

DAMPAK PENAMBAHAN SORBITOL TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK BIJI KOPI ROBUSTA SELAMA PENYANGRAIAN

Umar Hafidz Asy'ari Hasbullah ¹⁾, Hikmahyuliani ²⁾, Laela Nur Rokhmah ³⁾

^{1,2)} Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang, Jl. Sidodadi Timur No. 24 Semarang, Jawa Tengah.

³⁾ Politeknik Santo Paulus Surakarta, Jl. Dr. Radjiman No. 659 R Pajang, Laweyan, Surakarta, Jawa Tengah.
*Email: umarahfidzah@gmail.com

Abstrak

Penambahan sorbitol dalam biji kopi ditujukan untuk meningkatkan aroma dan antioksidan setelah disangrai. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan fisik pada biji kopi robusta selama penyangraian. Parameter yang diamati adalah suhu dan waktu first crack, second crack, akhir proses penyangraian, dan munculnya asap. Konsentrasi sorbitol terdiri dari 0%, 5% dan 10% (b/b). Sedangkan jenis penyangraian terdiri dari light, medium dan dark. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan sorbitol dan jenis penyangraian berpengaruh terhadap sebagian besar parameter fisik selama penyangraian. Peningkatan konsentrasi sorbitol menyebabkan penurunan suhu second crack dan suhu munculnya asap. Namun seluruh parameter waktu mengalami kenaikan. Tingkat penyangraian yang semakin meningkat menyebabkan kenaikan waktu seluruh parameter. Meskipun demikian, suhu seluruh parameter cenderung berfluktuasi.

Kata kunci: first crack, second crack, *Coffea canephora*, waktu sangrai

Abstract

Addition of sorbitol in coffee beans is intended to enhance flavor and antioxidants after roasting. This study aims to identify physical changes in robusta coffee beans during roasting. The parameters observed were temperature and time of first crack, second crack, end of roasting process, and the appearance of smoke. Sorbitol concentration consists of 0%, 5% and 10% (w/w). While the type of roasting consists of light, medium and dark. The results showed that the addition of sorbitol and the type of roasting affected most physical parameters during roasting. Increasing the concentration of sorbitol causes a decrease in second crack temperature and the temperature of the appearance of smoke. But all time parameters have increased. The increasing level of roasting causes an increase in the time of all parameters. However, the temperature of all parameters tends to fluctuate.

Keywords : first crack, second crack, *Coffea canephora*, roasting time

1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan utama di Indonesia. Volume ekspor kopi mencapai 414,65 ribu ton dengan nilai mencapai US\$ 1,008 milyar (BPS, 2017). Produksi kopi nasional mencapai 639 ribu ton. Jumlah produksi kopi robusta mencapai 83% dari total produksi nasional (DJP, 2016).

Kopi robusta memiliki profil aroma yang kurang dari arabika (Abdulmajid, 2014; Kreuml, Majchrzak, Ploederl, & Koenig, 2013; Bicho, Leitão, Ramalho, Alvarenga, & Lidon, 2015). Disisi lain peningkatan profil flavor dapat dilakukan dengan menambahkan prekursor flavor sebelum proses penyangraian (Ludwig, Bravo, & Peña, 2013; Ginz, Balzer, Bradbury, & Maier, 2000). Salah satu senyawa yang dapat digunakan ialah sorbitol (Hunter & Walden, 1969). Pemberian sorbitol dalam biji kopi membuat karakteristik biji kopi berubah. Hal ini dimungkinkan mempengaruhi perilaku perubahan fisik biji kopi selama penyangraian (Jokanović, Džinić, Cvetković, Grujić, & Odžaković, 2012).

Selama penyangraian akan terjadi perubahan mulai dari meningkatnya suhu biji kopi hingga perubahan komponen kimia didalamnya (Wei & Tanokura, 2015; Ginz et al., 2000). Penyangraian merupakan langkah penting dalam produksi kopi untuk menghasilkan flavor, aroma, rasa dan warna dari biji kopi (Anisa, Solomon, & Solomon, 2017; Czerny & Grosch, 2000; Moon & Shibamoto, 2009). Penerapan transfer panas dan suhu yang sesuai merupakan parameter penting utama yang dapat mempengaruhi komponen fisik dan kimia dari biji kopi sangrai (Schenker, Handschin, Frey, Perren, & Escher, 2000; Edzuan, Aliah, & Bong, 2015; Strezov & Evans, 2007).

