

ANALISIS KONSEP FISIKA PADA TEKNOLOGI ROASTING BIJI KOPI

Sasa Bela Firdianti¹, Agustin Putri Mardawan², Kendid Mahmudi³

sasabelafirdianti@gmail.com¹, agustinputri309@gmail.com², kendidmahmudi.fkip@unej.ac.id³

Universitas Jember

ABSTRAK

Proses roasting atau penyangraian biji kopi merupakan tahap krusial dalam pengolahan kopi yang sangat dipengaruhi oleh prinsip-prinsip fisika, khususnya dalam hal perpindahan panas dan perubahan sifat termofisika biji kopi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsep fisika yang terlibat dalam teknologi roasting biji kopi Robusta dan Arabika melalui pendekatan studi literatur. Metode ini dilakukan dengan mengkaji berbagai jurnal ilmiah yang membahas variabel suhu, waktu, metode pemanggangan, serta efeknya terhadap perubahan sifat fisik, kimia, dan sensorik biji kopi. Hasil kajian menunjukkan bahwa perpindahan panas dalam proses roasting terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi, tergantung pada jenis mesin pemanggang yang digunakan. Suhu dan durasi pemanggangan terbukti memengaruhi densitas, kadar air, kandungan kafein, warna, dan aktivitas antioksidan pada biji kopi. Proses termal ini juga menyebabkan terjadinya reaksi Maillard dan karamelisasi yang berperan dalam pembentukan aroma serta cita rasa kopi. Selain itu, pengaruh suhu terhadap tekstur dan kekerasan biji kopi menunjukkan bahwa pemanggangan pada suhu tinggi dalam durasi yang optimal dapat menghasilkan biji kopi dengan karakteristik organoleptik yang lebih baik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemahaman terhadap konsep fisika dalam proses roasting sangat penting untuk meningkatkan kualitas produk kopi. Studi literatur ini memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan teknologi roasting yang lebih efisien dan ramah lingkungan dalam industri pengolahan kopi, serta menjadi referensi penting bagi praktisi maupun akademisi dalam bidang agrofisika.

Kata Kunci: Roasting Kopi, Pengaruh Suhu, Arabika dan Robusta.

PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas unggulan di Indonesia dengan kontribusi besar terhadap sektor agribisnis dan industri minuman global. Dalam rantai pengolahan kopi, proses roasting atau penyangraian memegang peran penting karena menjadi titik awal pembentukan cita rasa, warna, aroma, dan karakter akhir biji kopi. Proses ini melibatkan pemanasan biji kopi mentah pada suhu tinggi dalam jangka waktu tertentu untuk memicu reaksi kimia dan perubahan fisik yang membentuk mutu akhir produk. Meskipun terlihat sederhana, proses ini membutuhkan pemahaman ilmiah yang tepat karena setiap perubahan suhu dan durasi pemanggangan dapat menghasilkan profil kopi yang sangat berbeda.

Perubahan fisik yang terjadi selama roasting, seperti penurunan kadar air, perubahan warna, dan modifikasi struktur internal biji kopi, sangat menentukan kualitas ekstraksi pada tahap penyeduhan. Densitas biji yang berubah akibat penguapan dan pelepasan senyawa volatil memengaruhi tekstur serta proses penggilingan. Di sisi lain, perubahan warna dari hijau muda menuju coklat tua atau bahkan hitam tidak hanya berfungsi sebagai indikator visual tingkat sangrai, tetapi juga terkait erat dengan reaksi kimia penting seperti Maillard dan karamelisasi. Reaksi-reaksi ini membentuk senyawa aromatik dan rasa yang menjadi ciri khas setiap jenis kopi.

Faktor suhu dan waktu pemanggangan menjadi dua parameter paling kritis dalam proses ini. Kombinasi keduanya memengaruhi seberapa cepat biji mengalami perubahan fisik dan kimia, termasuk konsentrasi kafein. Kafein sebagai senyawa bioaktif utama dalam kopi umumnya bersifat stabil terhadap panas, namun tetap dapat mengalami

peningkatan relatif karena penyusutan massa biji selama pemanggangan. Variasi respon ini sangat tergantung pada jenis kopi, di mana kopi Robusta secara umum memiliki ketahanan panas yang lebih tinggi dibanding Arabika, serta kandungan kafein yang secara genetik lebih tinggi pula.

Keberhasilan dalam proses roasting sangat bergantung pada kemampuan memahami dan mengendalikan parameter suhu dan waktu secara presisi. Hal ini tidak hanya berdampak pada mutu sensorik dan fungsional kopi, tetapi juga pada efisiensi energi dan keberlanjutan proses produksi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah berbasis konsep fisika untuk mengkaji lebih dalam bagaimana proses perpindahan panas dan durasi pemanasan memengaruhi karakteristik akhir kopi, baik dari segi fisik seperti densitas, kadar air, dan warna, maupun dari aspek kandungan kimianya seperti kafein.

METODE PENELITIAN

Kajian jurnal ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kualitatif melalui metode studi literatur. Studi ini menelaah secara sistematis berbagai sumber ilmiah berupa artikel jurnal nasional dan internasional yang relevan dengan topik roasting biji kopi, khususnya yang membahas pengaruh suhu dan waktu pemanggangan terhadap perubahan sifat fisik dan kimia kopi Arabika dan Robusta. Sumber-sumber jurnal dipilih berdasarkan kesesuaian topik, reputasi penerbit, serta keterbaruan informasi, dengan prioritas pada artikel yang dipublikasikan dalam lima tahun terakhir.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengidentifikasi, memilih, dan mengkaji artikel-artikel yang memuat hasil penelitian eksperimental terkait parameter roasting, seperti suhu, waktu, jenis mesin pemanggang, serta pengaruhnya terhadap variabel penting seperti densitas, kadar air, warna, dan kandungan kafein. Selain itu, dikaji pula aspek fisika proses roasting, termasuk mekanisme perpindahan panas dan karakteristik termal masing-masing jenis kopi. Proses ini tidak hanya berhenti pada tahap pengumpulan informasi, tetapi dilanjutkan dengan analisis mendalam untuk mengidentifikasi pola, keterkaitan antarvariabel, serta perbedaan metodologis yang digunakan dalam masing-masing studi.

Dalam proses telaah, penulis menggunakan teknik pemetaan tematik untuk mengelompokkan temuan dari tiap jurnal berdasarkan parameter yang dikaji. Proses ini dilakukan guna mempermudah perbandingan antara berbagai hasil penelitian serta untuk menarik simpulan yang lebih utuh dan terarah. Tahapan sintesis dilakukan secara naratif dengan mengintegrasikan hasil-hasil tersebut ke dalam kerangka kajian yang konsisten, dengan mempertimbangkan konteks keilmuan agrofisika dan teknologi pangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pemanggangan (roasting) kopi merupakan tahapan kritis yang menentukan karakter akhir dari rasa, aroma, warna, dan kandungan senyawa bioaktif kopi. Berdasarkan pengertian Roasting dalam penelitian Dippong *et al.* (2022) Proses roasting merupakan suatu tahapan penting yang terjadi dalam proses pengolahan kopi dalam menciptakan suatu keunikan dari aroma dan komposisi senyawa aktif dalam biji kopi. Pada tahapan ini menentukan kualitas akhir dalam reaksi termal. Selain itu dalam penelitian lain pada proses roasting atau penyangraian merupakan tahap fundamental dalam pengolahan kopi yang secara langsung menentukan mutu sensorik dan kimiawi dari biji kopi.

Astin *et al.* (2024) memperkuat pemahaman tersebut dengan menekankan bahwa roasting tidak hanya memengaruhi parameter fisik seperti kadar air dan warna, tetapi juga

kualitas nutrisi kopi, terutama kandungan antioksidan dan kafein. Proses ini menggunakan perlakuan panas untuk mengaktifkan reaksi kimia yang penting dalam meningkatkan stabilitas senyawa bioaktif kopi. Oleh karena itu, pemilihan suhu dan tingkat roasting menjadi krusial untuk mencapai keseimbangan antara cita rasa dan kandungan gizi.

Penelitian lain menyebutkan bahwa dalam proses roasting berkaitan dengan durasi pemanggangan yang mempengaruhi rasa dan kualitas kopi. Freitas *et al.* (2023) menjelaskan bahwa selama proses roasting, terjadi reaksi Maillard dan karamelisasi yang memainkan peran utama dalam menghasilkan warna coklat dan aroma khas pada kopi. Reaksi tersebut juga berkaitan erat dengan penurunan atau peningkatan senyawa fenolik dan antioksidan, tergantung pada suhu dan durasi pemanggangan. Dengan demikian, roasting bukan hanya proses fisik, melainkan juga proses biokimia yang menentukan kompleksitas rasa dan kualitas akhir kopi.

Sementara itu, menurut Herlina (2022), roasting merupakan tahap kritis yang sangat memengaruhi parameter mutu seperti rasa, aroma, kadar air, dan keasaman. Dalam konteks pengolahan kopi Robusta, suhu tinggi dan durasi yang tepat terbukti mampu meningkatkan nilai organoleptik kopi, sehingga menjadi lebih kompetitif di pasar. Proses ini harus dilakukan dengan cermat, karena ketidaksesuaian dalam teknik pemanggangan dapat menurunkan kualitas kopi secara keseluruhan.

Dalam kajian fisika, mekanisme perpindahan panas dalam proses roasting terjadi melalui tiga cara utama: konduksi, konveksi, dan radiasi. Masing-masing mekanisme ini memberikan pengaruh berbeda terhadap kualitas hasil roasting dan sangat bergantung pada jenis mesin pemanggang yang digunakan serta karakteristik biji kopi, baik Arabika maupun Robusta.

Perpindahan panas secara konduksi terjadi ketika panas dihantarkan langsung dari permukaan logam pemanas ke biji kopi yang bersentuhan langsung dengannya. Mekanisme ini banyak ditemukan pada metode roasting tradisional seperti penggunaan panci besi atau drum roaster tanpa sirkulasi udara. Penelitian oleh Novison dan Sapta (2021) menunjukkan bahwa konduksi yang tidak merata pada panci besi dapat menyebabkan distribusi panas yang tidak seragam, sehingga memengaruhi kadar air dan keasaman kopi yang disangrai. Biji kopi yang terkena panas berlebih pada satu sisi cenderung gosong, sementara bagian lain kurang matang.

Konveksi adalah mekanisme perpindahan panas melalui fluida, dalam hal ini udara panas, yang mengalir ke seluruh permukaan biji kopi. Mesin pemanggang seperti spouted bed roaster mengandalkan aliran udara panas yang terus menerus, sehingga biji kopi dipanaskan secara merata tanpa perlu kontak langsung dengan permukaan panas. Dippong *et al.* (2022) dan Astin *et al.* (2024) menunjukkan bahwa metode ini efektif menurunkan kadar air hingga di bawah 1,5% dan mempertahankan kandungan antioksidan secara optimal, terutama pada tingkat sangrai ringan (light roast). Selain itu, konveksi juga mendorong efisiensi waktu dan energi dalam proses roasting.

Perpindahan panas secara radiasi terjadi ketika energi panas dipancarkan langsung dari sumber panas tanpa media perantara. Radiasi menjadi signifikan saat roasting dilakukan pada suhu tinggi, seperti yang diamati oleh Freitas *et al.* (2023) pada suhu hingga 275°C. Radiasi mempercepat reaksi Maillard dan karamelisasi yang penting untuk pembentukan aroma dan warna coklat kehitaman pada kopi. Namun, radiasi yang tidak terkendali juga dapat menyebabkan penurunan senyawa bioaktif seperti asam klorogenat.

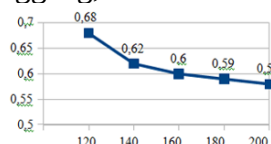
Karakteristik biji kopi sangat memengaruhi respon terhadap mekanisme perpindahan panas. Kopi Arabika, yang lebih halus dan sensitif, memerlukan proses pemanggangan yang lebih hati-hati dengan dominasi konveksi ringan atau konduksi lambat. Mardjan *et*

al. (2022) mencatat bahwa suhu awal 200°C dengan tingkat roasting medium menghasilkan cita rasa terbaik untuk Arabika Solok. Sebaliknya, kopi Robusta memiliki struktur biji yang lebih padat dan tahan terhadap suhu tinggi. Oleh karena itu, metode seperti spouted bed sangat cocok untuk Robusta, yang mampu mempertahankan kandungan kafein dan antioksidan meskipun dipanggang pada suhu tinggi (Astin et al., 2024).

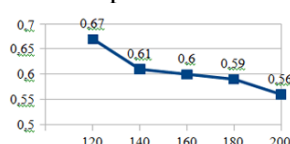
Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat sangrai, kadar air pada biji kopi menurun, dan warna biji menjadi lebih gelap akibat pembentukan melanoidin. Kandungan antioksidan cenderung menurun dengan meningkatnya suhu dan durasi roasting, namun kadar kafein justru meningkat. Hal ini terutama terlihat pada kopi Robusta, yang secara alami memiliki kadar kafein lebih tinggi dibanding Arabika (Freitas et al., 2023). Proses pemanggangan yang terlalu cepat atau terlalu panas dapat menyebabkan degradasi senyawa penting, sehingga pemilihan metode dan kontrol suhu sangat krusial.

Teknologi spouted bed roaster menawarkan efisiensi tinggi baik dari segi energi maupun waktu. Dengan desain yang memungkinkan udara panas mengalir dengan cepat dan merata, mesin ini cocok untuk produksi skala besar tanpa mengorbankan kualitas. Astin et al. (2024) menyebutkan bahwa mesin ini mampu mempertahankan kadar air ideal dan karakteristik sensori yang stabil, menjadikannya alternatif unggul dibanding metode drum konduksi konvensional.

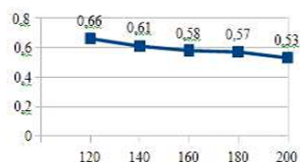
Analisis pengaruh suhu dan lama waktu roasting terhadap densitas biji kopi Robusta dapat di kaji dengan proses pemanggangan (roasting) biji kopi Robusta diketahui sangat dipengaruhi oleh suhu dan lama waktu pemanasan yang diberikan. Dalam penelitian Fikri et al. (2022), dijelaskan bahwa peningkatan suhu maupun durasi pemanggangan secara nyata mengakibatkan penurunan densitas biji kopi. Hal ini terjadi karena selama proses roasting, biji kopi mengalami penguapan air dan perubahan struktur internal, sehingga massa jenis biji kopi menjadi berkurang. Misalnya, densitas menurun dari rata-rata 0,134 g/cm³ pada waktu 5 menit, menjadi 0,194 g/cm³ setelah 25 menit pemanggangan pada suhu konstan. Temuan ini menunjukkan adanya kecenderungan bahwa semakin lama dan panas biji kopi dipanggang, maka semakin ringan dan rapuh struktur fisiknya.



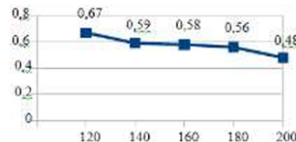
Grafik 1. Lama peyagraian 5 menit



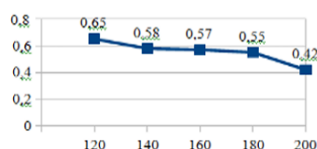
Grafik 2. Lama peyagraian 10 menit



Grafik 3. Lama peyagraian 15 menit



Grafik 4. Lama peyagraian 20 menit



Grafik 5. Lama peyagraian 25 menit

(Sumber: Fikri, A. M. K., Nuriman, N., & Yushardi, Y. 2022)

Hal serupa juga diperkuat oleh hasil kajian dari Mutovkina & Bredikhin (2023), yang meneliti hubungan antara karakteristik fisik awal biji kopi dengan kebutuhan energi panas selama roasting.

Table 1. Coffee samples background.

Code	N° ICO	Country	Region	Variety	Postharvest process
1	002/1671/0001	Brazil	Serra do Cabral	C.Arabica	Dry
2	002/2131/0014	Brazil	Caparaó	C.Canephora	Semiwashed
3	3/0265/00099	Colombia	Huila	C.Arabica	Wet
4	3/0265/00207	Colombia	Nariño	C.Arabica	Wet
5	010/0590/0057	Ethiopia	Gelana Abaya	C.Arabica	Wet
6	140/6022/088	Thailand	Chiang Rai	C.Arabica	Black Honey

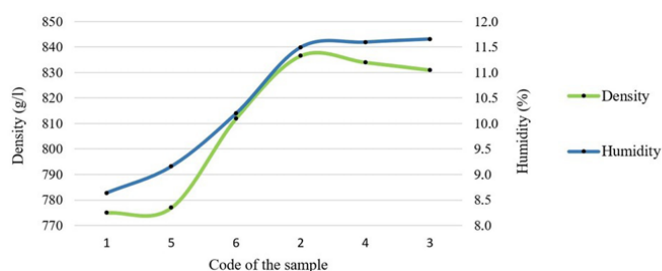


Figure 2. Correlation between density and humidity of coffee samples.

Table 2. Physical properties of coffee samples.

Code	Density, g/L		Humidity, %	
1	775	± 1.2	8.6	± 0.5
2	836	± 1.2	11.5	± 0.5
3	831	± 1.2	11.7	± 0.5
4	834	± 1.2	11.6	± 0.5
5	777	± 1.2	9.2	± 0.5
6	812	± 1.2	10.2	± 0.5

Table 3. DSC values at control points.

Code	Onset (°C)		Peak (°C)		End (°C)		Area of the peak (μV/mg)	
1	44.6	± 0.1	207.4	± 0.1	157.3	± 0.1	625.5	± 0.5
2	39.2	± 0.1	218.7	± 0.1	148.5	± 0.1	691.4	± 0.5
3	44.9	± 0.1	211.8	± 0.1	158	± 0.1	730.7	± 0.5
4	42.8	± 0.1	209	± 0.1	156.3	± 0.1	708.7	± 0.5
5	49.8	± 0.1	208.7	± 0.1	153.7	± 0.1	635.7	± 0.5
6	45	± 0.1	211.1	± 0.1	153.6	± 0.1	642.7	± 0.5

Sumber gambar : Mutovkina, E. A., & Bredikhin, S. A. (2023)

Biji kopi Robusta yang memiliki massa jenis lebih tinggi cenderung membutuhkan energi lebih besar untuk mencapai tingkat pemanggangan tertentu. Ini mengindikasikan bahwa struktur fisik awal berperan dalam menentukan seberapa besar perubahan densitas yang akan terjadi selama proses roasting berlangsung. Secara umum, kedua hasil studi tersebut menekankan pentingnya pengaturan suhu dan waktu pemanggangan yang tepat guna menghasilkan biji kopi Robusta yang tidak hanya memiliki cita rasa optimal, tetapi juga karakter fisik yang sesuai untuk proses selanjutnya seperti penggilingan dan penyeduhan.

Pada kopi Arabika, perubahan suhu dan waktu pemanggangan juga memberikan dampak nyata terhadap penurunan densitas biji kopi.

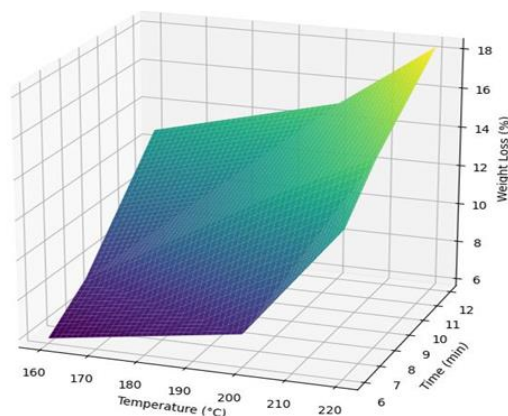


Figure 3. Relationship between temperature, time, and weight loss.

(Sumber: Leni, D., Peng, L. H., Sumiati, R., & Kusuma, Y. P. 2024)

Penelitian oleh Leni et al. (2024) menyebutkan bahwa peningkatan suhu dari 160°C hingga 220°C selama waktu roasting tertentu menyebabkan kadar air dalam biji kopi Arabika menurun tajam, yang juga berdampak pada susut bobot dan perubahan struktur biji. Biji kopi yang dipanggang pada suhu 200°C selama 15 menit menunjukkan kadar air akhir hanya 2,13%, yang mengindikasikan terjadinya proses penguapan air yang signifikan dan pada akhirnya mengurangi massa jenis biji kopi tersebut.

Selain itu, perubahan visual seperti warna dan kekerasan biji kopi juga menunjukkan korelasi dengan perubahan densitas. Islamyco et al. (2022) menemukan bahwa warna bubuk kopi cenderung menjadi lebih gelap seiring dengan peningkatan suhu dan lama pemanggangan. Meskipun tidak langsung mengukur densitas, perubahan warna yang terjadi menandakan adanya transformasi fisik, yang bisa dihubungkan dengan pengurangan kadar air dan kerapuhan biji kopi.

Temuan serupa dikemukakan oleh Freitas et al. (2023), di mana proses roasting dengan suhu tinggi (hingga 275°C) tidak hanya mengubah warna dan rasa kopi, tetapi juga menyebabkan degradasi senyawa kimia tertentu, yang diiringi dengan penurunan massa. Artinya, proses tersebut kemungkinan besar juga turut menurunkan densitas kopi Arabika akibat reaksi kimia dan termal yang intens.

Lebih lanjut, Debona et al. (2022) menekankan bahwa mesin pemanggang yang digunakan turut memengaruhi hasil akhir roasting. Mesin dengan distribusi panas yang berbeda dapat menghasilkan kehilangan massa yang berbeda pula, meskipun biji kopi dipanggang dalam kondisi suhu dan waktu yang mirip. Kehilangan massa ini tentu berdampak pada penurunan densitas, walaupun tidak diukur secara langsung dalam penelitian tersebut.

Kesimpulan dari berbagai hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa baik suhu maupun lama waktu roasting, secara langsung maupun tidak langsung, berpengaruh terhadap penurunan densitas biji kopi Arabika. Perubahan ini berkaitan erat dengan hilangnya kadar air, degradasi senyawa kimia, dan transformasi fisik biji selama proses pemanggangan berlangsung. Sebagaimana juga ditemukan oleh Mutovkina & Bredikhin (2023), kopi dengan densitas awal tinggi akan memerlukan panas lebih besar selama pemanggangan, dan dapat menunjukkan penurunan densitas yang lebih besar akibat perbedaan respons termal antara berbagai variasi kopi.

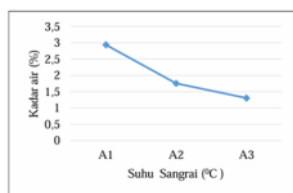
Suhu dan waktu roasting merupakan dua faktor krusial dalam proses pemanggangan biji kopi yang sangat memengaruhi kadar air sebagai salah satu parameter utama dalam menentukan mutu akhir kopi. Kadar air yang rendah merupakan indikator keberhasilan

proses roasting, karena memungkinkan terjadinya reaksi Maillard dan karamelisasi yang berperan dalam pembentukan cita rasa dan aroma kopi. Proses pengurangan kadar air terjadi melalui mekanisme evaporasi akibat pemanasan, yang kecepatannya sangat ditentukan oleh suhu serta durasi pemanggangan.

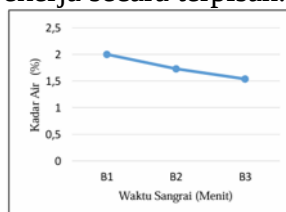
Penelitian yang dilakukan oleh Astin et al. (2024) menunjukkan bahwa proses roasting dengan metode spouted bed secara signifikan menurunkan kadar air kopi Robusta dan Arabika. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada tingkat roasting dark (240–250°C), kadar air Robusta menurun hingga 1,18% dan Arabika hingga 1,27%. Penurunan kadar air ini berkorelasi positif dengan peningkatan suhu, menandakan bahwa metode roasting berbasis konveksi seperti spouted bed mampu mengeluarkan uap air secara cepat dan merata.

Hasil serupa juga ditemukan oleh Dippong et al. (2022) yang menggunakan mesin roasting tipe spouted bed untuk biji kopi asal Temanggung. Mereka menyimpulkan bahwa semakin tinggi suhu roasting, semakin besar pengurangan kadar air yang terjadi. Penurunan ini terlihat pada semua tingkat sangrai (light, medium, dan dark), di mana tingkat sangrai dark menunjukkan kadar air terendah. Perubahan kadar air ini penting karena turut memengaruhi densitas dan tekstur biji kopi yang berdampak pada hasil ekstraksi saat penyeduhan.

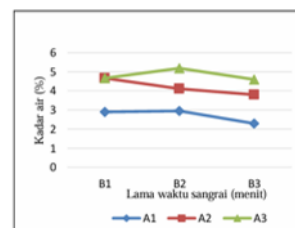
Herlina (2022) dalam penelitiannya terhadap kopi Robusta menemukan bahwa suhu 200°C dengan durasi 40 menit menghasilkan kadar air yang rendah dan karakteristik sensorik yang optimal. Kombinasi suhu tinggi dan durasi waktu yang lama mempercepat proses penguapan air dalam jaringan biji kopi, sehingga menghasilkan biji dengan kadar air ideal untuk disangrai. Temuan ini memperkuat bahwa waktu dan suhu memiliki efek sinergis terhadap kadar air, bukan bekerja secara terpisah.



Gambar 1. Pengaruh Suhu Sangrai Terhadap Kadar Air Biji Kopi



Gambar 2. Pengaruh Waktu Sangrai Terhadap Kadar Air pada Kopi



Gambar 3. Pengaruh Kombinasi Suhu dan Waktu Sangrai Terhadap Kadar Air Biji Kopi

(Sumber: Herlina, Y. 2022)

Berdasarkan hasil analisa sidik ragam, diperoleh $F_{hitung} > F_{tabel}$. Ini menunjukkan bahwa suhu dan waktu sangrai berpengaruh sangat nyata (pJika dibandingkan antara Robusta dan Arabika, biji kopi Robusta menunjukkan respons penurunan kadar air yang lebih cepat dan signifikan pada suhu yang sama. Hal ini disebabkan oleh karakter struktur fisik biji Robusta yang lebih padat dan keras, sehingga memerlukan energi panas lebih besar untuk proses perubahan internal. Dalam penelitian oleh Yusibani et al. (2023), kadar air Robusta pasca roasting tercatat lebih rendah dibanding Arabika, bahkan pada perlakuan suhu dan waktu yang serupa.

Muarif et al. (2023) menguatkan temuan ini dengan menyatakan bahwa suhu roasting 215°C selama 10 menit menghasilkan penurunan kadar air yang signifikan, terutama pada Robusta. Hasil tersebut menandakan bahwa suhu tinggi dalam waktu singkat cukup efektif untuk mengurangi kadar air, meskipun kualitas sensorik tetap harus diperhatikan. Arabika, dengan struktur yang lebih lembut, cenderung mempertahankan kadar air lebih tinggi pada kondisi pemanggangan yang sama. Darajat et al. (2023) menyelidiki pengaruh waktu roasting pada suhu tetap 200°C. Hasilnya menunjukkan

bahwa kadar air kopi Robusta menurun dari 5,29% pada waktu 10 menit menjadi 1,47% pada 25 menit. Penurunan ini konsisten dan signifikan, membuktikan bahwa durasi roasting menjadi faktor dominan ketika suhu tetap dijaga. Semakin lama waktu yang diberikan, semakin banyak air yang terlepas dari biji kopi.

Penelitian oleh Freitas et al. (2023) juga menunjukkan bahwa Arabika cenderung memiliki kadar air lebih tinggi dibanding Robusta setelah dipanggang, yang berkorelasi dengan nilai kecerahan warna biji kopi. Nilai warna L lebih tinggi pada Robusta, mengindikasikan bahwa biji ini lebih cepat mengering dan mengalami perubahan warna akibat reaksi kimia pemanggangan. Sementara itu, Ramanda et al. (2024) dalam penelitiannya terhadap kopi Robusta dari dua daerah, menemukan bahwa suhu roasting 210°C menyebabkan kadar air menurun lebih tajam dibandingkan dengan suhu 190°C. Meski terdapat variasi akibat faktor geografis, pengaruh suhu tetap dominan dalam penurunan kadar air secara menyeluruh. Hal ini menjadi dasar penting dalam menentukan suhu roasting optimal.

Ariyanto et al. (2024) juga menegaskan pentingnya kombinasi suhu dan waktu roasting. Dalam studi terhadap kopi Robusta Tempur, kadar air terendah diperoleh pada suhu 120°C selama 85 menit. Hasil ini menegaskan bahwa suhu yang tidak terlalu tinggi namun dikombinasikan dengan waktu pemanggangan yang cukup lama juga mampu menghasilkan kadar air rendah secara efektif. Studi oleh Brilliantina et al. (2023) menunjukkan bahwa suhu 185°C selama 11 menit memberikan hasil kadar air optimal yang sesuai dengan preferensi panelis dalam evaluasi sensori. Kadar air yang stabil memungkinkan ekstraksi rasa lebih merata dan aroma kopi lebih konsisten. Penurunan kadar air juga meningkatkan tekstur dan renyahnya biji saat digiling.

Dari seluruh penelitian, dapat disimpulkan bahwa kadar air merupakan indikator penting dari keberhasilan proses roasting. Namun, kadar air yang terlalu rendah juga dapat berdampak negatif, seperti membuat kopi mudah hangus atau kehilangan senyawa aromatik penting, terutama pada kopi Arabika yang lebih sensitif terhadap panas. Keseimbangan antara suhu dan waktu sangat diperlukan. Pada suhu terlalu tinggi dan waktu yang lama, risiko degradasi senyawa bioaktif meningkat. Sebaliknya, jika suhu dan waktu terlalu rendah, proses pemanggangan tidak berjalan optimal dan kadar air tidak turun secara signifikan, menghasilkan biji yang belum matang sempurna. Secara keseluruhan, pengaruh suhu dan waktu roasting terhadap kadar air sangat bergantung pada jenis biji kopi. Kopi Robusta lebih adaptif terhadap roasting suhu tinggi dan durasi panjang, sementara Arabika memerlukan pendekatan lebih hati-hati agar karakteristik cita rasa dan kadar air tetap terjaga. Dengan memahami karakteristik termal masing-masing jenis kopi serta perilaku kadar air selama proses roasting, pelaku industri kopi dapat mengatur parameter sangrai dengan lebih tepat untuk menghasilkan kualitas produk yang konsisten dan optimal.

Kafein merupakan salah satu senyawa bioaktif utama dalam kopi yang memberikan efek stimulan serta memengaruhi rasa pahit khas pada minuman kopi. Proses roasting atau pemanggangan berperan penting dalam menentukan kadar akhir kafein pada biji kopi. Faktor suhu dan waktu roasting secara langsung berpengaruh terhadap kestabilan, pelepasan, atau konsentrasi ulang kafein selama proses tersebut berlangsung.

Berdasarkan studi oleh Dippong et al. (2022), peningkatan suhu roasting dari tingkat light ke dark menyebabkan peningkatan kadar kafein pada kedua jenis kopi yang diteliti, yakni Arabika dan Robusta. Kadar kafein tertinggi dicapai pada tingkat roasting dark dengan suhu 240–250°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, semakin besar konsentrasi kafein yang tersisa dalam biji akibat pengurangan komponen lain seperti air

dan senyawa volatil. Senyawa kafein secara kimiawi bersifat relatif stabil terhadap panas dibanding senyawa fenolik lainnya. Oleh karena itu, meskipun terdapat penurunan massa biji kopi akibat kehilangan air dan zat volatil selama proses roasting, kafein cenderung tidak mengalami degradasi signifikan. Hal ini sesuai dengan temuan dari Freitas et al. (2023), yang menunjukkan bahwa kandungan kafein tetap stabil di hampir semua profil roasting, baik pada Arabika maupun Robusta.

Namun demikian, jumlah kafein yang terukur dalam biji kopi pasca roasting tidak hanya dipengaruhi oleh kestabilan termalnya, tetapi juga oleh efek konsentrasi relatif. Semakin rendah kadar air dan senyawa volatil lainnya, maka proporsi kafein per gram biji meningkat. Inilah sebabnya kadar kafein cenderung meningkat secara numerik pada suhu dan durasi roasting yang lebih tinggi, sebagaimana dijelaskan oleh Muarif et al. (2023). Dalam studi tersebut, kopi Arabika yang dipanggang pada suhu 215°C selama 10 menit memiliki kandungan kafein tertinggi sebesar 15,43 ppm, sedangkan Robusta pada suhu dan durasi yang sama mencapai 22,92 ppm. Perbedaan yang signifikan antara kedua varietas ini memperkuat fakta bahwa secara genetik, Robusta memang mengandung lebih banyak kafein daripada Arabika.

Astin et al. (2024) juga menyajikan data yang konsisten dengan tren tersebut. Dalam penelitiannya menggunakan metode spouted bed roaster, kadar kafein pada kopi Robusta meningkat dari light ke dark roast, dengan nilai tertinggi sebesar 1,61 g/100g pada dark roast. Untuk Arabika, kadar tertinggi tercatat pada 0,84 g/100g pada tingkat roasting yang sama. Kenaikan ini diinterpretasikan sebagai efek penguapan senyawa lain yang menyebabkan kafein tampak lebih terkonsentrasi.

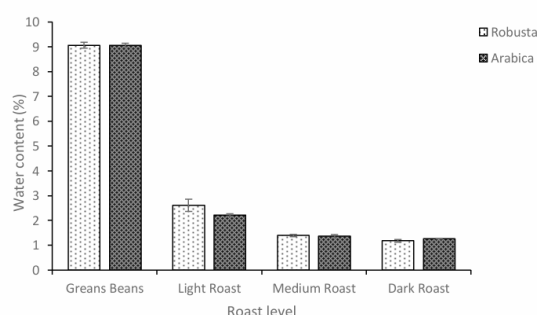


Figure 1. The water content of green beans, light roast, medium roast and dark roast of Temanggung Robusta and Arabica coffee.

Gambar 1. Kadar air pada biji kopi green bean, light roast, medium roast, dan dark roast pada kopi Robusta dan Arabika Temanggung.

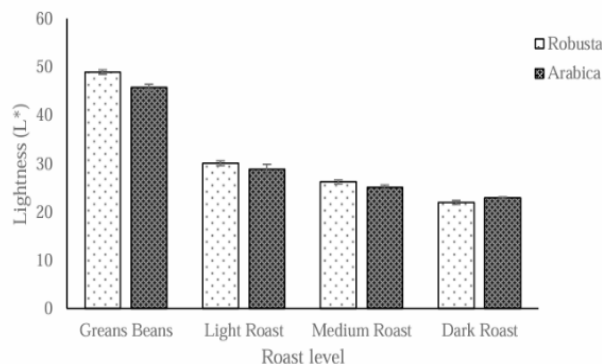


Figure 2. The lightness (L*) of green beans, light roast, medium roast and dark roast of Temanggung Robusta and Arabica coffee.

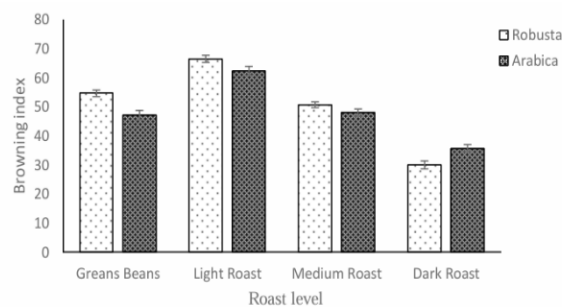


Figure 3. Browning index of green beans, light roast, medium roast and dark roast of Temanggung Robusta and Arabica coffee.

Gambar 3. Indeks pencoklatan biji kopi hijau, light roast, medium roast, dan dark roast pada kopi Robusta dan Arabika Temanggung.

Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan bahwa kandungan kafein pada dua jenis kopi, yaitu Robusta dan Arabika dari Temanggung. Penjelasan tersebut menyajikan hasil pengukuran kandungan kafein dalam bentuk rata-rata $\pm$ standar deviasi, yang menunjukkan tingkat keakuratannya. Pada kopi Robusta, diketahui bahwa tingkat sangrai gelap (dark roast) secara statistik berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap peningkatan kadar kafein dibandingkan tingkat sangrai lainnya. Ini terlihat dari data bahwa dark roast memiliki kandungan kafein tertinggi, yaitu $1,61 \pm 0,02$ g/100g d.b., dibandingkan medium roast $1,51 \pm 0,03$ g/100g d.b. dan light roast $1,50 \pm 0,01$ g/100g d.b.

Sementara pada kopi Arabika, meskipun pola yang sama juga terjadi (kafein tertinggi pada dark roast), secara statistik tidak signifikan. Kandungan kafein tertinggi tercatat pada dark roast $0,84 \pm 0,03$ g/100g d.b., diikuti oleh medium roast $0,81 \pm 0,004$ g/100g d.b., dan light roast $0,79 \pm 0,02$ g/100g d.b. Kandungan kafein juga dipengaruhi oleh waktu roasting. Studi oleh Darajat et al. (2023) menunjukkan bahwa pada suhu tetap 200°C , peningkatan waktu pemanggangan dari 10 hingga 25 menit mengakibatkan peningkatan kadar kafein kopi Robusta dari 1,12% menjadi 1,78%. Waktu roasting yang lebih lama memungkinkan pengurangan kadar air lebih besar, yang mendukung efek konsentrasi kafein dalam massa biji yang menyusut. Namun, tidak semua penelitian menunjukkan tren kenaikan kafein secara linier terhadap waktu dan suhu. Dalam studi oleh Ramanda et al. (2024), ditemukan bahwa meskipun suhu roasting 210°C memberikan kadar kafein yang tinggi, peningkatan waktu roasting dalam kondisi tertentu dapat menyebabkan sedikit penurunan akibat kemungkinan volatilisasi minor pada struktur kafein, terutama jika disertai roasting berlebih.

Beberapa literatur juga menyoroti bahwa pada suhu ekstrim dan waktu sangat lama, sebagian kecil kafein dapat terdegradasi atau mengalami transformasi akibat reaksi termal sekunder. Akan tetapi, proses ini sangat minimal dan umumnya tidak signifikan pada rentang suhu roasting komersial ($190\text{--}250^{\circ}\text{C}$). Dengan demikian, kafein tetap dianggap senyawa yang cukup stabil dibanding senyawa fenolik seperti asam klorogenat. Freitas et al. (2023) juga menekankan bahwa stabilitas kafein lebih tinggi dibandingkan trigonelin dan 5-CQA (asam klorogenat), yang cenderung terdegradasi lebih cepat pada suhu tinggi. Oleh karena itu, perbedaan kandungan akhir kafein lebih disebabkan oleh faktor fisik (konsentrasi relatif) dibanding perubahan kimia yang berarti. Faktor varietas kopi tetap menjadi aspek utama yang memengaruhi kadar kafein. Robusta mengandung dua kali lipat kafein dibanding Arabika secara genetik. Ini didukung oleh semua penelitian yang dianalisis dalam file jurnal Anda, termasuk oleh Muarif et al. (2023) dan Astin et al. (2024) yang secara eksplisit menunjukkan perbedaan signifikan antara kedua jenis kopi tersebut dalam kondisi roasting yang sama. Efek suhu dan waktu terhadap kafein juga

berdampak pada profil rasa. Kafein berkontribusi pada sensasi pahit dalam kopi. Oleh karena itu, peningkatan konsentrasi kafein pada roasting suhu tinggi dapat memperkuat rasa pahit, khususnya pada kopi Robusta yang telah memiliki rasa dasar yang kuat dan pahit secara alami. Meskipun kafein tidak banyak terdegradasi, perubahan senyawa lain seperti gula, asam organik, dan senyawa volatil akan memengaruhi keseimbangan rasa. Pada roasting tinggi, cita rasa kopi bisa didominasi oleh pahit karena kafein tetap utuh sementara senyawa manis dan asam telah berkurang atau menguap.

Dalam praktik industri, pemilihan profil roasting yang sesuai harus mempertimbangkan tujuan akhir produk kopi. Untuk kopi dengan tujuan fungsional seperti peningkatan stimulan, suhu roasting tinggi pada Robusta bisa memberikan hasil maksimal. Namun untuk menjaga keseimbangan cita rasa, suhu moderat dengan waktu roasting optimal lebih disarankan, khususnya untuk Arabika. Secara umum, kadar kafein akan meningkat secara relatif seiring meningkatnya suhu dan waktu roasting, tetapi peningkatan ini bukan karena kafein “terbentuk” lebih banyak, melainkan karena pengurangan massa komponen lainnya. Oleh sebab itu, penting memahami bahwa kafein bersifat stabil, dan faktor pemanggangan hanya memengaruhi kadar secara proporsional. Khusus pada Arabika, perubahan suhu dan waktu roasting perlu dikontrol dengan lebih hati-hati karena karakter bijinya yang lebih ringan dan aromatik. Pemanggangan ekstrem dapat menyebabkan kerusakan senyawa aroma tanpa memberikan keuntungan signifikan terhadap kadar kafein, sebagaimana dilaporkan oleh Freitas et al. (2023).

Sementara itu, Robusta yang lebih kuat secara fisik dan kimia lebih tahan terhadap perlakuan roasting ekstrem, sehingga suhu tinggi dan waktu panjang lebih dapat diterapkan tanpa risiko besar terhadap kualitas rasa atau kandungan bioaktif seperti kafein. Dengan mempertimbangkan dari beberapa sumber urnal, dapat disimpulkan bahwa suhu dan waktu roasting secara signifikan memengaruhi kandungan kafein kopi, terutama melalui mekanisme konsentrasi relatif dan reduksi komponen lain. Perbedaan antar varietas juga berperan besar dalam menentukan hasil akhir kandungan kafein. Oleh karena itu, optimalisasi parameter roasting berdasarkan jenis kopi sangat penting untuk mencapai hasil yang diinginkan baik dari aspek fungsional (tinggi kafein) maupun sensori (seimbang pahit, asam, dan manis). Kombinasi suhu sedang–tinggi dan waktu roasting yang moderat–panjang terbukti memberikan kadar kafein yang optimal pada kopi Robusta dan Arabika.

Warna biji kopi setelah proses roasting merupakan indikator visual yang penting untuk menilai tingkat kematangan dan kualitas produk akhir. Pada kopi Robusta, perubahan warna sebagai akibat dari suhu dan durasi pemanggangan sangat erat kaitannya dengan reaksi kimia yang terjadi di dalam biji, khususnya reaksi Maillard dan karamelisasi. Penelitian oleh Freitas et al. (2023) menyebutkan bahwa semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu pemanggangan, maka semakin pekat warna yang dihasilkan, yang ditandai dengan penurunan nilai indeks warna seperti *lightness* (*L*) dan peningkatan rona kemerahan (*a*) serta kekuningan (*b*) pada parameter warna CIELAB. Meskipun penelitian ini melibatkan Arabika dan Robusta, hasilnya menunjukkan bahwa kopi Robusta cenderung menghasilkan nilai *chroma* dan rona yang lebih tinggi dibanding Arabika, menjadikan tampilannya lebih cerah dan intens dalam kondisi pemanggangan ringan hingga sedang. Hal ini diperkuat oleh temuan Mutovkina & Bredikhin (2023), yang menjelaskan bahwa perubahan termofisik pada kopi Robusta, terutama ketika mencapai fase eksotermik pada suhu tinggi, memunculkan senyawa warna gelap akibat dekomposisi komponen organik di dalam biji. Reaksi ini menghasilkan tampilan visual biji kopi yang

lebih coklat tua atau bahkan mendekati hitam pada suhu di atas 200°C, tergantung durasi roasting.

Selain itu, penelitian Ruhyat et al. (2022) yang meneliti roasting dalam konteks pengeringan termal juga menunjukkan bahwa variasi suhu antara 200°C hingga 300°C menghasilkan tingkat warna yang berbeda, di mana pada suhu tertinggi, kopi robusta mencapai tahap *dark roast* dengan warna biji yang sangat gelap dan permukaan berminyak. Kondisi ini menjadi penanda visual dari tingkat pemanggangan ekstrim yang secara tidak langsung menunjukkan intensitas perubahan warna yang drastis.

Table 8. Presentation of coffee bean maturity level

Heater Set Temperature (°C)	Temp. in the material (°C)	Drying Result	Maturity level
200	83.8		<i>light roast</i>
250	130.0		<i>medium roast</i>
300	107.6		<i>dark roast</i>

(Sumber: Ruhyat, N., Fiqih, H. I., & Nurfuad, H. 2022)

Pengaruh suhu dan lama waktu roasting terhadap warna biji Kopi Arabika, yang dikenal memiliki struktur dan komposisi kimia lebih halus dibandingkan Robusta, juga mengalami perubahan warna yang nyata selama proses roasting. Perubahan ini dipengaruhi oleh suhu dan durasi roasting yang memicu reaksi kimia pembentuk warna, terutama reaksi Maillard, degradasi klorogenat, serta pembentukan senyawa melanoidin. Dalam studi yang dilakukan oleh Islamyco et al. (2022), pengaruh variasi suhu roasting (200°C, 205°C, dan 210°C) dan waktu (10, 12, dan 14 menit) terhadap warna bubuk kopi Arabika dianalisis menggunakan sistem warna CIELAB. Penelitian ini menemukan bahwa peningkatan suhu dan waktu pemanggangan cenderung menurunkan nilai *lightness* (L), yang berarti kopi menjadi lebih gelap. Meskipun secara statistik tidak ditemukan pengaruh yang signifikan, secara visual, perubahan warna tetap tampak nyata. Warna bubuk kopi bergerak dari coklat muda menuju coklat tua dan akhirnya hitam seiring dengan meningkatnya intensitas pemanggangan.

Hasil menarik juga diperoleh dari penelitian Leni et al. (2024), yang menyatakan bahwa kopi Arabika yang dipanggang pada suhu 220°C mengalami penurunan nilai L dan b secara signifikan, mencerminkan perubahan warna dari kuning kemerahan menjadi coklat tua. Sementara itu, nilai a (merah) mengalami peningkatan, sejalan dengan perubahan visual ke arah warna yang lebih matang dan gelap. Dengan kata lain, semakin tinggi suhu dan waktu roasting, semakin pekat warna biji kopi Arabika yang dihasilkan. Temuan serupa dikonfirmasi oleh Freitas et al. (2023), yang menyatakan bahwa pada suhu ekstrem, seperti 275°C selama kurang dari 8 menit, terjadi pembentukan warna yang sangat gelap akibat degradasi senyawa fenolik dan pembentukan senyawa warna gelap, termasuk hidroksimetilfurfural (HMF) dan melanoidin. Hasil ini memberikan gambaran bahwa pemanggangan cepat pada suhu tinggi menghasilkan warna kopi yang lebih pekat, namun juga berisiko mengurangi stabilitas senyawa bioaktif.

Dari berbagai hasil studi tersebut, dapat disimpulkan bahwa perubahan warna pada kopi Arabika sangat dipengaruhi oleh parameter roasting yang digunakan. Warna gelap yang terbentuk selama roasting bukan hanya estetika semata, tetapi juga menjadi indikator penting terhadap tingkat pemanggangan dan reaksi kimia yang terjadi selama proses tersebut.

KESIMPULAN

Proses roasting berperan sebagai titik kritis dalam pengolahan kopi karena menentukan secara langsung perubahan karakteristik fisik dan kimia pada biji kopi Arabika dan Robusta. Kajian terhadap berbagai sumber menunjukkan bahwa suhu dan waktu pemanggangan memiliki pengaruh yang saling terkait terhadap sejumlah parameter mutu utama, seperti densitas, kadar air, warna, dan kandungan kafein. Hubungan ini tidak bersifat linier, melainkan dipengaruhi oleh sifat termofisika masing-masing varietas kopi dan metode pemanggangan yang digunakan. Peningkatan suhu dan durasi roasting secara umum menyebabkan penurunan densitas pada kedua jenis kopi. Hal ini terjadi sebagai akibat dari pelepasan uap air dan perubahan struktur internal biji, yang semakin intensif pada suhu tinggi. Penurunan kadar air mengikuti pola serupa, dengan biji kopi Robusta menunjukkan penurunan yang lebih tajam dibanding Arabika dalam kondisi suhu yang sama. Struktur biji yang lebih padat dan tahan panas pada Robusta memungkinkan proses evaporasi berlangsung lebih efisien dalam waktu singkat.

Warna biji kopi mengalami perubahan yang nyata seiring dengan naiknya suhu dan lama waktu pemanggangan. Warna berubah dari coklat muda ke coklat tua atau bahkan kehitaman, seiring dengan terjadinya reaksi Maillard dan pembentukan senyawa melanoidin. Nilai lightness (L) cenderung menurun, sementara rona merah (a) dan kekuningan (b) mengalami peningkatan pada kondisi pemanggangan menengah hingga tinggi. Perubahan warna ini sekaligus menjadi indikator visual tingkat roasting dan berkorelasi erat dengan hasil sensorik. Kandungan kafein relatif stabil selama proses roasting, namun secara proporsional meningkat karena massa biji yang menyusut. Fenomena ini lebih tampak pada Robusta, yang secara genetik memang memiliki kadar kafein lebih tinggi dibanding Arabika. Proses pemanggangan tidak merusak struktur kimia kafein secara signifikan dalam kisaran suhu komersial, sehingga perbedaan kadar akhir lebih banyak dipengaruhi oleh efek konsentrasi akibat kehilangan komponen lain seperti air dan senyawa volatil.

Secara keseluruhan, interaksi antara suhu, waktu roasting, dan karakteristik varietas kopi menghasilkan dinamika perubahan yang kompleks namun dapat dipetakan secara sistematis. Pemahaman terhadap hubungan ini menjadi landasan penting untuk merancang profil pemanggangan yang tidak hanya efisien secara energi, tetapi juga tepat sasaran dalam menghasilkan mutu kopi yang stabil dan konsisten. Kajian ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis konsep fisika—terutama dalam memahami mekanisme perpindahan panas dan perubahan termal—sangat relevan dalam mendukung pengembangan teknologi roasting yang presisi dan aplikatif di industri kopi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfarisi, S., Juanda, J., & Sulaiman, M. I. (2023). Pengaruh Waktu Fermentasi dan Tingkat Penyangraian Terhadap Nilai pH dan Total Padatan Terlarut (TPT) Pada Kopi Wine Liberika Tangse. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(4), 412-418.
- Ariyanto, S. E., Alpendari, H., & Sridjono, H. H. H. (2024). Pengaruh Suhu dan Lama Penyangraian Terhadap Sifat Fisik Kopi Robusta Tempur. *Journal Galung Tropika*, 13(1), 107-116.

- Astin, E. P., Alfa, M. N., Hartono, L. K., Astuti, A., Komariyah, K., Susianto, M., ... & Setianto, W. B. (2024). THE EFFECT OF ROASTING USING SPOUTED BED ROASTER ON PSYCHOHEMICAL ROBUSTA AND ARABICA TEMANGGUNG COFFEE. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 34(1), 28-34.
- Bonilla, L. F., Sandoval-Aldana, A., & Daza, L. D. (2024). Acrylamide: An approach to its knowledge and importance for roasted coffee. *Food Chemistry*, 142247.
- Brilliantina, A., Rahayu, A. P., Sasmita, I. R. A., Kusumasari, F. C., & Fadhila, P. T. (2023). Uji Sensori Kopi Robusta berdasarkan Variasi Suhu dan Lama Penyangraian (Studi Kasus Perusahaan Umum Daerah Perkebunan Kahyangan Kebun Sumber Wadung). *Callus: Journal of Agrotechnology Science*, 1(2), 38-44.
- Chavez, SG, Mendoza, MM, & Caetano, AC (2022). Antioksidan, fenol, kandungan kafein, dan senyawa volatil dalam minuman kopi yang diperoleh dengan berbagai metode. *Ilmu Pangan dan Teknologi*, 42, e47022.
- Darajat, A., Rifqi, M., & Nurlaela, R. S. (2023). Pengaruh Waktu Penyangraian Terhadap Karakteristik Fisikokimia Kopi Bubuk Robusta Menggunakan Mesin Roasting Elektrik. *Jurnal Agroindustri Halal*, 9(3), 365-374.
- Debona, D. G., Louvem, R. F., Luz, J. M. R. D., Nariyoshi, Y. N., Castro, E. V. R. D., Oliveira, E. C. D. S., & Pereira, L. L. (2022). Heat and mass transfer kinetics on the chemical and sensory quality of arabica coffee beans. *Agronomy*, 12(11), 2880.
- Dippong, T., Dan, M., Kovacs, M. H., Kovacs, E. D., Levei, E. A., & Cadar, O. (2022). Analysis of volatile compounds, composition, and thermal behavior of coffee beans according to variety and roasting intensity. *Foods*, 11(19), 3146.
- Fikri, A. M. K., Nuriman, N., & Yushardi, Y. (2022). Pengaruh suhu dan lama waktu roasting terhadap massa jenis biji kopi robusta menggunakan mesin roasting tipe hot air. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(2), 249-254.
- Freitas, V. V., Borges, L. L. R., Castro, G. A. D., Dos Santos, M. H., Vidigal, M. C. T. R., Fernandes, S. A., & Stringheta, P. C. (2023). Impact of different roasting conditions on the chemical composition, antioxidant activities, and color of *Coffea canephora* and *Coffea arabica* L. samples. *Heliyon*, 9(9).
- Gancarz, M., Dobrzański Jr, B., Malaga-Toboła, U., Tabor, S., Combrzyński, M., Ćwikła, D., & Rusinek, R. (2022). Impact of coffee bean roasting on the content of pyridines determined by analysis of volatile organic compounds. *Molecules*, 27(5), 1559.
- Herlina, Y. (2022). Pengaruh suhu dan lamanya penyangraian terhadap kualitas biji kopi robusta. *Agrica Ekstensia*, 16(2), 49-56.
- Islamycio, N., Mustaqimah, M., & Nurba, D. (2022). Pengaruh Suhu dan Waktu Penyangraian Terhadap Warna Bubuk Kopi Arabika. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(1), 596-603.
- Leni, D., Peng, L. H., Sumiati, R., & Kusuma, Y. P. (2024). The effect of temperature and roasting time on changes in the characteristics and physical properties of solok arabika coffe beans. *International Journal of Multidisciplinary Research and Literature*, 3(1), 115-125.
- Mardjan, S. S., Purwanto, E.H., dan Pratama. G.Y(2022). Pengaruh suhu dan derajat penyangraian terhadap sifat fisikokimia dan citarasa kopi arabika Solok. *Journal of Agricultural Engineering / Journal Keteknikan Pertanian*. 10(2).
- Mengesha, D., Retta, N., Woldemariam, H. W., & Getachew, P. (2024). Changes in biochemical composition of Ethiopian Coffee arabica with growing region and traditional roasting. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1390515.
- Muarif, A., Bahri, S., Sylvia, N., Kurniawan, E., & Fibarzi, W. U. (2023). Pengaruh Temperatur Roasting Biji Kopi Terhadap Kandungan Kafein Menggunakan Spektrofotometri UV-VIS. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 3(1), 86-95.
- Mutovkina, E. A., & Bredikhin, S. A. (2023). Analysis of coffee thermophysical changes during roasting using differential scanning colorimetry. *Food Science and Technology*, 43, e119722.
- Novison, R., dan Sapta, R. D. (2021). Aplikasi Metode Taguchi untuk mengetahui Kualitas Kopi Sangrai Liberika berdasarkan Parameter Peyangraian: Taguchi. *Jurnal ELEMENTER*

- (Elektro dan Mesin Terapan), 7(2), 89-101.
- Obando, A. M., & Figueroa, J. G. (2024). Effect of roasting level on the development of key aroma-active compounds in coffee. *Molecules*, 29(19), 4723.
- Pasaribu, H., Lumbangaol, P., Napitupulu, R. A., Siagian, P., Siagian, H. S., & Setyawan, E. Y. (2023). Simulasi CFD Distribusi Temperatur pada Pengering Biji Kopi dengan Sistem Konveksi Paksa. *Sprocket Journal Of Mechanical Engineering*, 5(1), 14-23.
- Perangin-Angin, M. I. B., & Winarno, R. A. (2024). The effect of temperature and length of roasting on physical quality characteristics of arabic coffe beans in Simalungan district North Sumatra Province. *Jurnal Riset Agroteknologi Berkelanjutan (JRAB)| PT. JNDI*, 1(1), 28-35
- Poerwanty, H., & Nildayanti, N. (2021). Pengaruh Suhu Dan Lama Fermentasi Kopi Terhadap Kadar Kafein. *Agroplanta: Jurnal Ilmiah Terapan Budidaya dan Pengelolaan Tanaman Pertanian dan Perkebunan*, 10(2), 124-130.
- Raisa, T. A., Mayasari, I., Kholidah, N., Hajar, I., & Rusnadi, I. (2024). Analisis Variasi Temperatur Dan Kecepatan Silinder Pada Pengeringan Biji Kopi Dengan Rotary Dryer Berpemanas LPG. *Jurnal Redoks*, 9(2), 196-204.
- Ramanda, M. R., Prameswari, A. F., & Ulfa, M. N. (2024). Effect of variations of roasting temperature on the physicochemical properties of robusta coffee (*Coffea canephora* L.). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 13(2), 405-417.
- Ruhyat, N., Fiqih, H. I., & Nurfuad, H. (2022). Analysis of Drying Air Temperature on Moisture Content in Coffee Beans Using a Fluidized Bed Dryer with Perforated Plates. *Food Science and Technology Journal (Foodscitech)*, 10-21.
- Sari, E. K. N., Hermanuadi, D., & Brilliantina, A. (2022). Analisis Pindah Panas pada Pengeringan Kulit Biji Kopi (Cascara) dengan Menggunakan Mesin Pengering Tipe Flash Dryer_Cum UV. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 17(1), 9-15.
- Syaukani, M., Wibowo, G. H., Nurullah, F. P., & Riayatsyah, T. M. I. (2024). Studi Pengaruh Temperatur Roasting Dan Kecepatan Udara Terhadap Kinerja Mesin Roasting Fluid-Bed Biji Kopi. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 142-152.
- Yusibani, E., Yufita, E., Jalil, Z., & Suhendi, E. (2023). The Effect of Temperature and Roasting Time on The Physical Properties of Arabica and Robusta Gayo Coffee Bean. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 7(2), 100-108.