

# Optimasi Proses Ekstrusi *Texturized Vegetable Protein* di PT XYZ

## *Extrusion Process Optimization of Texturized Vegetable Protein at PT XYZ*

Dede Yoga Ahmadi<sup>1)\*</sup>, Budi Nutama<sup>2)</sup>, dan Tjahja Muhandri<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknologi Pangan, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Bogor

<sup>2)</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor

**Abstract.** *Texturized vegetable protein (TVP) is one of the meat analogue products made by modifying the structure of vegetable protein come to be meat-like texture. Several advantages could be obtained by consuming meat analogue. It could reduce the risk of disease and could be consumed by someone who could not consume meat, either because of health problems or beliefs meat consumption will increase continually inline with increasing population, economic level, and public awareness to nutrition. The TVP using was increased as a protein source alternative. The TVP demand of PT. XYZ increase continued to, but the number of production machines was limited. The companies need to optimize their available machines to meet their demand. This research aimed to optimize the production capacity of TVP. Defatted soy flour was used as the source of protein. Several parameter used in this research were flour flow capacity, water flow capacity, screw rotation speed, and extruder temperature. The response parameters used were water absorption, water content, color, bulk density, and grain shape. The data was collected by 21 runs that is repeated twice for each run. The optimization process was carried out using Design Expert 10 (DX-10) through Response Surface Method (RSM). The optimum of process conditions combination of the TVP extrusion were: flour flow capacity 225kg/hour; water flow capacity 35.54 Hz; extruder temperature 130.70°C; and the screw rotation speed 375.18 rpm. The verification result showed that the value of each response was within the Confident Interval (CI) range.*

**Keywords:** *extruder, optimization, RSM, TVP*

**Abstrak.** *Texturized vegetable protein (TVP) merupakan daging tiruan yang struktur protein nabatinya sudah termodifikasi sehingga memiliki tekstur seperti daging. Beberapa keuntungan dapat diperoleh dengan mengonsumsi daging tiruan, diantaranya dapat mengurangi risiko penyakit dan dapat dikonsumsi oleh seseorang yang tidak dapat mengonsumsi daging, baik karena alasan kesehatan ataupun kepercayaan. Kebutuhan masyarakat akan protein akan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, taraf ekonomi, dan kesadaran gizi masyarakat. Penggunaan TVP meningkat sebagai alternatif sumber protein. Volume permintaan TVP PT. XYZ terus meningkat, namun jumlah mesin produksi terbatas. Perusahaan perlu mengoptimalkan mesin yang ada agar permintaan TVP dapat terpenuhi. Penelitian memiliki tujuan untuk mengoptimalkan kapasitas produksi TVP. Faktor yang digunakan untuk penelitian ini adalah kapasitas aliran tepung, kapasitas aliran air, kecepatan putaran ulir, dan suhu ekstruder. Parameter respon yang digunakan adalah daya serap air, kadar air, warna, *bulk density*, dan bentuk butiran. Percobaan dilakukan sebanyak 21 *run* dan diulang dua kali di setiap *run*. Proses optimasi dilakukan menggunakan metode respon permukaan/*response surface method* (RSM) pada program *Design Expert-10* (DX-10). Kombinasi kondisi optimum yang diperoleh adalah kapasitas aliran tepung sebesar 225 kg/jam; kapasitas aliran air 35.54 Hz; suhu ekstruder 130.70°C; dan kecepatan putaran ulir sebesar 375.18 rpm. Pemodelan *quadratic* menggunakan program DX-10 dapat diaplikasikan di dalam menentukan proses produksi TVP yang optimum PT XYZ sehingga menghasilkan produk TVP dengan kualitas dan parameter yang paling optimum.*

**Kata kunci:** ekstruder, optimasi, RSM, TVP

**Aplikasi Praktis.** Optimasi dengan metode RSM yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan pada industri sejenis maupun industri lainnya. Variabel proses dan respon yang digunakan dalam penelitian ini perlu disesuaikan dengan keadaan di dalam industri yang akan menggunakan metode yang sama. Apabila mesin yang digunakan menggunakan mesin yang lebih besar atau lebih kecil, maka kemungkinan besar perlu adanya penyesuaian pada variabel kapasitas aliran tepung dan kapasitas aliran air. Respon yang digunakan juga perlu menyesuaikan dengan standar mutu yang ditetapkan oleh industri tersebut.

## PENDAHULUAN

*Texturized vegetable protein* (TVP) merupakan salah satu produk daging tiruan yang dibuat dengan memodifikasi stuktur protein nabati sehingga teksturnya menyerupai daging. Kelebihan yang dapat diperoleh dari daging tiruan adalah dapat dikonsumsi oleh seseorang yang tidak dapat mengonsumsi daging, baik karena masalah kesehatan atau kepercayaan (Samard *et al.* 2019). Tubuh membutuhkan nutrisi salah satunya adalah protein. Kebutuhan masyarakat dalam negeri terhadap daging akan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, taraf ekonomi, dan kesadaran masyarakat akan gizi (Priyanto *et al.* 2015). *Texturized vegetable protein* telah mengalami peningkatan dalam penggunaannya sebagai pengganti sumber protein (Hidayat *et al.* 2018). Pembuatan TVP dengan proses pemasakan ekstrusi telah digunakan sejak tahun 1960an (Osen 2017) dan menggunakan tepung gandum sebagai bahan bakunya.

