



## Ekstraksi Pigmen Betasianin Menggunakan Teknologi Pulsed Electric Fields (PEF): Review

Syarifa Ramadhani Nurbaya<sup>1\*</sup>, Rahmah Utami Budiandari<sup>1</sup>, Lukman Hudi<sup>1</sup>, Rima Azara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Jalan Raya Gelam No. 250, Candi, Sidoarjo

\*email penulis: [syarifa@umsida.ac.id](mailto:syarifa@umsida.ac.id)

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Disubmit: 22-12-2023  
Direvisi: 14-02-2024  
Disetujui: 06-04-2024

### Kata Kunci:

Betasianin, Ekstraksi, Pulse Electric Fields

### ABSTRAK

PEF (Pulsed Electric Fields) adalah proses non termal yang melibatkan penggunaan pulse pendek ( $\mu\text{s}$ -ms) dengan voltase tinggi pada material yang diletakkan di antara dua elektroda. PEF dapat digunakan untuk proses ekstraksi. Hal ini dikarenakan PEF menyebabkan elektroporasi membran sel. Mekanisme elektroporasi yang disebabkan oleh PEF mekanismenya terbagi menjadi tiga fase, yaitu fase 1 (inisiasi pembentukan pori-pori dan destabilisasi sementara struktur membrane), fase 2 (pori-pori mengembang dan teragregasi), dan fase 3 (tahap final elektroporasi). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa PEF dapat digunakan untuk ekstraksi pigmen betanin dengan kekuatan medan Listrik antara 1-20 kV/cm.

## Pendahuluan

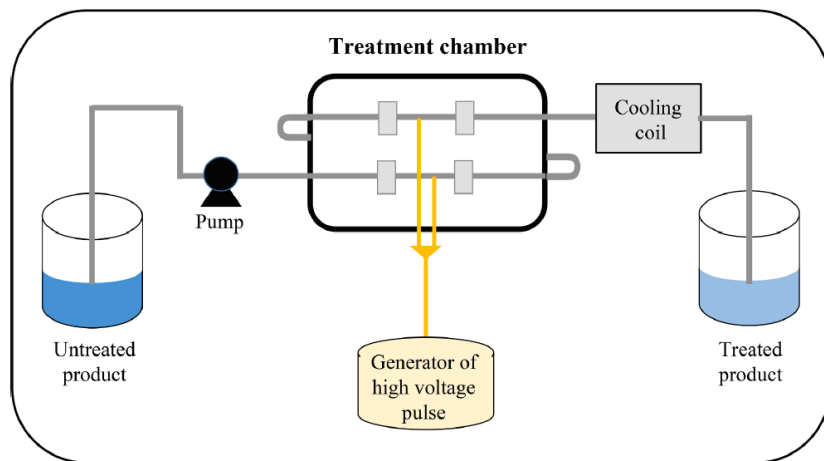
Pigmen betalain terdapat pada tanaman yang termasuk dalam ordo Caryophyllales. Pigmen betalain terbagi menjadi dua kelas besar, yaitu betasianin dan betaxanthin. Betasianin menghasilkan warna merah-violet dan betaxanthin menghasilkan warna kuning-jingga (Calva-Estrada et al., 2022; Rahimi et al., 2019). Betasianin terbagi lagi menjadi beberapa jenis. Yang termasuk dalam kelompok betasianin antara lain: betanin, amaranthin, gomphrenin, dan 2-descarboxy-betanin. Yang termasuk dalam kelompok betaxanthin antara lain: asam amino-derivat konjugasi dan asam derivat konjugasi (Pavokovic & Krsnik-Rasol, 2011). Betasianin dapat dimanfaatkan menjadi pewarna alami yang dapat diaplikasikan pada produk pangan, farmasi, dan kosmetik. Betasianin dapat ditemukan pada umbi bit, buah naga, dan pir Kaktus (Faridah et al., 2015; Fu et al., 2021; Koubaa et al., 2016; Kumorkiewicz-jamro & Tomasz, 2021; Nowacka et al., 2019).

PEF (Pulsed Electric Fields) merupakan proses non termal yang melibatkan penggunaan pulse pendek ( $\mu\text{s}$ -ms) dengan voltase tinggi pada material yang diletakkan di antara dua elektroda (Giteru et al., 2018). PEF memberikan peranan penting pada pengolahan pangan, antara lain: inaktivasi mikroorganisme, ekstraksi komponen aktif pada bahan pangan, modifikasi biomakromolekul, meningkatkan laju reaksi kimia, serta mempercepat proses fermentasi pada pangan fermentasi (Niu et al., 2020). PEF menyebabkan elektroporasi membran sel (Moens et al., 2021). Hal ini menyebabkan pori-pori membran sel menjadi membesar sehingga dapat meningkatkan permeabilitas sel. Jangkauan medan listrik dengan kekuatan 0,1–1 kV/cm menyebabkan permeabilisasi yang bersifat reversibel pada sel tumbuhan, 0,5–3 kV/cm menyebabkan permeabilisasi yang bersifat ireversibel pada jaringan tanaman dan hewan, dan 15-40 kV/cm menyebabkan permeabilisasi yang bersifat ireversibel pada sel mikroba (Nowosad et al., 2021).

## Hasil dan Pembahasan

### Mekanisme Ekstraksi Menggunakan PEF

Teknologi PEF dapat digunakan untuk proses ekstraksi. Hal ini dikarenakan PEF dapat menyebabkan elektroporasi yang dapat meningkatkan transfer massa dari komponen intraseluler di dalam matriks tanaman. Selain itu, perlakuan dengan PEF menyebabkan lapisan bilipid pada sel menjadi tidak stabil, mengubah permeabilitasnya dan memfasilitasi kontak antara pelarut dan komponen intraseluler yang ditargetkan (Bocker & Silva, 2022). Lapisan bilipid merupakan lapisan sel yang memiliki densitas rendah dan diapit oleh lapisan protein (Rogers, 2019). Skema peralatan PEF dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema peralatan PEF (Bocker & Silva, 2022)

Mekanisme ekstraksi menggunakan PEF berdasarkan pada penerapan medan listrik intensitas rendah ke jaringan biologis. Akan terdapat akumulasi muatan pada permukaan membran sel yang bereorientasi pada muatan listrik atau dipol molekul lipid yang ada di dalam strukturnya. Dengan demikian, potensial membran atau tegangan (voltase) membran dari lapisan bilipid meningkat, mempromosikan melemahnya membran plasma, dan menurunkan selektivitas untuk masuknya komponen ion ekstraseluler. Membran berpotensi membentuk pori-pori dalam struktur sel, mengubah semi-permeabilitasnya dengan mencapai nilai kritis. Fenomena ini disebut elektroporasi, dapat terjadi secara permanen atau reversibel tergantung pada intensitas medan listrik yang diterapkan. Sel-sel tidak dapat kembali ke semi-permeabilitas aslinya setelah terkena nilai tertentu. Elektroporasi dapat meningkatkan efek merusak pada integritas sel, seperti fusi sel, agregasi protein ke membran plasma, penyisipan mikro dan makromolekul, dan penghancuran struktur sel.

Elektroporasi yang terjadi karena PEF di dalam jaringan tanaman terdiri dari sebuah proses dinamis yang tidak instan di mana mekanismenya terbagi menjadi beberapa fase, yaitu (Bocker & Silva, 2022):

a. Fase 1

Terjadi sekitar 10 ns dan terdiri dari polarisasi dan pengisian daya membran sel, di mana dapat menginisiasi pembentukan pori-pori dan destabilisasi sementara struktur membran.

b. Fase 2

Terdiri dari seluruh periode kontak sampel dengan pulsa listrik (kurang dari 1 detik). Pada tahap ini, pori-pori mengembang dan teragregasi.

c. Fase 3

Merupakan tahap final elektroporasi, terdiri dari restrukturisasi membran sel ketika mencoba untuk kembali ke struktur semi-permeabel aslinya.

**Parameter Proses dan Hasil Ekstraksi PEF**

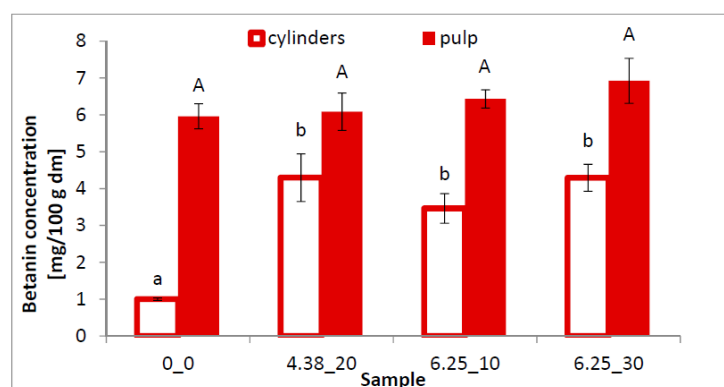
Parameter proses ekstraksi pigmen betasianin menggunakan PEF dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter proses PEF assisted extraction pada tanaman yang mengandung pigmen betanin.

No	Matriks Tanaman	Parameter Proses PEF	Hasil Penelitian	Referensi
1	Umbi bit ( <i>Beta vulgaris L.</i> )	-Kekuatan medan listrik: 4.38 dan 6.25 kV/cm -Energi input spesifik: 0- 12.5 kJ/kg -Lebar pulsa: 10 µs -Jumlah pulsa: 10 - 30 -Frekuensi: -	Kekuatan medan listrik 4.38 kV/cm dan energi input spesifik 4.10 kJ/kg memungkinkan ekstraksi betanin 329% lebih banyak dibandingkan perlakuan kontrol.	(Nowacka et al., 2019)
2	Umbi bit ( <i>Beta vulgaris L.</i> )	-Kekuatan medan listrik: 0, 1, 3, 5,7, dan 9 kV/cm -Energi input spesifik: 0, 0.02, 0.09, 0.24, 0.50, dan 0.70 kJ/kg -Lebar pulsa: - -Jumlah pulsa: 5 -Frekuensi: 1 Hz	Hasil ekstraksi betanin dipengaruhi oleh aplikasi kekuatan medan listrik, suhu, dan pH media cair. Namun, tekanan dan jumlah pulsa yang digunakan dalam proses tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap <i>recovery</i> betanin. pH 3,5 dan suhu pada kisaran 30 - 40 °C berkontribusi pada hasil ekstrak yang paling tinggi.	(López et al., 2009)
3	Umbi bit ( <i>Beta vulgaris L.</i> )	-Kekuatan medan listrik: 0.2 – 0.6 kV/cm (jangkauan ms) dan 2 - 6 kV/cm (jangkauan µs) -Energi input spesifik:	Perlakuan PEF dalam kisaran ms dan µs efektif untuk disintegrasi sel bit merah meningkatkan hasil ekstraksi betanin menggunakan air. Namun, perlakuan PEF dalam kisaran µs	(Luengo et al., 2016)

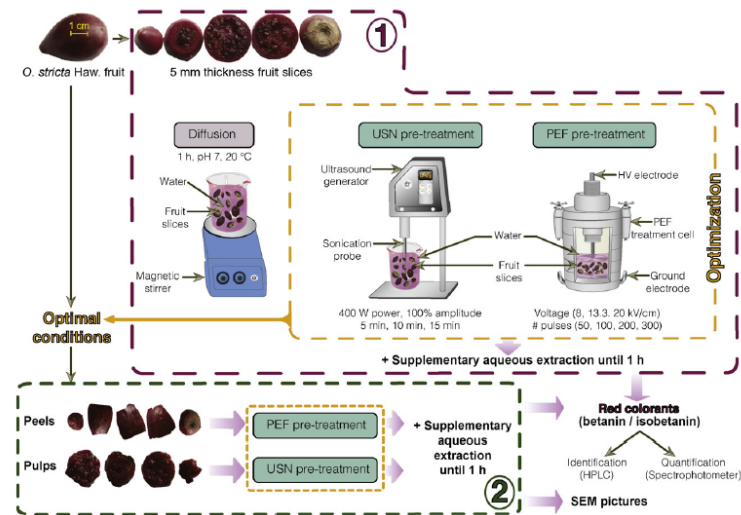
		1.6 – 57.6 kJ/kg (jangkauan ms) dan 0.04 – 74.16 kJ/kg (jangkauan $\mu$ s) -Lebar pulsa: 1 ms dan 3 $\mu$ s -Jumlah pulsa: 10 – 80 (jangkauan ms) dan 5-100 (jangkauan $\mu$ s) -Frekuensi: 1 Hz	lebih efisien untuk meningkatkan ekstraksi betanin di dalam hal total konsumsi energi spesifik.
4	Pir berduri merah ( <i>Opuntia stricta</i> Haw)	-Kekuatan medan listrik: 8 – 20 kV/cm -Energi input spesifik: 24 – 145 kJ/kg -Lebar pulsa: 10 $\mu$ s -Jumlah pulsa: 0 – 300 -Frekuensi: 0.5 Hz	Perlakuan PEF lebih menguntungkan dibandingkan dengan perlakuan ultrasonik karena konsumsi energi PEF lebih rendah dibandingkan ultrasonik. Pengamatan menggunakan scanning electron microscopy (SEM) mengungkapkan bahwa kemampuan PEF untuk menginduksi permeabilisasi dinding sel tanpa disintegrasi jaringan sel memfasilitasi pemulihan senyawa intraseluler secara selektif. (Koubaa et al., 2016)

Nowacka et al., (2019) meneliti tentang pengaruh PEF dengan kekuatan medan listrik yang berbeda (4.38 dan 6.25 kV/cm) terhadap hasil ekstraksi pigmen betanin pada umbi bit. Perbandingan kadar betanin pada bit berbentuk silinder dan pulp pada berbagai jenis medan listrik yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2. Peningkatan kadar betanin menunjukkan bahwa PEF memfasilitasi ekstraksi dengan meningkatkan permeabilitas membran sel.

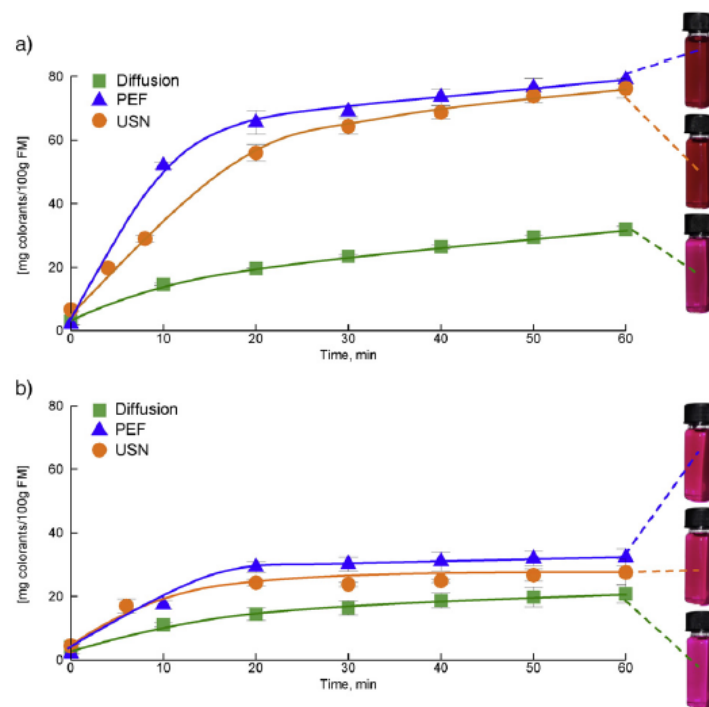


Gambar 2. Perbandingan kadar betanin pada bit berbentuk silinder dan pulp (Nowacka et al., 2019)

Koubaa et al., (2016) meneliti tentang ekstraksi pigmen betanin dari pir merah berduri (*Opuntia stricta* Haw.). Bagian yang diekstraksi adalah bagian kulit dan bubuk umbi. Perlakuan ekstraksi yang diberikan antara lain: difusi, ultrasonik, dan PEF. Skema penelitian Koubaa et al., (2016) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema penelitian. HV: high voltage, PEFs: pulsed electric fields, USN: ultrasounds, SEM: scanning electron microscopy (Koubaa et al., 2016)



Gambar 4. Perbandingan betanin recovery yang diekstraksi dengan menggunakan metode PEF dan ultrasonik (a: kulit buah; b: bubuk buah) (Koubaa et al., 2016)

Berdasarkan grafik pada gambar 4, dapat diketahui bahwa perlakuan PEF pada kulit buah pir berduri merah menghasilkan ekstrak dengan kadar pigmen betanin tertinggi (75 mg/100 berat segar).

Aplikasi PEF dapat membutuhkan energi yang lebih sedikit dibanding ultrasonik (27 kJ/kg untuk PEF dibandingkan dengan 800 kJ/kg untuk ultrasonik).