Terjadinya peristiwa first crack karena gas yang terdesak keluar menyebabkan munculnya bunyi letupan pertama. Seiring dengan meningkatnya suhu maka ledakan akibat desakan gas dari dalam biji akan semakin banyak yang ditandai dengan munculnya second crack (Magrini & Stallone, 2018). Perubahan komponen kimia termasuk reaksi maillard, karamelisasi, oksidasi dan pirolisis akan menyebabkan terbentuknya flavor dalam kopi (Yeretzian, Jordan,

Brevard, & Lindinger, 2000; Gloess et al., 2014; Baggenstoss, Poisson, Kaegi, Perren, & Escher, 2008).

2. METODE

Bahan dan alat

Biji kopi robusta yang digunakan berasal dari Gunung Kelir, Jawa Tengah. Sorbitol cair konsentrasi 70 % diperoleh dari Brataco. Alat yang digunakan *roaster bean coffee* (eureca IPX1-Italy), *green bean coffee grinder* (RT-02A) *rong tsong precision technology Co*, alat gelas, *hotplate magnetic stirrer*, *water bath*, pengering cabinet, *stopwatch*.

Rancangan percobaan

Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial. Faktor pertama konsentrasi sorbitol yang terdiri dari 0, 5, dan 10 g per 100 g biji kopi. Faktor kedua tingkat penyangraian yang terdiri dari tingkat light, medium, dan dark. Setiap perlakuan dilakukan 3 kali pengulangan.

Penambahan sorbitol dalam biji kopi

Biji kopi direndam dalam 100 ml larutan sorbitol dengan konsentrasi 0, 5, dan 10 gr per 100 gr biji kopi. Larutan sorbitol dan biji kopi diinkubasi dalam waterbath shaker pada suhu 45°C kecepatan 50 rpm selama 3 jam. Selanjutnya dikeringkan dalam pengering kabiner dengan suhu $\pm 50^\circ\text{C}$ selama 6 jam sampai kadar airnya seperti semula.

Penyangraian biji kopi

Biji kopi kering yang telah ditambahkan sorbitol sesuai perlakuan disangrai dalam mesin roaster. Suhu awal biji kopi masuk $\pm 180^\circ\text{C}$. Tingkat penyangraian terdiri dari tiga tingkat yaitu light, medium, dan dark. Selama proses ini dimonitor suhu dan waktu.

Pengamatan

Selama proses penyangraian dilakukan pengamatan terhadap suhu dan waktu terjadinya first crack, second crack, terbentuknya asap, dan akhir proses penyangraian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu dan waktu first crack

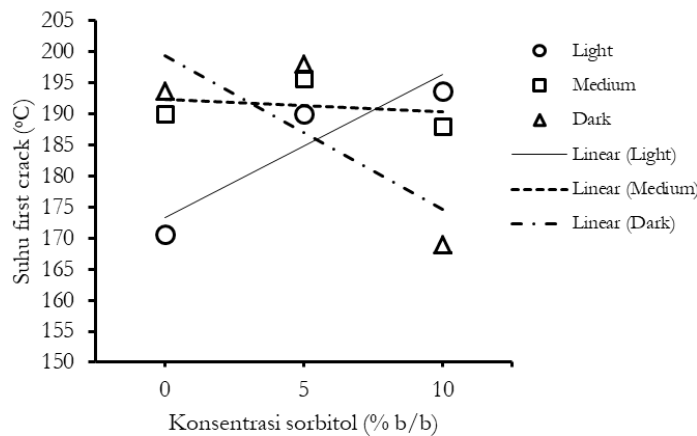
Cracking pada proses penyangraian kopi terjadi karena desakan gas pada tekanan yang sangat tinggi yang keluar dari dalam biji kopi. Gas tersebut terdesak keluar dan menyebabkan terjadinya suara ledakan

yang disebut cracking (Wilson, 2014). Tahap awal proses penyangraian akan terjadi kenaikan suhu dan peningkatan volume biji (Schenker et al., 2000; Fadai, Melrose, Please, Schulman, & Gorder, 2017). Selama itu air dan material di dalam biji kopi akan berubah menjadi gas dan menyebabkan tekanan gas didalam biji menjadi sangat tinggi (Vargas-Eliás, Corrêa, Souza, Baptestini, & Melo, 2016). Ledakan (popping) akan terjadi ketika struktur dinding biji kopi mencapai maksimum dalam menahan tekanan yang sangat tinggi tersebut. Peristiwa tersebut menyebabkan terbentuknya retakan pada biji kopi (Pittia, Rosa, & Lericci, 2001). Retakan terjadi pada sekitar garis tengah biji. Pori-pori dalam biji juga semakin besar yang diiringi peningkatan volume biji (Frisullo, Barnabà, Navarini, & Nobile, 2012; Oliveros, Hernández, Sierra-Espinosa, Guardián-Tapia, & Pliego-Solórzano, 2017). Suara ledakan yang pertama kali terdengar disebut first crack (Wilson, 2014). Peristiwa ini terjadi bersamaan dengan lepasnya senyawa asam volatile dan karbondioksida yang terakumulasi dalam dinding sel meninggalkan permukaan biji (Perren, Geiger, Schenker, & Escher., 2015).

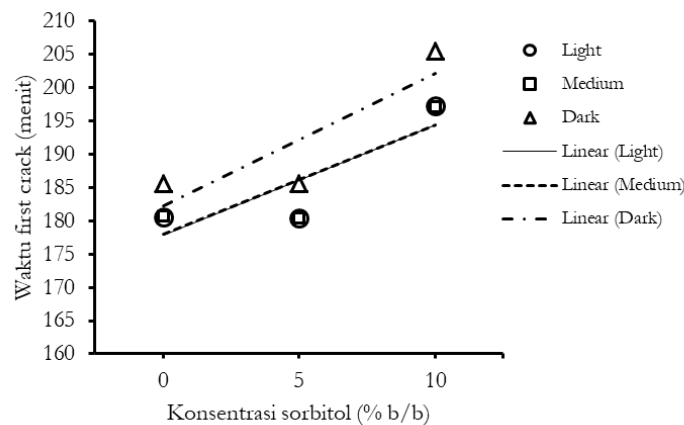
Pemberian sorbitol menyebabkan perubahan suhu first crack pada tiga tingkat penyangraian (Gambar 1). Peningkatan konsentrasi sorbitol yang ditambahkan dalam biji kopi menyebabkan peningkatan suhu first crack pada tingkat sangrai light. Sedangkan pada tingkat sangrai medium semakin meningkat konsentrasi sorbitol yang ditambahkan dalam biji kopi menyebabkan suhu first crack cenderung tidak begitu berubah. Namun pada tingkat sangrai dark justru memiliki pola yang terbalik dibandingkan light dimana semakin meningkat konsentrasi sorbitol yang ditambahkan dalam biji kopi menyebabkan suhu first crack semakin menurun.

Pemberian sorbitol dengan konsentrasi yang meningkat menyebabkan waktu terjadinya first crack semakin lama pada tiga tingkat sangrai (Gambar 2). Waktu terjadinya first crack pada tingkat sangrai light dan medium memiliki pola yang sama sedangkan tingkat sangrai dark lebih lama dibandingkan dua tingkat sangrai yang lain. Semakin meningkat konsentrasi sorbitol yang ditambahkan kedalam biji kopi menyebabkan semakin banyaknya komponen gula dalam biji kopi. Selama penyangraian komponen gula tersebut akan meleleh dan menyebabkan gas yang terbentuk semakin susah keluar. Hal ini disebabkan struktur dinding biji kopi yang semakin sulit diretakkan akibat lelehan gula di permukaan biji.

Ketika gula sudah berubah dan mengering maka desakan gas dalam biji akan mampu membuat popping dan terjadi retakan pada biji kopi.



Gambar 1. Pengaruh penambahan sorbitol pada 3 tingkat sangrai terhadap suhu first crack



Gambar 2. Pengaruh penambahan sorbitol pada 3 tingkat sangrai terhadap waktu first crack

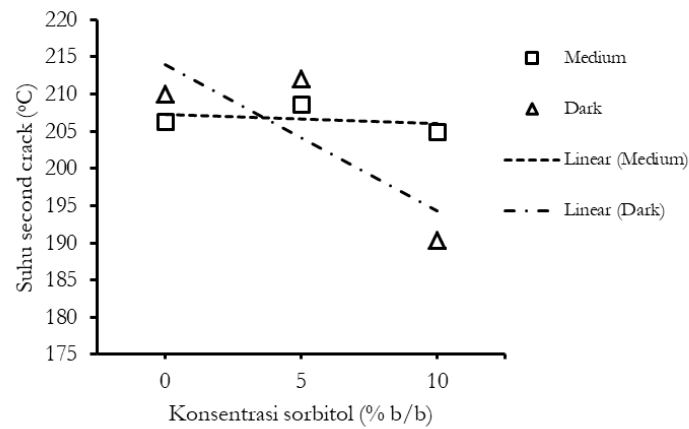
Suhu dan waktu second crack

Setelah first crack terjadi maka suhu penyangraian akan semakin meningkat. Peningkatan suhu selama penyangraian menyebabkan semakin banyak ledakan yang terjadi pada biji kopi semakin riuh terdengar (Fadai et al., 2017). Peristiwa ledakan yang semakin banyak yang ditandai dengan semakin riuhnya suara popping dinamakan second crack (Wilson, 2014). Kondisi ini hanya terjadi pada tingkat sangrai medium dan dark karena first crack merupakan akhir tingkat sangrai light.

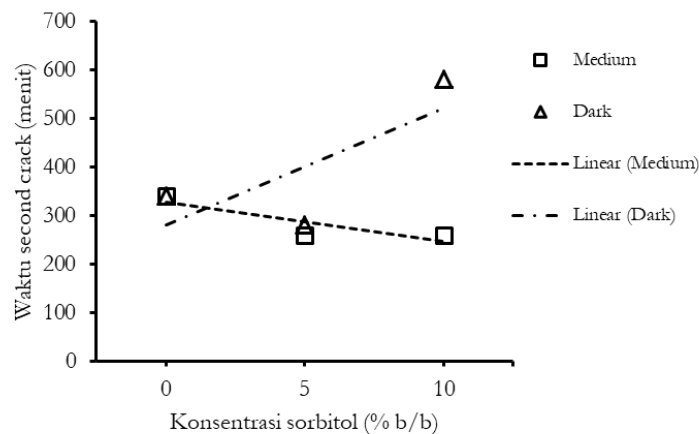
Semakin meningkat konsentrasi sorbitol yang ditambahkan pada biji kopi menyebabkan penurunan suhu second crack (Gambar 3). Penurunan suhu second crack pada tingkat sangrai medium sangat kecil. Sedangkan penurunan suhu second crack pada tingkat sangrai dark sangat besar. Hal ini dimungkinkan ketika permukaan biji kopi yang terlapisi gula sudah mengering maka desakan gas

bertekanan tinggi keluar dari biji kopi semakin mudah. Desakan gas tersebut menyebabkan popping dengan intensitas yang semakin banyak.

Peningkatan konsentrasi sorbitol dalam biji kopi menyebabkan penurunan waktu second crack pada tingkat penyangraian medium (Gambar 4). Sedangkan pada tingkat penyangraian dark terjadi kenaikan waktu second crack seiring dengan meningkatnya konsentrasi sorbitol. Waktu second crack yang semakin lama pada tingkat sangrai dark dimungkinkan berkaitan dengan gula yang melapisi permukaan kopi. Selama penyangraian akan terjadi pembesaran volume biji dan dekomposisi senyawa kimia dalam biji (Frisullo, Barnabà, et al., 2012). Dekomposisi senyawa kimia tersebut akan menghasilkan senyawa volatile dan gas yang akan meningkatkan tekanan gas di dalam biji (Wei & Tanokura, 2015). Lapisan gula di permukaan biji dimungkinkan membuat struktur permukaan menjadi lebih susah untuk popping.



Gambar 3. Pengaruh penambahan sorbitol pada 3 tingkat sangrai terhadap suhu second crack



Gambar 4. Pengaruh penambahan sorbitol pada 3 tingkat sangrai terhadap waktu second crack

Suhu dan waktu muncul asap

Asap muncul selama penyangraian disebabkan oleh berubahnya fase air menjadi gas. Air memiliki sensitifitas panas yang paling tinggi dan titik didih yang paling rendah dibandingkan senyawa lainnya dalam biji kopi. Ketika biji kopi mulai dimasukkan dalam mesin sangrai maka akan terjadi kenaikan suhu biji kopi (Fadai et al., 2017; Mwithiga & Jindal, 2003). Kenaikan suhu diawal proses penyangraian ini sebagian besar digunakan untuk menguapkan air bebas. Sedangkan air terikat masih tertinggal dalam biji dan baru akan menguap ketika suhu semakin tinggi (Vargas-Eliás et al., 2016; Kelly & Scott, 2000). Fase selanjutnya setelah selesai penguapan air ialah degradasi gula dan komponen organik lainnya. Komponen ini akan terdegradasi pada suhu yang sangat tinggi diatas 160°C. Hasil degradasinya berupa senyawa volatile seperti asam formiat, asam asetat, dan gas karbondioksida (Shimoni & Labuza, 2000). Selama penyangraian juga akan terjadi kenaikan suhu yang menyebabkan membesarnya pori-pori dalam biji

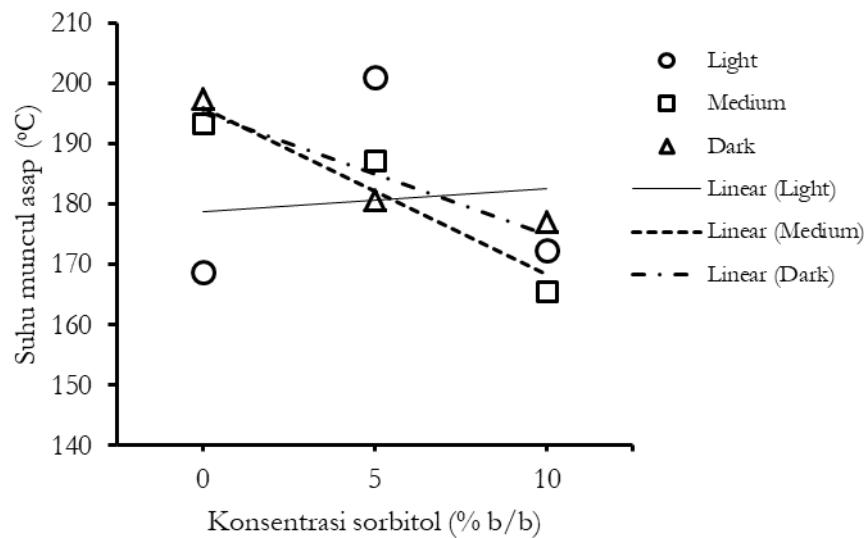
(Frisullo, Laverse, Barnabà, Navarini, & Nobile, 2012; Oliveros et al., 2017). Hal ini akan mempermudah gas yang ada di dalam untuk keluar dalam biji.

Peningkatan konsentrasi sorbitol dalam biji kopi menyebabkan berubahnya suhu munculnya asap (Gambar 5). Semakin meningkat konsentrasi sorbitol menyebabkan semakin meningkat suhu munculnya asap pada tingkat sangrai medium dan dark. Tetapi pada tingkat sangrai light cenderung tidak berubah. Penurunan suhu munculnya asap pada tingkat sangrai medium dan dark dimungkinkan terjadi karena gula yang dipermukaan biji kopi lebih cepat terdegradasi karena langsung kontak dengan dinding plat roaster yang suhunya sangat tinggi. Transfer panas kedalam inti biji menjadi lebih lama karena biji terlapisi gula yang lebih banyak. Asap yang muncul dimungkinkan lebih banyak yang disebabkan degradasi gula di permukaan biji.

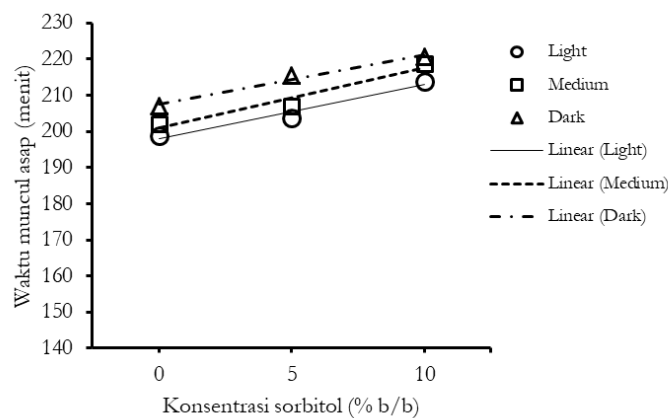
Peningkatan konsentrasi sorbitol menyebabkan semakin lamanya waktu munculnya asap pada tiga tingkat penyangraian (Gambar 6). Biji kopi terlapisi

gula sehingga semakin banyak gula yang melapisi permukaan biji maka suhu keluarnya asap semakin tinggi. Banyaknya gula di permukaan kopi menyebabkan degradasi komponen tersebut membutuhkan suhu yang lebih tinggi. Asap dalam

proses penyangraian biji kopi yang terlapisi gula ini lebih didominasi dari degradasi gula di permukaan biji ketika bersentuhan dengan plat sangrai yang suhunya sangat tinggi.



Gambar 5. Pengaruh penambahan sorbitol pada 3 tingkat sangrai terhadap suhu munculnya asap



Gambar 6. Pengaruh penambahan sorbitol pada 3 tingkat sangrai terhadap waktu munculnya asap

Suhu dan waktu akhir penyangraian

Akhir penyangraian pada tiga tingkat sangrai memiliki perbedaan kriteria. Tingkat sangrai light diakhiri ketika telah terjadi first crack. Penyangraian tingkat medium diakhiri ketika awal second crack. Sedangkan tingkat sangrai dark diakhiri ketika second crack done (berakhir). Penyangraian ini diakhiri ketika karakteristik sudah sesuai target tingkat penyangraian yang diinginkan. Warna biji kopi pada tingkat sangrai light berubah yang semula abu-abu kehijauan menjadi kuning kecoklatan. Sedangkan pada tingkat sangrai medium warna biji menjadi coklat. Warna biji kopi pada tingkat sangrai dark berubah menjadi coklat

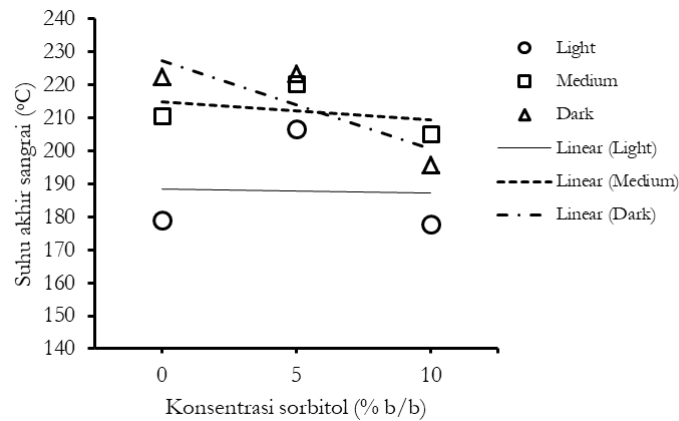
kehitaman (Shimoni & Labuza, 2000; Vosloo, 2017). Perubahan warna menjadi coklat tersebut disebabkan browning non enzimatis (Kelly & Scott, 2000).

Peningkatan konsentrasi sorbitol yang ditambahkan dalam biji kopi menyebabkan perubahan suhu akhir sangrai yang sangat kecil pada tingkat sangrai light dan medium (Gambar 7). Pemberian sorbitol dengan konsentrasi yang semakin meningkat pada biji kopi pada tingkat sangrai dark memiliki kecenderungan semakin menurunkan suhu akhir sangrai. Suhu akhir sangrai tingkat sangrai medium dan dark lebih tinggi dibandingkan tingkat sangrai light. Hal ini karena

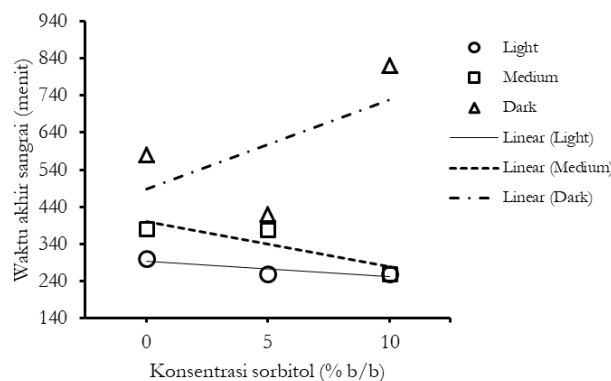
target karakteristik akhir dari biji sangrai yang diinginkan juga berbeda.

Peningkatan konsentrasi sorbitol yang ditambahkan dalam biji kopi menyebabkan penurunan waktu akhir penyangraian pada tingkat sangrai light dan medium

(Gambar 8). Sedangkan pada tingkat sangrai dark memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi sorbitol. Meskipun demikian, waktu akhir tingkat sangrai dark paling lama dan light paling rendah.



Gambar 7. Pengaruh penambahan sorbitol pada 3 tingkat sanrai terhadap suhu akhir penyangraian



Gambar 8. Pengaruh penambahan sorbitol pada 3 tingkat sanrai terhadap waktu akhir penyangraian

4. KESIMPULAN

Penambahan sorbitol dengan konsentrasi yang semakin meningkat menyebabkan berubahnya parameter fisik selama penyangraian biji kopi robusta. Perubahan ini ditandai dengan menurunnya suhu first crack, suhu second crack, dan suhu munculnya asap. Semakin meningkat konsentrasi sorbitol menyebabkan kenaikan waktu firs crack, second crack, munculnya asap dan akhir penyangraian. Sedangkan tingkat penyangraian banyak berpengaruh terhadap kenaikan semua parameter waktu, namun menurunkan suhu second crack dan suhu munculnya asap.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Mount Hearted yang telah membantu dalam penyediaan mesin roasting.

Penelitian ini merupakan payung dari hibah Penelitian Dosen Pemula yang didanai oleh LPPM Universitas PGRI Semarang.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdulmajid, A. M. (2014). Sensory Evaluation of beverage characteristics and biochemical components of Coffee Genotypes. *Advances in Food Science and Technology*, 2(12), 281–288.
- Anisa, A., Solomon, W. K., & Solomon, A. (2017). Optimization of roasting time and temperature for brewed hararghe coffee (*Coffea Arabica L.*) using central composite design. *International Food Research Journal*, 24(6), 2285–2294.
- Baggenstoss, J., Poisson, L., Kaegi, R., Perren, R.,

- & Escher, F. (2008). Coffee roasting and aroma formation : application of different time - temperature conditions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *56*, 5836–5846. <https://doi.org/10.1021/jf800327j>
- Bicho, N., Leitão, A. E., Ramalho, J. C., Alvarenga, N. B. de, & Lidon, F. C. (2015). Impact of roasting time on the sensory profile of arabica and robusta coffee. *Ecology of Food and Nutrition*, *52*(2), 163–177. <https://doi.org/10.1080/03670244.2012.706061>
- BPS. (2017). *Statistik Kopi Indonesia 2016*. Jakarta.
- Czerny, M., & Grosch, W. (2000). Potent odorants of raw arabica coffee . Their changes during roasting. *J. Agric. Food Chem*, *48*, 868–872. <https://doi.org/10.1021/jf990609n>
- DJP. (2016). *Statistik Perkebunan Indonesia Kopi 2015-2017*. Jakarta.
- Edzuan, A. M. F., Aliah, A. M. N., & Bong, H. L. (2015). Physical and chemical property changes of coffee beans during roasting. *American Journal of Chemistry*, *5*(3A), 56–60. <https://doi.org/10.5923/c.chemistry.201501.09>
- Fadai, N. T., Melrose, J., Please, C. P., Schulman, A., & Gorder, R. A. Van. (2017). A heat and mass transfer study of coffee bean roasting Nabil. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *104*, 787–799. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.083>
- Frisullo, P., Barnabà, M., Navarini, L., & Nobile, M. A. Del. (2012). Coffea arabica beans microstructural changes induced by roasting : An X-ray microtomographic investigation. *Journal of Food Engineering*, *108*, 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.07.036>
- Frisullo, P., Laverse, J., Barnabà, M., Navarini, L., & Nobile, M. A. Del. (2012). Coffee beans microstructural changes induced by cultivation processing : An X-ray microtomographic investigation. *Journal of Food Engineering*, *109*, 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.015>
- Ginz, M., Balzer, H. H., Bradbury, A. G. W., & Maier, H. G. (2000). Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. *Eur Food Res Technol*, *211*, 404–410.
- Gloess, A. N., Vietri, A., Wieland, F., Smrke, S., Schönbacher, B., Sánchez, J. A., ... Koziorowski, T. (2014). Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTR-ToF-MS. *International Journal of Mass Spectrometry*, *365–366*, 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2014.02.010>
- Hunter, I. R., & Walden, M. K. (1969). United States Patent Office. United State of America: 3,425,840.
- Jokanović, M. R., Džinić, N. R., Cvetković, B. R., Grujić, S., & Odžaković, B. (2012). Changes of physical properties of coffee beans during roasting. *Acta Periodica Technologica*, *43*, 21–31. <https://doi.org/10.2298/APT1243021J>
- Kelly, C., & Scott, J. (2000). Online thermal analysis of batch roasted coffee beans. In *The 21st Electronics New Zealand Conference (ENZCon)* (pp. 1–6). Hamilton, New Zealand.
- Kreuml, M. T. L., Majchrzak, D., Ploederl, B., & Koenig, J. (2013). Changes in sensory quality characteristics of coffee during storage. *Food Science & Nutrition*, *1*(4), 267–272. <https://doi.org/10.1002/fsn3.35>
- Ludwig, I. A., Bravo, J., & Peña, M. P. De. (2013). Published in LWT-Food Science and Technology *51* , 553-559 (2013). *LWT-Food Science and Technology*, *51*, 553–559.
- Magrini, A., & Stallone, M. (2018). Control noise for coffee roasting. In *Euronoise 2018 - Conference Proceedings* (pp. 889–892).
- Moon, J. K., & Shibamoto, T. (2009). Role of roasting conditions in the profile of volatile flavor chemicals formed from coffee beans. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *57*(13), 5823–5831. <https://doi.org/10.1021/jf901136e>
- Mwithiga, G., & Jindal, V. K. (2003). Physical Changes During Coffee Roasting In Rotary Conduction-Type Heating Units. *Journal of Food Process Engineering*, *26*, 543–558.

- Oliveros, N. O., Hernández, J. A., Sierra-Espinosa, F. Z., Guardián-Tapia, R., & Pliego-Solórzano, R. (2017). Experimental study of dynamic porosity and its effects on simulation of the coffee beans roasting. *Journal of Food Engineering*, *199*, 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.012>
- Perren, R., Geiger, R., Schenker, S., & Escher, F. (2015). Recent developments in coffee roasting technology. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/237713327>
- Pittia, P., Rosa, M. D., & Lericci, C. R. (2001). Textural changes of coffee beans as affected by roasting conditions. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, *34*, 168–175.
- Schenker, S., Handschin, S., Frey, B., Perren, R., & Escher, F. (2000). Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. *Journal of Food Science*, *65*(3), 452–457.
- Shimoni, E., & Labuza, T. P. (2000). Degassing kinetics and sorption equilibrium of carbon dioxide in fresh roasted and ground coffee. *Journal of Food Process Engineering*, *23*, 419–436.
- Strezov, V., & Evans, T. J. (2007). Thermal analysis of the reactions and kinetics of green coffee during roasting. *International Journal of Food Properties*, *8*(1), 101–111. <https://doi.org/10.1081/JFP-200048060>
- Vargas-Eliás, G. A., Corrêa, P. C., Souza, N. R. de, Baptestini, F. M., & Melo, E. D. C. (2016). Kinetics of mass loss of arabica coffee during roasting process. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, *36*(2), 300–308.
- Vosloo, J. (2017). *Heat and mass transfer model for a coffee roasting process*. The North-West University.
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting. In V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 83–91). United States of America: Academic Press, Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3>
- Wilson, P. S. (2014). Coffee roasting acoustics. *J. Acoust. Soc. Am.*, *135*(6), 265–269. <https://doi.org/10.1121/1.4874355>
- Yeretzian, C., Jordan, A., Brevard, H., & Lindinger, W. (2000). On-Line monitoring of coffee roasting by Proton-Transfer-Reaction Mass-Spectrometry. In D. D. Roberts & A. J. Taylor. (Eds.), *Flavor Release* (pp. 112–123). United State of America: American Chemical Society.