Proses pemasakan ekstrusi merupakan salah satu proses *high temperature short time* (HTST) (González *et al.* 2013). Proses ekstrusi adalah proses yang sangat fleksibel, sehingga dapat digunakan pada berbagai macam produk pangan (Day dan Swanson 2013). Ekstruder telah digunakan luas di dunia untuk memproduksi makanan ringan, sereal, makanan bayi, dan pasta (Sobowale *et al.* 2016). Ekstruder dibedakan menjadi dua tipe yang berbeda yaitu ekstruder ulir tunggal dan ekstruder ulir ganda (Sibarani *et al.* 2018). Samard *et al.* (2019) melakukan penelitian pada TVP menggunakan ekstruder ulir ganda dengan menambahkan gluten pada formulanya. Penelitian optimasi ini menggunakan ekstruder ulir ganda yang memiliki rasio panjang terhadap diameter sebesar 24. Diameter ulir yang digunakan adalah 65mm. Sumber protein yang digunakan untuk menghasilkan TVP pada penelitian ini adalah *defatted soy flour*. *Defatted soy flour* merupakan bahan baku utama yang digunakan oleh PT XYZ. Proses ekstrusi yang optimum pada produk mi sorgum menggunakan suhu ekstruder sebesar 85°C dan kecepatan ulir sebesar 20 Hz (Muhandri *et al.* 2013). Kondisi optimum yang diperoleh pada penelitian Chakraborty *et al.* (2014) adalah perbandingan tepung dan air sebesar 21.3%, suhu ekstruder sebesar 115°C, dan kecepatan putaran ulir sebesar 137 rpm.

Metode respon permukaan adalah metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai optimum suatu formula (Kusuma *et al.* 2019). Keunggulan dari *response surface method* (RSM) adalah percobaan dapat dilakukan dengan jumlah yang sedikit dan dapat menghemat waktu penelitian (Kusumaningrum *et al.* 2019). Ruang lingkup dan batasan kondisi untuk model yang dihasilkan akan tetap berlaku meskipun RSM telah banyak digunakan secara luas (Cheng dan Hansen 2015). Penggunaan RSM pada penelitian telah banyak dilaporkan. RSM digunakan pada optimasi kondisi proses pengolahan *alkali treated cottonii* (ATC) (Nurmiah *et al.* 2013), optimasi pada proses penggorengan tumpi-

tumpi dari ikan bandeng (Syahrul *et al.* 2017), dan optimasi proses pengolahan bawang merah iris pada larutan garam (Ratnaningsih *et al.* 2018).

PT. XYZ adalah salah satu perusahaan yang memproduksi TVP. Permintaan produk TVP yang meningkat, mendorong PT. XYZ untuk meningkatkan performa produksi. PT. XYZ harus mengoptimalkan *line* produksi yang tersedia agar dapat memenuhi permintaan pelanggan. Beberapa *line* produksi belum dilakukan proses optimasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formula dan proses yang optimum, yang mampu menghasilkan produk sesuai dengan target perusahaan.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Penelitian ini menggunakan sampel TVP yang diproduksi langsung oleh PT. XYZ. Bahan baku TVP menggunakan *untoasted defatted soy flour* milik PT XYZ. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstruder ulir ganda dengan L/D 24, oven (Mammert, Jerman), *Stainless Steel Mug* 500 mL, Spektrofotometer warna (Gretagmacbeth Color I5, Amerika Serikat) dan Timbangan analitik 3 kg (AND GF400, Jepang).

### Penentuan variabel proses

Penelitian dimulai dengan menentukan faktor proses yang dapat memengaruhi mutu TVP dan respon produk untuk menentukan mutu TVP yang dihasilkan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapasitas aliran tepung, kapasitas aliran air, suhu ekstruder dan kecepatan putaran ulir. Variabel proses ini dipilih karena variabel tersebut merupakan *setting parameter* yang terpasang di mesin ekstruder PT. XYZ dan digunakan untuk menjalankan mesin saat produksi sedang berlangsung. Masing-masing faktor memiliki rentang nilai seperti yang terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Variabel yang digunakan untuk proses optimasi

Faktor	Nilai	Nilai	Satuan
	Maksimum	Minimum	
Kapasitas aliran tepung	210	170	kg/jam
Kapasitas aliran air	30	20	Hz
Suhu ekstruder	160	140	°C
Kecepatan putaran ulir	410	370	rpm

### Analisis *bulk density* (Isik 2007)

Respon *bulk density* diukur dengan cara membandingkan bobot TVP yang dapat memenuhi wadah *stainless steel* mug 500 mL terhadap volume wadah yang digunakan.

### Analisis kadar air (Nugroho dan Murtini 2017)

Kadar air pelet diukur dengan menggunakan metode oven 105°C selama 6 jam untuk mengetahui kadar air bahan. Kadar air dihitung dengan menghitung selisih berat pellet basah dan kering yang dibagi dengan berat pellet basah dikalikan 100%.

### Analisis warna (Singh dan Muthukumarappan 2014)

Warna pellet diukur menggunakan spektrofotometer warna yang menghasilkan tiga notasi warna yaitu L, a, dan b. Hasil dari pengukuran dapat terlihat langsung pada monitor mesin. Nilai  $\Delta E$  dihitung dengan persamaan. Warna standar diperoleh dari standar produk yang digunakan oleh inspektor QC PT. XYZ.

$$\Delta E = \sqrt{(L-L^*)^2 + (a-a^*)^2 + (b-b^*)^2} \dots\dots\dots (1)$$

dimana,  $\Delta E$  = perbedaan warna total; L, a, b = komponen warna sampel;  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  = komponen warna sampel acuan/standar.

