

Pengaruh Radial Clearance dan Kecepatan Putar Screw Conveyor Terhadap Kapasitas Cetak pada Mesin Pencetak Bakso

Siti Duratun Nasiqiati Rosady^{*1}, Fitrah Bisma Taimullah Al Jahfal², Alviani Hesthi Permata Ningtyas³, Zakiyah Amalia⁴, Fica Aida Nadhifatul Aini⁵

^{1,2,4,5}Politeknik Negeri Malang

³Universitas Muhammadiyah Gresik

Email: ¹sitiduratun@polinema.ac.id, ²fitrahbisma@gmail.com, ³alvianihesthi@umg.ac.id,
⁴zakiyah_amalia@polinema.ac.id, ⁵fica.aida@polinema.ac.id

Abstrak

Mesin pencetak bakso memanfaatkan *screw conveyor* sebagai komponen utama untuk mendorong adonan menuju nosel pencetakan. Kinerja mesin sangat dipengaruhi oleh parameter geometrik dan operasional *screw conveyor*, salah satunya *radial clearance* dan kecepatan putar. Permasalahan yang sering terjadi adalah kapasitas cetak yang belum optimal sehingga berpotensi menurunkan produktivitas proses produksi. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya mengkaji pengaruh kecepatan putar atau parameter geometrik lain, penelitian ini secara khusus menganalisis pengaruh *radial clearance* beserta interaksinya dengan kecepatan putar *screw conveyor* terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Penelitian ini bertujuan menentukan kombinasi parameter yang menghasilkan kapasitas cetak optimum. Metode yang digunakan adalah *Design of Experiment (DOE) Factorial* dengan analisis statistik *Two-Way ANOVA*. Variasi *radial clearance* yang digunakan adalah 1 mm, 3 mm, dan 5 mm, sedangkan variasi kecepatan putar *screw conveyor* adalah 124 rpm, 135 rpm, dan 154 rpm. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak empat kali replikasi. Pengujian dilakukan dengan mencetak adonan bakso, merebus hasil cetakan hingga matang, kemudian menghitung jumlah bakso yang dihasilkan pada setiap perlakuan. Data diolah menggunakan perangkat lunak Excel dan Minitab 21 untuk memperoleh hasil analisis yang akurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* berpengaruh signifikan terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso dengan nilai *p-value* $\leq 0,05$. Kapasitas cetak cenderung meningkat seiring bertambahnya *radial clearance* dan menurun pada peningkatan kecepatan putar *screw conveyor*. Interaksi antara kedua variabel juga terbukti signifikan secara statistik dengan nilai *p-value* sebesar 0,027. Berdasarkan analisis *response optimizer*, kombinasi parameter yang menghasilkan kapasitas cetak optimum diperoleh pada *radial clearance* 5 mm dan kecepatan putar *screw conveyor* 124 rpm dengan rata-rata kapasitas cetak sebesar 74,93 pcs serta nilai *desirability* sebesar 0,9022. Kombinasi parameter tersebut menunjukkan bahwa pengaturan *radial clearance* yang lebih besar dengan kecepatan putar yang lebih rendah mampu menghasilkan proses ekstrusi yang lebih stabil sehingga kapasitas cetak dapat ditingkatkan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan parameter operasi mesin pencetak bakso untuk meningkatkan produktivitas, khususnya pada skala UMKM.

Kata kunci: ANOVA, Design Of Experiment (DOE), Kapasitas Cetak, Kecepatan Putar, Radial Clearance, Two-Way.

The Effect Of Radial Clearance And Screw Conveyor Rotational Speed On The Forming Capacity Of A Meatball Forming Machine

Abstract

Meatball forminh machines use a screw conveyor as the main component to push the dough toward the forming nozzle. The machine's performance is greatly influenced by the geometric and operational parameters of the screw conveyor, including radial clearance and rotational speed. A common issue is suboptimal forming capacity, which has the potential to reduce production process productivity. Unlike previous studies, which generally examined only the effect of rotational speed or other geometric parameters, this study specifically analyzes the effect of radial clearance and its interaction with the screw conveyor's rotational speed on the meatball forming machine's production capacity. The objective of this study is to determine the combination of parameters that yields optimal production capacity. The method used is a Factorial Design of Experiments (DOE) with Two-Way ANOVA statistical analysis. The radial clearance variations used were 1 mm, 3 mm, and 5 mm, while the screw conveyor rotational speed variations were 124 rpm, 135 rpm, and 154 rpm. Each treatment combination was replicated four

times. Testing was conducted by extruding the meatball dough, boiling the extruded meatballs until cooked, and then counting the number of meatballs produced for each treatment. The data were processed using Excel and Minitab 21 software to obtain accurate analysis results. The results showed that radial clearance and screw conveyor rotational speed had a significant effect on the meatball forming machine's production capacity, with p -values ≤ 0.05 . Production capacity tended to increase with increasing radial clearance and decrease with increasing screw conveyor rotational speed. The interaction between the two variables was also statistically significant, with a p -value of 0.027. Based on the response optimizer analysis, the parameter combination yielding the optimal production capacity was achieved at a radial clearance of 5 mm and a screw conveyor rotational speed of 124 rpm, resulting in an average production capacity of 74.93 pieces and a desirability value of 0.9022. This combination of parameters indicates that a larger radial clearance setting combined with a lower rotational speed can produce a more stable extrusion process, thereby increasing production capacity. These findings are expected to serve as a reference for determining the operating parameters of meatball forming machines to improve productivity, particularly at the MSME level.

Keywords: ANOVA, Design Of Experiment (DOE), Forming Capacity, Rotational Speed, Radial Clearance, Two-Way.

1. PENDAHULUAN

Bakso merupakan salah satu produk olahan daging dengan tingkat permintaan yang terus meningkat di Indonesia, sehingga mendorong pelaku usaha meningkatkan kapasitas produksi tanpa mengurangi kualitas produk. Kondisi tersebut didukung oleh data Badan Pusat Statistik yang menunjukkan tren peningkatan konsumsi daging per kapita dalam beberapa tahun terakhir [1]. Salah satu upaya yang banyak diterapkan adalah penggunaan mesin pencetak bakso untuk meningkatkan efisiensi proses, mempercepat pencetakan, serta menghasilkan ukuran produk yang lebih seragam [2] [3] [4]. Pada mesin tersebut, *screw conveyor* berperan sebagai komponen utama yang mengalirkan adonan menuju nosel pencetakan sehingga performanya sangat menentukan kapasitas cetak yang dihasilkan [5].

