

Perubahan aktiviti antioksidan, ciri-ciri sebatian aktif dan gula penurun sepanjang proses penghasilan bawang hitam

(Changes in antioxidant activity, bioactive compound characteristics and reducing sugar content during the black garlic production process)

Madzlan Kasran, Zuwariah Ishak, Khairunizah Hazila Khalid, Mohd Fakhri Hashim dan Nik Mohd Faiz Che Mohd Nor

Kata kunci: bawang hitam, inkubasi, aktiviti antioksidan, sebatian aktif, gula penurun

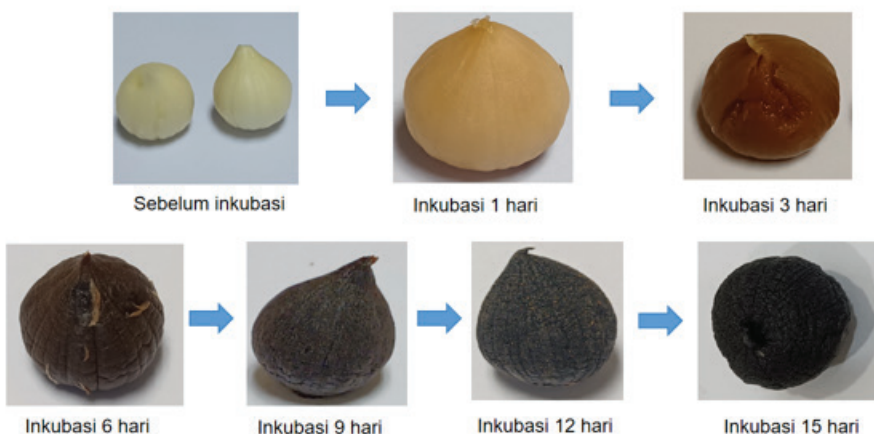
Pengenalan

Bawang hitam dihasilkan daripada proses inkubasi bawang putih pada suhu dan kelembapan relatif terkawal pada tempoh masa tertentu tanpa bahan tambahan. Proses ini berlaku tanpa kehadiran mikroorganisma iaitu bakteria dan fungi serta tidak menggunakan sebarang bahan pengawet. Proses ini berlaku secara semula jadi melalui tindak balas enzim dan kimia yang melibatkan proses transformasi sebatian kimia yang terdapat dalam bawang putih tersebut. Dalam kajian ini, bawang hitam dihasilkan melalui proses inkubasi bawang putih mentah (*Allium sativum*) melalui tindak balas Maillard pada suhu antara 60 – 90 °C dan kelembapan relatif antara 70 – 90% dalam tempoh masa tertentu. Rawatan haba ini dipanggil proses penuaan, di mana bawang putih segar berubah menjadi bawang hitam dengan tekstur lembut seperti jeli dan rasa masam manis.

Dari segi khasiat kesihatan, kajian saintifik menunjukkan bahawa bawang hitam berpotensi mengurangkan tekanan oksidatif, risiko diabetes, hipertensi, hiperkolesterolemia, hiperlipidemia, arteriosklerosis dan kanser. Sifat-sifat berkaitan kesihatan ini dikaitkan dengan kandungan sebatian bioaktifnya seperti *S-allyl cysteine* (SAC), *S-allyl mercaptocysteine*, *diallyl sulfide*, *diallyl disulfide*, *diallyl trisulfide*, polifenol, alkaloid dan produk tindak balas Maillard lain seperti *5-hydroxymethylfurfural* (5-HMF). Beberapa penyelidik juga melaporkan bahawa kandungan sebatian bioaktif dalam bawang hitam meningkat sepanjang proses penuaan, terutamanya polifenol, flavonoid dan beberapa bahan perantaraan tindak balas Maillard yang diketahui sebagai agen antioksidan. Selain itu, bawang hitam menunjukkan aktiviti biologi yang lebih tinggi terutamanya dari segi sifat antioksidan, berbanding dengan bawang putih segar. Parameter pemprosesan bawang hitam dengan ciri-ciri antioksidan yang optimum adalah penting supaya bawang hitam yang dihasilkan mempunyai ciri-ciri bioaktif yang dikehendaki. Oleh itu, kajian ini dijalankan untuk menentukan ciri-ciri antioksidan dan perubahan sebatian aktif sepanjang proses penghasilan bawang hitam.

Penghasilan bawang hitam

Bawang hitam atau *black garlic* dihasilkan daripada bawang putih tunggal (bawang solo atau bawang lanang) yang diinkubasi melalui rawatan terma pada suhu dan kelembapan relatif yang terkawal. Bawang hitam diinkubasi di dalam periuk bertutup yang boleh dikawal suhu secara digital yang ditetapkan pada suhu 72 °C dan kelembapan relatif (RH) 80%. Proses ini dijalankan selama 15 hari dan sampel dianalisa setiap 1, 3, 6, 9, 12 dan 15 hari seperti ditunjukkan dalam *Carta alir 1*. Proses ini menukarkan warna bawang putih menjadi gelap, memberikan rasa manis dan mengubah teksturnya menjadi kenyal seperti jeli. Semasa proses inkubasi, tindak balas Maillard berlaku pada suhu dan kelembapan relatif yang terkawal. Dalam tindak balas Maillard ini, gula penurun bertindak balas dengan asid amino dan menyebabkan proses pemerangan yang menjadikan bawang putih berubah menjadi gelap.



Carta alir 1. Proses penghasilan bawang hitam melalui proses inkubasi selama 15 hari

Perubahan aktiviti antioksidan

Aktiviti antioksidan bawang hitam yang dihasilkan diuji dengan dua kaedah iaitu perencatan radikal bebas *1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl* (DPPH) dan *Ferric Reducing Antioxidant Power Assay* (asai FRAP).

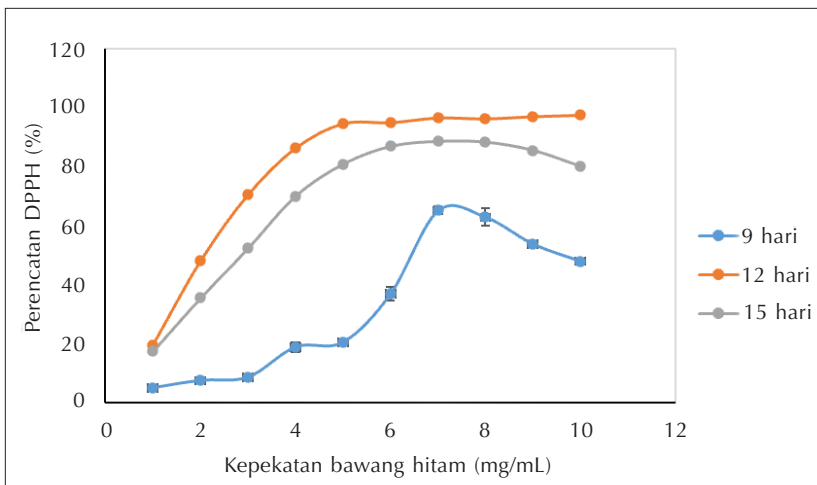
Perencatan radikal bebas DPPH

DPPH ialah radikal bebas yang stabil dan kestabilan ini menjadikannya tidak mudah berinteraksi secara spontan dengan molekul di sekitarnya. Sifat stabil tersebut membolehkan DPPH digunakan sebagai reagen piawai untuk menilai aktiviti antioksidan, di mana ia akan berinteraksi dan mengalami perubahan warna daripada ungu kepada kuning apabila menerima atom hidrogen daripada sebatian antioksidan. Apabila bertindak balas dengan antioksidan, DPPH akan menerima atom hidrogen dan berubah kepada bentuk yang lebih stabil (DPPH-H). Kaedah DPPH merupakan pendekatan yang paling meluas digunakan untuk menilai aktiviti antioksidan kerana prosedurnya yang mudah dan cepat. Mekanisme antioksidan oleh bawang hitam

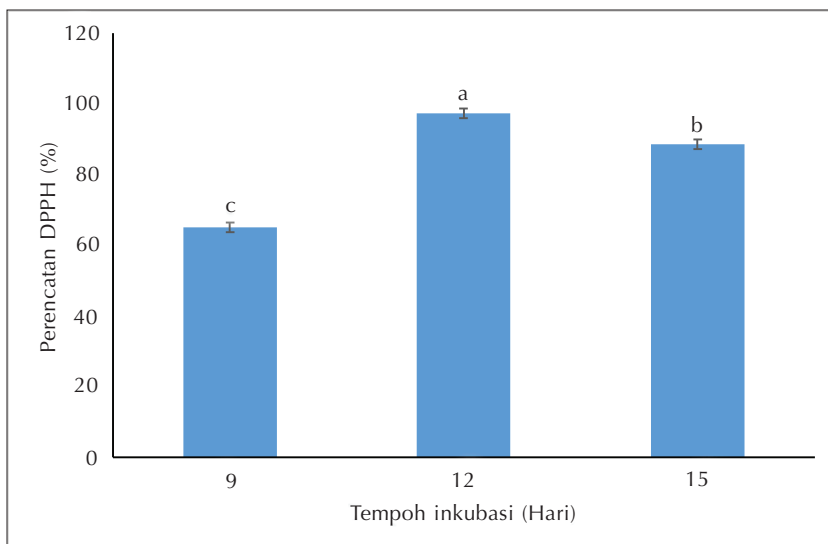
adalah melalui pendermaan atom hidrogen kepada radikal bebas DPPH yang mengakibatkan larutan bertukar daripada ungu kepada kuning. Penyerapan larutan diukur pada panjang gelombang 517 nm menggunakan peralatan spektrofotometer UV.

Rajah 1 menunjukkan keputusan analisis perencatan radikal bebas DPPH bagi bawang putih yang diinkubasi selama 15 hari untuk menghasilkan bawang hitam. *Rajah 1(a)* menunjukkan peningkatan kepekatan bawang hitam selari dengan peningkatan peratus perencatan radikal bebas DPPH di mana kepekatan tertinggi dicapai pada 7 mg/mL. Tempoh inkubasi juga memainkan peranan dalam menentukan keupayaan bawang hitam untuk merencatkan radikal bebas DPPH. *Rajah 1(b)* menunjukkan tempoh inkubasi selama 12 hari yang memberikan perencatan tertinggi berbanding dengan tempoh inkubasi selama 9 dan 15 hari pada kepekatan bawang hitam 7 mg/mL. Pemerhatian menunjukkan tekstur bawang hitam yang dihasilkan menjadi keras seperti batu yang menyebabkan aktiviti antioksidan berkurang pada tempoh inkubasi 15 hari. Manakala tempoh inkubasi kurang daripada sembilan hari tidak menunjukkan sebarang aktiviti antioksidan. Kesimpulannya, perencatan radikal bebas DPPH tertinggi diperoleh pada hari ke-12 inkubasi dengan nilai perencatan sebanyak 97.29% [*Rajah 1(a)* dan (b)].

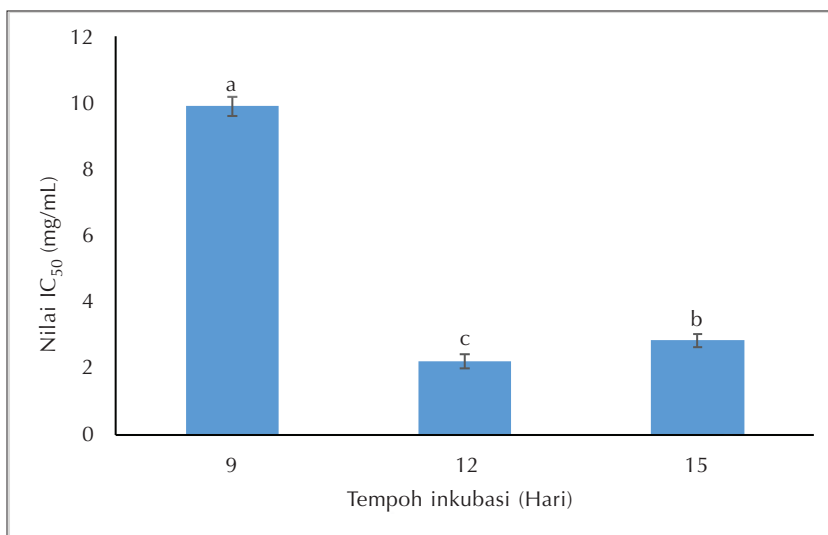
Nilai IC_{50} yang terendah juga direkodkan pada hari ke-12, iaitu 2.23 mg/mL [*Rajah 1(c)*], menunjukkan keupayaan antioksidan yang paling tinggi. Nilai IC_{50} adalah kepekatan minimum untuk merencat 50% radikal bebas DPPH. Semakin kecil nilai IC_{50} , maka aktiviti antioksidannya semakin kuat. Oleh itu, tempoh inkubasi selama 12 hari boleh dianggap sebagai tempoh optimum bagi merencatkan radikal bebas DPPH.



Rajah 1(a). Peratus perencatan radikal bebas (DPPH) bawang hitam pada tempoh inkubasi yang berbeza



Rajah 1(b). Peratus perencatan DPPH pada tempoh inkubasi yang berbeza pada kepekatan bawang hitam 7 mg/mL

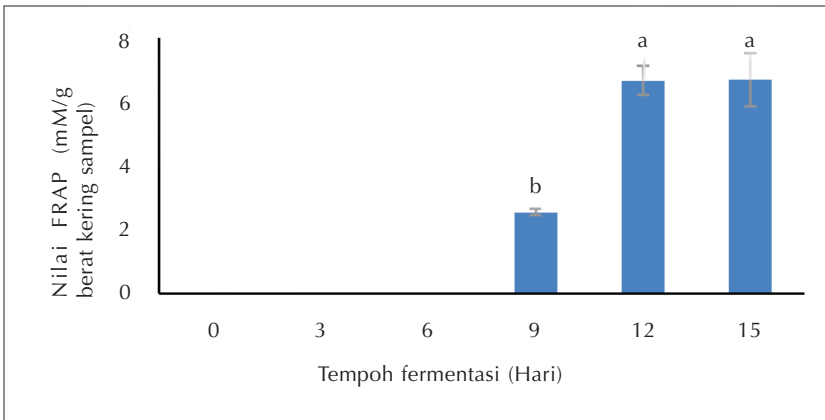


Rajah 1(c). Nilai IC₅₀ bagi perencatan DPPH pada tempoh inkubasi yang berbeza

Aktiviti antioksidan penurunan ion ferik (asai FRAP)

Kaedah asai FRAP adalah berdasarkan kepada pengukuran keupayaan bawang hitam untuk bertindak sebagai agen penurunan yang menurunkan Fe^{3+} kepada Fe^{2+} . Dalam ujian ini, antioksidan bertindak sebagai agen penurunan sementara ion ferum (III) sebagai agen pengoksida. *Ferric-tripyridyltriazine* yang diturunkan kepada kompleks *ferus-tripyridyltriazine* membentuk warna biru yang sangat terang dan keamatan warna biru menunjukkan keupayaan sampel menurunkan Fe^{3+} kepada Fe^{2+} .

Nilai FRAP bagi bawang hitam yang diinkubasi sehingga 15 hari ditunjukkan seperti dalam *Rajah 2*. Nilai FRAP direkodkan sebanyak 2.54 ± 0.11 mM/g berat kering sampel pada hari kesembilan inkubasi. Inkubasi selama 12 hari menunjukkan nilai FRAP meningkat kepada 6.67 ± 0.46 mM/g berat kering sampel. Namun pada hari ke-15 nilai FRAP tidak menunjukkan perubahan yang signifikan berbanding dengan hari ke-12 dengan nilai FRAP sebanyak 6.69 ± 0.84 mM/g berat kering sampel. Tempoh inkubasi kurang daripada sembilan hari pula tidak menunjukkan sebarang aktiviti penurunan ion ferik.



Rajah 2. Nilai FRAP bawang hitam yang diinkubasi pada tempoh yang berbeza

Peningkatan nilai FRAP sehingga hari ke-12 menunjukkan aktiviti antioksidan bawang hitam meningkat seiring dengan tempoh inkubasi. Keadaan ini berkaitan dengan pembentukan sebatian fenolik dan sulfur organik hasil tindak balas Maillard serta proses penguraian sebatian *allicin* (sebatian yang memberikan rasa kuat dan menyengat dalam bawang putih segar) kepada bentuk yang lebih stabil seperti *S-allyl cysteine* (SAC) dan *S-allylmercaptocysteine* (SAMC). Sebatian ini berperanan sebagai penderma elektron yang menurunkan ion ferik (Fe^{3+}) kepada ion ferus (Fe^{2+}). Namun, tiada perubahan ketara selepas hari ke-12 menandakan proses pembentukan sebatian antioksidan telah mencapai tahap maksimum. Sementara itu, bawang hitam yang diinkubasi kurang daripada sembilan hari tidak menunjukkan aktiviti penurunan ion ferik kerana proses pembentukan sebatian aktif masih belum lengkap.

Perubahan jumlah kandungan fenolik dan flavonoid

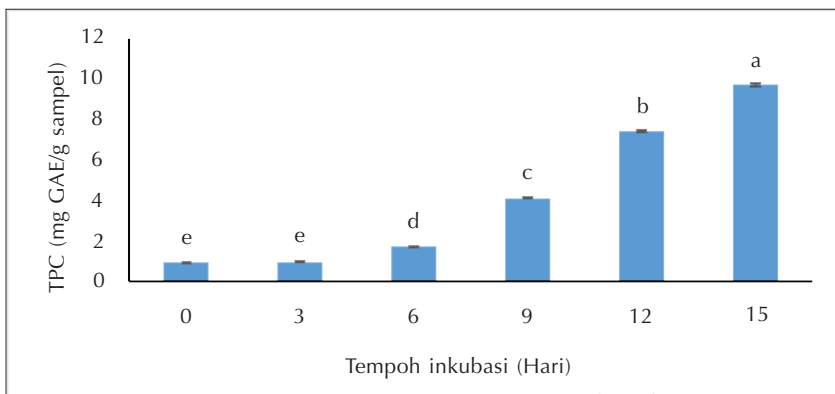
Analisis jumlah kandungan fenolik (TPC) biasanya dijalankan menggunakan kaedah Folin-Ciocalteu yang melibatkan penggunaan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 765 nm untuk mengukur pembentukan kompleks berwarna biru. Kompleks ini terhasil apabila reagen Folin-Ciocalteu bertindak balas dengan sebatian fenolik dalam keadaan beralkali yang dibentuk oleh natrium karbonat (Na_2CO_3). Asid galik sering digunakan sebagai sebatian piawai untuk menghasilkan lengkung piawai bagi pengiraan jumlah

kandungan fenolik dalam sampel yang dilaporkan sebagai miligram setara asid galik per gram (mg GAE/g) atau per 100 g sampel (mg GAE/100 g).

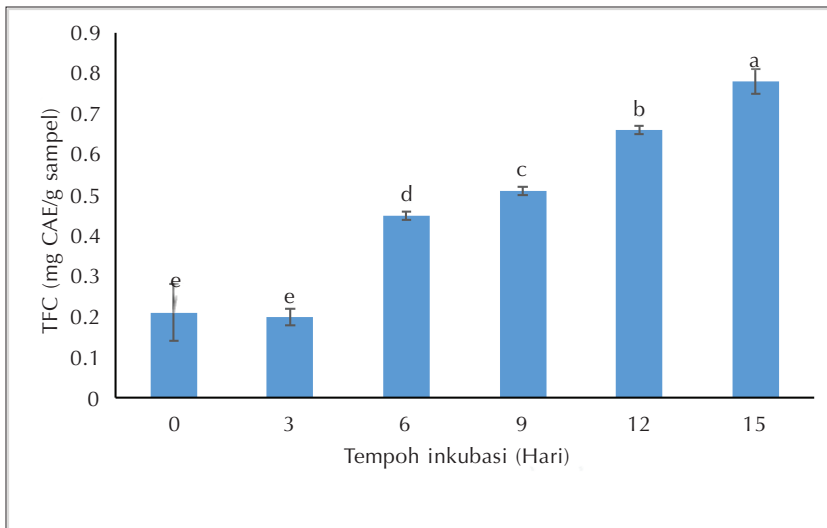
Analisis jumlah kandungan flavonoid (TFC) pula menggunakan kaedah ujian kolorimetri. Langkah asasnya melibatkan penyediaan ekstrak sampel, penambahan reagen seperti natrium nitrit (NaNO_2), aluminium klorida (AlCl_3) dan natrium hidroksida (NaOH), diikuti dengan pengukuran serapan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada jarak gelombang 510 nm. Pengiraan nilai TFC berdasarkan lengkung piawai yang dibangunkan daripada sebatian piawai katekin dan dilaporkan dalam unit miligram setara katekin per gram sampel (mg CAE/g sampel).

Jumlah kandungan fenolik (TPC) bagi bawang hitam sepanjang proses inkubasi sehingga 15 hari ditunjukkan seperti dalam *Rajah 3*. Keputusan menunjukkan nilai TPC meningkat secara signifikan daripada 1.01 ± 0.02 mg GAE/g sampel (hari ketiga) kepada 9.74 ± 0.1 mg GAE/g sampel (hari ke-15). Manakala nilai TFC bagi bawang hitam yang diinkubasi sehingga 15 hari ditunjukkan seperti dalam *Rajah 4*. Keputusan menunjukkan nilai TFC meningkat sepanjang proses inkubasi pada hari ketiga sehingga hari ke-15. Nilai TFC meningkat daripada 0.20 ± 0.02 mg CAE /g sampel kepada 0.78 ± 0.03 mg CAE /g sampel.

Peningkatan nilai TPC dan TFC sepanjang tempoh inkubasi menunjukkan bahawa proses pematangan/penuaan bawang hitam berupaya meningkatkan pembentukan sebatian fenolik dan flavonoid yang bersifat antioksidan. Semasa proses inkubasi, tindak balas Maillard dan penguraian sebatian sulfur organik (*allicin*) dalam bawang putih segar menyebabkan transformasi kimia yang menghasilkan pelbagai sebatian fenolik dan flavonoid baharu. Selain itu, keadaan haba semasa inkubasi turut membantu pembebasan sebatian fenolik terikat daripada matriks makanan, sekali gus meningkatkan kandungan bioaktif dalam sampel. Dapatan ini sejajar dengan laporan terdahulu yang menunjukkan peningkatan sebatian fenolik dan aktiviti antioksidan dalam bawang hitam berbanding dengan bawang putih segar akibat proses penuaan terma dan tindak balas Maillard.



Rajah 3. Nilai TPC bawang hitam yang diinkubasi pada tempoh yang berbeza



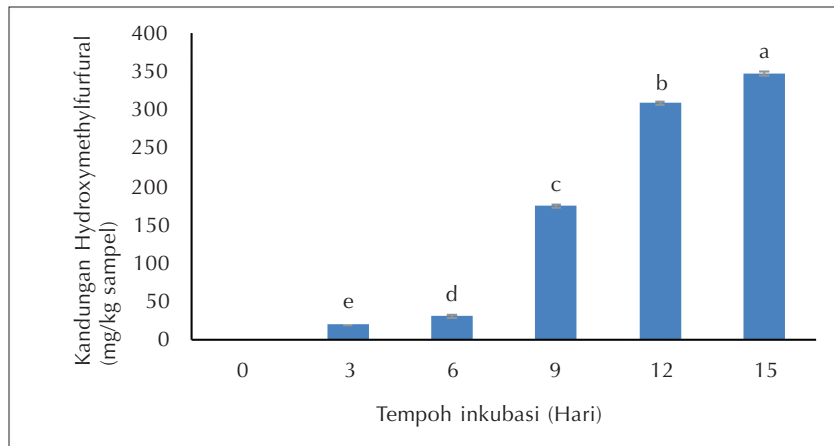
Rajah 4. Nilai TFC bawang hitam yang diinkubasi pada tempoh yang berbeza

Perubahan sebatian aktif bawang hitam

Kandungan 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF)

Kandungan 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) didapati semakin meningkat secara signifikan seiring dengan pertambahan tempoh inkubasi dari 0 – 15 hari seperti ditunjukkan dalam Rajah 5. Kandungan 5-HMF meningkat daripada 20.68 mg/kg pada inkubasi hari ketiga kepada 347.98 mg/kg pada hari ke-15. Peningkatan kandungan 5-HMF sepanjang tempoh inkubasi menunjukkan bahawa tindak balas Maillard dan proses penyahhidratan gula berlaku secara berterusan semasa proses penuaan bawang hitam. Pembentukan 5-HMF hasil tindak balas antara gula penurun dan asid amino menyumbang kepada warna gelap serta aroma khas bawang hitam. Peningkatan nilai 5-HMF daripada 20.68 mg/kg kepada 347.98 mg/kg menunjukkan intensiti tindak balas Maillard yang semakin tinggi, yang turut dikaitkan dengan peningkatan aktiviti antioksidan produk. Namun, aras 5-HMF yang terlalu tinggi juga boleh menunjukkan pemanasan berlebihan, justeru kawalan suhu dan masa inkubasi adalah penting bagi mengekalkan kualiti dan keselamatan produk.

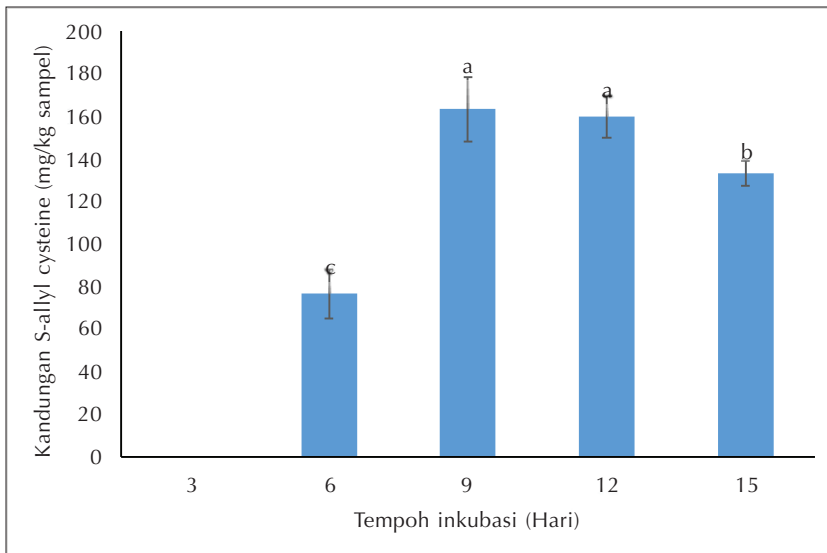
5-HMF adalah sebatian Amadori yang terbentuk semasa rawatan haba makanan yang mengandungi karbohidrat dan asid amino melalui tindak balas Maillard. Kajian terdahulu menunjukkan 5-HMF telah terbukti mempunyai pelbagai kesan positif, seperti sifat antioksidan, antialergi, antiradang, antihipoksik, antialgesik dan kesan antihiperurisemia. Selain itu, kajian tersebut juga mendapati tiada kaitan yang jelas antara 5-HMF dengan kesan karsinogenik dan genotoksik kepada manusia manakala potensi toksiknya juga adalah rendah. 5-HMF mempamerkan aktiviti antioksidan dengan menyingkirkan radikal bebas ABTS dan DPPH serta menghalang hemolisis (kerosakan sel darah merah).



Rajah 5. Kandungan 5-hydroxymethylfurfural (HMF) bawang hitam yang diinkubasi pada tempoh yang berbeza

Kandungan *S-allyl cysteine* (SAC)

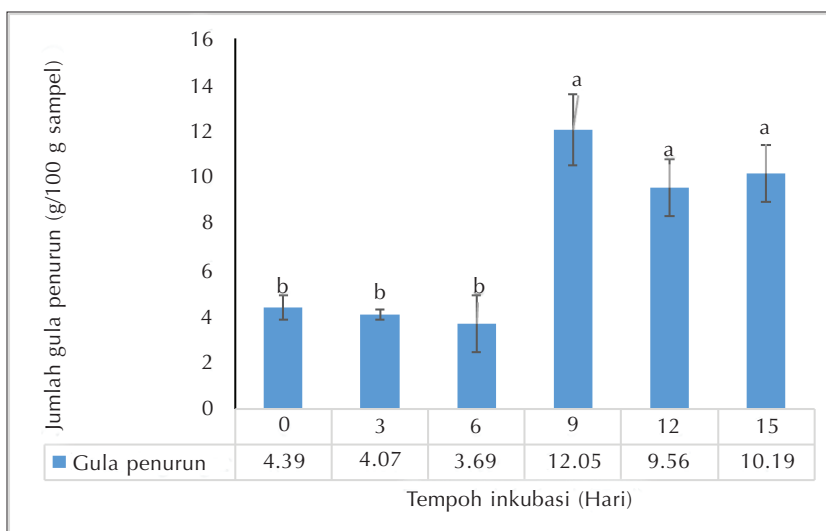
Rajah 5 menunjukkan kandungan *S-allyl cysteine* (SAC) dalam bawang hitam meningkat sehingga mencapai nilai maksimum pada hari kesembilan inkubasi (160 mg/kg) sebelum menurun pada hari ke-15. Peningkatan ini menunjukkan pembentukan SAC hasil daripada penguraian *allicin* kepada sebatian sulfur yang lebih stabil semasa proses pematangan. SAC merupakan sebatian organosulfur utama dan penanda kualiti penting bagi bawang hitam kerana menyumbang secara langsung kepada peningkatan aktiviti antioksidan. Dapatan ini sejajar dengan kajian terdahulu yang melaporkan peningkatan kandungan SAC selari dengan peningkatan polifenol dan keupayaan perencatan radikal bebas. Kajian tersebut menunjukkan bawang hitam yang dihasilkan daripada bawang putih segar Vietnam, Phan Rang pada suhu 70 °C dan kelembapan relatif 80% selama 38 hari inkubasi meningkatkan kandungan SAC daripada 3.5 µg/g kepada 159.81 µg/g (peningkatan sebanyak 46 kali ganda). Bawah keadaan ini, kandungan polifenol dalam bawang hitam meningkat sebanyak tujuh kali ganda, manakala aktiviti perencatan radikal 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) meningkat sebanyak 22 kali ganda. Selain itu, pembentukan melanoidin melalui tindak balas Maillard juga menyumbang kepada warna gelap serta menambah nilai antioksidan dan antiradang bawang hitam. Melanoidin adalah sebatian yang bertanggungjawab memberikan warna gelap dalam beberapa jenis makanan seperti kopi, koko, bir dan madu. Selain itu, turut dilaporkan melanoidin bukan sahaja dikaji kerana nilai pemakanannya, tetapi juga memiliki ciri-ciri antiradang dan antioksidan dengan bertindak sebagai agen pemusnah radikal bebas yang memberi kesan baik kepada profil lipid.



Rajah 6. Kandungan S-allyl cysteine (SAC) bawang hitam sepanjang tempoh inkubasi selama 15 hari

Kandungan gula penurun

Gula penurun adalah sebarang gula yang mampu bertindak sebagai agen penurun kerana mempunyai kelompok aldehid atau keton bebas. Semua monosakarida (seperti galaktosa, glukosa dan fruktosa) merupakan gula penurun, begitu juga dengan beberapa disakarida, oligosakarida dan polisakarida. Dalam kajian ini, kandungan gula penurun dalam bawang hitam meningkat sehingga mencapai tahap maksimum pada hari kesembilan inkubasi (12.05%) sebelum menurun pada hari ke-12 dan ke-15 (*Rajah 7*). Peningkatan awal menunjukkan pemecahan karbohidrat kompleks kepada gula ringkas akibat aktiviti enzimatik dan tindak balas haba semasa pemprosesan. Penurunan selepas hari kesembilan pula mungkin disebabkan oleh penggunaan gula penurun dalam tindak balas Maillard antara gula dan asid amino yang menghasilkan sebatian berwarna gelap serta menyumbang kepada pembentukan melanoidin dan peningkatan aktiviti antioksidan.



Rajah 7. Kandungan gula penurun bawang hitam yang diinkubasi pada tempoh yang berbeza

Kesimpulan

Bawang hitam dihasilkan melalui proses inkubasi bawang putih tunggal pada suhu 72 °C dan kelembapan relatif 80%. Hasil kajian menunjukkan bahawa tempoh inkubasi optimum adalah pada hari ke-12, berdasarkan aktiviti antioksidan yang tertinggi seperti yang dibuktikan melalui analisis DPPH dan FRAP. Selain itu, sebatian bioaktif utama seperti *S-allyl cysteine* (SAC) dan *5-hydroxymethylfurfural* (HMF) didapati meningkat sepanjang tempoh inkubasi dari hari 0 hingga hari ke-15, dengan SAC mencapai nilai optimum pada hari kesembilan sebelum menurun semula pada hari ke-15. Penemuan ini mengesahkan bahawa inkubasi selama 12 hari mampu menghasilkan bawang hitam dengan aktiviti antioksidan dan kandungan bioaktif yang tinggi.

Penghargaan

Setinggi-tinggi penghargaan buat kakitangan Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan MARDI dan Pusat Penyelidikan Sosio Ekonomi, Risikan Pasaran dan Agribisnes yang terlibat secara langsung dan tidak langsung bagi menjayakan projek penyelidikan ini. Projek ini dibiayai oleh Projek Khas MADANI dengan tajuk Projek Utama: Pembangunan Makanan Berfungsi daripada Sumber Agropertanian Tempatan dan Sub-Projek: *Black garlic* atau bawang hitam untuk kawalan kolesterol dengan kod projek K/G00M0310.

Bibliografi

- Afzaal, M., Saeed, F., Rasheed, R., Hussain, M., Aamir, M., Hussain, S., Mohamed, A. A., Alamri, M. S., & Anjum, F. M. (2021). Nutritional, biological, and therapeutic properties of black garlic: A critical review. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1387–1402.
- Bae, S. E., Cho, S. Y., Won, Y. D., Lee, S. H., & Park, H. J. (2014). Changes in S-allyl cysteine contents and physicochemical properties of black garlic during heat treatment. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 397–402.
- Choi, I. S., Cha, H. S., & Lee, Y. S. (2014). Physicochemical and antioxidant properties of black garlic. *Molecules*, 19(10), 16811–16823.
- Hwang, I. G., Kim, H. Y., Woo, K. S., Lee, J., & Jeong, H. S. (2011). Biological activities of Maillard reaction products (MRPs) in a sugar–amino acid model system. *Food Chemistry*, 126(1), 221–227.
- Kodera, Y., Suzuki, A., Imada, O., Kasuga, S., Sumioka, I., Kanezawa, A., Taru, N., Fujikawa, M., Nagae, S., Masamoto, K., Maeshige, K., & Ono, K. (2002). Physical, chemical, and biological properties of S-allylcysteine, an amino acid derived from garlic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 622–632.
- Moreira, A. S., Nunes, F. M., Domingues, M. R., & Coimbra, M. A. (2012). Coffee melanoidins: structures, mechanisms of formation and potential health impacts. *Food & function*, 3(9), 903–915.
- Oktari, K., Azizah, Z., Chandra, B., & Asra, R. (2020). A review: Antioxidant and immunomodulator effects of black garlic. *EAS J. Pharm. Pharmacol*, 2, 193–198.
- Ryu, J. H., & Kang, D. (2017). Physicochemical properties, biological activity, health benefits, and general limitations of aged black garlic: A review. *Molecules*, 22(6), 919.
- Toledano Medina, M. Á., Pérez-Aparicio, J., Moreno-Ortega, A., & Moreno-Rojas, R. (2019). Influence of variety and storage time of fresh garlic on the physicochemical and antioxidant properties of black garlic. *Foods*, 8(8), 314.
- Zhao, L., Chen, J., Su, J., Li, L., Hu, S., Li, B., Zhang, X., Xu, Z., & Chen, T. (2013). In vitro antioxidant and antiproliferative activities of 5-hydroxymethylfurfural. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(44), 10604–10611.

Ringkasan

Bawang hitam atau *black garlic* dihasilkan daripada bawang putih tunggal (bawang solo atau bawang lanang) yang diinkubasi pada suhu 72 °C dan 80% kelembapan relatif. Proses ini dijalankan selama 15 hari dan sampel diambil setiap 1, 3, 6, 9, 12 dan 15 hari dan analisis aktiviti antioksidan dan sebatian aktif dijalankan bagi mendapatkan tempoh inkubasi yang optimum. Kajian ini melibatkan analisis antioksidan (DPPH dan FRAP), jumlah kandungan fenolik (TPC) dan jumlah kandungan flavonoid (TFC) serta sebatian aktif iaitu *s-allyl cysteine* (SAC) dan *5-hydroxymethylfurfural* (5-HMF) serta jumlah gula penurunan bagi menentukan tempoh inkubasi yang optimum. Hasil kajian menunjukkan bahawa perencatan radikal bebas DPPH adalah optimum pada hari ke-12 dengan perencatan tertinggi (97.29%) dan nilai IC₅₀ sebanyak 2.23 mg/mL. Nilai FRAP meningkat kepada 6.67 ± 0.46 mM/g berat kering sampel pada hari ke-12 dan tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan pada hari ke-15.

Nilai TPC dan TFC terus meningkat sepanjang proses inkubasi sehingga hari ke-15. Kandungan HMF meningkat secara berterusan daripada 20.68 mg/kg (hari ketiga) kepada 347.98 mg/kg (hari ke-15). Kandungan SAC mencapai nilai optimum pada hari kesembilan inkubasi (160 mg/kg) sebelum menurun pada hari ke-15 manakala jumlah gula penurun meningkat selepas hari kesembilan inkubasi. Oleh itu, tempoh inkubasi selama 12 hari pada suhu 72 °C dan kelembapan relatif 80% dikenal pasti sebagai tempoh optimum bagi penghasilan bawang hitam dengan aktiviti antioksidan dan kandungan sebatian bioaktif yang tertinggi.

Summary

Black garlic is produced from single clove garlic (commonly known as *bawang solo* or *bawang lanang*) incubated at 72 °C and 80% relative humidity. The process is carried out for 15 days, with samples collected on days 1, 3, 6, 9, 12 and 15 for the analysis of antioxidant activity and bioactive compounds to determine the optimal incubation period. The study evaluated antioxidant activity (DPPH and FRAP assays), total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and bioactive compounds, including S-allyl cysteine (SAC) and 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF), as well as reducing sugar content to identify the optimal incubation duration. The results showed that DPPH free radical scavenging activity reached its optimum on day 12 with the highest inhibition value (97.29%) and an IC_{50} of 2.23 mg/mL. The FRAP value increased to 6.67 ± 0.46 mM/g dry weight on day 12 and showed no significant difference on day 15. Both TPC and TFC continued to increase throughout the incubation process up to day 15. The HMF content increased progressively from 20.68 mg/kg (day three) to 347.98 mg/kg (day 15). The SAC content reached its optimum level on day 10 (160 mg/kg) before decreasing on day 15, whereas the reducing sugar content increased after day nine of incubation. Therefore, an incubation period of 12 days at 72 °C and 80% relative humidity was identified as the optimum condition for producing black garlic with the highest antioxidant activity and bioactive compound content.

Pengarang

Madzlan Kasran (Dr.)

Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

E-mel: madzlan@mardi.gov.my

Zuwariah Ishak, Khairunizah Hazila Khalid (Dr.), Mohd Fakhri Hashim
dan Nik Mohd Faiz Che Mohd Nor

Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor