



## Optimasi waktu pemanasan awal dan waktu pasteurisasi PEF terhadap asam lemak bebas, vitamin C, dan pH pada pengolahan susu

Angky Wahyu Putranto<sup>1</sup>, Anugerah Dany Priyanto<sup>2</sup>, Teti Estiasih<sup>3</sup>, Widyasari<sup>4</sup>, Yushinta Aristina Sanjaya<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Teknik Bioproses, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

<sup>2</sup>Teknologi Pangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

<sup>3</sup>Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

<sup>4</sup>Desain Komunikasi Visual, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

### Article history

Diterima:

30 Desember 2021

Diperbaiki:

8 Maret 2022

Disetujui:

11 Maret 2022

### Keyword

RSM;

Milk;

pulsed electric field;

pre-heating

### ABSTRACT

*RSM (Response Surface Methodology) is one method that is widely used for process optimization. The purpose of this study was to obtain the optimum combination of treatments in milk processing. The combination of treatments given was pre-heating time and pulsed electric field time with response levels of free fatty acids (%), vitamin C (mg/ml), and pH. The pre-heating temperature used was 70°C and the voltage of pulsed electric field was 15 kV/cm. Software Design Expert 13 was used to optimize the milk processing. The optimum condition obtained was a combination of heating time treatment for 5 minutes and pulsed electric field time of 135.608 seconds. The combination of these treatments resulted in a response of free fatty acids levels of 0.002%, vitamin C of 0.217 mg/ml, and pH value of 7.087. The desirability results or results accuracy of the optimum solution show a value of 0.441. The PEF utilization as a low-temperature milk processing can improve milk quality. Optimization of the use initial temperature in combination with PEF is usefull for the effectiveness of milk processing.*



*This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.*

\* Penulis korespondensi

Email : yushinta.a.tp@upnjatim.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v16i3.13173

## PENDAHULUAN

Susu sapi adalah biofluid yang kaya nutrisi. Selain mengandung laktosa sebagai gula utama, susu juga mengandung protein (kasein, protein whey, protein minor), asam amino esensial, lemak, mineral dan vitamin (Fusco, *et al.*, 2020). Susu juga mengandung senyawa kompleks secara kimiawi yang terdiri dari ratusan komponen berbeda. Sebanyak 2355 senyawa kimia dan metabolit dalam susu sapi telah diidentifikasi (Foroutan, *et al.*, 2019). Selain itu, susu juga ideal untuk pertumbuhan bakteri (Ritota, *et al.*, 2017), sehingga susu mentah memiliki umur simpan yang relatif rendah, (Odriozola-Serrano, *et al.*, 2006). Oleh karena itu beberapa penelitian menyarankan untuk melakukan proses pasteurisasi susu dengan menggunakan teknologi non-thermal Pulsed Electric Field (PEF) seiring dengan efisiensi penurunan bakteri yang tinggi dan energi yang rendah (Muslim, *et al.*, 2012; Sharma, *et al.*, 2014; Putranto, *et al.*, 2014; Priyanto, *et al.*, 2021).

Perlakuan menggunakan pulsa listrik tegangan tinggi atau dikenal dengan *Pulsed Electric Filed* (PEF) dilakukan dengan memaparkan bahan pangan ke medan listrik diantara elektroda dalam suatu wadah sehingga dapat meningkatkan kualitas produk segar seperti susu (Alirezalu, *et al.*, 2019). PEF adalah metode yang menggunakan gelombang listrik dengan amplitudo tegangan tinggi. Pulsa listrik dengan waktu yang pendek (ms- $\mu$ s) dan bertegangan tinggi disuplai ke produk yang ditempatkan diantara elektroda dalam ruang yang disebut treatment chamber. Klasifikasi kuat medan listrik yang digunakan pada teknologi PEF dibagi menjadi 2, dimana kuat medan listrik rendah (1-10 kV/cm) banyak diaplikasikan untuk proses ekstraksi senyawa penting dari bahan alam seperti ekstraksi senyawa fenolik, flavonoid, dan antosianin (Donsi, *et al.*, 2010; Putranto, *et al.*, 2014; Izza *et al.*, 2016; Putranto, *et al.*, 2018; Dewi, *et al.*, 2019) dan proses pemecahan ikatan lignoselulosa pada biomasa (Kumar, *et al.*, 2011; Putranto, *et al.*, 2020). Sedangkan penerapan kuat medan listrik yang tinggi (diatas 10 kV/cm) digunakan untuk inaktivasi mikroorganisme pada susu (Muslim, *et al.*, 2012; Sharma, *et al.*, 2014; Priyanto, *et al.*, 2021). Efek yang diperoleh tergantung sifat produk, kondisi proses, seperti kekuatan medan, frekuensi, getaran, bentuk gelombang, dan waktu pemaparan, serta volume cairan dalam ruang elektroda yang dapat

dimodifikasi sesuai kebutuhan (Nowosad, *et al.*, 2021). Teknologi PEF saat ini berkembang dari skala laboratorium dan *pilot plant* menjadi skala komersial (Zao, *et al.*, 2012).

Keuntungan menggunakan PEF adalah penggunaan suhu yang lebih rendah namun dapat menghambat pertumbuhan mikroba sampai sekitar  $3 \log^{10}$  cycle serta menghambat enzim endogen mikroba (Alirezalu, *et al.*, 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa inaktivasi mikroba dengan PEF lebih efektif daripada inaktivasi menggunakan panas (Wouters, *et al.*, 1999; Timmermans, *et al.*, 2019). Pengolahan menggunakan PEF ini dapat dikombinasikan dengan pengolahan HTST (*High Temperature Short Time*) maupun dengan berbagai macam suhu pemanasan untuk memperpanjang masa simpan susu karena adanya reduksi total mikroba (Sepulveda, *et al.*, 2005; Priyanto, *et al.*, 2021). Kombinasi waktu *pre-heating* selama 10 menit dan PEF selama 3,907 menit menunjukkan perlakuan yang paling optimum dalam menurunkan total mikroba (Putranto, *et al.*, 2022). Hasil penelitian Bermudez-Aguirre, *et al.* (2011) menunjukkan perubahan minor pada sifat fisiko kimia susu setelah diproses menggunakan PEF. Beberapa penelitian terakhir manunjukkan bahwa pemrosesan PEF efektif dalam menonaktifkan Sebagian besar enzim endogen dalam makanan (Zao, *et al.*, 2012).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengoptimasi proses pengolahan susu menggunakan PEF menggunakan beberapa variabel (waktu pemanasan awal dan waktu PEF) dengan Metode Permukaan Respon/ *Response Surface Methodology* (RSM). RSM adalah teknik yang banyak digunakan untuk mengoptimalkan berbagai porses, termasuk proses pangan, seperti ekstraksi, pengeringan, *blanching*, hidrolisis, klarifikasi enzimatik, produksi metabolit mikroba dan formulasi (Yolmeh dan Jafari, 2016). Menurut Vijayalakshmi, *et al.* (2018), RSM efektif digunakan untuk optimasi parameter dalam suatu proses, menggunakan persamaan regresi yang menghubungkan antar parameter input dan properti produk. Output diperoleh dari analisis regresi yang dirancang dengan baik yang berdasarkan pada nilai-nilai terkontrol dari variabel bebas. RSM membantu menentukan desain eksperimen terbaik untuk mengidentifikasi hubungan antar variabel (Said dan Amin, 2015).

## METODE

### Bahan

Susu sapi segar diperoleh dari SW Dairy Farm, Kletek, Sidoarjo. Waktu pemerahan susu sapi dilakukan pada pukul 05.00 WIB.

### Alat

Peralatan yang digunakan untuk pasteurisasi susu sapi segar dengan metode PEF dirancang serta difabrikasi sendiri yang memiliki kapasitas *treatment chamber* 12 L dengan bentuk silinder dengan system pemanas *double pan*. Sistem konfigurasi elektroda dan *stirrer* diadopsi dari desain mesin PEF milik Putranto, *et al.* (2020) dengan sedikit modifikasi, yang mana silinder luar sebagai elektroda positif dan silinder dalam sebagai elektroda negatif. Material untuk kedua elektroda silinder menggunakan *stainless steel* tipe 304 dengan kualitas *food grade*. *Hotplate magnetic stirrer* (Labinco, Netherland) digunakan untuk mengolah kontrol susu pasteurisasi dengan metoda *Low Temperature Long Time* (LTLT). Peralatan yang digunakan untuk analisis adalah oven (Universal Oven UF55, Memmert GmbH + CmbH + Co. KG, Germany), *autoclave* (Hirayama HVE-85, Japan), timbangan analitik (Metler Toledo, US), micropipettes (Socorex Acura 825, Swiss), vortex mixer (Gemmy VM-300, Taiwan), serta beberapa glassware seperti tabung reaksi, buret, corong, beaker glass dan erlenmeyer. Gambar alat PEF yang telah dirancang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Alat PEF yang digunakan untuk pengolahan susu.

### Proses Pasteurisasi PEF

Prosedur pembuatan susu pasteurisasi mengacu pada penelitian Priyanto, *et al.*, (2021) dengan adanya beberapa modifikasi. Susu sapi segar sebanyak 2,5 L dimasukkan ke dalam *treatment chamber* pasteurisasi yang dilengkapi dengan pengaduk yang diatur berputar dengan kecepatan 50 rpm. Susu selanjutnya dipanaskan hingga mencapai 70°C. Ketika suhu telah mencapai *set point* (70°C), waktu *pre-heating* diatur selama 5-15 menit dalam keadaan suhu *pre-heating* konstan. Setelah itu, susu diberi perlakuan pulsa listrik (PEF) dengan kuat medan listrik 15 kV/cm frekuensi 8,197 kHz, lebar pulsa 66 µs dan kecepatan putaran pengaduk 50 rpm. Waktu pemberian PEF diatur antara 60-180 detik. Setelah proses pasteurisasi selesai, susu dikeluarkan dari *treatment chamber* PEF, didinginkan pada suhu ruang dan dilakukan pengujian.

### Optimasi Proses menggunakan RSM

Optimasi proses menggunakan *Respon Surface Methodology* (RSM) dilakukan dengan dua faktor perlakuan, yaitu waktu pemanasan awal ( $X_1$ ) dan waktu PEF ( $X_2$ ). Respon yang diuji adalah *Free Fatty Acid* (FFA) ( $Y_1$ ), vitamin C ( $Y_2$ ), dan pH ( $Y_3$ ). Ketiga parameter yang diuji yaitu FFA, vitamin C, dan pH yang diperoleh dari penelitian sebelumnya diproses dalam *software Design Expert 13* sehingga didapatkan kombinasi perlakuan central composite design (CCD) dengan tiga respon. Hasil Analisa FFA, vitamin C, dan pH dimasukkan ke dalam tabel respon. Software akan menganalisis kondisi yang paling sesuai dengan kondisi respon dan diperoleh titik-titik optimal dari respon yang diberikan. Kombinasi nilai faktor optimum dengan nilai prediksi respon yang paling sesuai dengan nilai respon yang diinginkan digambarkan melalui nilai *desirability* (Yolmeh dan Jafari, 2017). Nilai *desirability* mendekati 1 direkomendasikan sebagai kondisi yang paling optimal (Putranto, *et al.*, 2018; Hendrawan, *et al.*, 2020). Langkah selanjutnya adalah memvalidasi hasil optimasi yang telah diperoleh untuk mengetahui tingkat akurasi model dari hasil optimasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan prediksi hasil optimasi dengan aktual dengan tingkat kesalahan atau *error* yang diijinkan maksimal 5%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kombinasi percobaan yang diperoleh dari CCD terdapat sebanyak 13 perlakuan percobaan dengan respon kadar FFA, vitamin C,

dan nilai pH. Kombinasi perlakuan optimasi dan data hasil respon disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan asam lemak bebas atau *free fatty acid* (FFA) tertinggi pada perlakuan waktu pemanasan awal 17,07 menit dan waktu PEF 120 detik, yaitu sebesar 0,0063%. Sedangkan kadar FFA terendah diperoleh dari perlakuan waktu pemanasan awal 2,93 menit dan waktu PEF 120 detik, yaitu sebesar 0,0001%. Kadar vitamin C tertinggi diperoleh dari perlakuan waktu pemanasan awal 2,93 menit dan waktu PEF 120 detik, yaitu sebesar 0,315 mg/ml, sedangkan kadar vitamin C terendah diperoleh dari perlakuan pre-heating 15 menit dan waktu PEF 180 detik, yaitu sebesar 0,117 mg/ml. Nilai pH tertinggi diperoleh pada perlakuan waktu pre-

heating 2,93 menit dan waktu PEF 120 detik, yaitu sebesar 7,17, sedangkan nilai pH terendah diperoleh dari perlakuan waktu *pre-heating* 15 menit dan waktu PEF 180 detik, yaitu sebesar 6,85.