## Kesimpulan

PEF merupakan salah satu teknologi ekstraksi yang menerapkan green technology. PEF menyebabkan elektroporasi membran sel. Hal ini menyebabkan pori-pori membran sel menjadi membesar sehingga dapat meningkatkan permeabilitas sel. Konsumsi energi pada PEF lebih rendah daripada ekstraksi menggunakan ultrasonik.

## Ucapan Terimakasih

## Kepustakaan

- Bocker, R., & Silva, E. K. (2022). Pulsed electric field assisted extraction of natural food pigments and colorings from plant matrices. *Food Chemistry: X*, 15(July), 100398. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100398>
- Calva-Estrada, S. J., Jim'enez-Fernandez, M., & Lugo-Cervantes, E. (2022). *Food Chemistry : Molecular Sciences Betalains and their applications in food : The current state of processing , stability and future opportunities in the industry*. 4(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>
- Faridah, A., Syukri, D., & Holinesti, R. (2015). Simple Characterization Of Betalain Compound From Red Pitaya (*Hylocereus Polyrhizus*) Peel Solution. *Advanced Science Engineering Information Technology*, 5(3), 56–60.
- Fu, Y., Shi, J., Xie, S., Zhang, T., Soladoye, O. P., & Aluko, R. E. (2021). *Red Beetroot Betalains : Perspectives on Extraction , Processing , and Potential Red Beetroot Betalains : Perspectives on Extraction , Processing , and Potential Health Bene fi ts*. May. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04241>
- Giteru, S. G., Oey, I., & Ali, M. A. (2018). Feasibility of using pulsed electric fields to modify biomacromolecules: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 72(December 2017), 91–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.009>
- Koubaa, M., Barba, F. J., Grimi, N., Mhemdi, H., Koubaa, W., Boussetta, N., & Vorobiev, E. (2016). Recovery of colorants from red prickly pear peels and pulps enhanced by pulsed electric field and ultrasound. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.015>
- Kumorkiewicz-jamro, A., & Tomasz, S. (2021). *Natural Product Reports Multi-colored shades of betalains : recent advances in betacyanin chemistry*. 2315–2346. <https://doi.org/10.1039/d1np00018g>
- López, N., Puértolas, E., Condón, S., Raso, J., & Ignacio Álvarez. (2009). Enhancement of the solid-liquid extraction of sucrose from sugar beet (*Beta vulgaris*) by pulsed electric fields. *Lwt*, 42(10), 1674–1680. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.015>
- Luengo, E., Martínez, J. M., Álvarez, I., & Raso, J. (2016). Effects of millisecond and microsecond pulsed electric fields on red beet cell disintegration and extraction of betanines. *Industrial Crops and Products*, 84, 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.016>
- Moens, L. G., Plas, K., Van Ceunebroeck, J. C., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. G. (2021). Effect of pulsed electric field, mild thermal pretreatment and calcium on texture changes of potato (*Solanum tuberosum* L.) during subsequent cooking. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 74(July), 102830. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102830>
- Niu, D., Zeng, X. A., Ren, E. F., Xu, F. Y., Li, J., Wang, M. S., & Wang, R. (2020). Review of the application of pulsed electric fields (PEF) technology for food processing in China. *Food Research*

- International*, 137(August), 109715. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109715>
- Nowacka, M., Tappi, S., Wiktor, A., Rybak, K., Miszczykowska, A., Czyzewski, J., Drozdal, K., Witrowa-Rajchert, D., & Tylewicz, U. (2019). The impact of pulsed electric field on the extraction of bioactive compounds from beetroot. *Foods*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/foods8070244>
- Nowosad, K., Sujka, M., Pankiewicz, U., & Kowalski, R. (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>
- Pavokovic, D., & Krsnik-Rasol, M. (2011). Complex biochemistry and biotechnological production of betalains. *Food Technology and Biotechnology*, 49(2), 145–155.
- Rahimi, P., Mesbah-Namin, S. A., Ostadrahimi, A., Separham, A., & Asghari Jafarabadi, M. (2019). Betalain- and betacyanin-rich supplements' impacts on the PBMC SIRT1 and LOX1 genes expression and Sirtuin-1 protein levels in coronary artery disease patients: A pilot crossover clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 60(June), 103401. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.06.003>
- Rogers, G. E. (2019). Known and unknown features of hair cuticle structure: A brief review. *Cosmetics*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/COSMETICS6020032>