Kinerja *screw conveyor* dipengaruhi oleh berbagai parameter operasi maupun parameter geometrik. Salah satu parameter operasi yang berpengaruh adalah kecepatan putar *screw conveyor*, sedangkan parameter geometrik yang turut memengaruhi performa sistem adalah *radial clearance*, yaitu jarak antara ulir *screw conveyor* dan dinding *hopper*. Perubahan kedua parameter tersebut dapat memengaruhi karakteristik aliran material selama proses transportasi sehingga berdampak langsung terhadap kapasitas produksi yang dihasilkan. Penelitian pada sistem *screw conveyor* menunjukkan bahwa perubahan *radial clearance* dapat memengaruhi performa perpindahan material melalui perubahan karakteristik aliran dan distribusi material di dalam sistem [6]. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa perubahan jarak antara ulir dan dinding *hopper* dapat memengaruhi efektivitas perpindahan adonan, sehingga diperlukan penentuan nilai *radial clearance* yang sesuai agar kapasitas cetak tetap optimal. Selain itu, penelitian Li et al. [7] menunjukkan bahwa performa *screw conveyor* dipengaruhi oleh interaksi antara parameter geometrik dan parameter operasional yang digunakan selama proses transportasi material. Dengan demikian, evaluasi kedua parameter secara bersamaan menjadi penting karena perubahan salah satu parameter berpotensi mengubah pengaruh parameter lainnya terhadap performa sistem.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pengaruh parameter *screw conveyor* terhadap performa mesin pencetak bakso. Rohim & Rosady [8] melaporkan bahwa kecepatan putar *screw conveyor* berpengaruh terhadap massa bakso yang dihasilkan. Penelitian Rosady et al. [2] juga menunjukkan bahwa variasi kecepatan *screw conveyor* memengaruhi performa produksi mesin pencetak bakso. Penelitian terbaru oleh Wang et al. [9] menunjukkan bahwa variasi *pitch screw conveyor* memengaruhi karakteristik aliran partikel dan efisiensi perpindahan material di dalam sistem *screw conveyor*, sedangkan Bolat et al. [6] melaporkan bahwa *radial clearance* memengaruhi performa *screw conveyor* pada berbagai kondisi operasi. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa performa *screw conveyor* dipengaruhi oleh lebih dari satu parameter, sehingga optimasi sistem sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh beberapa faktor secara bersamaan, bukan hanya satu parameter secara terpisah.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pengaruh parameter *screw conveyor* terhadap performa mesin pencetak bakso, sebagian besar penelitian masih berfokus pada parameter seperti kecepatan putar *screw conveyor*, *pitch*, maupun diameter *cutter* [2], [7], [8]. Sementara itu, penelitian yang secara khusus menginvestigasi pengaruh *radial clearance* pada mesin pencetak bakso masih sangat terbatas. Penelitian mengenai *radial clearance* umumnya dilakukan pada sistem *screw conveyor* untuk transportasi material curah sehingga karakteristik material dan kondisi operasinya berbeda dengan proses ekstrusi adonan bakso [5]. Selain itu, kajian yang mengevaluasi pengaruh interaksi antara *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* terhadap kapasitas cetak mesin

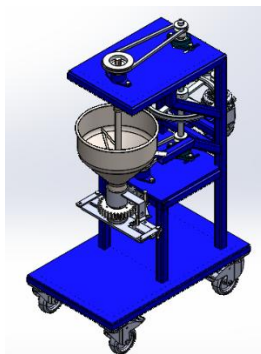
pencetak bakso juga belum banyak dilaporkan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh kedua parameter tersebut terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini tidak hanya menganalisis pengaruh masing-masing parameter secara individual, tetapi juga mengevaluasi pengaruh interaksi antara *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* terhadap kapasitas cetak menggunakan rancangan faktorial dan analisis *Two-Way ANOVA*. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan kedua parameter dalam menentukan performa mesin pencetak bakso.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso serta mengevaluasi pengaruh interaksi antara kedua faktor menggunakan metode *Two-Way ANOVA*. Selanjutnya, kombinasi parameter operasi optimum ditentukan melalui pendekatan *Response Optimizer*. Secara ilmiah, penelitian ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh parameter geometrik dan parameter operasional secara simultan terhadap performa *screw conveyor* pada proses pencetakan bakso. Secara praktis, hasil penelitian dapat menjadi acuan dalam pengembangan desain serta penentuan kondisi operasi mesin pencetak bakso yang lebih produktif dan efisien bagi industri pangan, khususnya UMKM.

2. METODE PENELITIAN

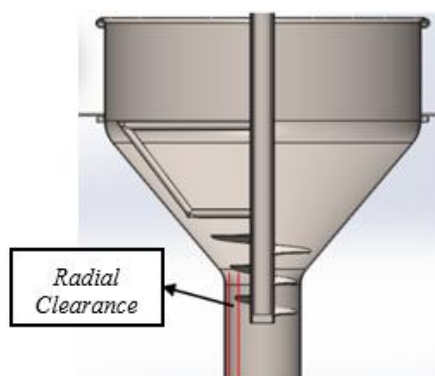
2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif dengan rancangan Design of Experiment (DOE). Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan identifikasi pengaruh faktor utama (main effects) maupun interaksi antar faktor terhadap respons secara sistematis melalui pengendalian variabel penelitian, sehingga hubungan antara faktor dan respons dapat dianalisis secara lebih efisien dibandingkan pendekatan one-factor-at-a-time (OFAT) [10]. Mesin pencetak bakso yang digunakan merupakan prototipe vertikal yang dirancang dan dibuat secara khusus di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang untuk mendukung pelaksanaan penelitian. Penggunaan prototipe ini memungkinkan pengaturan parameter mekanis utama, yaitu *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor*, yang sulit dilakukan pada mesin komersial. Prototipe terdiri atas *hopper*, *screw conveyor*, nozzle, dan pisau pemotong sebagai komponen utama proses ekstrusi dan pembentukan bakso. Konfigurasi tersebut memungkinkan pengujian dilakukan secara terkontrol pada berbagai kombinasi parameter operasi sehingga konsistensi kondisi pengujian dan keterulangan (*repeatability*) hasil eksperimen dapat dipertahankan.



Gambar 1. Mesin Pencetak Bakso

Radial clearance pada *screw conveyor* merupakan salah satu parameter geometrik yang memengaruhi karakteristik aliran material selama proses ekstrusi. Variasi *radial clearance* dapat memengaruhi karakteristik aliran material, efisiensi perpindahan material, serta produktivitas sistem *screw conveyor* karena berkaitan dengan celah antara ujung ulir (*flight*) dan dinding *hopper* [11]. Oleh karena itu, penentuan nilai *radial clearance* yang sesuai perlu dilakukan untuk memperoleh karakteristik aliran adonan yang stabil sehingga kapasitas cetak mesin pencetak bakso dapat dioptimalkan. Pada penelitian ini, *radial clearance* divariasikan sebesar 1 mm, 3 mm, dan 5 mm. Pemilihan variasi tersebut didasarkan pada konsep bahwa perubahan *radial clearance* memengaruhi karakteristik aliran material dan performa *screw conveyor* sebagaimana dilaporkan oleh Bolat et al. [6]. Nilai-nilai tersebut kemudian disesuaikan dengan batas konstruksi prototipe mesin pencetak bakso agar setiap variasi dapat diterapkan tanpa mengubah konfigurasi utama mesin, sehingga pengaruh *radial clearance* terhadap kapasitas cetak dapat dievaluasi secara sistematis.

Gambar 2. *Radial Clearance* pada Mesin Pencetak Bakso

2.2. Variabel Penelitian

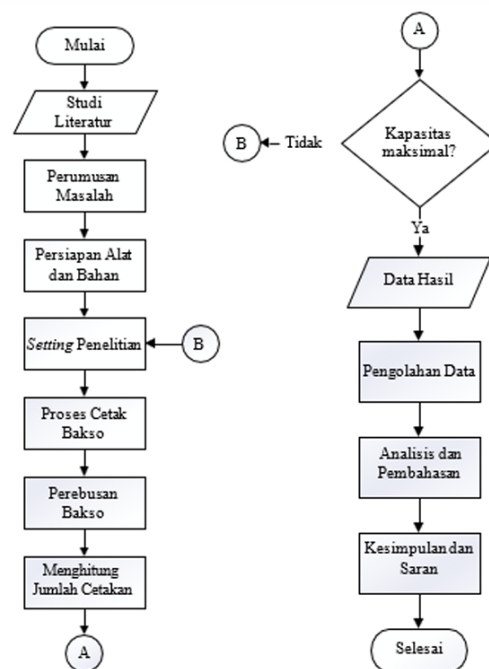
Kecepatan putar screw conveyor merupakan salah satu parameter operasional yang memengaruhi karakteristik aliran material dan laju perpindahan material di dalam sistem screw conveyor [12]. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan tiga tingkat kecepatan putar, yaitu 124 rpm, 135 rpm, dan 154 rpm. Pemilihan ketiga level tersebut mengacu pada penelitian Rohim & Rosady [8], dengan menyesuaikan rasio sistem transmisi yang digunakan pada prototipe mesin pencetak bakso sehingga hasil penelitian dapat dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Kecepatan 135 rpm ditetapkan sebagai kecepatan desain nominal sesuai dengan konfigurasi katrol standar, sedangkan kecepatan 124 rpm dan 154 rpm dipilih untuk merepresentasikan kondisi operasi di bawah dan di atas kecepatan nominal. Rentang kecepatan tersebut dipilih agar pengaruh variasi kecepatan putar terhadap kapasitas cetak dapat dievaluasi pada kondisi operasi yang masih berada dalam batas kemampuan mekanis prototipe selama proses pengujian. Seluruh pengujian menggunakan adonan bakso dengan komposisi dan kadar air yang sama untuk setiap perlakuan. Pengendalian karakteristik adonan dilakukan agar perbedaan kapasitas cetak yang diperoleh terutama dipengaruhi oleh variasi *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor*, bukan oleh perubahan sifat fisik adonan. Variabel-variabel independen yang digunakan dalam percobaan ini adalah.

Tabel 1. Variabel yang Digunakan

Variabel Bebas	Variabel Terikat	Variabel Terkontrol
1. <i>Radial clearance</i> • 1 mm • 3 mm • 5 mm	Kapasitas cetak maksimum	1. <i>Pitch screw conveyor</i> 25 mm
2. Kecepatan putar <i>screw conveyor</i> • 124 rpm • 135 rpm • 154 rpm		2. Komposisi adonan dibuat seragam
		3. Sudut kemiringan <i>screw conveyor</i> sebesar 5°
		4. Diameter pisau pemotong sebesar 30 mm
		5. Kecepatan putar pada pisau pemotong sebesar 160 rpm
		6. Diameter <i>hopper</i> 62 mm

2.3. Metode Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan rancangan faktorial dua faktor (*two-factor factorial design*) untuk menganalisis pengaruh *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Faktor pertama adalah *radial clearance* yang terdiri atas tiga level, yaitu 1 mm, 3 mm, dan 5 mm, sedangkan faktor kedua adalah kecepatan putar *screw conveyor* yang terdiri atas tiga level, yaitu 124 rpm, 135 rpm, dan 154 rpm. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak empat kali pengulangan sehingga diperoleh 36 unit pengamatan yang selanjutnya digunakan sebagai dasar analisis statistik. Jumlah replikasi tersebut dinilai memadai untuk rancangan percobaan faktorial karena memungkinkan estimasi galat percobaan (*experimental error*) dan memenuhi kebutuhan analisis *Two-Way ANOVA* dalam menguji pengaruh faktor utama maupun interaksi antar faktor pada taraf α , signifikansi 5%.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian diawali dengan menyiapkan seluruh alat dan bahan serta memastikan seluruh komponen mesin pencetak bakso berfungsi dengan baik. Variasi kecepatan putar *screw conveyor* diatur melalui perubahan rasio diameter *pulley*, sedangkan *radial clearance* disesuaikan dengan level perlakuan yang telah ditentukan. Selanjutnya, *screw conveyor* dipasang pada *shaft* dan mesin pencetak bakso vertikal dioperasikan. Adonan bakso dimasukkan ke dalam *hopper*, kemudian proses pencetakan dilakukan pada setiap kombinasi perlakuan *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor*. Bakso hasil pencetakan ditampung dalam wadah berisi air panas untuk mempertahankan bentuk produk sebelum dilakukan penghitungan jumlah bakso yang dihasilkan. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak empat kali replikasi, kemudian seluruh data hasil pengujian dicatat dan didokumentasikan sebagai dasar analisis statistik.

2.4. Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode *Two-Way Analysis of Variance* (ANOVA) pada taraf signifikansi 5% untuk mengidentifikasi pengaruh *radial clearance*, kecepatan putar *screw conveyor*, serta interaksi antara kedua faktor terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Wilcox [13] menjelaskan bahwa Two-Way ANOVA digunakan untuk mengevaluasi pengaruh dua faktor secara simultan serta mengidentifikasi adanya interaksi antara kedua faktor terhadap respons yang diamati. Atas dasar tersebut, metode ini dipilih karena sesuai dengan rancangan penelitian yang melibatkan dua faktor bebas dengan beberapa tingkat perlakuan. Sebelum dilakukan analisis ANOVA, data terlebih dahulu diuji normalitas menggunakan uji Kolmogorov–Smirnov untuk mengevaluasi kesesuaian distribusi data terhadap distribusi normal sebagai salah satu prasyarat analisis parametrik. Mishra et al. [14] menyatakan bahwa pengujian normalitas diperlukan untuk memastikan data memenuhi asumsi distribusi normal sehingga hasil analisis statistik parametrik dapat diinterpretasikan secara tepat. Selain itu, data juga diuji homogenitas varians menggunakan uji Levene untuk memastikan kesamaan varians antar kelompok perlakuan. Zhou et al. [15] menjelaskan bahwa homogenitas varians merupakan salah satu asumsi penting dalam analisis ANOVA karena memastikan variabilitas data antar kelompok berada pada tingkat yang sebanding. Dengan demikian, uji normalitas dan uji homogenitas dilakukan sebelum analisis ANOVA untuk memastikan bahwa data telah memenuhi asumsi dasar analisis parametrik sehingga hasil pengujian dapat diinterpretasikan secara valid. Selanjutnya, *interaction plot* digunakan untuk menginterpretasikan pola interaksi antara *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* berdasarkan perubahan nilai respons pada setiap kombinasi perlakuan. Garofalo et al. [16] menjelaskan bahwa visualisasi interaksi melalui *interaction plot* membantu menginterpretasikan bagaimana pengaruh suatu faktor berubah pada setiap tingkat faktor lainnya sehingga interpretasi hasil Two-Way ANOVA menjadi lebih komprehensif. Oleh sebab itu, *interaction plot* digunakan sebagai pendukung dalam menginterpretasikan hubungan antara kedua faktor terhadap kapasitas cetak.

Kondisi operasi optimum kemudian ditentukan menggunakan fitur *Response Optimizer* pada perangkat lunak Minitab berdasarkan model regresi yang diperoleh untuk menghasilkan kapasitas cetak maksimum. Lee et al. [17] menjelaskan bahwa pendekatan *desirability function* memungkinkan penentuan kombinasi parameter optimum berdasarkan model prediksi dengan mempertimbangkan nilai respons yang diharapkan. sejalan dengan pendekatan tersebut, fitur *Response Optimizer* digunakan untuk menentukan kombinasi *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* yang menghasilkan kapasitas cetak maksimum.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kapasitas mesin pencetak bakso dilakukan untuk mengetahui jumlah bakso yang dapat dicetak pada setiap kombinasi variasi *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor*. Pengujian dilakukan menggunakan tiga variasi *radial clearance*, yaitu 1 mm, 3 mm, dan 5 mm serta tiga variasi kecepatan putar *screw conveyor*, yaitu 124 rpm, 135 rpm, dan 154 rpm. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak empat kali replikasi untuk memperoleh data yang lebih representatif dan mengurangi pengaruh kesalahan pengukuran. Kapasitas cetak dinyatakan sebagai jumlah bakso yang berhasil dicetak selama pengujian yang sama pada setiap perlakuan. Hasil pengujian kapasitas mesin pencetak bakso ditunjukkan pada Tabel 2.

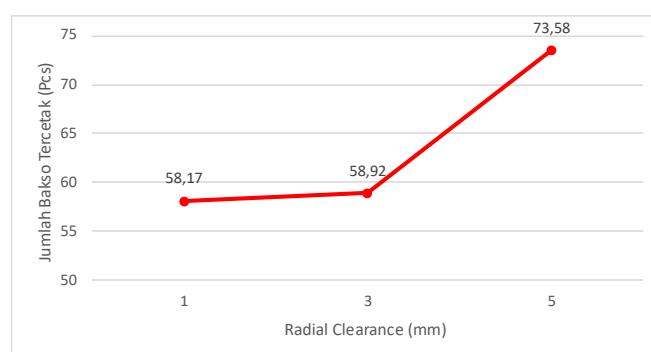
Tabel 2. Hasil Eksperimen

Kecepatan Putar <i>Screw Conveyor</i> (rpm)	<i>Radial Clearance</i> (mm)	Jumlah bakso tercetak pada replikasi ke- (pcs)				Rata-rata seluruh replikasi (pcs)
		I	II	III	IV	
124	1	59	63	70	73	66,25
	3	63	66	68	69	66,50
	5	69	75	74	79	74,25
135	1	61	53	59	55	57,00
	3	49	56	59	61	56,25
	5	75	72	76	78	75,25
154	1	49	50	52	54	51,25
	3	47	55	56	58	54,00
	5	67	72	71	75	71,25

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh data kapasitas cetak mesin pencetak bakso pada berbagai kombinasi perlakuan *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor*. Data yang tersaji di atas selanjutnya akan diolah lebih lanjut menggunakan *software excel* dan *minitab*21.

3.1 Pengaruh *Radial Clearance* terhadap Kapasitas Cetak

Berdasarkan Gambar 4, diketahui bahwa kapasitas cetak cenderung meningkat seiring bertambahnya nilai *radial clearance*. Pada *radial clearance* 1 mm diperoleh rata-rata kapasitas cetak sebesar 58,17 pcs. Nilai tersebut meningkat menjadi 58,92 pcs pada *radial clearance* 3 mm dan meningkat secara signifikan menjadi 73,58 pcs pada *radial clearance* 5 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi *radial clearance* memberikan pengaruh terhadap jumlah bakso yang berhasil dicetak oleh mesin. Dengan demikian, semakin besar nilai *radial clearance* pada rentang penelitian ini, semakin tinggi kapasitas cetak yang dihasilkan.



Gambar 4. Pengaruh *Radial Clearance* Terhadap Kapasitas Cetak

Peningkatan kapasitas cetak pada *radial clearance* yang lebih besar menunjukkan bahwa ruang antara *screw conveyor* dan dinding *hopper* berperan penting dalam menentukan kelancaran perpindahan adonan. Pada *radial clearance* yang terlalu kecil, adonan cenderung mengalami hambatan akibat meningkatnya kontak antara adonan dengan permukaan *screw conveyor* maupun dinding *hopper*. Kondisi tersebut menyebabkan aliran adonan menuju nosel menjadi kurang lancar sehingga kapasitas cetak yang dihasilkan relatif lebih rendah. Sebaliknya, pada *radial clearance* sebesar 5 mm, adonan memiliki ruang yang lebih besar untuk bergerak mengikuti putaran *screw conveyor* sehingga proses ekstrusi adonan menuju nosel menjadi lebih stabil dan menghasilkan kapasitas cetak yang lebih tinggi.

Fenomena tersebut sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh Li et al. [7] yang menyatakan bahwa *maximum mass flow rate* pada *screw conveyor* dipengaruhi oleh beberapa parameter geometrik dan operasional, salah satunya adalah *blade-wall clearance*.

$$Q_T = \frac{\pi}{4} n [(D_i + 2c)^2 - D_0^2] (p - t) \quad (1)$$

Dalam penelitian ini, persamaan tersebut digunakan untuk menjelaskan hubungan antara *radial clearance* (c) dan *maximum mass flow rate* pada *screw conveyor*. Secara teoritis, peningkatan *radial clearance* memperbesar ruang bebas antara ulir dan dinding *hopper* sehingga mengurangi resistansi aliran material serta meningkatkan *maximum mass flow rate* selama proses ekstrusi. Bolat et al. [6] menjelaskan bahwa perubahan *radial clearance* memengaruhi karakteristik aliran material di sepanjang ulir melalui perubahan distribusi dan efisiensi perpindahan material. Sejalan dengan teori tersebut, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan *radial clearance* pada rentang perlakuan yang digunakan diikuti oleh peningkatan kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Fenomena ini mengindikasikan bahwa berkurangnya hambatan aliran memungkinkan adonan mengalir menuju nosel secara lebih kontinu tanpa mengganggu kinerja mekanisme pemotongan, sehingga peningkatan *maximum mass flow rate* dapat dikonversi secara efektif menjadi peningkatan jumlah bakso yang berhasil dicetak. Dengan demikian, pada kondisi operasi yang digunakan dalam penelitian ini, peningkatan *radial clearance* tidak hanya meningkatkan kapasitas transportasi material, tetapi juga mempertahankan kestabilan proses pembentukan dan pemotongan adonan. Dalam penerapan persamaan tersebut, beberapa variabel lain diasumsikan bernilai konstan agar hubungan antara *radial clearance* dan *maximum mass flow rate* dapat dianalisis secara lebih terfokus tanpa mengurangi validitas analisis. Variabel-variabel yang dianggap konstan dalam penelitian ini disajikan sebagai berikut.

D_i = Diameter tepi bilah *screw conveyor* (mm)

c = *Radial clearance* (mm)

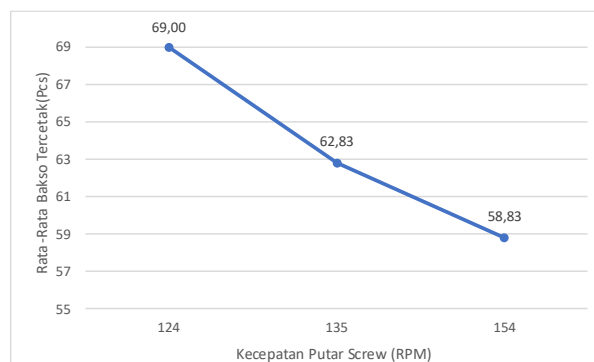
D_0 = Diameter poros (mm)

p = Jarak *Pitch screw conveyor* (mm)

t = Ketebalan bilah *screw conveyor* (mm)

3.2 Pengaruh Kecepatan Putar *Screw Conveyor* terhadap Kapasitas Cetak

Berdasarkan Gambar 5, diketahui bahwa peningkatan kecepatan putar *screw conveyor* cenderung menyebabkan penurunan kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Pada kecepatan putar 124 rpm diperoleh rata-rata kapasitas cetak sebesar 69 pcs. Nilai tersebut kemudian menurun menjadi 62,83 pcs pada kecepatan 135 rpm dan kembali menurun menjadi 58,83 pcs pada kecepatan 154 rpm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putar *screw conveyor* yang digunakan, jumlah bakso yang berhasil dicetak cenderung semakin berkurang.



Gambar 5 Pengaruh Kecepatan Putar *Screw Conveyor* Terhadap Kapasitas Cetak

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar *screw conveyor* tidak selalu diikuti oleh peningkatan kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Kapasitas cetak tertinggi diperoleh pada kecepatan putar 124 rpm, sedangkan peningkatan kecepatan hingga 154 rpm justru menyebabkan penurunan jumlah bakso yang berhasil dicetak. Penurunan kapasitas cetak pada kecepatan putar *screw conveyor* yang lebih tinggi menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan ekstrusi tidak selalu diikuti oleh peningkatan jumlah bakso yang berhasil dicetak. Selama proses pengujian, diamati bahwa semakin tinggi kecepatan putar *screw conveyor*, jumlah adonan yang gagal membentuk bakso secara sempurna cenderung meningkat sehingga menghasilkan lebih banyak produk cacat. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa laju aliran adonan yang keluar dari *nozzle* menjadi lebih cepat dibandingkan kemampuan mekanisme pembentukan dan pemotongan dalam membentuk bakso secara utuh. Akibatnya, sebagian adonan tidak berhasil tercetak sesuai bentuk yang diharapkan dan tidak dapat dihitung sebagai produk yang memenuhi kriteria pengujian. Fenomena ini menyebabkan kapasitas cetak aktual mengalami penurunan meskipun kecepatan putar *screw conveyor* meningkat. Temuan ini sejalan dengan penelitian Rohim dan Rosady [8] serta Rosady et al. [2] yang menyatakan bahwa kecepatan putar *screw conveyor* memengaruhi performa mesin pencetak bakso melalui perubahan laju ekstrusi adonan. Selain itu, Chen et al. [18] menjelaskan bahwa kecepatan putar merupakan salah satu parameter utama yang menentukan kapasitas aliran material pada *screw conveyor*. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan *mass flow rate* tidak dapat dijadikan satu-satunya indikator peningkatan kapasitas cetak, karena performa mesin pencetak bakso ditentukan oleh kesesuaian antara karakteristik aliran adonan yang dihasilkan *screw conveyor* dan kemampuan mekanisme pemotongan dalam membentuk produk secara kontinu.

$$Q = 47 \cdot D^2 \cdot \rho_b \cdot \varphi \cdot S \cdot n \cdot C_0 \quad (2)$$

Dalam penelitian ini, persamaan tersebut digunakan untuk menjelaskan bahwa kecepatan putar (n) berbanding lurus dengan *mass flow rate* pada *screw conveyor*. Secara teoritis, peningkatan kecepatan putar menyebabkan laju perpindahan adonan menuju nosel semakin besar. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan *mass flow rate* tidak secara langsung merepresentasikan peningkatan kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Kondisi tersebut terjadi karena kapasitas cetak tidak hanya dipengaruhi oleh kemampuan *screw conveyor* dalam mengekstrusi adonan, tetapi juga oleh kemampuan mekanisme pemotongan dalam mengimbangi laju ekstrusi yang dihasilkan. Apabila laju ekstrusi melebihi kemampuan mekanisme pemotongan, adonan tidak dapat dipotong secara sempurna menjadi bakso individual sehingga jumlah bakso yang berhasil dicetak cenderung menurun meskipun *mass flow rate* meningkat. Dengan demikian, kapasitas cetak merupakan hasil integrasi antara sistem ekstrusi dan sistem pemotongan, sehingga peningkatan kecepatan putar *screw conveyor* tidak selalu menghasilkan kapasitas cetak yang lebih tinggi. Dalam penerapan persamaan tersebut, beberapa variabel lain diasumsikan bernilai konstan agar hubungan antara kecepatan putar dan *mass flow rate* dapat dianalisis secara lebih sederhana tanpa mengurangi validitas analisis. Berikut merupakan variabel-variabel yang dianggap konstan.

D = radius *screw blade* (mm);

ρ_b = densitas curah material (kg/m^3);

φ = koefisien pengisian material (material filling coefficient);

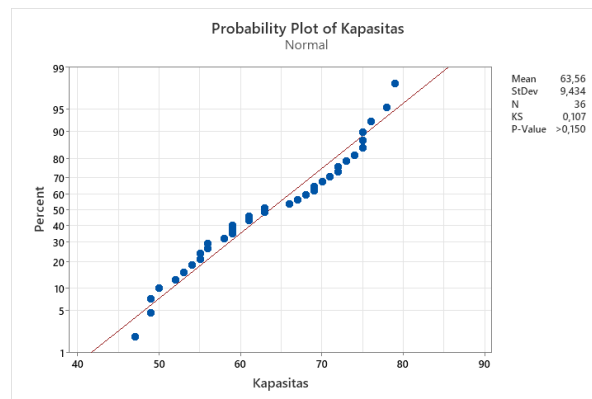
S = Pitch *screw* (mm);

C_0 = koefisien kemiringan *screw conveyor* (*screw inclination coefficient*).

3.3 Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data kapasitas yang diperoleh dari hasil penelitian mengikuti distribusi normal atau tidak. Pengujian normalitas pada penelitian ini menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov (KS) yang diolah menggunakan aplikasi Minitab 21 dengan taraf signifikansi sebesar 5% ($\alpha = 0,05$). Kriteria pengambilan keputusan pada uji Kolmogorov-Smirnov adalah apabila nilai *p-value* lebih besar dari 0,05 maka data dinyatakan berdistribusi normal, sedangkan apabila nilai *p-value* lebih kecil dari 0,05 maka data dinyatakan tidak berdistribusi normal. Hasil uji normalitas ditunjukkan pada Gambar 6.

Berdasarkan hasil uji normalitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, diperoleh nilai statistik Kolmogorov-Smirnov (KS) sebesar 0,107 dengan *p-value* > 0,150. Nilai *p-value* yang lebih besar dari 0,05 menunjukkan bahwa data kapasitas cetak berdistribusi normal sehingga memenuhi salah satu asumsi yang diperlukan untuk analisis parametrik menggunakan *Two-Way ANOVA*. Hasil tersebut didukung oleh *normal probability plot* yang memperlihatkan penyebaran titik-titik data mengikuti garis diagonal tanpa adanya penyimpangan yang signifikan, sehingga mengindikasikan bahwa distribusi data mendekati distribusi normal.



Gambar 6. Normal Probability Plot

3.5 Uji Homogenitas

Selain memenuhi asumsi normalitas, data juga perlu memenuhi asumsi homogenitas varians sebelum dilakukan analisis *Two-Way ANOVA*. Homogenitas varians diuji menggunakan Levene's Test untuk mengetahui apakah varians antar kelompok perlakuan memiliki tingkat keragaman yang relatif sama. Hasil uji homogenitas varians disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji Homogenitas

Metode Pengujian	Statistik Uji	<i>p-value</i>
Levene's Test	0,97	0,482

Keterangan: Taraf signifikansi (α) = 0,05.

Berdasarkan Tabel 3, hasil uji homogenitas varians menggunakan Levene's Test menunjukkan nilai statistik sebesar 0,97 dengan *p-value* sebesar 0,482. Nilai *p-value* tersebut lebih besar daripada taraf signifikansi 0,05, sehingga menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat homogen. Dengan demikian, asumsi homogenitas varians telah terpenuhi sehingga data layak untuk dianalisis menggunakan metode *Two-Way ANOVA*.

3.4 Two-Way ANOVA

Indikasi pengaruh kecepatan putar *screw conveyor*, *radial clearance*, dan interaksi kedua variabel terhadap kapasitas cetak yang ditunjukkan pada hasil pengujian perlu dibuktikan secara statistik. Oleh karena itu, dilakukan analisis *Two-Way ANOVA* untuk mengetahui tingkat signifikansi pengaruh masing-masing variabel maupun interaksi antar variabel terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Hasil analisis *Two-Way ANOVA* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 4. Analysis of Variance

Source of Variations	DF	ADJ SS	Adj MS	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>
Kecepatan Putar <i>Screw Conveyor</i> (rpm)	2	629,6	314,78	18,74	0,000
<i>Radial Clearance</i> (mm)	2	1813,4	906,69	53,98	0,000
Interaksi(Kecepatan* <i>Radial Clearance</i>)	4	218,4	54,61	3,25	0,027
Error	27	453,5	16,80	-	-
Total	35	3114,	-	-	-

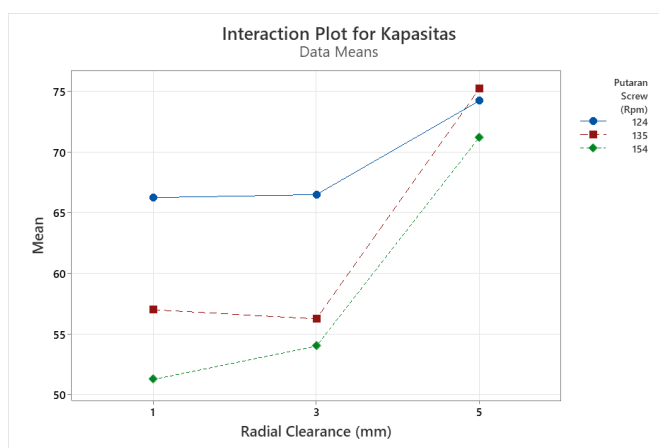
Berdasarkan Tabel 4, hasil *Two-Way ANOVA* menunjukkan bahwa faktor kecepatan putar *screw conveyor*, *radial clearance*, dan interaksi antara kedua faktor berpengaruh signifikan terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso (*p-value* < 0,05). Nilai *F-value* tertinggi diperoleh pada faktor *radial clearance* sebesar 53,98, diikuti oleh kecepatan putar *screw conveyor* sebesar 18,74, sedangkan interaksi kedua faktor memiliki nilai *F-value* sebesar 3,25. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *radial clearance* merupakan faktor yang memberikan pengaruh paling dominan terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso.

Besarnya kontribusi masing-masing faktor dianalisis menggunakan partial eta squared (η^2p). Hasil analisis menunjukkan bahwa *radial clearance* memiliki *effect size* sebesar 0,800, yang termasuk kategori besar, diikuti

oleh kecepatan putar *screw conveyor* sebesar 0,581 dan interaksi kedua faktor sebesar 0,325, yang juga termasuk kategori besar. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan *radial clearance* memberikan kontribusi paling besar terhadap variasi kapasitas cetak dibandingkan faktor lainnya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pengaturan *radial clearance* menjadi parameter yang lebih dominan dalam meningkatkan performa mesin pencetak bakso dibandingkan peningkatan kecepatan putar *screw conveyor*.

3.5 Interaction Plot

Interaction plot digunakan untuk mengetahui adanya pengaruh interaksi antara *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso. Grafik ini menunjukkan perubahan nilai rata-rata kapasitas cetak pada setiap kombinasi perlakuan sehingga hubungan antar variabel dapat diamati secara visual. Hasil *interaction plot* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Interaction Plot*

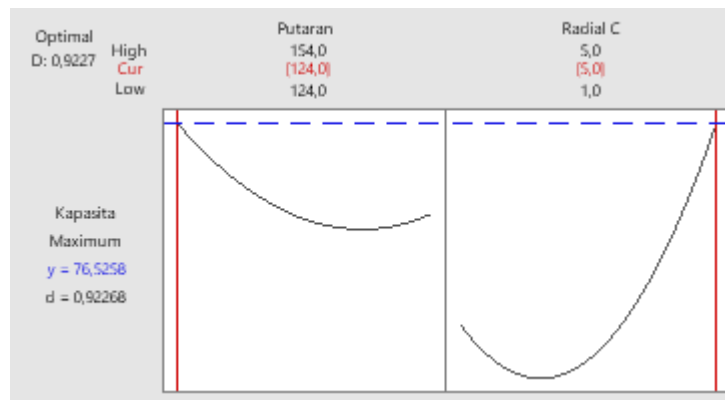
Berdasarkan Gambar 7, *interaction plot* menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan putar *screw conveyor* terhadap kapasitas cetak berbeda pada setiap tingkat *radial clearance*. Pada *radial clearance* 1 mm dan 3 mm, kapasitas cetak tertinggi diperoleh pada kecepatan putar 124 rpm. Sebaliknya, pada *radial clearance* 5 mm kapasitas cetak tertinggi diperoleh pada kecepatan putar 135 rpm sebesar 75,25 pcs. Perubahan kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa kecepatan putar optimum bergantung pada nilai *radial clearance* yang digunakan. Selain itu, kapasitas cetak cenderung menurun pada kecepatan putar 154 rpm pada seluruh variasi *radial clearance*, yang mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan putar tidak selalu menghasilkan peningkatan jumlah bakso yang berhasil dicetak.

Pola garis pada *interaction plot* yang tidak sejajar mengindikasikan adanya interaksi antara *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor*. Li et al. [7] menjelaskan bahwa performa *screw conveyor* dipengaruhi secara simultan oleh parameter geometrik dan parameter operasional. Sejalan dengan konsep tersebut, perubahan *radial clearance* diduga mengubah *mass flow rate* adonan selama proses ekstrusi sehingga respons sistem terhadap perubahan kecepatan putar menjadi berbeda. Pada kombinasi perlakuan yang menghasilkan kondisi operasi optimum, laju ekstrusi adonan masih dapat diimbangi oleh kemampuan mekanisme pemotongan sehingga proses pembentukan bakso berlangsung secara stabil. Sebaliknya, ketika kecepatan putar ditingkatkan hingga 154 rpm, laju ekstrusi adonan diduga melebihi kemampuan mekanisme pemotongan sehingga terjadi ketidaksesuaian (*mismatch*) antara aliran adonan dan kemampuan mekanisme pemotongan. Akibatnya, adonan yang keluar dari nosel tidak dapat dipotong secara sempurna menjadi bakso individual sehingga jumlah bakso yang berhasil dicetak justru menurun meskipun *mass flow rate* adonan meningkat. Interpretasi tersebut konsisten dengan hasil *Two-Way ANOVA* yang menunjukkan bahwa interaksi antara *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* berpengaruh signifikan terhadap kapasitas cetak ($p\text{-value} = 0,027$). Meskipun demikian, nilai $F\text{-value}$ interaksi (3,25) masih lebih kecil dibandingkan $F\text{-value}$ *radial clearance* (53,98) maupun kecepatan putar *screw conveyor* (18,74), sehingga *radial clearance* tetap menjadi faktor yang memberikan pengaruh paling dominan terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso.

3.6 Optimasi Parameter Menggunakan *Response Optimizer*

Setelah diketahui pengaruh masing-masing faktor terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso, langkah selanjutnya adalah menentukan kombinasi parameter yang menghasilkan respons optimum. Optimasi dilakukan

menggunakan fitur *Response Optimizer* pada perangkat lunak Minitab dengan tujuan memaksimalkan kapasitas cetak. Hasil optimasi parameter ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. *Response Optimizer*

Hasil optimasi menunjukkan perbedaan dengan hasil eksperimen, di mana kapasitas cetak tertinggi sebesar 75,25 pcs diperoleh pada kecepatan putar 135 rpm dan *radial clearance* 5 mm. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa nilai respons maksimum hasil eksperimen merupakan nilai tertinggi yang diperoleh pada satu kombinasi perlakuan tertentu, sedangkan *Response Optimizer* menentukan kondisi optimum berdasarkan kecenderungan hubungan yang dibentuk oleh seluruh data percobaan melalui model regresi. Pada penelitian ini, model regresi menunjukkan bahwa secara umum peningkatan kecepatan putar *screw conveyor* cenderung menurunkan kapasitas cetak, sedangkan peningkatan *radial clearance* memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kapasitas cetak. Oleh karena itu, meskipun kombinasi *radial clearance* 5 mm dan kecepatan putar 135 rpm menghasilkan nilai kapasitas cetak tertinggi pada pengujian aktual, kecenderungan keseluruhan data menunjukkan bahwa kombinasi *radial clearance* 5 mm dan kecepatan putar 124 rpm memberikan prediksi respons yang lebih optimum dengan tingkat *desirability* yang lebih tinggi. Dengan demikian, hasil optimasi tidak dimaksudkan untuk menggantikan hasil eksperimen, melainkan memberikan rekomendasi kondisi operasi yang paling optimum berdasarkan pola hubungan seluruh variabel yang direpresentasikan oleh model statistik.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *radial clearance* dan kecepatan putar *screw conveyor* berpengaruh signifikan terhadap kapasitas cetak mesin pencetak bakso, baik secara parsial maupun melalui interaksi kedua faktor. Berdasarkan hasil *Two-Way ANOVA*, *radial clearance* merupakan faktor yang memberikan pengaruh paling dominan terhadap kapasitas cetak. Hasil *interaction plot* menunjukkan bahwa respons kapasitas cetak terhadap perubahan kecepatan putar bergantung pada nilai *radial clearance*, sehingga penentuan kondisi operasi optimum perlu mempertimbangkan kombinasi kedua parameter secara bersamaan. Melalui pendekatan *Response Optimizer*, diperoleh kombinasi parameter operasi optimum pada *radial clearance* 5 mm dan kecepatan putar *screw conveyor* 124 rpm dengan prediksi kapasitas cetak sebesar 74,93 pcs serta nilai *desirability* sebesar 0,9022. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan kapasitas cetak tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya kecepatan putar *screw conveyor*, tetapi juga oleh kesesuaian antara parameter geometrik dan parameter operasional yang mampu menjaga kestabilan proses ekstrusi dan mekanisme pemotongan adonan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam pengembangan desain dan penentuan kondisi operasi mesin pencetak bakso untuk meningkatkan efisiensi serta produktivitas proses produksi. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi pengaruh parameter lain, seperti geometri *screw conveyor*, karakteristik adonan, dan sistem pemotongan, sehingga model optimasi kapasitas cetak yang diperoleh menjadi lebih komprehensif dan memiliki tingkat penerapan yang lebih luas pada berbagai kondisi operasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Rata-Rata Konsumsi per Kapita Seminggu Beberapa Macam Bahan Makanan Penting, 2007–2024," Badan Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/OTUwIzE=/rata-rata-konsumsi-per-kapita-seminggu-beberapa-macam-bahan-makanan-penting-2007-2024.html>. Accessed: Jul. 1, 2026.
- [2] S. D. N. Rosady, F. B. T. A. . Jahfal, A. P. Rohim, T. Machfuroh, Z. Amalia, and F. A. N. . Aini, "Effect

- Of *Screw Conveyor* Speed And Cutter Diameter On The Production Performance Of Meatball Forming Machine”, LOGIC, vol. 26, no. 1, pp. 17–28, Mar. 2026.
- [3] I. M. Arsana, I. W. Susila, M. Cholik, and N. S. Drastiawati, “Increasing productivity of meatball SMEs through the application of appropriate technology for meatball forming machines,” *Jurnal Pemberdayaan Publikasi Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 2, pp. 129–134, Jan. 2022, doi: 10.12928/jpm.v5i2.3637.
 - [4] K. S. Arifin, D. Kristanto, A. Prihartanto, and A. S. Praja, “Teknologi Otomasi dalam Industri Makanan-Studi Kasus: Optimisasi Mesin Pencetak Bakso dengan Sistem Potong Berbentuk Sendok,” *KONSTELASI Konvergensi Teknologi Dan Sistem Informasi*, vol. 5, no. 1, Jun. 2025, doi: 10.24002/konstelasi.v5i1.11398.
 - [5] D. Minglani, A. Sharma, H. Pandey, R. Dayal, J. B. Joshi, and S. Subramaniam, “A review of granular flow in *screw* feeders and *conveyors*,” *Powder Technology*, vol. 366, pp. 369–381, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.powtec.2020.02.066.
 - [6] B. Bolat, B. A. Temiztaş, and E. Sezer, “Investigation of the effects of *radial clearance* on the *screw conveyor* performances for different inclinations,” *Particuology*, vol. 92, pp. 72–80, May 2024, doi: 10.1016/j.partic.2024.04.015.
 - [7] M. Li, J. Luo, B. Wu, and J. Hua, “Experimental research of the mechanism and particle flow in *screw* conveyer,” *International Journal of Heat and Technology*, vol. 36, no. 1, pp. 173–181, Mar. 2018, doi: 10.18280/ijht.360123.
 - [8] A. P. Rohim and S. D. N. Rosady, “Pengaruh Kecepatan *Screw Conveyor* dan Kecepatan Pisau Pemotong terhadap Massa Bakso pada Mesin Pencetak Bakso,” *Venus Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 3, no. 4, pp. 96–112, Aug. 2025, doi: 10.61132/venus.v3i4.1022.
 - [9] S. Wang, X. Zeng, Y. Ge, Z. Zhu, K. Luo, and J. Fan, “Effect of blade configuration and *screw* pitch on granular flow and heat transfer in industrial-scale *screw conveyors*: A DEM study,” *Powder Technology*, vol. 473, p. 122165, Jan. 2026, doi: 10.1016/j.powtec.2026.122165.
 - [10] “Design and analysis of experiments,” *Technometrics*, vol. 48, no. 1, p. 158, Feb. 2006, doi: 10.1198/tech.2006.s372.
 - [11] L. T. Túng, “Study on the *radial clearance* of the *screw conveyor* for transporting cement,” *Science & Technology Development Journal - Engineering and Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 153–162, Jan. 2020, doi: 10.32508/stdjet.v2i3.577.
 - [12] J. Yuan, M. Li, F. Ye, and Z. Zhou, “Dynamic characteristic analysis of vertical *screw conveyor* in variable *screw* section condition,” *Science Progress*, vol. 103, no. 3, p. 36850420951056, Jul. 2020, doi: 10.1177/0036850420951056.
 - [13] R. R. Wilcox, “Two-way ANOVA: Inferences about interactions based on robust measures of effect size,” *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, vol. 75, no. 1, pp. 46–58, May 2021, doi: 10.1111/bmsp.12244.
 - [14] P. Mishra, C. Pandey, U. Singh, A. Gupta, C. Sahu, and A. Keshri, “Descriptive statistics and normality tests for statistical data,” *Annals of Cardiac Anaesthesia*, vol. 22, no. 1, p. 67, Jan. 2019, doi: 10.4103/aca.aca_157_18.
 - [15] Y. Zhou, Y. Zhu, and W. K. Wong, “Statistical tests for homogeneity of variance for clinical trials and recommendations,” *Contemporary Clinical Trials Communications*, vol. 33, p. 101119, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.conctc.2023.101119.
 - [16] S. Garofalo, S. Giovagnoli, M. Orsoni, F. Starita, and M. Benassi, “Interaction effect: Are you doing the right thing?,” *PLoS ONE*, vol. 17, no. 7, p. e0271668, Jul. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0271668.
 - [17] D. Lee, I. Jeong, and K. Kim, “A desirability function method for optimizing mean and variability of multiple responses using a posterior preference articulation approach,” *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 34, no. 3, pp. 360–376, Jan. 2018, doi: 10.1002/qre.2258.
 - [18] P. Chen et al., “Modeling the discharge rate of a *screw conveyor* considering *Hopper–Conveyor* coupling parameters,” *Agriculture*, vol. 14, no. 7, p. 1203, Jul. 2024, doi: 10.3390/agriculture14071203.