### Analisis daya serap air (Wang et al. 2017)

Daya serap air diukur dengan cara membandingkan berat TVP basah dengan berat kering TVP sebelum perendaman.

### Analisis bentuk standar (Ulfa et al. 2014)

Respon bentuk diperoleh dengan cara membandingkan secara visual dengan standar pelet yang digunakan inspektor QC PT. XYZ. Persentase bentuk dapat dihitung dengan membandingkan jumlah pelet yang sesuai standar dengan jumlah sampel total dikalikan 100%.

### Penentuan kondisi optimum dan verifikasi (Prabudi et al. 2018)

Data diambil dengan cara dua kali pengulangan (*duplo*). Optimasi menggunakan bantuan aplikasi *Design Expert-10* (DX-10). Metode optimasi menggunakan metode *Central Composite Design* (CCD). Kondisi proses dan respon untuk menetapkan kondisi optimum disajikan pada Tabel 2. Kondisi optimum terpilih diterapkan di perusahaan untuk mendapatkan data verifikasi. Kombinasi optimum yang memiliki nilai *desirability* tertinggi diterapkan pada mesin ekstruder. Data yang diperoleh diverifikasi untuk dimasukkan dalam interval 95% CI *low* dan 95% CI *high* dari program DX-10.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik produk

Produk TVP yang digunakan untuk penelitian ini berbentuk butiran pipih dengan ukuran 6-10 mm. Produk TVP berwarna coklat dengan aroma khas kacang kedelai. Sampel produk TVP tersebut diambil langsung saat proses produksi sedang berlangsung. Produk tersebut digunakan sebagai sampel untuk memperoleh data penelitian (Tabel 3).

**Tabel 2.** Kondisi optimum proses ekstrusi TVP

Faktor/Respon	Satuan	Goal	Batas Bawah	Batas Atas	Kepentingan
Bulk density	g/mL	In range	0.27	0.32	3
Kadar air	%	In range	0.17	0.25	3
Warna*		In range	0.00	2.00	3
Daya serap air	g/g	In range	3.00	3.40	3
Bentuk standar	%	Maximize	80.00	90.00	5

Keterangan: \*Nilai yang tercantum tersebut adalah nilai perbedaan warna total ( $\Delta E$ ) dari hasil perhitungan

**Tabel 3.** Hasil analisis produk TVP

Parameter	Satuan	Nilai
Bulk density	g/mL	0.281
Kadar air	%	0.226
Warna ( $\Delta E$ )		1.827
Daya serap air	g/g	3.152
Bentuk standar	%	81.60

Jumlah percobaan yang dilakukan dapat diperoleh setelah data variabel dimasukkan ke dalam program DX-10. Hasil simulasi program menghasilkan desain percobaan sebanyak 21 *run*. Pengambilan sampel dilakukan pada setiap *run* dengan cara *duplo*. Titik tengah dari *cube* rancangan mendapat pengulangan sebanyak 4 kali. Masing-masing nilai variabel titik tengah tersebut adalah kapasitas aliran tepung sebesar 190 kg/jam, kapasitas aliran air sebesar 25 Hz, suhu ekstruder sebesar 150°C dan kecepatan putaran ulir sebesar 390 rpm. Titik tengah tersebut berada pada *run* ke-3, 8, 18 dan 19. Titik ekstrem di luar *cube* dilakukan sebanyak 8 kali yaitu pada *run* ke 6, 7, 10, 12, 14, 15, 16 dan 17. Hasil rancangan penelitian dan data percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.

### Respon bulk density

Hasil analisis respon *bulk density* dapat dilihat pada Gambar 1. Model yang digunakan untuk memprediksi respon *bulk density* TVP adalah model *quadratic*. Hasil model matematik dari proses simulasi respon *bulk density* adalah sebagai berikut:

$$\text{Bulk density} = 0.190 - 0.024A + 0.038B - 4.454 \times 10^{-3}C - 6.810 \times 10^{-3}D - 0.014AB + 0.011AC - 6.416 \times 10^{-3}AD - 5.745 \times 10^{-3}BC - 2.799 \times 10^{-3}BD + 2.670 \times 10^{-3}CD + 5.931 \times 10^{-3}A^2 + 0.013B^2 - 1.000 \times 10^{-3}C^2 + 9.980 \times 10^{-4}D^2 \dots\dots\dots (2)$$

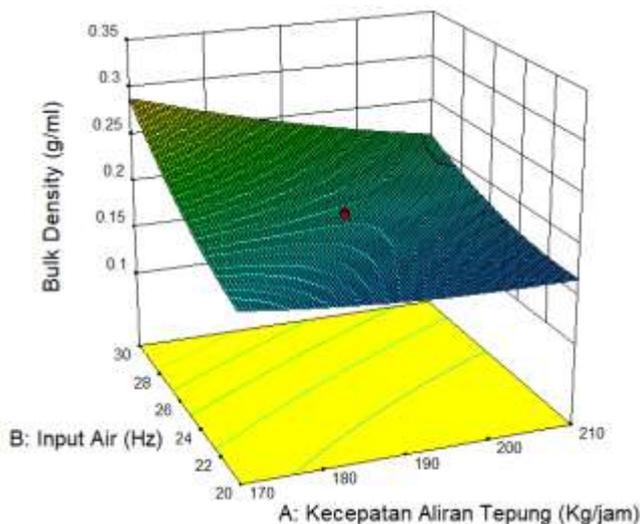
dimana, A = kapasitas aliran tepung (kg/jam); B = kapasitas aliran air (Hz); C = suhu ekstruder (°C); D = kecepatan putaran ulir (rpm).

Pada model *bulk density* terlihat bahwa variabel kapasitas aliran tepung, kecepatan putaran ulir dan suhu ekstruder berpengaruh negatif terhadap *bulk density*, sedangkan variabel kapasitas aliran air berpengaruh positif. Model respon *bulk density* tersebut menghasilkan nilai *p* sebesar  $<0.0001$  pada hasil ANOVA, sehingga model matematik tersebut berpengaruh signifikan. Nilai *Lack of fit p-value* yang dihasilkan sebesar 0.1368. Nilai tersebut lebih besar 0.05 sehingga tidak berpengaruh signifikan. Nilai *R-squared* dari model matematis ini adalah sebesar 0.9952 sehingga menunjukkan hasil yang *acceptable* (Hair et al. 2014).

**Tabel 4.** Rancangan dan hasil pengambilan data penelitian

Std	Run	F1	F2	F3	F4	Bulk Density (g/mL)	Kadar Air (%)	Del E	Daya Serap Air (g/g)	Bentuk Standar (%)
8	1	170	20	140	370	0.198	0.162	5.051	3.722	85.003
1	2	210	30	160	370	0.224	0.174	1.809	3.355	86.808
17	3	190	25	150	390	0.199	0.169	2.293	3.664	80.653
15	4	190	25	150	350	0.213	0.168	2.277	3.453	85.395
4	5	170	30	140	410	0.306	0.230	2.195	2.541	84.971
9	6	150	25	150	390	0.267	0.223	2.588	2.987	83.764
13	7	190	25	130	390	0.195	0.164	1.683	3.905	80.872
19	8	190	25	150	390	0.198	0.173	3.064	3.937	84.252
2	9	210	30	140	370	0.233	0.190	0.949	3.224	90.058
10	10	230	25	150	390	0.172	0.149	1.826	4.057	64.269
5	11	210	20	140	410	0.143	0.120	3.638	4.435	67.872
16	12	190	25	150	430	0.186	0.172	3.056	3.938	74.309
7	13	170	30	160	410	0.264	0.238	1.641	2.836	87.787
12	14	190	35	150	390	0.323	0.257	2.339	2.227	88.394
6	15	170	20	160	370	0.168	0.149	3.300	4.238	79.820
11	16	190	15	150	390	0.173	0.143	3.305	4.137	82.673
14	17	190	25	170	390	0.188	0.163	0.553	3.742	73.977
21	18	190	25	150	390	0.196	0.172	1.951	3.833	86.459
20	19	190	25	150	390	0.191	0.176	1.155	3.825	84.005
3	20	210	20	160	410	0.168	0.134	2.768	3.999	72.030
18	21	190	25	150	390	0.189	0.161	2.042	3.711	83.214

Keterangan: F1= Kapasitas aliran tepung (kg/jam); F2= Kapasitas aliran air (Hz); F3= Suhu ekstruder (°C); F4= Kecepatan putaran ulir (rpm)



**Gambar 1.** Grafik permukaan respon *bulk density*

**Respon kadar air**

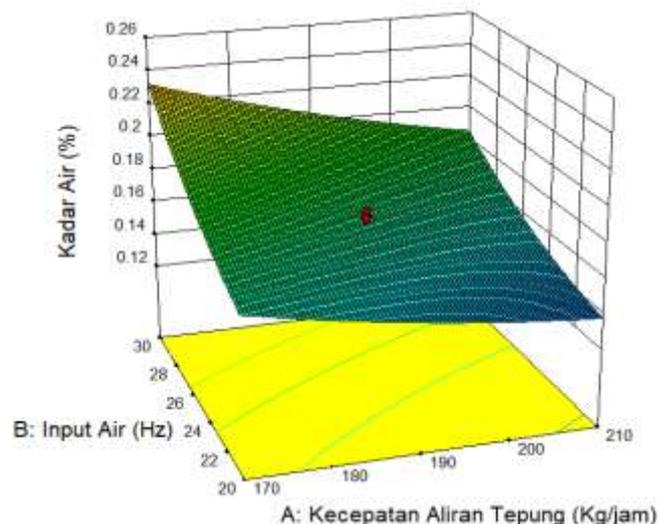
Hasil analisis respon kadar air dapat dilihat pada Gambar 2. Model yang digunakan untuk memprediksi respon kadar air TVP adalah model *quadratic*. Model matematik yang menggambarkan respon kadar air adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar air} = 0.170 - 0.019A + 0.029B - 6.696 \times 10^{-4}C + 1.182 \times 10^{-3}D - 4.711 \times 10^{-3}AB + 4.211 \times 10^{-4}AC - 4.665 \times 10^{-3}AD - 1.253 \times 10^{-3}BC + 1.509 \times 10^{-3}BD + 6.389 \times 10^{-3}CD + 3.331 \times 10^{-3}A^2 + 6.760 \times 10^{-3}B^2 - 2.353 \times 10^{-3}C^2 - 7.390 \times 10^{-3}D^2 \dots\dots\dots (3)$$

dimana, A = kapasitas aliran tepung (kg/jam); B = kapasitas aliran air (Hz); C = suhu ekstruder (°C); D = kecepatan putaran ulir (rpm).

Pada model kadar air terlihat bahwa variabel kapasitas aliran tepung dan suhu ekstruder berpengaruh nega-

tif terhadap kadar air TVP, sedangkan kapasitas aliran air dan kecepatan putaran ulir berpengaruh positif terhadap kadar air TVP. Model respon kadar air menghasilkan nilai *p* sebesar <0.0001 pada hasil ANOVA, sehingga model matematik tersebut berpengaruh signifikan. Model respon kadar air menghasilkan nilai *lack of fit p-value* sebesar 0.2909. Nilai tersebut lebih besar 0.05 sehingga tidak berpengaruh signifikan. Nilai *R-squared* dari model matematis ini adalah sebesar 0.9899 sehingga menunjukkan hasil yang *acceptable* (Hair *et al.* 2014).



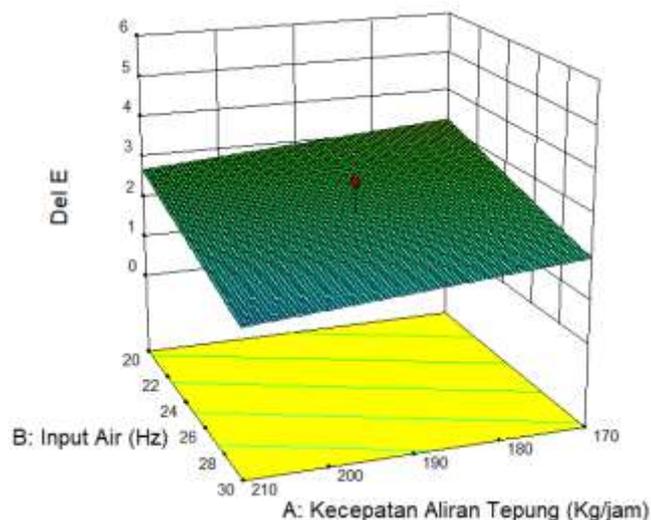
**Gambar 2.** Grafik permukaan respon kadar air

**Respon warna (ΔE)**

Hasil analisis respon warna dapat dilihat pada Gambar 3. Model yang digunakan untuk memprediksi respon warna (ΔE) TVP adalah model *linear*. Model matematik yang menggambarkan respon warna adalah sebagai berikut:

$$\text{Warna} = 2.360 - 0.280A - 0.630B - 0.290C + 0.043D \dots\dots\dots (4)$$

dimana, A= kapasitas aliran tepung (kg/jam); B= kapasitas aliran air (Hz); C= suhu ekstruder (°C); D= kecepatan putaran ulir (rpm).



**Gambar 3.** Grafik permukaan respon warna ( $\Delta E$ )

Pada model warna terlihat bahwa variabel kapasitas aliran air, kapasitas aliran tepung, dan suhu ekstruder berpengaruh negatif terhadap warna, sedangkan kecepatan putaran ulir berpengaruh positif terhadap warna. Model respon warna menghasilkan nilai  $p$  sebesar 0.0434 pada hasil ANOVA, sehingga model matematik tersebut berpengaruh signifikan. Model respon warna menghasilkan nilai *lack of fit p-value* sebesar 0.3254. Nilai tersebut lebih besar 0.05 sehingga tidak berpengaruh signifikan. Nilai *R-squared* dari model matematis ini adalah sebesar 0.4406 sehingga menunjukkan hasil dalam level *moderate* (Hair *et al.* 2014).

### Respon daya serap air

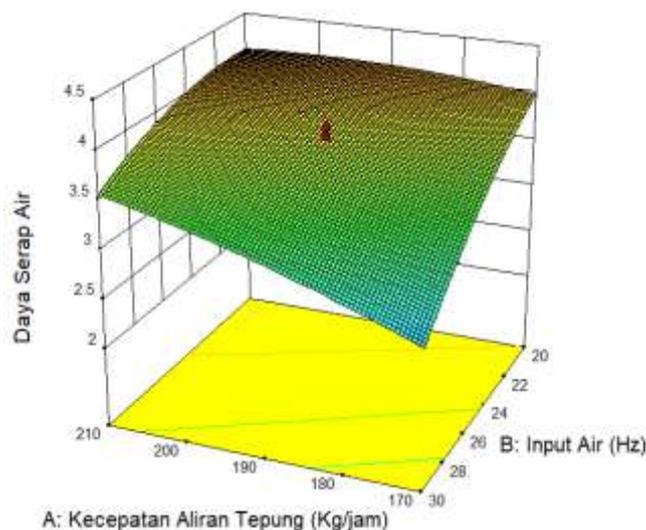
Hasil analisis respon daya serap air dapat dilihat pada Gambar 4. Model yang digunakan untuk memprediksi respon daya serap air TVP adalah model *quadratic*. Model matematik dari proses simulasi respon daya serap air adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya Serap Air} = 0.379 + 0.270A - 0.480B + 0.011C + 0.120D + 0.210AB - 0.140AC + 0.077AD + 0.043BC + 0.058BD - 0.099CD - 0.069A^2 - 0.150B^2 + 5.942 \times 10^{-3}C^2 - 0.026D^2 \dots\dots\dots (5)$$

dimana, A= kapasitas aliran tepung (kg/jam); B= kapasitas aliran air (Hz); C= suhu ekstruder (°C); D = kecepatan putaran ulir (rpm).

Pada model daya serap air terlihat bahwa variabel kapasitas aliran tepung, suhu ekstruder, dan kecepatan ulir berpengaruh positif terhadap daya serap air, sedang-

kan kapasitas aliran air berpengaruh negatif terhadap daya serap air. Hasil ANOVA menunjukkan nilai  $p$  sebesar 0.0002 sehingga model matematik tersebut berpengaruh signifikan. *Lack of fit p-value* yang dihasilkan dari model matematis tersebut adalah sebesar 0.2644. Nilai tersebut lebih besar 0.05 sehingga tidak berpengaruh signifikan. Nilai *R-squared* dari model matematis ini adalah sebesar 0.9859 sehingga menunjukkan hasil yang *acceptable* (Hair *et al.* 2014).



**Gambar 4.** Grafik permukaan respon daya serap air

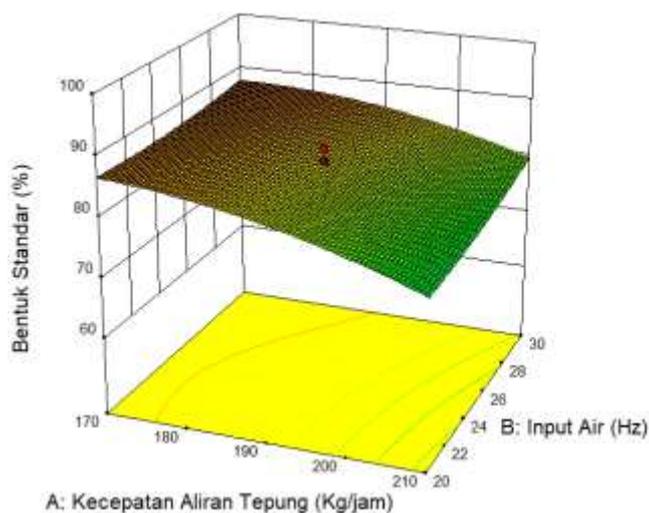
### Respon bentuk standar

Hasil analisis respon bentuk standar dapat dilihat pada Gambar 5. Model yang digunakan untuk memprediksi respon bentuk standar TVP adalah model *quadratic*. Model matematik yang menggambarkan respon bentuk standar adalah sebagai berikut:

$$\text{Bentuk standar} = 83.72 - 4.87A + 1.43B - 0.95C - 2.77D + 0.86AB + 0.41AC - 4.18AD + 0.074BC - 2.27BD + 1.93CD - 2.10A^2 + 0.78B^2 - 1.25C^2 - 0.64D^2 \dots\dots\dots (6)$$

dimana, A= kapasitas aliran tepung (kg/jam); B= kapasitas aliran air (Hz); C= suhu ekstruder (°C); D= kecepatan putaran ulir (rpm).

Pada model bentuk standar terlihat bahwa variabel kapasitas aliran tepung, suhu ekstruder, dan kecepatan putaran ulir berpengaruh negatif terhadap bentuk standar TVP, sedangkan kapasitas aliran air berpengaruh positif terhadap bentuk standar TVP. Model respon bentuk standar menghasilkan nilai  $p$  sebesar 0.0115 pada hasil ANOVA, sehingga model matematik tersebut berpengaruh signifikan. Model respon bentuk standar menghasilkan nilai *lack of fit p-value* sebesar 0.1061. Nilai tersebut lebih besar 0.05 sehingga tidak berpengaruh signifikan. Nilai *R-squared* dari model matematis ini adalah sebesar 0.9439 sehingga menunjukkan hasil dalam level *acceptable* (Hair *et al.* 2014).



Gambar 5. Grafik permukaan respon bentuk standar

**Proses ekstrusi optimum**

Proses optimasi dapat dilakukan apabila model matematik dari masing-masing respon telah diperoleh. Optimasi dilakukan agar perusahaan mendapatkan hasil yang paling sesuai dengan mutu yang ditetapkan (Prabudi *et al.* 2018). Hasil simulasi proses optimasi program DX-10 ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data hasil simulasi proses optimasi program DX-10

Kombinasi	1*	2	3	4
<b>Faktor</b>				
Kapasitas aliran tepung	225.00	225.00	221.90	225.00
Kapasitas aliran air	35.54	35.55	35.26	35.63
Suhu ekstruder	130.70	128.91	133.90	127.62
Kecepatan putaran ulir	375.18	374.69	378.04	374.80
<b>Respon</b>				
Bulk density	0.27	0.27	0.27	0.27
Kadar air	0.23	0.23	0.23	0.23
Warna (Δe)	1.05	1.10	1.04	1.12
Daya serap air	3.00	3.00	3.00	3.00
Bentuk standar	87.40	87.29	87.03	86.79
<b>Desirability</b>	0.73	0.71	0.67	0.67

Keterangan: \*terpilih

**Hasil verifikasi kombinasi optimum terpilih**

Verifikasi dilakukan sebanyak 2 kali ulangan secara *duplo* sesuai dengan hasil simulasi program DX-10. Nilai verifikasi pada setiap faktor berada di dalam interval 95%CI *low* dan 95%CI *High*. Hal tersebut menjadi dapat bukti bahwa kombinasi yang diprediksi oleh model matematik sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Hasil verifikasi kombinasi optimum terpilih dapat dilihat pada Tabel 6. Program DX-10 melakukan perhitungan untuk memprediksi nilai batas atas (95%CI *High*) dan batas bawah (95%CI *Low*) yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan hasil verifikasi tersebut valid. Apabila nilai verifikasi berada di antara batas atas dan bawah, maka kombinasi variabel optimum yang digunakan adalah valid. Namun jika nilai verifikasi berada di luar dari batas atas dan bawah, maka kombinasi variabel optimum yang digunakan tidak valid.

**Pembahasan umum**

Proses ekstrusi sangat dipengaruhi oleh energi yang dihasilkan oleh gesekan antara bahan baku dengan ulir yang berputar dengan cepat. Gesekan tersebut mengakibatkan denaturasi struktur protein di dalam tepung kedelai tanpa lemak. Denaturasi struktur protein mengakibatkan viskositas bahan baku di dalam ekstruder berubah dan membentuk struktur yang baru. Air yang ada di dalam bahan baku akan menjadi uap dan mende-sak keluar dari dalam struktur baru sehingga membentuk rongga-rongga kosong (Ye *et al.* 2017).

Tabel 6. Hasil verifikasi kombinasi optimum terpilih

Respon	Prediksi	Verifikasi	95%CI low	95%CI high
Bulk density	0.270	0.265	0.231	0.309
Kadar air	0.228	0.225	0.185	0.271
Warna (ΔE)	1.049	1.904	0.000	2.500
Daya serap air	3.000	2.852	2.169	3.831
Bentuk standar	87.40	84.62	65.19	100.00

Kapasitas aliran tepung yang semakin besar akan meningkatkan gesekan yang terjadi di dalam ekstruder. Struktur baru yang terbentuk akan semakin banyak dan menyebabkan uap air yang terjebak semakin sulit untuk keluar. Gelembung yang terbentuk akan semakin besar sehingga *bulk density* TVP akan semakin berkurang. Kadar air dalam TVP akan semakin berkurang karena jumlah tepung yang semakin banyak. Daya serap air akan semakin bertambah karena jumlah gelembung yang semakin banyak. Namun bentuk standar semakin berkurang karena ukuran TVP yang cenderung lebih besar ukurannya dari standarnya.

Air berfungsi sebagai pengikat antara molekul protein saat proses pembentukan struktur terjadi. Namun air juga dapat mengurangi gesekan yang terjadi di dalam ekstruder. Kapasitas aliran air yang semakin banyak akan menghambat terjadinya denaturasi akibat gaya gesek yang berkurang (Ye *et al.* 2017). Kapasitas aliran tepung dan kapasitas aliran air memiliki efek yang saling berlawanan. Hal tersebut terlihat pada model respon *bulk density*, kadar air, daya serap air dan bentuk standar. Nilai koefisien variabel kapasitas aliran tepung dan kapasitas aliran air pada model bernilai berlawanan (positif dan negatif). Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ye *et al.* (2017).

Suhu ekstruder dibutuhkan untuk proses denaturasi agar molekul protein dapat terpecah dengan cepat. Suhu ekstruder akan meningkatkan kecepatan reaksi yang terjadi di dalam ekstruder. Suhu ekstruder meningkatkan daya serap air TVP karena uap air dan gelembung akan semakin cepat terbentuk (TVP semakin banyak rongga-rongga kosong di dalamnya). Namun hal tersebut dapat menurunkan respon bentuk standar.

Kecepatan ulir berpengaruh langsung terhadap jumlah gesekan yang terjadi antara bahan baku dan ulir (Sarawong *et al.* 2014). Energi yang berasal dari torsi terkonversi menjadi gaya gesek di dalam ekstruder. Kecepatan ulir dapat meningkatkan daya serap air TVP namun juga dapat menurunkan respon bentuk standar

karena ukuran TVP yang semakin besar akibat rongga di dalam TVP yang semakin besar (Sarawong *et al.* 2014).

Respon warna TVP memiliki nilai *R-squared* pada level *moderate*. Hal tersebut kemungkinan besar berkaitan erat dengan metode proses ekstrusi yang digunakan. Mesin produksi TVP tidak menggunakan mesin pencampur (*mixer*) untuk mencampur air dan tepung kedelai tanpa lemak. Air dan tepung kedelai tanpa lemak diproses langsung ke dalam mesin ekstruder. Air tidak memiliki waktu yang cukup untuk meresap ke dalam granula tepung. Bagian granula yang mengandung lebih banyak molekul air akan menghasilkan lebih banyak asam amino (hasil denaturasi akibat suhu dan friksi) dibandingkan bagian yang lebih sedikit molekul airnya. Hal tersebut berakibat pada reaksi maillard yang tidak merata di setiap bagian granula tepung (Chakraborty *et al.* 2014).

