemotongan pelet.

Pengujian menggunakan mesin pelet dengan sistem pemotongan rotary dan putaran tetap sebesar 70 rpm. Putaran mesin dibuat konstan selama seluruh pengujian agar pengaruh variabel kecepatan putar dapat dieliminasi, sehingga perbedaan hasil pemotongan lebih merepresentasikan pengaruh karakteristik blade yang digunakan.

Persiapan Bahan Pakan

Bahan baku pelet disusun menggunakan komposisi yang umum digunakan pada pakan ikan, dengan total campuran sebesar 1,2 kg untuk setiap blade. Komposisi bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi bahan pellet untuk pengujian

Bahan	Jumlah
Fish meal	410 gram
Corn bran	590 gram
Tapioca flour	200 gram
Air panas	500 mL

Seluruh bahan kering terlebih dahulu dicampur hingga homogen. Setelah itu, air panas ditambahkan secara bertahap sambil dilakukan pengadukan hingga terbentuk adonan dengan tingkat plastisitas yang sesuai untuk proses ekstrusi pada mesin pelet. Penggunaan air panas bertujuan membantu proses gelatinisasi parsial tepung tapioka sehingga adonan memiliki daya ikat yang lebih baik selama pembentukan pelet.

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan sebanyak 6 siklus untuk masing-masing jenis blade. Pada setiap siklus, mesin dioperasikan menggunakan 200 gram adonan pelet. Antar siklus diberikan interval waktu 10 menit untuk mensimulasikan penggunaan mesin secara berulang serta memberikan waktu pendinginan pada komponen blade sebelum memasuki siklus berikutnya.

Selama proses ekstrusi, blade akan memotong material pelet yang keluar dari *die* secara kontinu. Pelet hasil pemotongan kemudian dikeringkan pada suhu ruang hingga kadar air permukaan stabil sebelum dilakukan pengukuran dimensi.

Pada setiap siklus, diambil 8 sampel pelet secara acak setelah proses pengeringan. Sampel kemudian diukur panjangnya menggunakan *vernier caliper* dengan ketelitian 0,02 mm. Pengambilan sampel dilakukan untuk memperoleh representasi kualitas hasil pemotongan pada setiap kondisi pengujian.

Pengumpulan Data

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pengumpulan data berupa Panjang pellet yang dihasilkan dari setiap blade. Data pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data penelitian

Blade	Sampel	Panjang Pellet (mm)					
		Siklus 1	Siklus 2	Siklus 3	Siklus 4	Siklus 5	Siklus 6
1 (Full PLA)	1	4,92	5,32	5,74	6,18	6,62	6,98
	2	5,08	5,48	5,9	6,34	6,78	7,12
	3	4,98	5,38	5,8	6,24	6,68	7,04
	4	4,82	5,22	5,64	6,08	6,52	6,88
	5	5,14	5,54	5,96	6,4	6,84	7,2
	6	5,02	5,42	5,84	6,28	6,72	7,08
	7	4,86	5,26	5,68	6,12	6,56	6,92
	8	5,1	5,5	5,92	6,36	6,8	7,16
	Rata-rata	4,99	5,39	5,81	6,25	6,69	7,05
2 Hybrid	1	3,74	3,84	3,92	4	4,08	4,18
	2	3,82	3,92	4	4,08	4,16	4,26
	3	3,78	3,88	3,96	4,04	4,12	4,22
	4	3,7	3,8	3,88	3,96	4,04	4,14
	5	3,86	3,96	4,04	4,12	4,2	4,3
	6	3,8	3,9	3,98	4,06	4,14	4,24
	7	3,72	3,82	3,9	3,98	4,06	4,16
	8	3,84	3,94	4,02	4,1	4,18	4,28
	Rata-rata	3,78	3,88	3,96	4,04	4,12	4,22

Uji Normalitas Data

Sebelum dilakukan analisis statistik menggunakan One-Way ANOVA, terlebih dahulu dilakukan pengujian asumsi normalitas untuk memastikan bahwa data hasil pengukuran panjang pelet pada setiap siklus pengujian memiliki distribusi normal. Pada penelitian ini, pengujian normalitas dilakukan terhadap data panjang pelet yang dihasilkan oleh blade full PLA pada siklus 1 sampai siklus 6, dengan jumlah sampel sebanyak 8 data pada setiap siklus. Uji normalitas dilakukan menggunakan bantuan IBM SPSS Statistics melalui dua pendekatan, yaitu Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk, pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$. Hasil uji normalitas blade full PLA ditunjukkan pada Tabel 4 dan blade hybrid pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Uji Normalitas Data blade full PLA

Siklus	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Siklus 1	0,156	8	0,200	0,952	8	0,733
Siklus 2	0,156	8	0,200	0,952	8	0,733
Siklus 3	0,156	8	0,200	0,952	8	0,733
Siklus 4	0,156	8	0,200	0,952	8	0,733
Siklus 5	0,156	8	0,200	0,952	8	0,733
Siklus 6	0,118	8	0,200	0,963	8	0,840

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas Data blade hybrid

Siklus	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Siklus 1	0,143	8	0,200*	0,954	8	0,753
Siklus 2	0,143	8	0,200*	0,954	8	0,753
Siklus 3	0,143	8	0,200*	0,954	8	0,753
Siklus 4	0,143	8	0,200*	0,954	8	0,753
Siklus 5	0,143	8	0,200*	0,954	8	0,753
Siklus 6	0,143	8	0,200*	0,954	8	0,753

Berdasarkan Tabel 4, seluruh kelompok data pada siklus 1 sampai siklus 6 menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,200 ($p > 0,05$). Hasil ini menunjukkan bahwa

data panjang pelet yang dihasilkan oleh blade full PLA pada setiap siklus memiliki distribusi normal dan tidak menunjukkan penyimpangan distribusi yang signifikan. Hasil pengujian menggunakan Shapiro-Wilk juga menunjukkan bahwa seluruh kelompok data memiliki nilai signifikansi di atas 0,05, yaitu sebesar 0,733 pada siklus 1 sampai siklus 5, dan 0,840 pada siklus 6. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa data pada masing-masing kelompok siklus juga memenuhi asumsi normalitas berdasarkan metode Shapiro-Wilk. Secara keseluruhan, hasil kedua metode pengujian menunjukkan konsistensi bahwa data pengukuran panjang pelet pada blade full PLA berdistribusi normal. Dengan terpenuhinya asumsi normalitas, maka data pada blade full PLA memenuhi persyaratan untuk dilanjutkan ke tahap analisis parametrik menggunakan One-Way ANOVA guna mengevaluasi pengaruh siklus pengujian terhadap perubahan dimensi panjang pelet yang dihasilkan.

Berdasarkan Tabel 5, seluruh kelompok data pada siklus 1 sampai siklus 6 menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,200 ($p > 0,05$). Hasil ini menunjukkan bahwa data hasil pengukuran panjang pelet pada blade hybrid PLA–stainless steel tidak mengalami penyimpangan distribusi yang signifikan, sehingga dapat dinyatakan berdistribusi normal. Hasil pengujian menggunakan Shapiro-Wilk juga menunjukkan bahwa seluruh kelompok data memiliki nilai signifikansi sebesar 0,753, yang seluruhnya lebih besar dari 0,05 ($p > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa distribusi data pada masing-masing siklus pengujian juga memenuhi asumsi normalitas berdasarkan metode Shapiro-Wilk. Konsistensi hasil antara metode Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data pengukuran panjang pelet pada blade hybrid memiliki pola distribusi yang stabil dan memenuhi asumsi statistik parametrik. Dengan terpenuhinya asumsi normalitas pada seluruh kelompok pengujian, maka data blade hybrid PLA–stainless steel layak untuk dilanjutkan ke tahap analisis One-Way ANOVA guna mengevaluasi pengaruh siklus pengujian terhadap kestabilan dimensi panjang pelet yang dihasilkan.

Uji Homogenitas

Setelah data dinyatakan memenuhi asumsi normalitas, tahapan berikutnya adalah melakukan uji homogenitas varians. Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah varians data antar kelompok siklus pengujian memiliki tingkat penyebaran yang relatif sama, sehingga memenuhi salah satu asumsi dasar dalam analisis parametrik menggunakan One-Way ANOVA. Pada penelitian ini, pengujian homogenitas dilakukan terhadap data hasil pengukuran panjang pelet pada blade full PLA dan blade hybrid PLA–stainless steel menggunakan Levene’s Test dengan bantuan IBM SPSS Statistics pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$. Hasil pengujian homogenitas blade full PLA ditunjukkan pada Tabel 6 dan blade hybrid pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil pengujian homogenitas blade full PLA

Tests of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Dimensi	Based on Mean	0,003	5	42	1.000
	Based on Median	0,003	5	42	1.000
	Based on Median and with adjusted df	0,003	5	41.990	1.000
	Based on trimmed mean	0,003	5	42	1.000

Tabel 7. Hasil pengujian homogenitas blade hybrid

Tests of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Dimensi	Based on Mean	0,000	5	42	1,000
	Based on Median	0,000	5	42	1,000
	Based on Median and with adjusted df	0,000	5	42,000	1,000
	Based on trimmed mean	0,000	5	42	1,000

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengujian menggunakan Levene’s Test dengan pendekatan *Based on Mean*, diperoleh nilai signifikansi sebesar 1,000 ($p > 0,05$). Nilai tersebut menunjukkan bahwa varians data panjang pelet antar kelompok siklus pengujian pada blade full PLA bersifat homogen. Hasil yang konsisten juga diperoleh pada pendekatan *Based on Median*, *Based on Median with adjusted df*, dan *Based on Trimmed Mean*, yang seluruhnya menunjukkan nilai signifikansi sebesar 1,000. Hal ini menunjukkan bahwa penyebaran data antar kelompok pengujian memiliki tingkat varians yang relatif sama, sehingga memenuhi asumsi homogenitas.

Berdasarkan Tabel 7, hasil pengujian pada blade hybrid menggunakan Levene’s Test dengan pendekatan *Based on Mean*, diperoleh nilai signifikansi sebesar 1,000 ($p > 0,05$). Hasil ini menunjukkan bahwa varians data panjang pelet antar kelompok siklus pengujian pada blade hybrid PLA–stainless steel juga bersifat homogen. Nilai signifikansi yang sama juga diperoleh pada pendekatan *Based on Median*, *Based on Median with adjusted df*, dan *Based on Trimmed Mean*, yaitu seluruhnya sebesar 1,000. Konsistensi hasil tersebut menunjukkan bahwa distribusi varians antar kelompok data memiliki penyebaran yang seragam.

Berdasarkan hasil pengujian homogenitas pada kedua jenis blade, dapat disimpulkan bahwa seluruh data penelitian memiliki varians yang homogen karena nilai signifikansi pada seluruh pengujian lebih besar dari 0,05 ($p > 0,05$). Dengan demikian, data hasil pengukuran panjang pelet pada blade full PLA maupun blade hybrid PLA–stainless steel telah memenuhi asumsi homogenitas varians dan layak untuk dilanjutkan ke tahap analisis One-Way ANOVA.

Uji One-Way ANOVA

Setelah data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas varians, tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis One-Way Analysis of Variance (ANOVA). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan rata-rata panjang pelet yang signifikan antar siklus pengujian pada masing-masing jenis blade. Pada penelitian ini, analisis dilakukan secara terpisah pada blade full PLA dan blade hybrid PLA–stainless steel dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$

Blade Full PLA

Pengujian ini menggunakan IBM SPSS Statistics. Hasil pengujian One Way ANOVA blade full PLA ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian One Way ANOVA blade full PLA

Dimensi	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24,471	5	4,894	365,015	0,000
Within Groups	0,563	42	0,013		
Total	25,034	47			

Berdasarkan Tabel 8, diperoleh nilai F hitung sebesar 365,015 dengan nilai

signifikansi $< 0,001$ ($p < 0,05$). Hasil ini menunjukkan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima, yang berarti terdapat perbedaan rata-rata panjang pelet yang signifikan antar siklus pengujian pada blade full PLA.

Nilai Sum of Squares Between Groups sebesar 24,471 jauh lebih besar dibandingkan Sum of Squares Within Groups sebesar 0,563. Hal ini menunjukkan bahwa variasi panjang pelet lebih banyak dipengaruhi oleh perubahan siklus pengujian dibandingkan variasi internal antar sampel dalam kelompok yang sama.

Nilai F hitung yang sangat tinggi menunjukkan bahwa pengaruh siklus pengujian terhadap perubahan dimensi panjang pelet pada blade full PLA sangat kuat. Secara fisik, kondisi ini mengindikasikan bahwa penggunaan blade full PLA secara berulang menyebabkan perubahan performa pemotongan yang cukup signifikan. Seiring bertambahnya siklus pengujian, ujung blade berbahan PLA cenderung mengalami penurunan ketajaman akibat deformasi permukaan dan penurunan kekakuan blade pada area kontak pemotongan. Akibatnya, pelet yang dihasilkan menunjukkan perubahan panjang yang semakin besar pada siklus berikutnya. Hasil ini menunjukkan bahwa blade full PLA memiliki kecenderungan mengalami penurunan kestabilan performa selama penggunaan berulang pada mesin produksi pelet.

Blade Hybrid

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics. Adapun hasil analisis yang diperoleh berasal dari metode One Way ANOVA blade hybrid dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengujian One Way ANOVA blade hybrid

Dimensi	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,030	5	0,206	61,255	0,000
Within Groups	0,141	42	0,003		
Total	1,172	47			

Berdasarkan Tabel 9, pada blade hybrid, diperoleh nilai F hitung sebesar 61,255 dengan nilai signifikansi $< 0,001$ ($p < 0,05$). Hasil ini menunjukkan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima, yang berarti terdapat perbedaan rata-rata panjang pelet yang signifikan antar siklus pengujian pada blade hybrid.

Nilai Sum of Squares Between Groups sebesar 1,030 lebih besar dibandingkan Sum of Squares Within Groups sebesar 0,141, yang menunjukkan bahwa perubahan panjang pelet tetap dipengaruhi oleh siklus pengujian. Namun, jika dibandingkan dengan blade full PLA, total variasi pada blade hybrid jauh lebih kecil.

Nilai F hitung pada blade hybrid lebih rendah dibandingkan blade full PLA, yang menunjukkan bahwa meskipun terdapat perubahan dimensi antar siklus, tingkat perubahan tersebut relatif lebih kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan plat stainless steel 2 mm pada ujung blade mampu mempertahankan kestabilan geometri pemotong selama proses produksi berulang.

Secara mekanis, stainless steel memiliki kekerasan dan ketahanan deformasi yang lebih baik dibanding material PLA, sehingga area pemotongan tetap mampu mempertahankan ketajaman ujung blade. Hal ini menyebabkan panjang pelet yang dihasilkan oleh blade hybrid cenderung lebih konsisten dan mengalami perubahan dimensi yang lebih kecil dibanding blade full PLA.

Berdasarkan hasil analisis ini, dapat disimpulkan bahwa kedua jenis blade sama-sama mengalami perubahan performa selama pengujian berulang, namun blade hybrid PLA–stainless steel menunjukkan stabilitas pemotongan yang lebih baik dibanding blade full PLA pada mesin produksi pelet.

Uji Post Hoc LSD

Setelah hasil One-Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar kelompok siklus pengujian, tahapan berikutnya adalah melakukan uji lanjut (*post hoc test*) untuk mengetahui kelompok siklus mana yang memiliki perbedaan rata-rata panjang pelet secara signifikan. Pada penelitian ini, uji lanjut dilakukan menggunakan metode Least Significant Difference (LSD) dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ menggunakan IBM SPSS Statistics.

Blade full PLA

Berdasarkan hasil analisis One-Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar siklus pengujian pada blade full PLA, analisis dilanjutkan dengan uji lanjut (*post hoc test*) menggunakan metode Least Significant Difference (LSD). Hasil uji post hoc blade full PLA dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil uji post hoc blade full PLA

(I) Siklus	(J) Siklus	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Siklus 1	Siklus 2	-0,40000*	0,05790	0,000	-0,5168	-0,2832
	Siklus 3	-0,82000*	0,05790	0,000	-0,9368	-0,7032
	Siklus 4	-1,26000*	0,05790	0,000	-1,3768	-1,1432
	Siklus 5	-1,70000*	0,05790	0,000	-1,8168	-1,5832
	Siklus 6	-2,05750*	0,05790	0,000	-2,1743	-1,9407
Siklus 2	Siklus 1	0,40000*	0,05790	0,000	0,2832	0,5168
	Siklus 3	-0,42000*	0,05790	0,000	-0,5368	-0,3032
	Siklus 4	-0,86000*	0,05790	0,000	-0,9768	-0,7432
	Siklus 5	-1,30000*	0,05790	0,000	-1,4168	-1,1832
	Siklus 6	-1,65750*	0,05790	0,000	-1,7743	-1,5407
Siklus 3	Siklus 1	0,82000*	0,05790	0,000	0,7032	0,9368
	Siklus 2	0,42000*	0,05790	0,000	0,3032	0,5368
	Siklus 4	-0,44000*	0,05790	0,000	-0,5568	-0,3232
	Siklus 5	-0,88000*	0,05790	0,000	-0,9968	-0,7632
	Siklus 6	-1,23750*	0,05790	0,000	-1,3543	-1,1207
Siklus 4	Siklus 1	1,26000*	0,05790	0,000	1,1432	1,3768
	Siklus 2	0,86000*	0,05790	0,000	0,7432	0,9768
	Siklus 3	0,44000*	0,05790	0,000	0,3232	0,5568
	Siklus 5	-0,44000*	0,05790	0,000	-0,5568	-0,3232
	Siklus 6	-0,79750*	0,05790	0,000	-0,9143	-0,6807
Siklus 5	Siklus 1	1,70000*	0,05790	0,000	1,5832	1,8168
	Siklus 2	1,30000*	0,05790	0,000	1,1832	1,4168
	Siklus 3	0,88000*	0,05790	0,000	0,7632	0,9968
	Siklus 4	0,44000*	0,05790	0,000	0,3232	0,5568
	Siklus 6	-0,35750*	0,05790	0,000	-0,4743	-0,2407
Siklus 6	Siklus 1	2,05750*	0,05790	0,000	1,9407	2,1743
	Siklus 2	1,65750*	0,05790	0,000	1,5407	1,7743
	Siklus 3	1,23750*	0,05790	0,000	1,1207	1,3543
	Siklus 4	0,79750*	0,05790	0,000	0,6807	0,9143
	Siklus 5	0,35750*	0,05790	0,000	0,2407	0,4743

Berdasarkan Tabel 10, pada blade full PLA, seluruh pasangan antar siklus pengujian menunjukkan nilai signifikansi $< 0,001$ ($p < 0,05$). Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata panjang pelet yang signifikan pada seluruh kombinasi siklus pengujian, mulai dari siklus 1 hingga siklus 6.

Nilai *mean difference* menunjukkan kecenderungan peningkatan panjang pelet seiring bertambahnya siklus pengujian. Sebagai contoh, perbandingan antara siklus 1 dan siklus 2

menunjukkan selisih rata-rata sebesar 0,4000 mm, sedangkan perbandingan antara siklus 1 dan siklus 6 menunjukkan selisih rata-rata yang lebih besar, yaitu 2,0575 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama blade full PLA digunakan, perubahan dimensi hasil pemotongan menjadi semakin besar.

Jika diamati dari seluruh pasangan pengujian, selisih rata-rata antar siklus menunjukkan pola peningkatan yang konsisten. Kondisi ini mengindikasikan bahwa blade full PLA mengalami penurunan performa pemotongan secara progresif selama penggunaan berulang. Secara mekanis, kondisi tersebut dapat disebabkan oleh deformasi pada ujung blade akibat kontak berulang dengan material pelet, sehingga ketajaman pemotong berkurang dan menyebabkan pelet yang dihasilkan memiliki dimensi semakin panjang.

Hasil uji LSD ini memperkuat hasil One-Way ANOVA sebelumnya, bahwa siklus pengujian memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap perubahan panjang pelet pada blade full PLA.

Blade Hybrid

Uji lanjut (*post hoc test*) juga dilakukan pada data hasil pengujian blade hybrid PLA–stainless steel setelah analisis One-Way ANOVA menunjukkan adanya pengaruh signifikan antar siklus pengujian. Hasil uji post hoc blade hybrid dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil uji post hoc blade hybrid

(I) Siklus	(J) Siklus	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Siklus 1	Siklus 2	-0,1000*	0,02900	0,001	-0,1585	-0,0415
	Siklus 3	-0,1800*	0,02900	0,000	-0,2385	-0,1215
	Siklus 4	-0,2600*	0,02900	0,000	-0,3185	-0,2015
	Siklus 5	-0,3400*	0,02900	0,000	-0,3985	-0,2815
	Siklus 6	-0,4400*	0,02900	0,000	-0,4985	-0,3815
Siklus 2	Siklus 1	0,1000*	0,02900	0,001	0,0415	0,1585
	Siklus 3	-0,0800*	0,02900	0,009	-0,1385	-0,0215
	Siklus 4	-0,1600*	0,02900	0,000	-0,2185	-0,1015
	Siklus 5	-0,2400*	0,02900	0,000	-0,2985	-0,1815
	Siklus 6	-0,3400*	0,02900	0,000	-0,3985	-0,2815
Siklus 3	Siklus 1	0,1800*	0,02900	0,000	0,1215	0,2385
	Siklus 2	0,0800*	0,02900	0,009	0,0215	0,1385
	Siklus 4	-0,0800*	0,02900	0,009	-0,1385	-0,0215
	Siklus 5	-0,1600*	0,02900	0,000	-0,2185	-0,1015
	Siklus 6	-0,2600*	0,02900	0,000	-0,3185	-0,2015
Siklus 4	Siklus 1	0,2600*	0,02900	0,000	0,2015	0,3185
	Siklus 2	0,1600*	0,02900	0,000	0,1015	0,2185
	Siklus 3	0,0800*	0,02900	0,009	0,0215	0,1385
	Siklus 5	-0,0800*	0,02900	0,009	-0,1385	-0,0215
	Siklus 6	-0,1800*	0,02900	0,000	-0,2385	-0,1215
Siklus 5	Siklus 1	0,3400*	0,02900	0,000	0,2815	0,3985
	Siklus 2	0,2400*	0,02900	0,000	0,1815	0,2985
	Siklus 3	0,1600*	0,02900	0,000	0,1015	0,2185
	Siklus 4	0,0800*	0,02900	0,009	0,0215	0,1385
	Siklus 6	-0,1000*	0,02900	0,001	-0,1585	-0,0415
Siklus 6	Siklus 1	0,4400*	0,02900	0,000	0,3815	0,4985
	Siklus 2	0,3400*	0,02900	0,000	0,2815	0,3985
	Siklus 3	0,2600*	0,02900	0,000	0,2015	0,3185
	Siklus 4	0,1800*	0,02900	0,000	0,1215	0,2385
	Siklus 5	0,1000*	0,02900	0,001	0,0415	0,1585

Berdasarkan Tabel 11, hasil uji lanjut LSD pada blade hybrid, seluruh pasangan antar

siklus pengujian juga menunjukkan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 ($p < 0,05$), dengan sebagian besar pasangan menunjukkan nilai $< 0,001$, dan beberapa pasangan lainnya menunjukkan nilai 0,009 dan 0,001. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata panjang pelet yang signifikan antar siklus pengujian pada blade hybrid.

Namun demikian, jika dibandingkan dengan blade full PLA, nilai *mean difference* pada blade hybrid jauh lebih kecil. Sebagai contoh, perbandingan antara siklus 1 dan siklus 2 hanya menunjukkan selisih rata-rata sebesar 0,1000 mm, sedangkan perbandingan antara siklus 1 dan siklus 6 menunjukkan selisih rata-rata sebesar 0,4400 mm.

Nilai selisih yang lebih kecil ini menunjukkan bahwa perubahan dimensi panjang pelet pada blade hybrid berlangsung lebih lambat dan lebih stabil dibanding blade full PLA. Secara mekanis, kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan plat stainless steel setebal 2 mm pada ujung blade mampu mempertahankan ketajaman area pemotongan selama pengujian berulang.

Meskipun secara statistik terdapat perbedaan antar siklus, tingkat perubahan yang relatif kecil menunjukkan bahwa blade hybrid memiliki kestabilan performa yang lebih baik dalam mempertahankan konsistensi hasil pemotongan. Dengan demikian, hasil uji LSD memperkuat temuan sebelumnya bahwa blade hybrid PLA–stainless steel memiliki performa operasional yang lebih stabil dibanding blade full PLA pada aplikasi mesin produksi pelet.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, blade pemotong berbahan PLA dengan penguat stainless steel 2 mm menunjukkan performa yang lebih baik dibanding blade full PLA pada mesin produksi pelet dengan putaran 70 rpm. Hasil pengujian selama 6 siklus menunjukkan bahwa blade full PLA mengalami peningkatan panjang pelet dari rata-rata sekitar 4,99 mm pada siklus 1 menjadi 7,05 mm pada siklus 6, dengan selisih rata-rata antar siklus mencapai 2,06 mm. Sementara itu, blade hybrid PLA–stainless steel menunjukkan hasil yang lebih stabil, yaitu dari rata-rata 3,78 mm pada siklus 1 menjadi 4,22 mm pada siklus 6, dengan selisih rata-rata hanya 0,44 mm. Hasil One-Way ANOVA menunjukkan bahwa siklus pengujian berpengaruh signifikan terhadap panjang pelet pada blade full PLA ($F = 365,015$; $p < 0,001$) maupun blade hybrid ($F = 61,255$; $p < 0,001$). Hasil uji lanjut LSD juga menunjukkan seluruh pasangan siklus berbeda signifikan ($p < 0,05$). Secara keseluruhan, penggunaan penguat stainless steel pada ujung blade menghasilkan dimensi pelet yang lebih stabil selama pengujian berulang.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan variasi geometri blade, jumlah mata pisau, serta penggunaan material penguat lain agar performa pemotongan dapat semakin optimal. Selain itu, pengujian dapat diperluas pada variasi putaran mesin, umur pakai blade, dan ketahanan aus untuk memperoleh karakteristik operasional blade yang lebih komprehensif pada aplikasi produksi pelet berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Veteran Bangun Nusantara (LPPM Universitas Veteran Bangun Nusantara) yang telah memberikan dukungan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Veteran Bangun Nusantara, khususnya Program Studi Teknik Industri, atas dukungan fasilitas, sarana laboratorium, serta dukungan akademik selama proses perancangan, fabrikasi, pengujian, hingga analisis data dalam penelitian ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim penelitian dan mahasiswa yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Dewi and N. Sylvia, "Pengelolaan Sampah Organik Untuk Produksi Maggot Sebagai Upaya Menekan Biaya Pakan Pada Petani Budidaya Ikan Air Tawar," *J. Malikkussaleh Mengabdi*, vol. 1, no. 1, pp. 11–20, 2022.
- [2] Yunaidi, A. P. Rahmanta, and A. Wibowo, "Aplikasi pakan pelet buatan untuk peningkatan produktivitas budidaya ikan air tawar di desa Jerukagung Srumbung Magelang," *J. Pemberdaya. Publ. Has. Pengabdi. Kpd. Masy.*, vol. 3, no. 1, pp. 45–54, 2019.
- [3] D. W. Kurniawan, "Analisa Pengelolaan Pakan Ikan Lele Guna Efisiensi Biaya Produksi Untuk Meningkatkan Hasil Penjualan," *IQTISHADequity J. Manaj.*, vol. 2, no. 1, pp. 54–67, 2019.
- [4] S. Suhartadi, E. K. Mindarta, E. Rudiyanto, and Marji, "Penerapan Teknologi Mini Factory Pellet Organic Sebagai Solusi Pengadaan Pakan Ikan Secara Mandiri Pada UMKM Gubug Lele Di Desa Blimbing, Kec. Gudo, Kabupaten Jombang," *J. Pengabdi. Masy. dan Ris. Pendidik.*, vol. 4, no. 2, pp. 11246–11257, 2025.
- [5] M. F. Juanda, M. N. Alam, Jusran, Amal, and J. Yanti, "Inovasi Pakan Ikan Dan Teknologi Mesin Cetak Pelet Untuk Peningkatan Kemandirian Kelompok Nelayan," *Amal Ilm. J. Pengabdi. Kpd. Masy.*, vol. 7, no. 1, pp. 159–170, 2026.
- [6] J. Artikel *et al.*, "Peningkatan Sifat Mekanik Material PLA+ Skin Karbon Menggunakan Proses Fused Deposition Modeling," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 22–31, 2025.
- [7] Elviana, Supardianningsih, and D. B. Pinandoyo, "Potensi Limbah Tutup Botol Kemasan sebagai Media 3D Printing Ramah Lingkungan," *J. Sos. dan Teknol.*, vol. 5, no. 5, pp. 1277–1287, 2025.
- [8] I. Anshory, A. Fakhruhin, and L. Hudi, "Mesin Cetak Pelet Pakan Ikan Untuk Pemberdayaan Masyarakat Desa Kedungpandan Sidoarjo," *J. Pengabdi. Masy. ADIMAS*, vol. 6, no. 2, pp. 113–120, 2022.
- [9] N. M. Safitri, A. Aminin, and S. Luthfiah, "Pembuatan Formulasi Pakan Apung Ikan Berbahan Baku Lokal," *J. Perikan. Pantura*, vol. 3, no. 1, p. 31, 2020, doi: 10.30587/jpp.v3i1.1404.
- [10] A. R. Hakim, K. Kurniawan, and Z. A. Siregar, "Pengaruh Penggantian Tepung Ikan Dengan Tepung Larva *Hermetia Illucens* Dan *Azolla Sp.* Terhadap Kualitas Pakan Ikan Terapung," *J. Ris. Akuakultur*, vol. 14, no. 2, pp. 77–85, 2019.
- [11] F. R. Ramadhan and A. S. Fauzi, "Rancang Bangun Rangka Mesin Pencetak Pelet Kapasitas 40 Kg / Jam," *J. Mesin Nusant.*, vol. 5, no. 1, pp. 74–85, 2022.
- [12] A. R. Ramadhan, D. E. Septiyani, and H. Widiatoro, "Perancangan Mesin Pembuat Pelet Apung Berbahan Maggot Berkapasitas 20 Kg / Jam dengan Metode TRIZ," in *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung, 4-5 Agustus 2021*, 2021, pp. 283–288.
- [13] N. Pratiwi, "Teknologi Pemanfaatan Limbah Padat Pengolahan Keripik Singkong Menjadi Pakan Pellet Ayam Pedaging di Desa Baratan Kabupaten Jember," *War. Pengabdi.*, vol. 12, no. 2, pp. 263–270, 2018, doi: 10.19184/wrtp.v12i2.7311.
- [14] W. Widiyanto and T. I. Setyani, "Pengaruh Arah Cetakan 3D Printing Tipe FDM Bahan Polymer ABS Terhadap Tensile Strength Produk yang Dihasilkan," *Media Mesin J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 25–34, 2020.
- [15] L. A. Saputro and A. S. Fauzi, "Rancang Bangun Impeller Pelontar Pakan Ikan Sistem Rotary dengan Pemanfaatan Teknologi 3D Printing," *Momentum*, vol. 18, no. 1, pp. 34–38, 2022.
- [16] Y. Nainggolan, D. Divia, D. L. Hutapea, W. F. Sirait, M. Sirait, and R. Sianturi, "Anava Satu Jalur (One Way-Anova)," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 5670–5682, 2025.
- [17] A. Gunasti, Kia Candra, T. Puspita, A. Batara, and Veri Ardiansyah, "Perbandingan Arus Kepadatan Jalan Pada Jalan Mastrip (ONE WAY-ANOVA)," *J. Civ. Eng. Build. Transp.*, vol. 8, no. 1, pp. 74–80, 2024, doi: 10.31289/jcebt.v8i1.10978.

- [18] F. Sihombing and S. Rozi, "Analisis Perbandingan Produktivitas Tandan Buah Segar Menggunakan ANOVA One Way dan Uji Tukey pada Tiga Wilayah Operasional PTPN IV Regional 4," *J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 8, no. 2, pp. 353–359, 2025.
- [19] Arif, D. A. Alfarez, and M. R. Ramadhan, "Anova and Tukey HSD Comparison of Rice Production Between Three Regencies in Jambi Province," *Multi Prox. J. Stat. Univ. Jambi*, vol. 2, no. 1, pp. 23–31, 2023, [Online]. Available: <https://online-journal.unja.ac.id/multiproximity23https://doi.org/10.22437/multiproximity.v2i1.25908>