Sebelum model optimasi diperoleh, terlebih dahulu software akan memberikan pemilihan model sesuai dengan nilai respon yang dimasukkan sesuai Tabel 1. Pemilihan model sesuai respon dilakukan menurut 3 kategori yaitu *Sequential Model Sum of Squares*, *Model Summary Statistics* dan *Lack of Fit Tests*. Software design expert akan memberikan penilaian terhadap model yang disarankan dengan keterangan *suggested* (disarankan) dan *aliased* (tidak disarankan).

Tabel 1 Kombinasi Perlakuan Optimasi dan Data Hasil Analisa FFA, Vitamin C, dan pH

Std	Faktor 1 (X <sub>1</sub> ): Waktu pemanasan awal (menit)	Faktor 2 (X <sub>2</sub> ): Waktu PEF (detik)	Respon 1 (Y <sub>1</sub> ): FFA (%)	Respon 2 (Y <sub>2</sub> ): Vitamin C (mg/ml)	Respon 3 (Y <sub>3</sub> ): pH
1	5	60	0,0029	0,196	7,12
2	15	60	0,0043	0,129	6,98
3	5	180	0,0021	0,187	7,09
4	15	180	0,0041	0,117	6,85
5	2,93	120	0,0001	0,315	7,17
6	17,07	120	0,0063	0,139	7,01
7	10	35,15	0,0055	0,149	7,07
8	10	204,85	0,0061	0,141	7,02
9	10	120	0,0057	0,153	7,05
10	10	120	0,0058	0,154	7,05
11	10	120	0,0057	0,153	7,04
12	10	120	0,0057	0,153	7,04
13	10	120	0,0058	0,154	7,03

Tabel 2 Hasil Analisis Ragam Respon Kadar FFA (%)

Source	Sum of square	Df	Mean Square	F-Value	p-value	
<b>Model</b>	0,0000	5	7,099.10 <sup>-6</sup>	7,43	0,0101	Signifikan
A-Waktu Pemanasan awal	0,0000	1	0,0000	19,38	0,0031	
B-Waktu PEF	2,868.10 <sup>-9</sup>	1	2,868.10 <sup>-9</sup>	0,0030	0,9578	
AB	9,000.10 <sup>-8</sup>	1	9,000.10 <sup>-8</sup>	0,0942	0,7678	
A <sup>2</sup>	0,0000	1	0,0000	17,67	0,0040	
B <sup>2</sup>	4,613.10 <sup>-7</sup>	1	4,613.10 <sup>-7</sup>	0,4829	0,5095	
<b>Residual</b>	6,686.10 <sup>-6</sup>	7	9,552.10 <sup>-7</sup>			
Lack of Fit	6,674.10 <sup>-6</sup>	3	2,225.10 <sup>-6</sup>	741,58	< 0,0001	Signifikan
Pure Error	1,200.10 <sup>-8</sup>	4	3,000.10 <sup>-9</sup>			
<b>Core Total</b>	0,0000	12				

### Analisis FFA

Berdasarkan hasil pemilihan model sesuai dengan respon FFA yang diberikan, maka model yang disarankan *Sequential Model Sum of Squares, Model Summary Statistics* dan *Lack of Fit Tests* adalah model kuadratik. Model ini selanjutnya dipilih untuk menjelaskan hubungan antara waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap respon kadar asam lemak bebas susu sapi. Hasil analisis ragam respon kadar FFA dari *software Design Expert 13* disajikan pada Tabel 2.

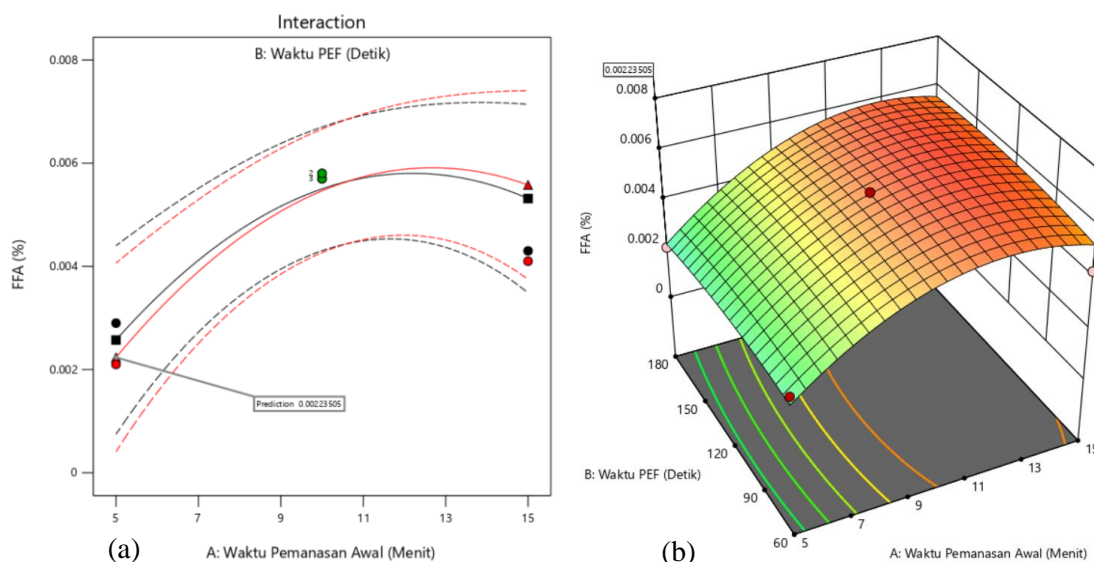
Nilai P (*p-value*) faktor waktu pemanasan awal sebesar 0,0031 (<0,05) yang berarti perlakuan waktu pemanasan awal berpengaruh signifikan terhadap kadar asam lemak bebas susu. Pada kondisi optimum nilai asam lemak bebas akan mencapai titik maksimal kemudian mengalami penurunan. Seiring dengan lamanya waktu pemanasan awal yang digunakan dapat menurunkan kadar asam lemak bebas. Asam lemak bebas, terutama asam lemak bebas rantai pendek (asam butirat, asam kaproat, asam kaprilat) bertanggung jawab pada ketengikan susu mentah (Regula, *et al.*, 2005). Pemanasan susu dapat berpengaruh terhadap asam lemak susu. Menurut Ajmal, *et al.* (2018a), akibat dari pasteurisasi dan perebusan susu sapi dan susu kerbau menunjukkan peningkatan asam lemak rantai pendek dan medium dan penurunan asam

lemak rantai panjang tak jenuh. Penelitian mengenai kadar FFA pada susu mentah dan UHT sebesar 0,08% dan 0,11% (Ajmal, *et al.*, 2018b). Hal tersebut berarti bahwa kondisi pada penelitian dapat mencegah terlepasnya asam lemak bebas dari rantai trigliserida. Nilai P untuk waktu PEF adalah sebesar 0,9578 yang menunjukkan bahwa perlakuan PEF tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada nilai FFA. Nilai FFA menunjukkan derajat lipolysis pada susu dan susu mengandung berbagai mikroba yang dapat menghasilkan lipase sehingga dapat merubah produk (Odriozola-Serrano, *et al.*, 2006).

Kadar FFA yang tidak berbeda secara signifikan menunjukkan bahwa derajat lipolysis atau perubahan oleh enzim lipase juga tidak signifikan. Hal ini dapat dikarenakan PEF mempengaruhi aktivitas enzim (Sharma, *et al.*, 2014), termasuk enzim lipase pada susu yang berperan dalam hidrolisa asam lemak (Chandan dan Shahani, 1964). Persamaan yang diperoleh dari model yang dipilih adalah sebagai berikut:

$$Y_1 = 0,0057 + 0,0015 X_1 - 0,0000 X_2 + 0,0002 X_1 X_2 - 0,0016 X_1^2 - 0,0003 X_2^2$$

Dimana:  $X_1$  = Waktu pemanasan awal  
 $X_2$  = Waktu PEF  
 $Y_1$  = FFA (%)



Gambar 1 Kurva Pengaruh Respon FFA Terhadap Waktu Pemanasan awal dan Waktu PEF pada Design Expert 13, Interaksi Faktor (a) dan Grafik 3D (b)

Tabel 3 Hasil Analisis Ragam Respon Vitamin C (mg/ml)

Source	Sum of square	Df	Mean Square	F-Value	P-value	
<b>Model</b>	0,0265	5	0,0015	11,48	0,0029	Signifikan
A-Waktu Pemanasan awal	0,0186	1	0,0186	40,33	0,0004	
B-Waktu PEF	0,0001	1	0,0001	0,2828	0,6114	
AB	2,250.10 <sup>-6</sup>	1	2,250.10 <sup>-6</sup>	0,0049	0,9563	
A <sup>2</sup>	0,0061	1	0,0061	13,21	0,0083	
B <sup>2</sup>	0,0009	1	0,0009	1,95	0,2048	
<b>Residual</b>	0,0032	7	0,0005			
Lack of Fit	0,0032	3	0,0011	3589,00	< 0,0001	Signifikan
Pure Error	1,200.10 <sup>-6</sup>	4	3,000.10 <sup>-7</sup>			
<b>Core Total</b>	0,0297	12				

Bentuk permukaan dari pengaruh waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap respon FFA disajikan dalam Gambar 1. Model kurva permukaan respon variabel waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap nilai FFA yang sesuai adalah model kurva kuadrat. Faktor waktu pemanasan awal menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap respon FFA. Hal tersebut dapat dilihat dari perubahan warna kurva. Perubahan warna kurva menunjukkan bahwa waktu pemanasan awal berpengaruh signifikan terhadap kadar FFA. Perubahan waktu pemanasan awal dengan waktu PEF yang sama menunjukkan perubahan warna.

Faktor waktu PEF menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kadar FFA. Hal tersebut dapat dilihat dari perubahan warna kurva. Perubahan waktu PEF dengan waktu pemanasan awal yang sama, tidak terlalu memperlihatkan perubahan warna. Perubahan warna yang sedikit menunjukkan bahwa waktu PEF memberikan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kadar FFA. Grafik interaksi faktor waktu pemanasan awal dan waktu PEF serta grafik 3D pada Gambar 1 menunjukkan bagaimana kombinasi antar komponen saling mempengaruhi nilai respon FFA. Warna-warna yang berbeda pada grafik *contour plot* menunjukkan nilai FFA. Nilai FFA terendah ditunjukkan dengan warna hijau, yaitu sebesar 0,003% dan nilai tertinggi ditunjukkan dengan warna oranye, yaitu sebesar 0,006%.

Pada Gambar 1 juga dapat dilihat bahwa nilai FFA optimum yaitu jika nilai FFA susu memiliki nilai yang paling rendah. Berdasarkan hasil optimasi model, didapatkan prediksi nilai optimal dari FFA yaitu 0,00223% yang terletak pada

waktu pemanasan awal 5 menit dan waktu PEF sebesar 180 detik.

#### Analisa Vitamin C

Prediksi model kuadrat dipilih program untuk menjelaskan hubungan waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap kadar Vitamin C. Pemilihan model tersebut berdasarkan ketiga model evaluasi kualitas model, yaitu analisis jumlah kuadrat dari urutan model, pengujian ketidaktepatan dan ringkasan model statistik. Hasil analisis sidik ragam terhadap respon kadar vitamin C disajikan pada Tabel 3.

Nilai P faktor waktu pemanasan awal sebesar 0,0004 (<0,05) yang artinya waktu pemanasan awal berpengaruh terhadap kadar vitamin C. Semakin lama waktu pemanasan awal yang diberikan akan menurunkan kadar vitamin C susu. Menurut King and Waugh (1934), pemanasan susu berkepanjangan yang terpapar udara cenderung merusak vitamin C lebih parah daripada memanaskan ke titik didih dalam waktu yang singkat. Penelitian Haddad *and* Lowenstein (1983) kehilangan vitamin C meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Nilai P untuk waktu PEF adalah sebesar 0,6114 yang menunjukkan bahwa perlakuan PEF tidak memberikan banyak pengaruh terhadap kadar Vitamin C susu. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Zhang *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa perlakuan PEF tidak merusak Vitamin C dan dapat memperlambat proses oksidasi yang melibatkan kondisi percobaan dengan HPLC. Persamaan yang diperoleh dari model yang terpilih terhadap respon kadar vitamin C adalah sebagai berikut:



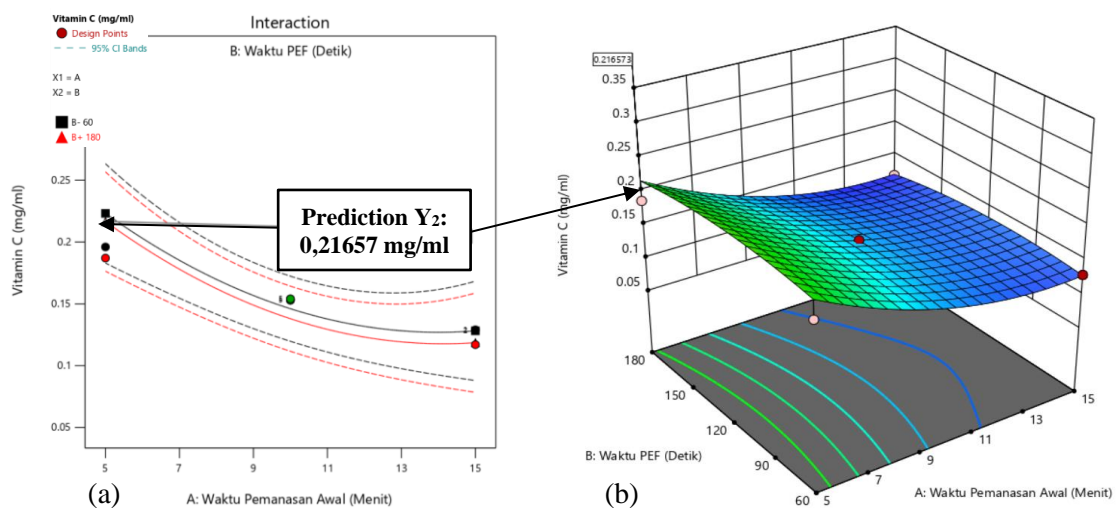
$$Y_2 = 0,1534 - 0,0482X_1 - 0,0040X_2 - 0,0007X_1X_2 + 0,0296X_1^2 - 0,0114X_2^2$$

Dimana:  $X_1$  = Waktu pemanasan awal  
 $X_2$  = Waktu PEF  
 $Y_2$  = Vitamin C (mg/ml)

Bentuk permukaan dari pengaruh waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap respon vitamin C disajikan dalam Gambar 2. Model kurva permukaan respon variabel waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap nilai vitamin C yang diperoleh adalah model kurva kuadratik. Warna kurva menunjukkan bahwa faktor waktu pemanasan awal menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap respon vitamin C, sedangkan waktu PEF tidak menunjukkan perubahan yang

signifikan terhadap respon vitamin C yang ditunjukkan dengan warna kurva yang relatif sama. Grafik interaksi kedua faktor dan grafik 3D pada Gambar 2 menunjukkan bagaimana kombinasi antar komponen saling mempengaruhi nilai respon vitamin C. Nilai vitamin C terendah ditunjukkan dengan warna biru, yaitu sebesar 0,12 mg/ml dan nilai tertinggi ditunjukkan dengan warna hijau, yaitu sebesar 0,22 mg/ml.

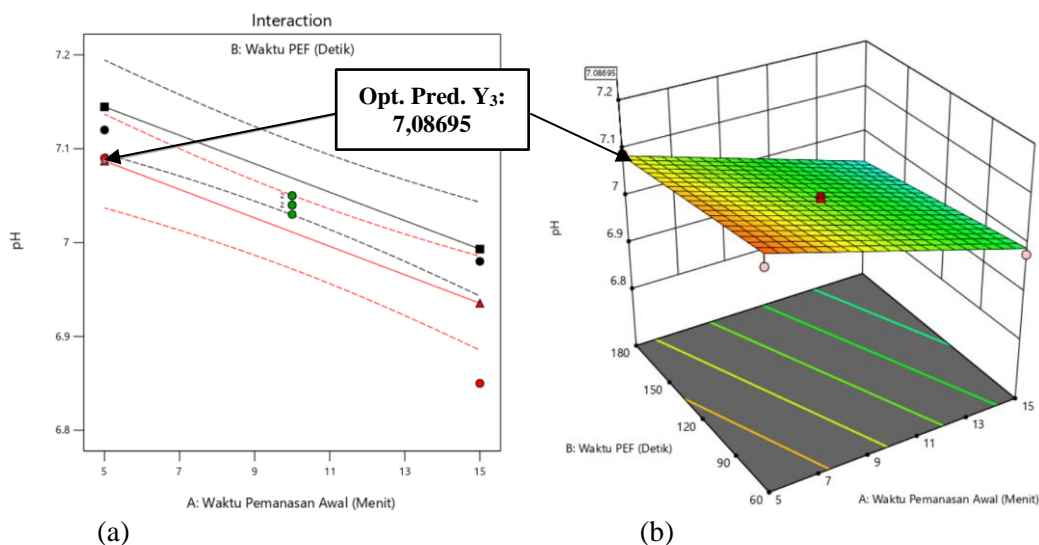
Pada Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa nilai vitamin C optimum yang diinginkan yaitu nilai vitamin C pada susu pasteurisasi yang paling tinggi. Oleh karena itu, berdasarkan hasil optimasi model yang diperoleh, hasil prediksi nilai optimal dari respon kedua yaitu vitamin C yaitu sebesar 0,21657 mg/ml yang terletak pada waktu pemanasan awal 5 menit dan waktu PEF sebesar 180 detik.



Gambar 2 Kurva Pengaruh Respon Vitamin C Terhadap Waktu Pemanasan awal dan Waktu PEF pada Design Expert 13, Interaksi Faktor (a) dan Grafik 3D (b)

Tabel 4 Hasil Analisis Ragam Respon pH

Source	Sum of square	Df	Mean Square	F-Value	P-value	
<b>Model</b>	0,0526	2	0,0263	17,08	0,0006	Signifikan
A-Waktu Pemanasan awal	0,0459	1	0,0459	29,83	0,0003	
B-Waktu PEF	0,0067	1	0,0067	4,32	0,0644	
<b>Residual</b>	0,0154	10	0,0015			
Lack of Fit	0,0151	6	0,0025	36,00	0,0019	Signifikan
Pure Error	0,0003	4	0,0001			
<b>Core Total</b>	0,0680	12				



Gambar 3 Kurva Pengaruh Respon pH Terhadap Waktu Pemanasan awal dan Waktu PEF pada Design Expert 13, *Contour plot* (a) dan Grafik 3D (b)

### Analisa pH

Grafik model linear merupakan prediksi untuk menjelaskan hubungan waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap respon pH. Ketiga model evaluasi kualitas model, yaitu analisis jumlah kuadrat dari urutan model, pengujian ketidaktepatan dan ringkasan model statistic digunakan untuk pemilihan model tersebut. Hasil Analisa sidik ragam (ANOVA) ditunjukkan pada Tabel 4.

Nilai P faktor waktu pemanasan awal sebesar 0,0003 (<0,05) yang berarti perlakuan waktu pemanasan awal berpengaruh signifikan terhadap pH susu. Menurut Fox (1981), Panas menyebabkan perubahan pada pH dan garam yang sebagian besar reaksinya bersifat *reversible*. pH susu berubah secara linear pada kisaran suhu 60-90°C. Ditambahkan oleh Ma and Barbano (2003), selama pemanasan susu pH menurun secara linear sebagai fungsi peningkatan suhu tetapi tidak tergantung pada tekanan. Nilai P untuk waktu PEF yang diperoleh sebesar 0,0644 yang artinya perlakuan PEF tidak memberikan pengaruh terhadap nilai pH. Hal ini sesuai dengan Bermudez-Aguirre, *et al.* (2011) yang menyatakan bahawa perlakuan dengan PEF menunjukkan variasi yang kecil dalam sifat fisikokimia, bahkan selama penyimpanan. Susu yang diproses menggunakan PEF dan disimpan selama 33 hari pada suhu 4°C mengalami perubahan pH yang sangat kecil. Perubahan keasaman karena penyimpanan, disebabkan pembusukan susu oleh mikroba (Odriozola-Serrano, *et al.*, 2006).

Penurunan total flora mikroba untuk perlakuan PEF bergantung pada suhu awal 25-50°C (Floury, *et al.*, 2006). Ditambahkan oleh Timmermans *et al.* (2019), PEF intensitas tinggi menginduksi elektroporasi membrane sel yang mengarah ke inaktivasi mikroorganisme. Persamaan yang diperoleh dari model yang terpilih terhadap respon pH adalah sebagai berikut:

$$Y_3 = 7,04 - 0,0758X_1 - 0,0288X_2$$

Dimana:  $X_1$  = Waktu pemanasan awal

$X_2$  = Waktu PEF

$Y_2$  = pH

Bentuk interaksi faktor dan grafik 3D dari pengaruh waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap respon vitamin C disajikan dalam Gambar 3. Model kurva permukaan respon variabel waktu pemanasan awal dan waktu PEF terhadap nilai pH yang diperoleh adalah model kurva linear. Warna kurva menunjukkan bahwa faktor waktu pemanasan awal menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap respon pH, sedangkan waktu PEF tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap respon pH yang ditunjukkan dengan warna kurva yang relatif sama. Grafik *contour plot* pada Gambar 3 menunjukkan bagaimana kombinasi antar komponen saling mempengaruhi nilai pH. Nilai pH terendah ditunjukkan dengan warna biru, yaitu sebesar 6,85 dan nilai tertinggi ditunjukkan dengan warna oranye, yaitu sebesar 7,17.



Berdasarkan SNI susu segar no 3141.1:2011 bahwa nilai pH susu berkisar antara 6,3-6,8. Oleh karena itu nilai optimum pH susu pasteurisasi diatur sesuai nilai SNI tersebut yaitu dengan nilai pH yang paling rendah dari hasil penelitian (6,85). Berdasarkan hasil optimasi model yang diperoleh, hasil prediksi nilai optimal dari respon ketiga yaitu pH yaitu sebesar 0,08695 yang terletak pada waktu pemanasan awal 5 menit dan waktu PEF sebesar 180 detik.

### **Penentuan Kondisi Optimum Respon FFA, Vitamin C dan pH**

Optimasi pada pengolahan susu berdasarkan respon FFA, vitamin C, dan pH menggunakan *software Design Expert 13* digunakan untuk mengidentifikasi kombinasi terbaik dari variabel waktu pemanasan awal dan waktu PEF. Diperoleh 5 kombinasi perlakuan, dimana solusi yang paling sesuai adalah kombinasi waktu pemanasan awal 5 menit dan waktu PEF 180 detik. Hasil dari solusi tersebut mendapatkan nilai FFA sebesar 0,002%, vitamin C sebesar 0,217 mg/ml, dan pH sebesar 7,087. Hasil *desirability* atau ketepatan hasil solusi optimal menunjukkan nilai sebesar 0,441. Fungsi *desirability* ini banyak digunakan pada industri pangan untuk optimasi proses multi-respon. Fungsi *desirability* ditunjukkan dengan angka antara 0 dan 1, dimana angka 0 menunjukkan nilai paling tidak diinginkan dan nilai 1 menunjukkan nilai paling diinginkan atau respon yang paling ideal (Hendrawan, *et al.*, 2016; Yolmeh and Jafari, 2017; Putranto, *et al.*, 2018).

Walaupun tingkat keakuratan model pada penelitian ini cukup rendah yaitu 44,1% atau dibawah 50%, namun hasil nilai optimal ini dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya. Hal ini dikarenakan hasil validasi berdasarkan nilai eksperimental di laboratorium sesuai waktu pemanasan awal dan waktu PEF optimum yaitu masing-masing 5 menit dan 180 detik didapatkan semua nilai parameter respon memiliki tingkat kesalahan atau *error rate* dengan nilai prediksi dibawah 5%. Hal ini menunjukkan bahwa model optimasi yang disarankan oleh software dapat diterima. Jika dibandingkan dengan penelitian Priyanto *et al.*, (2021), maka waktu pemanasan awal pada penelitian ini cukup singkat yaitu selama 5 menit dengan suhu 70°C, sedangkan pada penelitian sebelumnya dibutuhkan waktu 30 menit dengan suhu 55°C. hal ini menunjukkan bahwa penggunaan suhu pemanasan awal yang cukup tinggi namun tetap dibawah suhu maksimum protein dan kandungan vitamin

terdegradasi, lebih disarankan untuk mengurangi waktu pemanasan. Selain itu pemberian waktu PEF optimum pada penelitian ini juga lebih lama jika dibandingkan dengan penelitian Priyanto *et al.*, (2021), yang hanya memerlukan waktu PEF selama 120 detik. Namun demikian, pada penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Sharma *et al.*, (2014), bahwa semakin tinggi pemanasan awal dan semakin lama waktu PEF, maka tingkat kematian mikroorganisme patogen dan enzim perusak semakin rendah di dalam susu.

### **KESIMPULAN**

Kondisi optimum pada pengolahan susu dengan kombinasi perlakuan waktu pemanasan awal dan waktu PEF dan respon yang diberikan terhadap kadar FFA, vitamin C, dan nilai pH didapatkan pada kombinasi perlakuan waktu pemanasan awal selama 5 menit dan waktu PEF 180 detik. Kombinasi tersebut menghasilkan respon nilai FFA sebesar 0,002%, vitamin C sebesar 0,217 mg/ml, dan nilai pH sebesar 7,087. Harapan dari kondisi optimum yang diperoleh bahwa penelitian selanjutnya adanya fortifikasi mikronutrien dan antioksidan pada susu pasteurisasi untuk meningkatkan nilai fungsionalnya.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penelitian merupakan bagian dari program Matching Fund tahun 2021 yang didanai oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (KEMENDIKBUDRISTEK) Republik Indonesia. Penelitian ini dibantu oleh beberapa mahasiswa sebagai teknisi laboratorium, yakni Khoirun Nisa, Wildan Naufal Esfandiar, Rangga Kurnia, Berta Patrisiya, Faiz Ramadhani, Rosa Andiani, dan Hakim Putra Ashari. Selain itu, hasil dari penelitian ini akan diterapkan secara *scale-up* pada produksi susu pasteurisasi di CV. Milknesia Nusantara, Ponorogo, Jawa Timur.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Ajmal, M., M. Nadeem, M. Imran, M. Abid, M. Batool, I.T. Khan, N. Gulzar, and M. Tayyab. 2018. Impact of Immediately and Delayed Chilling of Raw Milk on Chemical Changes in Lipid Fraction of Pasteurized Milk. *Lipids in Health and Disease*, 17: 190.
- Ajmal, M., M. Nadeem, M. Imran, and M. Junaid. 2018. Lipid Compositional Changes and Oxidation Status of Ultra-High

- Temperature Treated Milk. *Lipids in Health and Disease*, 17: 227.
- Alirezalu, K., P.E.S. Munekata, O. Parniakov, F.J. Barba, J. Witt, S. Toepfl, A. Wiktor, and J.M. Lorenzo. 2019. Pulse Electric Field and Milk Heating for Milk Processing: A Review on Recent Advance. *Journal of The Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9942>.
- Bermudez-Aguirre, D., S. Fernandez, H. Esquivel, P.C. Dunne, and G.V. Barbosa-Canovas. 2011. Milk Processed by Pulse Electric Fields: Evaluation of Microbial Quality, Physicochemical Characteristic, and Selected Nutrients at Different Storage Conditions, 76 (5): S289-S299. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02171.x>
- Chandan, R.C. and K.M. Shahani. 1964. Milk Lipase A Review. *Journal of Dairy Science*, 47 (5): 471-480. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(64\)88694-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(64)88694-X).
- Dewi, S.R., N. Sumarni, N. Izza, A.W. Putranto, and B. Susilo. 2019. Studi variasi Kuat Medan Listrik PEF dan Metode Pengeringan Bahan Terhadap Senyawa Antioksidan Ekstrak Daun Torbangun (*Coleus amboinicus* L.). *Jurnal Keteknik Pertanian*, 7(1): 91-98. <https://doi.org/10.19028/jtep.07.1.91-98>.
- Donsi, F., F. Giovana, and G. Pataro. 2010. Applications of Pulsed Electric Field Treatments for The Enhancement of Mass Transfer from Vegetable Tissue, *Journal of Food Eng. Rev.* 2: 109-130.
- Floury, J., N. Grosset, N. Leconte, M. Pasco, M.N. Madec, R. Jeantet. 2006. Continuous Raw Skim Processing by Pulse Electric Field at non-lethal Temperature: Effect on Microbial Inactivation and Functional Properties. *Le Lait*, INRA Edition, 86 (1): 43-57. DOI: 10.1051/lait:2005039.
- Foroutan, A., A.C. Guo, R. Vasquez-Fresno, M. Lipfert, L. Zhang, J. Zheng, H. Badran, Z. Budinski, R. Mandal, B.N. Ametaj, and D.S. Wishart. 2019. Chemical Composition of Chemical Cow's Milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67 (17): 4897-4914.
- Fox, P.F. 1981. Heat-Induced Changes in Milk Preceding Coagulation. *Journal of Dairy Science*, 64 (11): 2127-2137. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82819-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82819-6).
- Fusco, V., D. Chieffi, F. Fanelli, A.F. Logrecio, G.S. Cho, J. Kabisch, C. Bohnlein, and C.M.A.P. Franz. 2020. Microbial Quality and Safety of Milk and Milk Products in the 21<sup>st</sup> Century. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19: 20013-2049. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12568>.
- Haddad, G.S. and M. Loewenstein. 1983. Effect of Several Heat Treatment and Frozen Storage on Thiamine, Riboflavin and Ascorbic Acid Content of Milk. *Journal of Dairy Science*, 66 (8): 1601-1606.
- Hendrawan, Y., A.W. Putranto, T.R. Fauziah, and B.D. Argo. 2020. Modeling and Optimization of Tensile Strength of Arrowroot Bioplastic using Response Surface Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 515, 012079. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/515/1/012079>
- Hendrawan, Y., B. Susilo, A.W. Putranto, D.F. Al-Riza, D.M. Maharani, and M.N. Amri. 2016. Optimasi dengan Algoritma RSM-CCD pada Evaporator Vakum Waterjet dengan Pengendali Suhu Fuzzy pada Pembuatan Permen Susu. *Jurnal Agritech*, 36(2): 226-232. <https://doi.org/10.22146/agritech.12868>
- Izza, N., S.R. Dewi, A.W. Putranto, D.R. Yuneri, and M.Y.S. Dachi. 2016. Ekstraksi Senyawa Fenol Daun Kenikir (*Cosmos caudatus*) dengan *Pulse Electric Field* (PEF), *Jurnal Teknologi Pertanian*, 17(2): 91-96.
- King, C.G. and W.A. Waugh. 1934. The Effect of Pasteurization upon the Vitamin C Content of Milk. *Journal of Dairy Science*, 17 (7): 489-496. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(34\)93263-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(34)93263-X).
- Ma, Y and D.M. Barbano. 2003. Milk pH as Function of CO<sub>2</sub> Concentration, Temperature and Pressure in Heat Exchanger. *Journal of Dairy Science*, 86 (12): 3822-3830.
- Muslim, C., L.C. Hawa, and B.D. Argo. 2012. Pasteurisasi Non-Termal Pada Susu Sapi Segar untuk Inaktivasi Bakteri *Staphylococcus aureus* Berbasis *Pulse Electric Field* (PEF). *Jurnal Keteknik*

- Pertanian Tropis dan Biosistem, 1(1): 35-49.
- Nowosad, K., M. Sujka, U. Pankiewicz, and R. Kowalski. 2021. The Application of PEF Technology in Food Processing and Human Nutrition. *Journal of Food Science and Technology*, 58 (2): 397-411. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04512-4>.
- Odrizola-Serrano, I., S. Bendicho-Porta, and O. Martin-Belloso. 2006. Comparative Study of Shelf Life of Whole Milk Processed by High-Intensity Pulse Electric Fields or heat Treatment. *Journal of Dairy Science*, 89 (3): 905-911.
- Priyanto, A.D., L.A. Wicaksono, and A.W. Putranto. 2021. Pengaruh Suhu dan Waktu Pre-Heating pada Kualitas Fisik, Total Mikroba dan Organoleptik Susu Kolagen Sapi yang Dipasteurisasi Menggunakan *Pulsed Electric Field*. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 9 (2): 141-153. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2021.009.02.05>
- Putranto, A.W., B.D., Argo, and S. Wijana, 2014. Green pulsed electric field-assisted extraction method of total carotenoid carrot pulp using olive oil as solvent, *Indonesian Green Technology Journal*, 3(1): 1-9.
- Putranto, A.W., S.R., Dewi, Y. Puspitasari, and F.A. Nuriah. 2018. Optimization of free radical scavenging capacity and pH of *Hylocereus polyrhizus* peel by response surface methodology, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131(1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/131/1/012051>
- Putranto, A.W., S.H. Abida, K. Adrebi and A. Hariati. 2020. Lignocellulosis Analysis of Corn cob Biomass by Using Non-Thermal Pulsed Electric Field-NaOH Pre-Treatment. *Reaktor*, 20 (4): 183-191. <https://doi.org/10.14710/reaktor.20.4.183-191>
- Putranto, A.W., A.D. Priyanto, T. Estiasih, Widyasari, and H. Munarko. 2022. Optimasi Waktu *Pre-Heating* dan Waktu *Pulsed Electric Field* Terhadap Total Mikroba dan Sifat Fisik Susu. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 10(1): 39-48. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v10i1.321>
- Regula, A., g. Boneza, H. Putskowiak. 2005. The Effect of Heat Treatment on The Free Fatty Acid in Ewe's Milk. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 21(5-6): 237-240.
- Ritota, M., M.D.G.D. Costanzo, M. Mattera, and P. Manzi. 2017. New Trends for the Evaluation of Heat Treatment of Milk. *Journal of Analytical Method in Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2017/1864832>.
- Said, K.A.M. and M.A.M. Amin. 2015. Overview o the Response Surface Methodology (RSM) in Extraction Process. *Journal of Applied Science and Process Engineering*, 2 (1): 8-16. <https://doi.org/10.33736/jaspe.161.2015>.
- Sepulveda, D.R., M.M. Gongora-Nieto, J.A. Guerrero, and G.V. Barbosa-Canovas. 2005. Production of Extended-Self Milk by Processing Pasteurized Milk with Pulse Electric Fields. *Journal of Food Engineering*, 67 (1-2): 81-86.
- Sharma, P., I. Oey, and D.W. Everett. 2014. Effect of Pulse Electric Field Processing on the Functional Properties of Bovine Milk. *Trends in Food Science and Technology*, 35: 87-101.
- Timmermans, R.A.H., H.J. Mastwijk, L.B.J.M. Berendsen, A.L. Nederhoff, A.M. Matser, M.A.J.S. Van Boekel, and M.N. Nierop Groot. 2019. Moderate Intensity Pulse Electric Fields (PEF) as Alternative Mild Preservation Technology for Fruit Juice. *International Journal of Food Microbiology*, 298: 63-73.
- Vijayalakshmi, S., S. Nadasabhapathi, R. Kumar, and S.S. Kumar. 2018. Effect of pH and Pulse Electric Fields Process Parameters on the Aflatoxin Reduction in Model System Using Response Surface Methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 55 (3): 868-878. doi: 10.1007/s13197-017-2939-3.
- Wouters, P.C., N. Dutreux, J.P.P.M. Smelt, and H.L.M. Lelieveld. 1999. Effects of Pulse Electric Fields on Inactivation Kinetics of *Listeria innocua*. *Applied and Environment Microbiology*, 65 (12): 5364-5371.
- Yolmeh, M. and S.M. Jafari. 2017. Application of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes. *Food and Bioprocess Technology*, 10 (3).

- <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1855-2>.
- Zao, W., R. Yang, and H.Q. Zhang. 2012. Recent Advances in The Action of Pulsed Electric Fields on Enzyme and Food Component Proteins. *Trends in Food Science and Technology*, 27 (2): 83-96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.05.007>.
- Zhang, Z.H., X.A. Zeng, C.S. Brennan, M. Brennan, Z. Han, and X.Y. Xiong. 2015. Effect of Pulse Electric Field (PEF) on Vitamin C and Its Antioxidant Properties. *International Journal of Molecular Science*, 16 (10): 24159-24173.