## KESIMPULAN

Optimasi dapat dilakukan pada proses ekstrusi PT XYZ dengan metode RSM. Data kombinasi faktor yang paling optimum adalah kapasitas aliran tepung sebesar 225 kg/jam; kapasitas aliran air 35.54 Hz; suhu ekstruder 130.70; dan kecepatan putaran ulir sebesar 375.18 rpm. Pemodelan *quadratic* menggunakan program DX-10 dapat diaplikasikan di dalam menentukan proses produksi TVP yang optimum PT XYZ sehingga menghasilkan produk TVP dengan kualitas dan parameter yang paling optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chakraborty SK, Singh DS, Kumbhar BK. 2014. Influence of extrusion conditions on the colour of millet-legume extrudates using digital imagery. *Irish J Agriculture Food Res* 53(1): 65-74.
- Cheng H, Hansen JH. 2015. Extrudate expansion model in a twin-screw extrusion cooking process considering melt rheological property. *Food Bioprocess Technol* 9: 604-611. DOI: 10.1007/s11947-015-1655-0.
- Day L, Swanson BG. 2013. Functionality of protein-fortified extrudates. *Compr Rev Food Sci F* 12: 546-564. DOI: 10.1111/1541-4337.12023.
- González RJ, Cavada EP, Pena JV, Torres RL, Greef DMD, Drago SR. 2013. Extrusion conditions and amylose content affect physicochemical properties of extrudates obtained from brown rice grains. *Int J Food Sci* 2013: 1-8. DOI: 10.1155/2013/584148.
- Hair J, Kuppelwieser V, Sarstedt M. 2014. Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): An emerging tool for business research. *Eur Bus Rev* 26(2): 106-121. DOI: 10.1108/EBR-10-2013-0128.
- Hidayat BT, Wea A, Andriati N. 2018. Physicochemical, sensory attributes and protein profile by SDS-PAGE of beef sausage substituted with texturized vegetable protein. *Food Res* 2(1): 20-31. DOI: 10.26656/fr.2017.2(1).106.
- Isik E. 2007. Some engineering properties of soybean grains. *Am J Food Technol* 2(3): 115-125. DOI: 10.3923/ajft.2007.115.125.
- Kusuma HAW, Kumalaningsih S, Pranowo D. 2019. Optimasi suhu dan konsentrasi maltodekstrin pada proses pembuatan serbuk lobak dengan metode foam mat drying. *J Teknol Manajemen Agroind* 8(3): 171-182. DOI: 10.21776/ub.industria.2019.008.03.2.
- Kusumaningrum A, Gunam IBW, Wijaya IMM. 2019. Optimasi suhu dan pH terhadap aktivitas enzim endoglukanase menggunakan response surface methodology (RSM). *J Rekayasa Manajemen Agroind* 7(2): 243-253. DOI: 10.24843/JRMA.2019.v07.i02.p08.
- Muhandri T, Subarna, Mustakim I. 2013. Optimasi proses pembuatan mi sorgum dengan menggunakan ekstruder ulir ganda. *J Sains Terapan* 3(1): 1-7. DOI: 10.29244/jstsv.3.1.1-7.
- Nugroho MF, Murtini ES. 2017. Inovasi peningkatan kandungan gizi jajanan tradisional klepon dengan modifikasi bahan dan warna. *J Pangan Agroind* 5(1): 92-103.
- Nurmiah S, Syarief R, Peranginangin R, Nurtama B. 2013. Aplikasi response surface methodology pada optimalisasi kondisi proses pengolahan *alkali treated cottonii* (ATC). *J Pascapanen Bioteknol Kelautan Perikanan* 8(1): 9-22. DOI: 10.15578/jpbkp.v8i1.49
- Osen RJ. 2017. Texturization of Pea Protein Isolates Using High Moisture Extrusion Cooking [Disertasi]. München (DE): Technischen Universität München.
- Prabudi M, Nurtama B, Purnomo EH. 2018. Aplikasi response surface methodology (rsm) dengan historical data pada optimasi proses produksi burger. *J Mutu Pangan* 5(2): 109-115.
- Priyanto R, Fuah AM, Aditia EL, Baihaqi M, Ismail M. 2015. Peningkatan produksi dan kualitas daging sapi lokal melalui penggemukan berbasis serealialia pada taraf energi yang berbeda. *J Ilmu Pertanian Indonesia* 20(2): 108-114. DOI: 10.18343/jipi.20.2.108.
- Ratnaningsih, Vidiantika D, Sukasih E, Setyadjit. 2018. Penggunaan response surface methodology pada optimasi proses pengolahan bawang merah iris in brine. *J Penelitian Pascapanen Pertanian* 15(1): 12-24. DOI: 10.21082/jpasca.v15n1.2018.12-24.
- Samard S, Gu BY, Ryu GH. 2019. Effects of extrusion types, screw speed and addition of wheat gluten on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues. *J Sci Food Agri* 99(11): 4922-2931. DOI: 10.1002/jsfa.9722.

- Sarawong C, Schoenlechner R, Sekiguchi K, Berghofer E, Perry KW. 2014. Effect of extrusion cooking on Physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chem* 143(2014): 33-39. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.081.
- Sibarani M, Allan MP, Santika PM. 2018. Perancangan unit extruder pada mesin extrusion lamination flexible packaging. *J Teknik Mesin-ITI* 2(2): 42-45. DOI: 10.31543/jtm.v2i2.155.
- Singh SK, Muthukumarappan K. 2014. Single screw extrusion processing of soy white flakes based catla feed. *J Food Res* 4(1): 1-9. DOI: 10.5539/jfr.v4n1p1.
- Sobowale SS, Bamgbose S, Adeboye AS. 2016. Effect of extrusion variables on the extrudate properties of wheat plantain noodle. *J Food Process Technol* 7(2): 547. DOI: 10.4172/2157-7110.1000547.
- Syahrul, Syarif R, Hermanianto J, Nurtama B. 2017. Optimasi proses penggorengan tumpi-tumpi dari ikan bandeng menggunakan *response surface methodology*. *J Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* 20(3): 432-445. DOI: 10.17844/jphpi.v20i3.19762.
- Ulfa R, Hariyadi P, Muhandri T. 2014. Rendemen giling dan mutu beras pada beberapa unit penggiling padi kecil keliling di Kabupaten Banyuwangi. *J Mutu Pangan* 1(1): 26-32.
- Wang S, Kowalski RJ, Kang Y, Kiszonas AM, Zhu MJ. 2017. Impacts of the particle sizes and levels of inclusions of cherry pomace on the physical and structural properties of direct expanded corn starch. *Food Bioprocess Technol* 10: 394-406. DOI: 10.1007/s11947-016-1824-9.
- Ye J, Hu X, Luo S, Liu W, Chen J, Zheng Z, Liu C. 2017. Properties of starch after extrusion: A Review. *Starch* 70(11-12): 1700110. DOI: 10.1002/star.201700110.

---

JMP-09-21-13-Naskah diterima untuk ditelaah pada 10 Agustus 2021. Revisi makalah disetujui untuk dipublikasi pada 4 Oktober 2021. Versi Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmpi>