

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench)

1. Definisi Sorgum

Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) merupakan komoditas pangan yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia. Sorgum dapat diolah menjadi tepung alternatif atau pengganti untuk tepung gandum (terigu) dalam mendukung keragaman pangan yang bisa diproduksi secara domestik. Kandungan nutrisi yang dimiliki sorgum yaitu karbohidrat 70%, protein 8-12% dan lemak 2-6%. Sorgum juga mengandung mineral esensial seperti P, Mg, Ca, Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, dan Cr. Bagian sorgum yang bisa digunakan sebagai pakan meliputi biji, daun, dan batangnya. Biji digunakan sebagai pakan bagi unggas, sedangkan daun dan batang sorgum diperuntukkan bagi pakan ternak. Etanol yang dihasilkan oleh tumbuhan sorgum berasal dari cairan yang ada di batang sorgum, terutama dari jenis sorgum manis. Etanol sering dimanfaatkan sebagai alternatif untuk bahan bakar minyak, produk farmasi, dan sebagai pengganti premium (Batariuc, Coțovanu and Mironeasa, 2023).

Tanaman sorgum termasuk ke dalam keluarga rumput-rumputan (*Gramineae*). Sorgum dapat hidup di iklim tropis dan sub-tropis karena mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi ekosistem dan tetap dapat menghasilkan meskipun berada dalam lingkungan yang tidak mendukung untuk jenis serelia lainnya. Di Indonesia sorgum ideal ditanam di area dataran rendah hingga ketinggian 800 mdpl, dengan curah hujan sekitar 375-

425 mm, suhu tumbuh yang ideal berkisar antara 23°C sampai 30°C dan kelembapan relative antara 20-40%. Sorgum juga dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang tergenang atau di tanah berpasir dengan pH tanah yang bervariasi. Tanaman sorgum mempunyai cara tumbuh yang serupa dengan tanaman jagung, tetapi jeda waktu antara fase pertumbuhan serta jumlah daun yang muncul bisa bervariasi. Durasi yang diperlukan untuk mencapai fase tergantung pada varietas dan kondisi tempat tumbuh tanaman. Unsur-unsur lingkungan tersebut mencakup kelembapan serta kesuburan tanah, serangan hama dan penyakit, tekanan abiotik, jumlah tanaman dan persaingan dengan gulma (Aryani *et al.*, 2022).

Berdasarkan sejarah perkembangannya, Sorgum adalah jenis tanaman pangan yang telah ada dan dibudidayakan oleh masyarakat Indonesia sejak zaman dahulu, tetapi sekarang mulai menurun dan bahkan hilang di beberapa daerah. Satu hal yang menarik adalah bahwa terdapat beberapa daerah yang sangat kecil, salah satunya adalah Jawa Timur. Beberapa lokasi di Jawa Timur yang masih melanjutkan budidaya sorgum antara lain Pasuruan, Lamongan, Tuban, Sampang, Tulungagung, dan Jombang. Hasil survei ini menunjukkan bahwa beberapa daerah di Jawa Timur masih berfokus produksi sorgum, termasuk Pasuruan, Lamongan, Tuban, Sampang, Tulungagung dan Jombang. (Satria *et al.*, 2022).

Berkembangnya berbagai produk pengolahan dari olahan biji sorgum, penting untuk menawarkan opsi alternatif kepada masyarakat dalam mengonsumsi produk olahan dari biji sorgum. Banyak produk olahan yang

bisa dibuat dari olahan biji sorgum juga termasuk merupakan langkah awal untuk menyesuaikan rasa sorgum agar lebih disukai oleh masyarakat. Biji sorgum dapat dimanfaatkan untuk diolah menjadi tepung yang berfungsi sebagai pengganti tepung terigu. Inovasi dalam pengolahan dan diversifikasi produk seperti tepung sorgum, mi, roti, dan sereal berbasis sorgum harus diperluas untuk menarik minat konsumen. Dengan strategi ini, sorgum berpotensi menjadi pilihan sumber pangan yang sehat, memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan ramah lingkungan. Strategi yang bisa diambil untuk menciptakan karakteristik tersebut adalah melalui metode pragelatinisasi pada tepung sorgum yang akan dipakai untuk produksi beras analog instan. Pragelatinisasi adalah proses pemanasan pati sehingga mencapai gelatinisasi penuh dan diikuti dengan pengeringan, sehingga menghasilkan barang berkualitas dan memiliki nilai ekonomi (Satria *et al.*, 2022).

Jenis sorgum dapat dibedakan warna bijinya. Biji sorgum memiliki tiga lapisan kulit, yaitu kulit luar (*epicarp*), kulit tengah (*mesocarp*), dan kulit dalam (*pericarp*). Lapisan luar (*epicarp*) adalah lapisan yang tipis dan bersifat lilin (4-8 persen dari berat biji), yang berfungsi untuk melindungi bagian dalam dari kelembapan. Lapisan ini mengandung pigmen yang menentukan warna biji sorgum, berkisar dari putih hingga coklat tua, bahkan ada yang berwarna hitam. Biji sorgum yang memiliki warna lebih gelap mengandung lebih banyak tanin, yang membuatnya tidak disukai oleh burung, sehingga mengurangi kemungkinan kehilangan hasil di ladang.

Lapisan kedua (*mesocarp*) dan lapisan ketiga (*pericarp*) yang dekat dengan endosperma memiliki sedikit kandungan karbohidrat dan tidak mengandung minyak. Selama proses pembuatan tepung, semua lapisan kulit biji sorgum harus dihilangkan (Widowati, 2020).

2. Morfologi Sorgum

Biji sorgum tergolong dalam kategori kariopsis, yakni buah dengan satu biji yang terbungkus oleh kulit biji yang menyatu dengan buahnya. Biji sorgum memiliki variasi dalam hal bentuk, ukuran, dan jenis. Umumnya, biji sorgum berbentuk oval atau bulat dengan diameter yang bervariasi antara 4-8 mm. Perbedaan bentuk dan ukuran biji sorgum dipengaruhi oleh jenis varietas tanaman yang berbeda. Sorgum memiliki berbagai warna, seperti hitam, merah, ungu, coklat, kuning, dan putih. Biji sorgum terdiri dari tiga bagian utama yaitu: Pericarp (lapisan terluar) Endosperm, dan Lembaga (germ) yang meliputi embrio dan scutellum. Rincian berat masing-masing bagian adalah pericarp 6%, endosperm 84%, dan germ 10%. Proporsi dari komponen ini dipengaruhi oleh variasi jenis tanaman dan kondisi lingkungan tempat tumbuhnya (Murtini *et al.*, 2021).

1. Pericarp

Perikarp terdiri dari ketebalan antara 8 hingga 160 μm yang terdiri dari tiga lapisan yakni, epicarp, mesocarp, dan endocarp. Epikarp itu sendiri terbentuk dari lapisan epidermis yang merupakan bagian terluar dan lapisan hypodermis. Lapisan epidermis biasanya dilindungi oleh lapisan lilin dan memiliki sel-sel yang berbentuk memanjang

dengan dinding sel yang relatif tebal. Pada lapisan ini, sering ditemukan juga bahan berpigmen. Secara genetik, perikarp sorgum dapat memiliki warna merah, putih atau tak berwarna, dan kuning (seperti lemon), dengan endosperm yang berwarna putih atau kuning. Berbeda dengan sebagian biji-bijian, mesocarp sorgum terdiri dari tiga hingga empat lapisan yang mengandung butiran pati yang kecil. Lapisan terdalam pericarp merupakan endocarp yang terdiri dari sel tabung yang bertanggung jawab untuk pengangkutan air.

Warna yang terlihat pada biji ini berasal dari zat pewarna dalam perikarp dan testa yang menghasilkan nuansa cokelat gelap atau kemerahan. Selain memberikan warna pada biji, testa juga mengandung tanin yang memberikan rasa pahit. Biji sorgum yang berwarna coklat biasanya memiliki konsentrasi tanin yang lebih tinggi dan dapat mempengaruhi rasa sorgum itu sendiri yang cenderung rendah. Tingkat senyawa fenolik dalam kulit sorgum ini bisa mencapai enam kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan biji sorgum secara keseluruhan. Bagian dari sorgum ini sangat menarik karena komponen bioaktif fenolik seperti 3-deoksiantosianidin dan tanin yang berpotensi untuk digunakan sebagai makanan fungsional serta pangan lainnya.

2. Endosperm

Endosperma sebagai jaringan penyimpanan nutrisi terdiri dari bagian aleurone, endosperma peripheral, endosperma keras (*vitreous/corneous*), serta endosperma lunak (*floury*). Bagian aleurone

merupakan lapisan yang terletak langsung di bawah kulit biji. Selain kaya akan protein dan enzim, aleuron juga mengandung minyak, vitamin B kompleks, serta mineral. Letak endosperma peripheral sebenarnya belum dapat dijelaskan dengan pasti, namun umumnya lapisan ini ditemukan tepat di bawah aleuron dengan ketebalan dua hingga enam blok sel. Di bawah endosperma peripheral terdapat endosperma keras, yang kemudian diikuti oleh endosperma lunak. Endosperma sorgum mengandung kadar pati yang tinggi, yang berasal dari dua bagian yaitu endosperma keras dan lunak. Dua jenis endosperma ini dapat dibedakan berdasarkan konfigurasi granula pati serta matriks protein yang menyelimuti. Endosperma keras memiliki granula pati yang berbentuk poligonal dan dikelilingi secara kontinu oleh matriks protein. Sementara itu, endosperma lunak memiliki granula pati berbentuk bulat dan dikelilingi oleh matriks protein yang lebih jarang.

3. Germ

Bagian dari Lembaga atau germ ini terdiri dari lemak dan protein dan juga memiliki banyak vitamin yang larut dalam lemak, serta mineral. Menurut FAO (1991), germ mengandung berbagai komponen seperti; protein (18,9%), abu (10,4%), lemak (28,1%), pati (13,4%), niasin (8,1 mg/100g), dan riboflavin (0,39 mg/100g).

3. Kandungan Gizi Pada Sorgum

Sifat-sifat yang menarik dari jenis sorgum adalah rasa yang lezat, hasil yang melimpah, ketahanan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh burung, hama dan penyakit serangga, waktu panen yang lebih cepat, serta ketahanan terhadap kekeringan yang membantu meningkatkan hasil dan mengurangi kerugian selama pra dan pasca panen. Sorgum mengandung banyak zat gizi dan berbagai makronutrien serta mikronutrien yang bermanfaat bagi tubuh kita. Sorgum menonjol karena memiliki kandungan yang tinggi serat dan proteinnya. Namun, komposisinya juga beragam. **Tabel 2.1** di bawah ini menyajikan kandungan nutrisi lengkap sorgum.



Kemenkes
Poltekkes Bengkulu

Table 2.1 di bawah ini menyajikan kandungan nutrisi lengkap sorgum, Diperoleh dari *FoodData Central* (2019).

Komponen gizi	Satuan	Jumlah per 100 gram
Energi	kcal	366
Air	gram	11
Protein	gram	11
Lemak total	gram	3.3
Karbohidrat total	gram	73
Serat pangan	gram	1.2 – 6.7
Abu	gram	1.7
Fosfor	mg	287
Zat besi (fe)	mg	4.4
Kalsium (ca)	mg	28
Natrium (na)	mg	7
Tiamin (b1)	mg	0.09
Riboflavin (b2)	mg	0.14
Niasin (b3)	mg	2.8

Selain kandungan nutrisinya, sorgum juga memiliki *indeks glikemik* (IG) yang rendah serta bebas gluten, yang menjadikannya sebagai pilihan yang baik untuk individu yang sedang menjalankan rendah serta tidak mengandung gluten, menjadikannya pilihan baik untuk mereka yang sedang memiliki pola keterbatasan pola makan. Indeks glikemik sorgum

tercatat rendah (<55). Karakteristik IG rendah ini memungkinkan peningkatan kadar glukosa darah secara perlahan setelah mengkonsumsinya, sehingga mempertahankan kadar glukosa darah dalam kondisi yang lebih baik dibandingkan dengan makanan berkadar IG tinggi, seperti nasi putih (Tan *et al.*, 2024).

Sorgum biasanya memiliki kadar protein yang lebih tinggi dibandingkan dengan biji-bijian lainnya, terutama beras, yang telah menjadi makanan pokok bagi banyak orang di Indonesia. Penelitian yang beranekaragam telah memperlihatkan variasi kandungan protein dalam beras, ada yang menemukan nilai serendah 6,7% sementara yang lainnya mencatat angka yang lebih tinggi, yaitu 16%. Namun penting untuk diperhatikan bahwa Sebagian besar protein yang terkandung dalam beras berada pada dedaknya, yang sering kali dihilangkan untuk memperoleh beras putih. Demikian juga dengan kadar protein yang terkandung pada sorgum sangat bervariasi, tergantung dari tipe, varietas, kondisi stress air, dan sejumlah factor lain selama proses pertumbuhan serta perkembangan. Protein dari berbagai genotipe sorgum dapat berbeda-beda, berkisar antara 7,8% hingga 19%, dengan rata-rata 13,4% untuk varietas Durra, yang memiliki kandungan protein paling tinggi. Berbagai riset telah meneliti berbagai perlakuan dan metode pengolahan serta dampaknya terhadap faktor-faktor antinutrisi (Tan *et al.*, 2024).

Suatu penelitian mengeksplorasi dampak perendaman dan pengupasan kulit, menunjukkan penurunan yang signifikan pada

kandungan tanin, fitat, dan oksalat. .Memassak, fermentasi,pengukusan,dan penurunan kadar tanin yang signifikan sebesar masing-masing 17%,30% 35%, dan 39%. Selain metode yang telah disebutkan, terdapat pula berbagai teknik pengolahan tradisional lainnya, termasuk penggilingan, pemanggang, dan perkecambahan, yang digunakan untuk mengurangi kandungan antinutrisi dalam sorgum. Di samping itu, kombinasi proses seperti perendaman dalam larutan NaOH yang diikuti dengan fermentasi telah terbukti efektif dalam mengurangi Tingkat antinutrisi pada sorgum (Tan *et al.*, 2024).

4. Pemanfaatan Sorgum Dalam Produk Pangan

Banyak pilihan untuk sumber karbohidrat dan vitamin, tetapi beras padi tetap menjadi yang utama sebagai komoditas makanan. Kebiasaan Masyarakat yang mengonsumsi beras adalah alasan utama di balik impor beras oleh pemerintah guna memenuhi kebutuhan pangan di dalam negeri. Diharapkan bahwa bahan pangan dengan sumber karbohidrat dapat menjadi jalan keluar untuk mengurangi angka impor ataupun menciptakan peluang ekonomi baru. Salah satu alternatif pangan pengganti yang mulai dikembangkan adalah Sorgum.

Sorgum menawarkan tambahan makanan yang kaya akan karbohidrat, protein, lemak, vitamin, serta mineral yang bermanfaat bagi keluarga. Potensinya sebagai bahan baku bioenergi menjadikannya pilihan yang menarik. Kualitas gizi sorgum bisa berbeda-beda tergantung pada

factor pertumbuhan, cara pengolahan, serta metode persiapan makanan, termasuk mencegah diabetes, kanker, dan membantu dalam pengelolaan kadar gula darah. Sorgum berfungsi sebagai alternatif untuk menggantikan beras demi mengurangi import serta menciptakan peluang ekonomi baru. Pemberdayaan kelompok tani, khususnya bagi ibu rumah tangga, melalui pelatihan dan edukasi mengenai pemanfaatan pangan di rumah berkontribusi pada peningkatan pendapat keluarga (Meo, 2023).

B. Tepung Sorgum

1. Definisi Tepung Sorgum

Berkembangnya berbagai jenis produk *processed*, khususnya yang berasal dari sorgum sangat krusial untuk menawarkan beragam pilihan kepada Masyarakat dalam mengonsumsi produk olahan sorgum. Variasi produk olahan sorgum juga merupakan Langkah untuk mengubah cita rasa sorgum agar lebih mudah diterima oleh Masyarakat. Optimalisasi sorgum sebagai sumber pangan fungsional menghadapi berbagai rintangan, seperti angka produksi yang rendah, minimnya kesadaran Masyarakat dan kebutuhan akan inovasi dalam pengolahan serta diversifikasi produk. Untuk mengatasi masalah produksi yang terbatas, diperlukan peningkatan dalam metode budidaya dengan memanfaatkan varietas unggul, penerapan Teknik pertanian modern, serta memberikan dukungan kepada petani agar hasil panen lebih optimal. Ketidaktahuan masyarakat mengenai nilai gizi sorgum dapat diatasi melalui edukasi yang dilakukan lewat kampanye kesehatan serta promosi produk yang berbasis pada sorgum (Satria *et al.*, 2022).

2. Proses Pembuatan Tepung

Standardisasi adalah proses merencanakan, merumuskan, menetapkan, menerapkan, memberlakukan, memelihara, dan mengawasi Standar yang dilaksanakan secara tertib dan bekerja sama dengan semua Pemangku Kepentingan (UU Nomor 20 tahun 2014). Salah satu luaran kegiatan standardisasi adalah standar, yaitu persyaratan teknis atau sesuatu yang dibakukan, termasuk tata cara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak/ pemerintah/keputusan internasional yang terkait dengan memperhatikan syarat keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pengalaman, serta perkembangan masa kini dan masa depan untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya. Sesuai dengan tingkatan standar, dikenal standar internasional (ISO, IEC, IEC, Codex, ITU), standar nasional seperti SNI.

4. Standarisasi Mutu Tepung SNI 3549-2009 Tepung Beras

Tabel 2.2 SNI Tepung Beras

No	Kriteria uji	Satuan	Persyaratan
1	Keadaan		
1.1	Bentuk	-	serbuk halus
1.2	Bau	-	normal
1.3	Warna	-	putih, khas tepung beras
2	Benda asing	-	tidak boleh ada
3	Serangga dalam semua bentuk stadia dan potongan-potongannya yang tampak	-	tidak boleh ada
4	Jenis pati lain selain pati beras	-	tidak boleh ada
5	Kehalusan, lolos ayakan 80 mesh (b/b)	%	min. 90
6	Kadar air (b/b)	%	maks. 13
7	Kadar abu (b/b)	%	maks. 1,0
8	Belerang dioksida (SO ₂)	-	tidak boleh ada
No	Kriteria uji	Satuan	Persyaratan
9	Silikat (b/b)	%	maks. 0,1
10	pH	-	5 – 7
11	Cemaran logam		
11.1.	Kadmium (Cd)	mg/kg	maks. 0,4
11.2.	Timbal (Pb)	mg/kg	maks. 0,3
11.3.	Merkuri (Hg)	mg/kg	maks. 0,05
12	Cemaran arsen (As)	mg/kg	maks. 0,5
13	Cemaran mikroba		
13.1	Angka lempeng total	koloni/g	maks. 1 x 10 ⁶
13.2	Escherichia coli	APM/g	maks. 10
13.3	Bacillus cereus	koloni/g	maks. 1 x 10 ⁴
13.4	Kapang	koloni/g	maks. 1 x 10 ⁴

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2009

C. Pengeringan (waktu dan suhu)

1. Konsep Dasar Pengeringan

Karakteristik fisik dari tepung dapat memengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Faktor fisik tepung yang paling krusial dalam menentukan standar tepung adalah seberapa halus tepung tersebut dan tingkat warna tepung. Modulus halus adalah ukuran yang menggambarkan kehalusan material curah seperti tepung. Tingkat modulus halus umumnya dipecah menjadi tiga kategori tepung: kasar, sedang, dan halus, di mana bahan yang semakin halus akan memiliki modulus yang kecil. Sementara itu, warna adalah salah satu element yang dapat mempengaruhi mutu suatu produk. Proses pencampuran dan pengolahan yang baik dapat dikenali dari homogenitas dan keseragaman warna. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui waktu dan suhu perkecambahan serta hubungan antara keduanya dalam menghasilkan tepung kecambah sorgum yang berkualitas baik (Wulandari, Sukarminah and Rahayu, 2020).

Rendemen adalah salah satu ukuran yang sangat penting untuk memahami nilai ekonomi dari suatu produk. Produk yang memiliki rendemen tinggi akan berkontribusi pada nilai ekonomi yang lebih tinggi pula. Rendemen menggambarkan perbandingan antara berat awal bahan dan berat akhir yang dinyatakan dalam presentase, sehingga kita bisa mengetahui berapa banyak bahan yang hilang selama proses pengolahan. Tujuan dari proses pengeringan adalah mengurangi kadar air dan menurunkan aktivitas air. Bahan Pangan yang memiliki nilai rendah dapat

menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzim sehingga bahan pangan yang dikeringkan dapat mempunyai umur simpan yang lama. proses pengeringan bahan pangan memiliki beberapa keuntungan, antara lain: memperkecil volume sehingga dapat menghemat ruang pengangkutan dan pengepakan, mengurangi berat sehingga dapat mempermudah dan mengurangi biaya transportasi, meningkatkan umur simpan produk dan memiliki kadar protein yang lebih tinggi.

Metode pengeringan yang umum digunakan untuk mengeringkan pangan untuk pembuatan tepung adalah metode pengeringan yang sederhana, yaitu dengan penjemuran dibawah sinar matahari dan menggunakan oven. Proses pengeringan menggunakan sinar matahari memiliki keuntungan dalam menghemat biaya dan energi, namun sangat bergantung pada perubahan cuaca yang cenderung tidak menentu sehingga suhu dan waktu pengeringan tidak bisa diatur (Syafii and Fajriana, 2022).

2. Mekanisme Kinetika Pengeringan Biji-bijian

Kinetika pengeringan biji-bijian ditentukan oleh proses perpindahan panas dan massa yang berlangsung antara biji- bijian dan lingkungan sekitarnya.

1. Perpindahan panas

Proses perpindahan panas berfungsi sebagai pendorong utama dalam pengeringan.

- a. Faktor Pemicu: Perbedaan temperature antara area yang panas dan bagian yang lebih sejuk, mengatur perpindahan panas.

- b. Metode Transfer: Proses ini berlangsung melalui konduksi, konveksi, dan radiasi.
- c. Fungsi Energi: Energi yang memasuki biji- bijian memiliki dua peran utama: untuk menaikkan suhu biji dan menyediakan panas laten yang diperlukan untuk mengubah air dalam biji menjadi uap.

2. Perpindahan Massa

Perpindahan massa, atau pergerakan kelembaban, adalah proses di mana uap air berpindah dari biji-bijian menuju lingkungannya.



- a. Proses Internal: Air dalam bentuk cair di dalam biji bergerak ke permukaan dan diubah menjadi uap, kemudian dikeluarkan dari substansi tersebut. Mekanisme: gerakan air dalam biji terpengaruhi oleh difusi, termasuk difusi cairan melalui media yang berpori dan difusi molekuler.
- b. Faktor Pendorong: Proses ini dikendalikan oleh perbedaan kadar air dan tekanan uap parsial yang menjadi pendorong utama.
- c. Eksternal: Pengangkutan uap dari permukaan biji menuju saluran keluarnya menjadi penggerak utama dalam proses pengeringan.

Tujuan akhir dari seluruh mekanisme ini adalah untuk menurunkan kandungan air biji-bijian ke tingkat yang aman untuk

pengolahan dan penyimpanan, mencegah kerusakan akibat mikrobiologis (Wulandari, Sukarminah and Rahayu, 2020).

2. Pengaruh Suhu Pengeringan

1. Peran Sentral Suhu (*Temperature Role*)

- a. Peningkatan Laju Pengeringan (Kadar Air): Suhu yang lebih tinggi menciptakan perbedaan tekanan uap air yang lebih besar antara biji-bijian dan lingkungan udara, yang mempercepat transfer panas dan massa (kuantitas air yang menguap). Akibatnya, durasi pengeringan menjadi lebih cepat dan kadar air yang dicapai bisa lebih rendah.
- b. Pengaruh terhadap rendemen: Kenaikan suhu selama proses pengeringan umumnya memiliki hubungan yang berlawanan dengan rendemen, karena semakin banyak air yang hilang, berat bahan akan berkurang, sehingga menghasilkan rendemen yang lebih rendah. Namun, suhu yang cukup tinggi juga diperlukan untuk memecahkan bahan, contohnya pada pinang, suhu yang tinggi dapat mempercepat proses pengupasan cangkang serta, meningkatkan jumlah biji yang utuh.

2. Dampak Negatif Suhu Terlalu Tinggi (*High Temperature Impact*)

Tabel 2.3 Dampak dan Mekanisme Kerusakan Akibat Suhu Berlebihan

Parameter	Dampak Suhu Tinggi	Mekanisme Kerusakan
Kualitas		
Rendemen	Menurun	Suhu yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan sel darah memicu reaksi yang merusak, seperti karamelisasi (pencoklatan), denaturasi protein, atau kerusakan asam amino yang pada akhirnya menurunkan kualitas dan nilai gizi
Kadar Air	Pengerasan	Suhu yang terlalu tinggi secara tiba-tiba dapat menyebabkan air di permukaan menguap sangat cepat sehingga terjadi pengerasan permukaan (<i>case hardening</i>). Hal ini justru menghalangi air yang tersisa di bagian dalam biji untuk menguap, membuat proses pengeringan menjadi tidak sempurna

3. Konsep Suhu Kritis dan Suhu Optimal

Suhu kritis ini adalah keadaan yang memisahkan antara fase pengeringan konstan dan fase pengeringan yang menurun. Definisi fisik kadar air kritis merujuk pada jumlah air terendah dimana laju air yang mengalir dari bahan ke permukaan setara dengan laju penguapan uap air tertinggi. Setelah melewati titik tersebut, penguapan terjadi pada air yang terikat secara kimia. Implikasi Mengingat bahwa biji - bijian biasanya memulai pengeringan pada kadar air yang lebih rendah daripada kadar air

kritis, proses pengeringan sebagian besar didorong oleh tahap laju menurun, yang melibatkan pengeringan internal melalui mekanisme difusi (Batariuc, Ungureanu-Iuga and Mironeasa, 2021).

