



SEJARAH, PERMASALAHAN, SOLUSI, DAN MANFAAT PALA

Nijma Nurfadila
Okky Setyawati Dharmaputra
Ina Retnowati
Sri Widayanti
Santi Ambarwati



Published by
SEAMEO BIOTROP
Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology
Bogor, Indonesia
www.biotrop.org

Sejarah, Permasalahan, Solusi, dan Manfaat Pala

ISBN :

Copyright ©2024 SEAMEO BIOTROP

Penulis : Nijma Nurfadila, Okky Setyawati Dharmaputra, Ina Retnowati,
Sri Widayanti, dan Santi Ambarwati

Editor : Sri Ismawati Soerianegara, M.Sc

Desain layout : Dani Yudi Trisna

Cetakan Pertama : Januari 2024

Buku ini diterbitkan dengan dana DIPA SEAMEO BIOTROP (2024)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang memperbanyak buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh :

SEAMEO BIOTROP (*Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology*)

Jalan Raya Tajur, Km.6, Bogor 16134, Indonesia

Phone : +62-251-8323848

Fax : +62-251-8326851

Website : <http://www.biotrop.org>

Email : kmd@biotrop.org

Berbagai foto yang terdapat di cover depan, cover belakang dan di dalam buku ini merupakan koleksi dari tim penulis buku ini dan dari internet dengan menyebutkan sumber gambarnya.

Sejarah, Permasalahan, Solusi, dan Manfaat Pala

Nijma Nurfadila

Okky Setyawati Dharmaputra

Ina Retnowati

Sri Widayanti

Santi Ambarwati

SEAMEO BIOTROP
2024

KATA PENGANTAR

Pala merupakan salah satu komoditas ekspor utama Indonesia. Beberapa negara tujuan ekspor pala Indonesia antara lain Uni Eropa, Amerika Serikat, Rusia, Vietnam, dan Singapura. Jarak menjadi kendala utama dalam proses ekspor, karena selama penyimpanan dan pendistribusian, biji pala dapat mengalami penurunan mutu. Penyebab utama menurunnya mutu pala adalah serangan cendawan dan kontaminasi mikotoksin. Salah satu negara importir pala dengan peraturan yang sangat ketat terhadap kontaminasi mikotoksin adalah Uni Eropa.

Informasi mengenai cendawan dan mikotoksin pada biji pala sangat diperlukan untuk meningkatkan mutu dan produktivitas pala Indonesia. Serangan cendawan dapat mengurangi kandungan nutrisi biji, sedangkan mikotoksin dapat menyebabkan mikotoksikosis jika dikonsumsi oleh manusia dan hewan ternak. Aflatoksin dan okratoksin A (OTA) merupakan jenis mikotoksin yang dapat mengkontaminasi biji pala. Aflatoksin yang dihasilkan oleh beberapa galur cendawan *Aspergillus flavus* dan *A. parasiticus* dapat menyebabkan kanker hati, sedangkan OTA dapat menyebabkan kerusakan ginjal pada manusia dan hewan ternak. Namun dari kedua jenis mikotoksin ini, aflatoksin merupakan masalah utama pada pala, khususnya pala Indonesia.

Buku ini merangkum berbagai hasil penelitian yang dilakukan, baik di SEAMEO BIOTROP maupun di institusi lain di Indonesia dan luar negeri, terkait sejarah perkembangan ekspor pala Indonesia ke Eropa, standar mutu biji pala ekspor, cendawan dan mikotoksin pada biji pala di Indonesia dan luar negeri, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap mutu pala, solusi untuk peningkatan mutu pascapanen pala, dan pemanfaatan pala.

Buku ini diharapkan dapat menjadi panduan kepada khalayak, khususnya bagi ilmuwan, akademisi, pedagang pengumpul, pedagang pengecer, eksportir dan importir pala, serta industri produk olahan pala dalam upaya pencegahan dan pengendalian serangan cendawan dan mikotoksin pada pala dan produk olahannya.

Terima kasih kami sampaikan kepada SEAMEO BIOTROP yang telah memberikan dukungan dana, sehingga buku ini dapat diterbitkan. Penghargaan kepada Ir. Sri Ismawati Soerianegara, M.Sc. yang telah menyunting buku ini.

Bogor, Januari 2024

Nijma Nurfadila

Okky Setyawati Dharmaputra

Ina Retnowati

Sri Widayanti

Santi Ambarwati

SAMBUTAN DIREKTUR SEAMEO BIOTROP

Buku ini dirancang sebagai sumber informasi komprehensif mengenai 'Sejarah, Permasalahan, Solusi, dan Manfaat Pala'. Tujuan utama dari penulisan buku ini adalah untuk memberikan informasi tentang isu-isu yang mempengaruhi kualitas dan distribusi biji pala, khususnya di Indonesia. Buku ini mengeksplorasi permasalahan utama yang menurunkan mutu pala serta menawarkan solusi terkait penanganan pascapanen yang efektif dan praktik baik yang dapat meningkatkan mutu serta produktivitas pala.

Saya mengucapkan terima kasih kepada tim penulis yang telah berkontribusi dalam pembuatan buku penting ini

Sebagai salah satu komoditas ekspor utama Indonesia, sangatlah diperlukan informasi terpercaya mengenai cendawan dan mikotoksin pada biji pala, terutama terkait penurunan mutu biji pala akibat durasi penyimpanan dan pendistribusian. Penyebab utama menurunnya mutu pala adalah serangan cendawan dan kontaminasi mikotoksin.

Beberapa negara tujuan ekspor pala Indonesia, melakukan analisis mikotoksin terhadap biji pala dari Indonesia. Berdasarkan hasil analisis tersebut, beberapa negara tujuan ekspor pala menolak biji pala yang berasal dari Indonesia. Uni Eropa adalah salah satu negara importir pala Indonesia yang memiliki peraturan impor yang sangat ketat.

Informasi mengenai cendawan dan mikotoksin pada biji pala sangat diperlukan untuk meningkatkan mutu dan produktivitas pala Indonesia. Cendawan adalah mikroorganisme utama perusak bahan pangan di penyimpanan. Serangan cendawan pada bahan pangan dapat menyebabkan penurunan kandungan nutrisi dan produksi mikotoksin. Penanganan pascapanen yang layak (*Good Handling Practice*) merupakan salah satu cara untuk mencegah dan mengendalikan serangan cendawan, antara lain cendawan penghasil mikotoksin.

SEAMEO BIOTROP (*Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology*) adalah lembaga regional yang bergerak dalam bidang penelitian, pelatihan dan diseminasi hasil-hasil penelitian biologi tropika. Topik penelitian "Ketahanan dan Keamanan Pangan dan Pakan" adalah salah satu topik yang termasuk di dalam Program Thrust "*Sustainable Management of Intensively Used Ecosystems/Landscapes*".

Bogor, Januari 2024

Dr. Zulhamsyah Imran
Direktur SEAMEO BIOTROP

TESTIMONI PEMBACA

1. Nama : Prof. Dr. Sutrisno, M.Agr
Jabatan : Guru Besar dan Dosen di Program Studi Teknologi Pascapanen
Institusi : Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Dalam sistem rantai pasok produk pertanian di Indonesia, termasuk produk pala sebagai tanaman perkebunan yang memiliki sejarah panjang di Indonesia, maka salah satu kelemahan yang masih sangat mendasar adalah pada tahap penanganan pascapanen. Kelemahan penanganan ini ditunjukkan dengan masih tingginya susut pascapanennya. Hubungannya dengan produk hasil perkebunan, khususnya pala yang telah lama menjadi produk andalan ekspor Indonesia, maka permasalahan rendahnya mutu dan tingginya susut pascapanen menjadi kendala utama dalam usaha pemenuhan pasokan pala Indonesia ke negara importir yang biasanya adalah negara maju yang memiliki persyaratan mutu dan keamanan pangan yang sangat ketat.

Hingga saat ini, buku dan referensi khusus yang membahas teknologi produksi hingga tahap pascapanen pala dalam Bahasa Indonesia masih sangat terbatas, sehingga menyebabkan diseminasi pengetahuan teknologi produksi pala kepada pelaku agribisnis pala menjadi sangat lambat. Buku dengan judul **"Sejarah, Permasalahan, Solusi, dan Manfaat Pala"** yang ditulis oleh tim **(Nijma Nurfadila, Okky Setyawati Dharmaputra, Ina Retnowati, Sri Widayanti, dan Santi Ambarwati)** ini tentu sangat strategis dan menjadi fundamental dalam rangka memberikan penjelasan secara detail dan terperinci terkait produksi pala di Indonesia.

Buku semacam ini sudah lama dinantikan oleh para praktisi pertanian, bukan hanya petani dan pelaku bisnis pertanian, namun juga para mahasiswa, pakar, dan ilmuwan pertanian. Saya sebagai salah satu pegiat teknologi pascapanen juga sangat bergembira dan menyambut hangat atas diterbitkannya buku ini.

Publikasi ini akan menjadi sebagai salah satu referensi utama dalam mengembangkan dan menyebarkan teknologi produksi pala di berbagai kegiatan, baik dalam perkuliahan di perguruan tinggi maupun dalam pelatihan-pelatihan untuk para praktisi pertanian, khususnya terkait komoditas pala.

Sudah sepatutnya kami berterima kasih dan memberikan apresiasi kepada tim penulis atas jerih payahnya, sehingga berhasil menulis buku yang sangat komprehensif ini. Saya yakin buku ini akan sangat bermanfaat bagi kemajuan pertanian Indonesia, khususnya terkait dengan perbaikan teknologi produksi komoditas pala di negara Indonesia tercinta ini. Semoga akan menjadi amal ibadah bagi penulisnya dan mendapatkan balasan pahala yang setimpal dari Allah SWT. Aaamiiin.

- 2. Nama : Syatrawati, SP, MP**
Jabatan : Dosen Prodi Teknologi Produksi Tanaman Pangan
Institusi : Politeknik Pertanian Negeri Pangkep, Provinsi Sulawesi Selatan

Buku ini bermanfaat bagi dunia pendidikan dan masyarakat karena memberikan pemahaman dan informasi yang komprehensif kepada pembaca, yang mencakup para akademisi, peneliti, petani, eksportir dan pemerhati pertanian, dalam menyikapi permasalahan kualitas pala. Buku ini mengupas tentang cendawan dan mikotoksin pada biji pala, standar mutu biji pala ekspor, dan faktor-faktor yang berpengaruh dalam penanganan pascapanen pala. Alur dan bahasa yang digunakan membuat buku ini sangat mudah dipahami.

- 3. Nama : Iman Hidayat, Ph.D**
Jabatan : Kepala Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan
Institusi : Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Pala (*Myristica fragrans*) adalah salah satu komoditas rempah nusantara yang memiliki sejarah panjang di dalam industri rempah-rempah dunia serta dalam hubungan dagang dan diplomasi antara kerajaan-kerajaan di nusantara dengan bangsa-bangsa di Asia dan Eropa. Selain dikenal sebagai bahan bumbu makanan, pala juga dikenal sebagai salah satu bahan obat herbal untuk keluhan jantung, pencernaan, asma, sakit gigi, disentri, perut kembung, dan rematik, khususnya di Tiongkok dan India.

Sampai tahun 2021, Indonesia masih menjadi negara pengeksportir pala terbesar dunia dengan nilai ekspor sekitar USD 104,03 juta yang menguasai sekitar 68,62% pasar dunia. Tentunya ini harus terus dipertahankan dan ditingkatkan oleh berbagai *stakeholder* di Indonesia, mengingat persaingan di dalam perdagangan pala di dunia semakin ketat. Demikian pula, standar regulasi perdagangan pala dunia semakin meningkat dan ketat, khususnya terkait keamanan produk pangan dari material-material atau senyawa-senyawa yang bersifat toksik terhadap manusia sebagai konsumen utama.

Buku ini merupakan acuan yang sangat bagus bagi para akademisi, periset, petani, dan pelaku bisnis pala nasional karena di dalamnya dibahas dan diuraikan secara lengkap berbagai aspek dari pengelolaan produk buah pala supaya dapat memiliki standar mutu kualitas yang dapat memenuhi kebutuhan industri global. Buku ini membahas standar mutu, penjelasan kelompok-kelompok organisme yang berpotensi merusak dan menurunkan kualitas buah pala dan bagaimana mengatasinya, dan penanganan pascapanen pala yang perlu dilakukan untuk dapat mempertahankan mutu pala.

- 4. Nama : Dr. Ir. Antarjo Dikin, M.Sc.**
Jabatan : Analis Perkarantina Tumbuhan Ahli Utama
Institusi : Badan Karantina Pertanian

Komoditas pala merupakan komoditas andalan asal Indonesia dalam rangka pemenuhan pasar ekspor pala ke berbagai negara, terutama negara Uni Eropa, sehingga menjadi perhatian khusus bagi kita. Untuk mempersiapkan komoditas pala dalam memenuhi standar mutu kesehatan, kita harus berpedoman pada *Sanitary and Phytosanitary Measures*.

Buku ini merupakan bagian penting yang perlu dipahami dan diterapkan oleh setiap orang yang terlibat mulai dari cara budidaya tanaman pala yang baik (*Good Agriculture Practice*), pemanenan pala mengikuti standar hingga pengolahan hilirisasi produk pala mengikuti standar *Good Handling Practice*. Belajar dari pengalaman yang pernah dilakukan untuk memberikan bimbingan petani, pengepul dan eksportir serta pihak terkait, bahwa rumitnya suatu standar yang diminta oleh negara pembeli itu seolah-olah sulit dan tak mungkin kita kerjakan.

Proses mempersiapkan produk yang sehat dimulai dari lapangan hingga olahan di rumah kemas, bagaimana menghasilkan buah pala sehat bebas dari infeksi cendawan patogen yang dapat menular hingga terbawa di dalam buah pala termasuk fuli. Dalam proses pengolahan di rumah kemas yang harus higienis, perlu dijaga agar kadar air biji pala maupun fuli yang terkendali pada batas 10% untuk menekan pertumbuhan cendawan bila masih ada pada biji maupun fuli pala. Dengan demikian bisa dibuktikan secara uji laboratorium bahwa pala yang diekspor dari Indonesia adalah bebas dari kontaminasi berbagai jenis mikotoksin. Penerapan ketertelusuran produk (*traceability*) terkait asal usul produk yang diekspor akan mempermudah perbaikan di kemudian hari jika ada keluhan dari pembeli. Semua ini jika sudah terbiasa dikerjakan, maka akan menjadi suatu rutinitas yang ringan.

Pada kesempatan baru-baru ini, kami melakukan perundingan dengan pihak DG Sante, Uni Eropa di Brussel yang merupakan Direktorat Jenderal yang menangani kesehatan dan keamanan pangan. Saya menghadiri perundingan tersebut sebagai Delegasi Republik Indonesia yang merupakan wakil Negara, untuk melakukan dialog dalam rangka meyakinkan pihak DG Sante bahwa pala Indonesia yang dikirim ke negara-negara Uni Eropa merupakan pala yang sehat dan bebas dari infestasi serangga dan mikotoksin. Apabila ada temuan dari *notification of non-compliance* Uni Eropa, maka hal tersebut dapat terjadi karena dari luasnya areal binaan. Petani pala merupakan petani kecil dengan keterbatasan informasi, bimbingan teknis untuk menghasilkan pala bermutu. Petani hanya menggunakan pengetahuan yang turun temurun sejak beberapa abad yang lalu dalam membudidayakan pala untuk memproduksi biji dan fuli pala.

Semua tahapan kritis (*critical points*) yang dapat kita ketahui secara dini hingga bagaimana mitigasi risiko pada biji pala untuk memenuhi persyaratan nasional maupun ekspor diuraikan secara komprehensif pada buku ini. Saya sungguh mengapresiasi tim penulis atas kontribusinya karena peduli terhadap kondisi penanganan pascapanenan pala, sehingga menulis buku ini. Tentunya saya berharap agar para pihak terkait menggunakan referensi ini sebagai pedoman sejak tanam hingga produk pala siap ekspor.

Segera temukan dan kenali faktor dan titik kritis, kemudian lakukan segera perbaikan atau berkonsultasi langsung dengan tim penulis tentang kendala yang ditemui pada tanaman pala atau pada produk biji atau fuli pala dalam rangka memenuhi persyaratan standar domestik maupun pasar ekspor. Lakukan dengan baik setiap tahapan dalam rangkaian rantai pasok dari proses produksi di kebun, pengolahan hilirisasi produk pala dengan referensi ini.

Tidak ada kata-kata sulit dalam menuju suatu misi sukses untuk memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh pasar global.

Kita harus bangga dengan produk pala Indonesia dan tunjukkan pada dunia bahwa pala Indonesia merupakan pala terbaik dengan cita rasa tersendiri (*geographical indication*). Selamat atas karya tulisan ini, semoga dapat mengubah dari kebiasaan yang tidak terstandar menuju produk bermutu yang terstandar.

DAFTAR ISTILAH

Abdomen serangga, *abdomen* adalah salah satu bagian dari tubuh serangga, terletak tepat di belakang toraks. Tubuh serangga terdiri atas kepala (*capute*), dada (*thorax*) dan perut (*abdomen*).

Benih, adalah biji yang digunakan sebagai sumber perbanyakan tanaman atau berkaitan dengan perbanyakan tanaman.

Cendawan, *fungi* adalah salah satu golongan organisme heterotrof yang meliputi tiga dunia (*kingdom*), yaitu *Fungi* (cendawan sejati), *Chromista* (cendawan semu), dan *Protoctista* (cendawan protozoa). Struktur soma dapat berupa miselium, mengabsorpsi nutrisi dengan mengeluarkan enzim-enzim; atau struktur soma berupa plasmodium, dengan cara makan menelan dan mencernanya. Hidup sebagai saprob dan parasit.

Elitra, *elytra* adalah sayap depan yang mengeras dan menebal serta tidak memiliki vena sayap pada serangga.

Hifa, *hypha* adalah filamen cendawan pada struktur soma atau pada tubuh buah; satuan struktur cendawan.

Isolat, *isolate* adalah hasil isolasi.

Jamur, *mushroom* adalah cendawan yang tergolong *Agaricales*, kadang-kadang juga cendawan berdaging lainnya; berukuran makroskopis, dapat dipegang tangan dan dipetik.

Kapang, *mold*, *mould* adalah cendawan renik yang biasa tumbuh pada benda organik lembap, contohnya kapang roti, kapang oncom, dan sebagainya.

Karsinogen, *carcinogen* adalah zat yang dapat menyebabkan terbentuknya sel kanker.

Konidiofor, *conidiophore* adalah hifa khusus yang fertil (sederhana atau bercabang) yang menyangga konidium.

Mikotoksin, *mycotoxin* adalah racun yang dapat dihasilkan oleh beberapa galur dan spesies cendawan tertentu pada suatu bahan pangan atau pakan, misalnya aflatoksin, fumonisin, okratoksin A, deoxynivalenol, nivalenol, dan patulin.

Mikotoksikosis, *mycotoxicosis* adalah gejala atau penyakit yang disebabkan oleh mikotoksin.

Miselium, *mycelium* adalah kumpulan hifa.

Sklerotium, *sclerotium* adalah 1. Struktur yang terdiri atas massa hifa yang memadat dan mengeras, dengan atau tanpa tenunan inang, dan daripadanya dapat tumbuh tubuh buah, stroma, konidiofor, atau miselium; 2. Pada *Myxomycetes*, keadaan istirahat suatu plasmodium.

Sumber: Rahayu *et al.* (2015)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
SAMBUTAN DIREKTUR SEAMEO BIOTROP	v
TESTIMONI PEMBACA	vii
DAFTAR ISTILAH	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Sejarah Perkembangan Pala Indonesia	1
1.2 Standar Mutu Pala Ekspor	4
1.3 Faktor Biologis yang Berpengaruh terhadap Mutu Pala	9
BAB II SERANGGA DAN CENDAWAN LAPANGAN PADA PALA	11
2.1 Serangga Hama pada Pala di Perkebunan	12
2.2 Cendawan Lapangan pada Pala	16
BAB III SERANGGA HAMA GUDANG, CENDAWAN PERUSAK PASCAPANEN, DAN KONTAMINASI AFLATOKSIN PADA PALA	19
3.1 Serangga Hama Gudang, Cendawan Perusak Pascapanen, dan Kontaminasi Aflatoksin pada Pala di Indonesia	21
3.2 Serangga Hama Gudang, Cendawan Perusak Pascapanen, dan Kontaminasi Aflatoksin pada Pala di Negara Lain	39
BAB IV FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP PERTUMBUHAN CENDAWAN DAN KONTAMINASI MIKOTOKSIN, SERTA EFEK CENDAWAN PADA BIJI PALA SELAMA PENYIMPANAN	47
4.1 Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Pertumbuhan Cendawan pada Biji Pala Selama Penyimpanan	48
4.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Produksi Mikotoksin pada Pala	51
4.3 Pengaruh Serangan Cendawan terhadap Pala	52
BAB V PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN SERANGAN SERANGGA DAN CENDAWAN, SERTA KONTAMINASI AFLATOKSIN PADA PALA DI INDONESIA	55
5.1 Penanganan Prapanen Pala yang Sesuai	56
5.2 Pemanenan	59
5.3 Penanganan Pascapanen Pala yang Tepat	61

BAB VI PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN SERANGAN SERANGGA DAN CENDAWAN, SERTA KONTAMINASI AFLATOKSIN PADA PALA DI GRENADA	77
6.1 Pemanenan	78
6.2 Penanganan Pascapanen	78
BAB VII INOVASI TEKNOLOGI PENANGANAN PASCAPANEN PALA	83
BAB VIII PEMANFAATAN PALA	93
8.1 Pemanfaatan Daging Buah Pala	94
8.2 Pemanfaatan Fuli Pala	95
8.3 Pemanfaatan Biji Pala	97
BAB IX PENUTUP	99
BAB X DAFTAR PUSTAKA	101
TENTANG PENULIS	111

DAFTAR GAMBAR

1. Nilai ekspor produk pala sejak 2012 hingga 2019	3
2. Alur pelayanan ekspor	7
3. Serangga hama penggerek batang pala: (a) <i>Batocera hercules</i> dan (b) <i>B. celebiana</i>	12
4. Serangga yang menyerang tanaman pala di perkebunan: (a) <i>Branchiacatha</i> sp. dan (b) <i>Epilachna indica</i>	14
5. Serangga yang menyerang tanaman pala di perkebunan: (a) <i>Odontotaenius</i> sp.; (b) <i>Tenebrio molitor</i>	14
6. Serangga yang menyerang tanaman pala di perkebunan: (a) <i>Anasa tristis</i> ; (b) <i>Reticulitermes flavipes</i> ; dan (c) <i>Spathosternum</i> sp.	15
7. Buah pala yang terserang cendawan penyebab penyakit busuk buah kering	16
8. Buah pala yang terserang cendawan penyebab penyakit busuk buah basah	17
9. Serangga hama gudang pada biji pala dengan berbagai perlakuan selama 4 bulan penyimpanan: (a) <i>Aracerus fasciculatus</i> ; (b) <i>Carpophilus dimidiatus</i> ; (c) <i>Oryzaephilus surinamensis</i> ; dan (d) <i>Tribolium castaneum</i>	21
10. Hasil isolasi cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani (a) dan pedagang pengumpul (b) di Kabupaten Minut (Minahasa Utara) dengan menggunakan metode pengenceran berderet yang dilanjutkan dengan metode cawan tuang pada medium <i>Dichloran 18% Glycerol Agar</i> (DG18) setelah 7 hari inkubasi pada suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$	25
11. Biakan murni (a) <i>Aspergillus flavus</i> dan (b) <i>A. niger</i> pada medium <i>Czapeks Yeast Extract Agar</i> (CYA) setelah 7 hari inkubasi pada suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$	26
12. Mikrograf (a) <i>Aspergillus flavus</i> dan (b) <i>A. niger</i> secara mikroskopis (10 x 40) pada suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$	26
13. (a) Biakan murni <i>Penicillium citrinum</i> pada medium <i>Czapeks Yeast Extract Agar</i> (CYA) setelah 7 hari inkubasi pada suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$ dan (b) Mikrograf <i>P. citrinum</i> (10 x 40)	27
14. Hasil isolasi cendawan pada biji pala yang diperoleh dari eksportir di Kota Bitung (a) dan Kota Manado (b) pada medium <i>Dichloran 18% Glycerol Agar</i> (DG18) setelah 7 hari inkubasi pada suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$	34
15. (a) Buah pala yang jatuh di tanah; (b) Biji pala bercangkang yang dipungut dari tanah; (c) Buah pala di pohon; dan (d) Biji pala bercangkang yang dipetik dari pohon	39
16. Metode pengeringan biji pala: dengan bantuan sinar matahari (a) dan pengasapan (b dan c)	37
17. Serangga hama gudang: (a) <i>Ahasverus advena</i> ; (b) <i>Cadra cautella</i> ; (c) <i>Carpophilus dimidiatus</i> ; (d) <i>Carpophilus obsoletus</i> ; (e) <i>Coccotrypes Dactyliperda</i> ; dan (f) <i>Corycyra cephalonica</i>	39

18. Persentase serangan (a) <i>Aspergillus flavus</i> dan (b) <i>A. parasiticus</i> pada berbagai komoditas di Pasar Pusat Funtua, Nigeria	41
19. Persentase sampel pala yang terkontaminasi aflatoksin (a) dengan perlakuan dan (b) tanpa perlakuan penguapan (<i>heat treatment</i>)	44
20. Rata-rata kandungan aflatoksin pada bubuk pala dan pala utuh	44
21. Buah pala masak dengan fuli berwarna merah tua; (b) Pemanenan buah pala masak menggunakan galah; dan (c) <i>Paranet</i> yang dipasang untuk menampung buah pala yang jatuh dari pohon	60
22. (a) Biji pala yang utuh dibandingkan dengan biji pala yang keriput; (b) Biji pala yang terserang serangga; dan (c) Biji patah dan terserang cendawan ..	61
23. Bagian-bagian yang terdapat pada buah pala	61
24. (a) Biji pala bercangkang yang diselimuti fuli; (b) Pemisahan fuli dari biji pala di tingkat pedagang pengumpul; dan (c) Biji pala bercangkang yang berasal dari Provinsi Sulawesi Utara	62
25. Pengeringan biji pala bercangkang di atas para-para atau rak penjemuran dengan bantuan sinar matahari dan dilengkapi dengan termometer	63
26. Pengeringan biji pala bercangkang dengan metode pengasapan	64
27. Pengeringan biji pala bercangkang dengan metode oven	64
28. Pengupasan cangkang pala secara tradisional: (a) Menggunakan pemukul kayu dan (b) Menggunakan palu	69
29. Pengupasan cangkang pala secara modern menggunakan mesin pengupas cangkang pala	70
30. Biji dengan berbagai mutu: (a) Mutu I; (b) Mutu II, dan (c) Mutu III	71
31. (a) Biji pala mutu <i>calibrated nutmeg</i> dan (b) Mutu ABCD	71
32. (a) Biji pala mutu <i>rimple</i> dan (b) Mutu BWP	71
33. (a) Biji pala yang disortir secara manual; (b) Alat untuk penyortiran biji pala tampak secara keseluruhan; dan (c) Alat penyortiran biji pala tampak dari dekat	72
34. Proses fumigasi biji pala: (a) Persiapan sebelum fumigasi dan (b) Perlakuan fumigasi biji pala dengan menggunakan fosfin	74
35. Truk <i>container</i> yang berisi biji pala yang siap diekspor: (a) Tampak belakang dan (b) Tampak samping	75
36. Pengupasan cangkang pala di Grenada: (a) Menggunakan palu kayu dan (b) Mesin tipe tumbukan	79
37. Mesin sortasi biji pala di Grenada	80
38. Estimasi simultan AFB1 menggunakan pengukuran penetrasi dan refleksi ..	84
39. Hasil fluoresensi <i>fingerprint</i> menggunakan pengukuran penetrasi dan refleksi terhadap AFB1 pada pala	85

40. Visual gambar biji pala yang diuji menggunakan kamera CCD dengan sumber cahaya normal	86
41. Pendaran warna biru penanda keberadaan aflatoksin pada biji pala menggunakan kamera CCD dengan sumber cahaya ultraviolet	87
42. Desain stasiun akuisisi citra untuk menangkap permukaan biji pala	87
43. Diagram alir analisis gambar untuk mendeteksi kontaminasi aflatoksin pada pala	88
44. Bentuk dan tekstur biji pala berdasarkan <i>image analyzer</i> : (a) dan (b) Biji utuh; (c) Biji keriput; dan (d) Biji sangat keriput	90
45. Hasil penghitungan area sebaran aflatoksin pada biji pala berdasarkan <i>image analysis process</i> pada permukaan atas (a) dan permukaan bawah (b); dari kiri ke kanan: gambar asli, <i>boundary image</i> , gambar area biji pala, dan area sebaran aflatoksin	91

DAFTAR TABEL

1. Analisis <i>Revealed Comparative Advantage</i> (RCA) dan <i>Export Product Dynamic</i> (EPD) biji pala Indonesia di tujuh negara Uni Eropa periode 2012 - 2019	4
2. Klasifikasi mutu biji pala bercangkang	5
3. Klasifikasi mutu biji pala tanpa cangkang	6
4. Klasifikasi mutu fuli	6
5. Persyaratan mutu umum biji pala dan fuli	6
6. Persentase tanaman pala terserang <i>Bacotera hercules</i> di Kecamatan Kauditan, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara	12
7. Populasi larva <i>Bacotera hercules</i> pada tanaman pala di Kecamatan Kauditan, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara	13
8. Spesies serangga dan bagian tanaman pala yang diserang	13
9. Persentase serangan cendawan penyebab penyakit busuk buah basah dan kering pada pala di Kecamatan Lembeh Selatan, Provinsi Sulawesi Utara ...	17
10. Populasi setiap spesies serangga dewasa pada biji pala yang terdapat di berbagai perlakuan	21
11. Status dan ciri-ciri setiap spesies serangga hama pada biji pala di dalam fase penyimpanan	22
12. Serangga hama gudang pada pala di Kecamatan Tuminting, Kota Manado .	23
13. Populasi serangga hama pada pala di Kecamatan Tuminting, Kota Manado dengan metode penangkapan langsung (<i>hand sampling</i>)	23
14. Populasi serangga hama pada pala di Kecamatan Tuminting, Kota Manado dengan metode penangkapan menggunakan <i>yellow sticky tray</i>	24
15. Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kabupaten Minut (Minahasa Utara)	28
16. Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kabupaten Siau Tagulandang Biaro (Sitaro)	30
17. Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kabupaten Sangihe Talaud	31
18. Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kota Bitung	32
19. Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kota Manado	33
20. Kandungan aflatoksin B ₁ dan aflatoksin total pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Provinsi Sulawesi Utara	36

21. Kandungan AFB1 dan aflatoxin total pada biji pala di Manado dan Sangihe, Provinsi Sulawesi Utara	38
22. Kandungan AFB1 dan aflatoxin total pada biji pala di Kabupaten Fakfak, Papua	38
23. Kandungan aflatoxin dan populasi cendawan penghasil aflatoxin pada pala impor di Jepang	42
24. Kandungan okratoksin A (OTA) pada berbagai jenis rempah di Sao Paolo State, Brazil	45
25. Kandungan aflatoxin B ₁ (AFB1) dan aflatoxin total pada berbagai jenis rempah yang diperoleh di Sao Paolo State, Brazil	45
26. Kadar air biji pala dalam kesetimbangan dengan kelembapan relatif 65 - 97% dan cendawan yang dapat tumbuh pada suhu 25 ± 2 °C	49
27. Aktivitas air minimum untuk pertumbuhan beberapa spesies cendawan pascapanen	50
28. Beberapa mikotoksin penting, cendawan penghasil, penyakit yang diakibatkannya, dan bahan pangan utama yang dapat terkontaminasi	53
29. Kesesuaian lahan dan iklim tanaman pala berbasis ekologi di Indonesia	56
30. Dosis pemupukan tanaman pala	59
31. Persentase biji rusak akibat serangan serangga pada biji pala dengan berbagai perlakuan selama penyimpanan	60
32. Pengaruh tipe alat pengering terhadap mutu biji pala bercangkang dantanpa cangkang	66
33. Pengaruh tipe alat pengering terhadap kontaminasi aflatoxin pada biji pala bercangkang dan biji pala tanpa cangkang	68
34. Produksi aflatoxin B ₁ pada beberapa galur <i>Aspergillus flavus</i> yang diberi berbagai perlakuan dosis iradiasi gamma	75
35. Persentase cendawan pada biji pala yang diuji dengan pengambilan gambar menggunakan kamera CCD dengan sumber cahaya normal	86
36. Persentase kontaminasi aflatoxin pada biji pala menggunakan kamera CCD dengan sumber cahaya ultraviolet	87
37. Hasil analisis tekstur dan bentuk biji pala menggunakan <i>image analyzer</i>	90
38. Hasil analisis kontaminasi aflatoxin pada biji pala dengan menggunakan <i>image analyzer</i>	91
39. Tingkat kesukaan konsumen terhadap manisan pala dan pepaya	94
40. Tingkat kesukaan konsumen terhadap sirop pala dan sirop melon	94
41. Tingkat kesukaan konsumen terhadap selai pala dan selai nanas	95
42. Kandungan <i>myristicin</i> minyak pala yang diekstrak dari daging buah pala dengan metode pengeringan dan distilasi yang berbeda	95





BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Sejarah Perkembangan Pala Indonesia

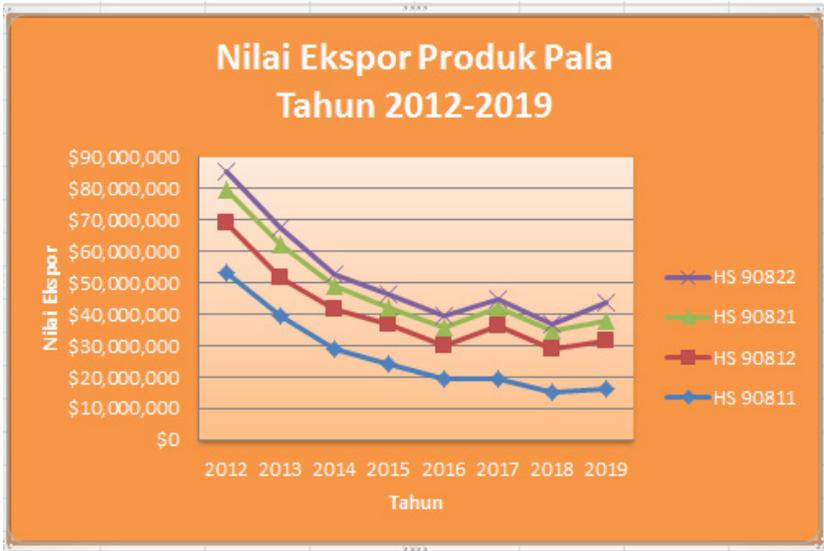
Pala mulai diperkenalkan ke Eropa oleh pedagang Arab untuk dijadikan bumbu dalam hidangan para bangsawan sejak abad ke-12. Harga pala kian melejit pada abad ke-14, bahkan disamakan dengan harga 7 ekor sapi jantan gemuk. Perburuan pala oleh orang-orang Eropa pun terjadi saat adanya embargo perdagangan oleh Kekaisaran Turki Usmani. Embargo ini terjadi pada tahun 1453, ketika Turki Usmani berhasil mengalahkan Konstantinopel. Dengan demikian, orang-orang Eropa berburu pala melalui jalur timur (Khairunnisa 2020).

Christopher Colombus pun menempuh perjalanan melalui jalur Atlantik untuk memperoleh rempah-rempah pada tahun 1492. Alfonso de Albuquerque menyerang pulau-pulau di Kepulauan Maluku, termasuk Banda pada tahun 1511. Dia merupakan seorang militer berkebangsaan Portugis yang ingin memonopoli perdagangan pala dan mendeklarasikan bahwa Maluku merupakan pusat pala terbaik di dunia (Ratriani 2021).

Pada tahun 1605 Belanda berhasil menaklukkan Portugis dan memonopoli perdagangan pala di Maluku. Perusahaan dagang Belanda tersebut dikenal dengan nama *Verenigde Oost-Indische Compagnie* (VOC). VOC membuat perjanjian dengan warga Banda supaya seluruh hasil panen pala dijual kepada VOC, tetapi mereka masih menjual pala kepada warga Jawa, Makassar, dan Inggris. Tahun 1616, Inggris mulai membuat koloni di Pulau Run dan Ay. Hal ini membuat VOC menganggap bahwa Inggris berupaya untuk memonopoli perdagangan pala. Setelah 5 tahun kemudian, VOC berhasil menaklukkan Pulau Banda dengan mengirim 2.000 tentara dari Batavia yang dipimpin oleh Jan Pieterszoon Coen untuk membunuh ribuan warga Banda. Hal inilah yang menjadi awal kekejaman dan perbudakan di bumi nusantara (Ratriani 2021).

Beberapa tahun kemudian, Belanda dan Inggris melakukan perjanjian. Di dalam perjanjian tersebut Inggris memberikan Pulau Run kepada Belanda dan sebagai penggantinya adalah Pulau Manhattan di New York. Dengan demikian, Belanda dapat mengokohkan sebagai penguasa pala selama 350 tahun (Ratriani 2021).

Seiring berjalannya waktu, perkembangan pala di Indonesia kian berubah. Saat ini rempah-rempah (terutama pala) tidak lagi menjadi komoditas utama ekspor ke negara importir, karena telah dikalahkan oleh komoditas kelapa sawit, karet, kopi, kakao, dan lain-lain. Namun, meskipun demikian menurut INAAgrimap (2018) Indonesia tetap menjadi negara penghasil pala terbesar di dunia. Beberapa negara yang menjadi tujuan ekspor produk pala Indonesia antara lain Vietnam, Amerika Serikat, Belanda, Jerman, dan Italia. Nilai ekspor produk pala Indonesia berfluktuasi dalam beberapa tahun terakhir (Gambar 1) (Srirahayu *et al.* 2020). Menurut Comtrade (2022) Uni Eropa mengkategorikan beberapa produk pala dengan kode HS antara lain: HS 090811 (pala utuh), HS 090812 (pala bubuk), HS 090821 (bunga pala utuh), dan HS 090822 (bunga pala dihancurkan).



Gambar 1 Nilai ekspor produk pala sejak 2012 hingga 2019
(Sumber: Srirahayu et al. 2020).

Pola aliran perdagangan biji pala dipengaruhi oleh lima variabel yaitu *Gross Domestic Product* (GDP), jarak, harga pala, populasi, dan nilai tukar. Menurut Mankiw (2000) variabel GDP merupakan pendapatan total dan pendapatan total nasional pada *output* barang dan jasa. Jarak merupakan indikasi dari biaya transportasi yang dihadapi oleh suatu negara dalam proses ekspor (Salvatore 2013). Adapun harga pala dan kuantitas berkorelasi positif dengan faktor lain. Lipsey et al. (1995) menjelaskan bahwa semakin tinggi harga komoditas yang ditawarkan, maka semakin tinggi juga kuantitas komoditas tersebut. Selain variabel harga, terdapat juga variabel populasi dan nilai tukar. Menurut Salvatore (2013) penambahan populasi dapat mempengaruhi ekspor melalui dua sisi, yaitu permintaan dan penawaran. Kurs atau nilai tukar di antara dua negara merupakan harga yang digunakan oleh penduduk kedua negara ketika melakukan transaksi perdagangan. Mankiw (2000) menjelaskan bahwa kurs yang digunakan di antara dua negara disebut kurs nominal. Dari hasil penghitungan kelima variabel tersebut dapat diketahui volume ekspor suatu komoditas. Variabel volume ekspor biji pala dari Indonesia ke negara tujuan satu tahun sebelumnya, mempengaruhi suatu negara untuk kembali mengimpor atau tidak pada tahun berikutnya. Tingkat konsumsi biji pala ini mempengaruhi berapa besar volume biji pala yang akan diimpor di waktu yang akan datang.

Volume ekspor pala Indonesia ke tujuh negara mengalami fluktuasi dari tahun 2012 hingga 2019. Belanda merupakan negara terbanyak mengimpor pala Indonesia dengan rata-rata volume ekspor 940,69 ton, sedangkan Jerman, Italia, Belgia, Spanyol, Prancis, dan Inggris masing-masing sebesar 733,45; 485,47; 212,23; 155,82; 145,47; 101,14 ton (Susanti & Yuliana 2021). Penurunan permintaan pala Indonesia di beberapa negara Uni Eropa disebabkan oleh adanya 46 notifikasi dari *Rapid Alert System Food and Feed* (RASFF) terkait dengan kandungan aflatoksin (Srirahayu et al. 2020). Menurut Juli dan Suminto (2017) kasus pala Indonesia

tertinggi sekitar 9 - 10 kasus, terutama pala yang diekspor ke Belanda. Selain itu, terdapat 73% kasus penolakan yang terjadi untuk pala yang diekspor ke Uni Eropa, karena kandungan aflatoksinya melebihi batas maksimum. Oleh karena itu, Indonesia perlu memonitor penanganan pra- dan pascapanen pala, serta memperketat standar pala ekspor supaya mutu pala tetap terjaga selama distribusi hingga di tangan konsumen.

Meskipun sempat terjadi penurunan volume dan nilai ekspor, komoditas biji pala Indonesia yang diekspor ke tujuh negara Uni Eropa tersebut memiliki nilai *Revealed Comparative Advantage* (RCA) lebih dari 1, sehingga dapat dikatakan biji pala Indonesia sangat diminati (Tabel 1). Jika dibandingkan dari segi posisi daya saing di tujuh negara tersebut, komoditas biji pala Indonesia di Inggris, Jerman, dan Spanyol memiliki keunggulan kompetitif dalam posisi *falling star*, sedangkan Belanda, Belgia, Italia, dan Prancis berada pada posisi *retreat*. Posisi *falling star* lebih baik daripada *retreat*, karena meskipun pangsa total ekspor Indonesia tidak dinamis lagi, pangsa ekspor biji pala masih dalam keadaan dinamis (meningkat).

Tabel 1 Analisis *Revealed Comparative Advantage* (RCA) dan *Export Product Dynamic* (EPD) biji pala Indonesia di tujuh negara Uni Eropa periode 2012 - 2019

Negara tujuan	RCA								EPD
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Belanda	98,57	81,81	78,36	81,46	95,53	78,61	60,18	85,25	Retreat
Belgia	318,48	204,76	244,92	232,30	213,19	197,06	193,82	223,33	Retreat
Inggris	52,64	29,06	43,11	54,99	19,14	48,49	80,62	74,15	Falling star
Italia	157,53	166,26	141,33	155,40	173,65	169,34	186,28	188,40	Retreat
Jerman	159,17	147,48	180,19	162,45	166,70	191,85	206,19	242,91	Falling star
Perancis	180,19	198,74	179,27	186,34	117,14	170,47	148,35	163,33	Retreat
Spanyol	42,94	87,92	69,83	94,78	85,48	83,81	68,30	96,12	Falling star

Sumber: Susanti dan Yuliana (2021).

1.2 Standar Mutu Pala Ekspor

Berdasarkan data statistika dari Direktorat Jenderal Perkebunan, daerah penyebaran pala terdapat di 19 provinsi di Indonesia. Areal tanam terluas terdapat di Maluku Utara (33%), Nanggroe Aceh Darussalam (NAD) (23%), Sulawesi Utara (18%), Maluku (12%), Jawa Barat (5%), dan selebihnya 9% di provinsi lainnya. Tanaman pala Indonesia menguasai 75% (8.943 ton) produksi pala seluruh dunia. Meskipun demikian, mutu produk pala Indonesia harus selalu dimonitor. Suatu produk yang diperjualbelikan tentu harus memiliki mutu yang sangat baik. Oleh karena itu, seorang penjual harus mampu mempertahankan mutu produknya agar memperoleh banyak konsumen. Sama halnya dengan pala Indonesia yang diekspor ke berbagai negara importir yang telah memiliki standar tertentu. Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah menetapkan beberapa mutu biji dan fuli pala,

sehingga mutu pala ekspor terjaga dengan baik. Menurut BSN (2015), mutu biji pala dibedakan berdasarkan dua jenis biji, yaitu bercangkang dan tanpa cangkang. Klasifikasi mutu biji pala bercangkang dan tanpa cangkang dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3, sedangkan klasifikasi mutu fuli ditunjukkan pada Tabel 4. Tidak hanya mutu, tetapi persyaratan mutu umum juga telah ditetapkan oleh Standardisasi Nasional Indonesia (SNI) (Tabel 5).

Tabel 2 Klasifikasi mutu biji pala bercangkang

Kelas mutu	Parameter					
	Warna	Kondisi biji	Berat biji	Serangga	Cendawan	Biji pecah
A	Cokelat gelap mengkilap	Padat berisi, berat, kering, dan pada umumnya berbunyi jika diguncang	Berat biji \geq 63% dalam 1 kg biji pala bercangkang	Tidak ada kerusakan akibat serangga	Tidak bercendawan	Cangkang biji tidak pecah
AT	Cokelat muda	Lebih kecil, ringan, dan kurang berisi dibandingkan dengan kelas A	Berat biji 59 - 62% dalam 1 kg biji pala bercangkang	Tidak ada kerusakan akibat serangga	Tidak bercendawan	Cangkang biji tidak pecah
B	Cokelat pucat	Lebih ringan dari kelas AT, biji biasanya menempel pada cangkang dan tidak berbunyi saat kering	Berat biji 40 - 58% dalam 1 kg biji pala bercangkang	Rusak akibat serangga	Bercendawan	Cangkang biji pecah
C	Sangat cokelat pucat	-	Berat biji < 40% dalam 1 kg biji pala bercangkang	Dikerubungi serangga	Bercendawan	Cangkang biji pecah

Keterangan: A = mutu 1; AT = mutu 2; B= mutu 3; dan C = mutu 4.

Sumber: BSN (2015).

Tabel 3 Klasifikasi mutu biji pala tanpa cangkang

Kelas mutu	Parameter				
	Kondisi biji	Bunyi	Serangga	Cendawan	Keretakan biji
ABCD	Biji utuh, padat dan berisi, permukaan cukup halus	Berbunyi keras saat 2 biji diketukkan satu sama lain	Tidak terserang serangga	Tidak bercendawan	Tidak retak
SS	Biji utuh, padat dan berisi, permukaan keriput	Berbunyi kurang keras saat 2 biji diketukkan satu sama lain	Tidak terserang serangga	Tidak bercendawan	Tidak retak
BWP	Biji utuh atau biji pecah	-	Terkena serangan serangga	Tidak bercendawan	-

Keterangan: ABCD = mutu 1; SS = mutu 2; BWP = mutu 3.
 Sumber: BSN (2015).

Tabel 4 Klasifikasi mutu fuli

Kelas mutu	Parameter
Whole	Fuli utuh dengan toleransi tercampur serpihan fuli yang berukuran lebih besar atau sama dengan ¼ fuli utuh, tidak lebih dari 5%
Broken fuli I	Fuli dengan ukuran lebih besar dari ¼ fuli utuh minimal berjumlah 75%
Broken fuli II	Fuli yang berukuran lebih kecil dari ¼ bagian fuli utuh
Sifting I	Fuli yang lebih kecil dari broken fuli I
Sifting II	Fuli yang lebih kecil dari sifting I

Tabel 5 Persyaratan mutu umum biji pala dan fuli

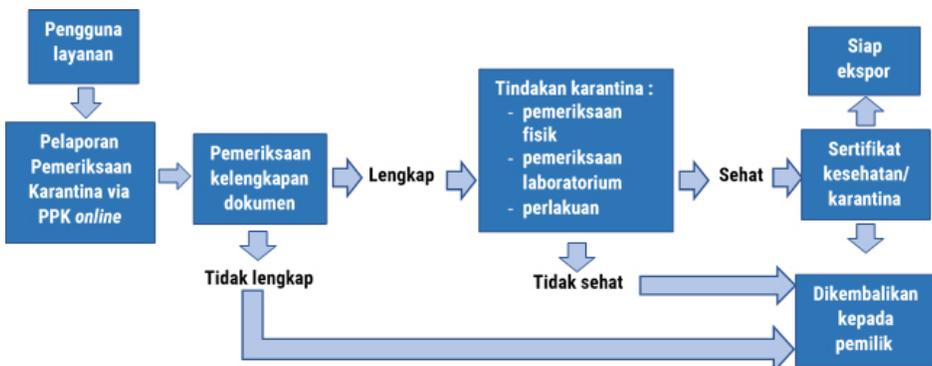
Jenis uji	Satuan	Persyaratan
Kadar air (fraksi massa)	%	Maksimal 10
Biji bercendawan/fuli bercendawan	%	0
Serangga mati	Ekor	Tidak ada
Serangga hidup	Ekor	Tidak ada
Benda asing (fraksi massa)	%	0,5

Sumber: BSN (2015).

Menurut Badan Karantina Pertanian (Barantan) (2019), selain standar yang telah ditetapkan oleh pemerintah Indonesia, ada juga beberapa persyaratan fitosanitari negara tujuan ekspor antara lain:

1. Komoditas harus berasal dari sentra produksi yang menerapkan teknik budidaya yang baik dan benar (*Good Agriculture Practices*) dan Standar Operasional Prosedur (SOP), serta penerapan pengelolaan hama terpadu (*Integrated Pest Management*);
2. Pemerintah Indonesia harus mengawasi dan mengatur penggunaan bahan kimia dan memeriksa pestisida secara reguler untuk pemenuhan persyaratan keamanan pangan;
3. Proses pengemasan harus dilakukan di dalam rumah kemas teregistrasi di Indonesia;
4. Kemasan yang digunakan harus baru, bersih, dan sesuai standar keamanan pangan;
5. Pengemasan disertai label identitas komoditas, *packing house*, dan eksportir;
6. Komoditas yang disimpan sebelum pengiriman, harus diletakkan di tempat penyimpanan yang bersih dan bebas dari serangan kontaminasi organisme pengganggu tanaman (OPT) dan lainnya;
7. Pemeriksaan oleh petugas karantina untuk memastikan komoditas bebas OPT dan persyaratan fitosanitari lainnya dengan disertai *Phytosanitary Certificate* (PC) berisi penambahan informasi yang disepakati dalam *additional declaration*;
8. Pengiriman menggunakan alat angkut yang aman dari serangan dan kontaminasi OPT dan lainnya.

Peraturan perundang-undangan lainnya berupa Peraturan Kementerian Pertanian (Permentan) pasal 4 dan 5 No.01/2017, UU No.18 Tahun 2012, dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 28 Tahun 2004 Tentang Keamanan, Mutu dan Gizi Pangan. Adapun alur pelayanan ekspor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Alur pelayanan ekspor
(Sumber: Barantan 2019).

Kelengkapan dokumen yang ditunjukkan pada Gambar 2 terdiri dari surat izin pengeluaran, sertifikat keamanan pangan (*Health Certificate*), *Certificate of Analysis* (CoA), sertifikat fumigasi atau perlakuan, dan lain-lain. Dokumen sertifikat keamanan pangan (*Health Certificate*) sangat dibutuhkan saat proses ekspor pala sesuai regulasi Uni Eropa (*EU Regulation 2016/24 of 8 January 2016*). Dokumen tersebut berisi jaminan hasil pengujian kontaminasi aflatoksin sesuai aturan Uni Eropa yang diterbitkan oleh otoritas keamanan pangan di Indonesia. Berdasarkan *Commission Implementing Regulation* (CIR) (2016) Uni Eropa menetapkan batas maksimum aflatoksin B₁ dan aflatoksin total pada biji pala sebesar 5 dan 10 ppb. Selain itu, Barantan (2019) menjelaskan bahwa Uni Eropa juga mensyaratkan pala ekspor Indonesia harus diuji terlebih dahulu dengan metode pengambilan contoh (*sampling*) dan analisis untuk pengawasan batas kontaminan.

Barantan (2019) menjelaskan bahwa adanya regulasi khusus dari Uni Eropa terhadap pala ekspor asal Indonesia menyebabkan beberapa dampak, antara lain:

- Pemberlakuan wajib pemeriksaan dokumen 100% dan pengujian laboratorium 20% dari keseluruhan komoditas pala Indonesia yang diekspor ke Uni Eropa.
- Eksportir pala ke Uni Eropa harus menerapkan higienitas dan sanitasi sesuai EC No. 852/2014.
- Seluruh eksportir pala ke Uni Eropa melakukan produksi dan penyimpanan pala dengan pengawasan keamanan pangan resmi dari pemerintah sesuai CODEX *Code of hygiene practice for spices and dried aromatic plants* (CAC/RCP 42-1995).
- Penerapan prinsip-prinsip *Good Agriculture Practice* (GAP).
- Menerapkan prinsip-prinsip GAP dengan memperhatikan dan mencakup informasi tentang kontaminasi aflatoksin sesuai CODEX *Code of hygiene practice for spices and dried aromatic plants* (CAC/RCP 42-1995).
- Ruang pengolahan dan penyimpanan pala harus sesuai persyaratan yang ditetapkan dalam CODEX *Code of hygiene practice for Spices and Dried Aromatic Plants* (CAC/RCP 42-1995).
- Pala yang diekspor ke Uni Eropa harus memenuhi persyaratan peraturan (EC) No. 1881/2006 tentang kontaminasi aflatoksin.
- Prosedur pengambilan sampel untuk analisis aflatoksin pada produk pala yang diekspor ke Uni Eropa sesuai peraturan (EC) No. 401/2006.
- Sampel yang digunakan untuk keputusan ekspor ke Uni Eropa secara jelas diidentifikasi sesuai dengan CODEX *General Guidelines on Sampling* (CAG/GL 50-2004).
- Penyelidikan internal dilakukan untuk menanggapi notifikasi EU-RASFF dengan memperhatikan CODEX *Guidelines* CAC/GL 25-1997 untuk pertukaran informasi antarnegara tentang penolakan pangan impor. Dengan demikian, ketertelusuran produk harus diterapkan.

1.3 Faktor Biologis yang Berpengaruh terhadap Mutu Pala

Bagian-bagian dari pala yang sangat bermanfaat adalah biji, daging buah, dan fuli. Mutu ketiga bagian pala tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berbeda. Faktor biologis yang sering mempengaruhi mutu daging buah umumnya terjadi saat prapanen dan pemanenan yaitu cendawan penyebab penyakit busuk dan umur panen (ILO 2013). Mutu fuli atau bunga pala cenderung dipengaruhi oleh umur panen. Umur panen sangat mempengaruhi mutu biji dan fuli pala. Idealnya pemanenan dilakukan pada umur 9 bulan setelah berbunga. Jika pemanenan dilakukan sebelum mencapai umur panen, maka buah pala terasa kesat, biji keriput, dan fuli berwarna pucat dengan kandungan minyak atsiri sedikit. Adapun faktor biologis yang dapat mempengaruhi mutu biji pala umumnya terjadi selama penyimpanan, di antaranya serangan tikus, serangga, tungau, mikroorganisme (terutama cendawan).



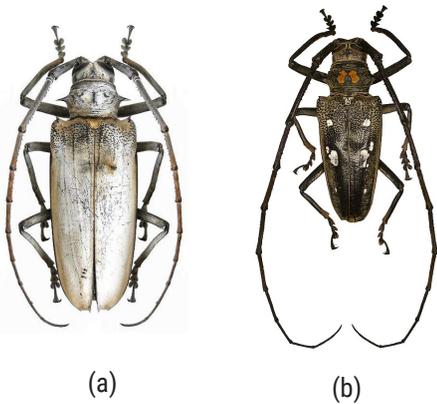




BAB II
SERANGGA DAN CENDAWAN
LAPANGAN PADA PALA

2.1 Serangga Hama pada Pala di Perkebunan

Serangga dapat menyerang pala di perkebunan maupun selama penyimpanan. Serangga yang menyerang tanaman pala di lapangan atau perkebunan antara lain *Batocera hercules* dan *B. celebiana* (Gambar 3). Kedua spesies ini lebih dikenal sebagai hama penggerek batang tanaman pala. Menurut Kalay *et al.* (2015) gejala kerusakan batang pala yang disebabkan oleh hama penggerek batang yaitu batang berlubang berdiameter 0,5 - 1,0 cm, jarak lubang gerek pada batang sekitar 1 - 2 m dari permukaan tanah, terlihat garis-garis mendatar dengan ukuran 1,5 - 2,0 cm dan lebar 2 - 3 mm, ada serbuk-serbuk kayu bekas gerk dan pada lubang gerk terlihat cairan atau *gum* berwarna cokelat. Karakteristik larva serangga ini adalah memiliki panjang tubuh 6 - 10 cm, berwarna putih kecokelatan, dan pada bagian abdomen memiliki 8 - 9 ruas, kepala berbentuk oval dan berwarna cokelat kemerahan. Intensitas serangan hama tersebut di Desa Morella, Mamala, dan Hila, Kecamatan Leihitu, Maluku Tengah, masing-masing sebesar 2; 1; dan 2%, sedangkan luas serangannya masing-masing 0,54; 0,55; dan 0,59%.



Gambar 3 Serangga hama penggerek batang pala: (a) *Batocera hercules* dan (b) *B. celebiana*
(Sumber foto *Batocera hercules*: Baroody 2021; Sumber foto *B. celebiana*: Theo 2021)

Penelitian Mamonto *et al.* (2022) menjelaskan bahwa tanaman pala di Desa Karegesan, Treman, dan Watudambo, Kecamatan Kauditan, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara terserang oleh *B. hercules* dengan masing-masing persentase serangannya adalah 60; 26,25; dan 15% (Tabel 6). Populasi larva *B. hercules* tertinggi ditemukan pada tanaman pala yang berasal dari Desa Karegesan (38 ekor), sedangkan terendah ditemukan pada sampel yang berasal dari Desa Watudambo (2 ekor) (Tabel 7).

Tabel 6 Persentase tanaman pala terserang *Batocera hercules* di Kecamatan Kauditan, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara

Lokasi / Desa	Jumlah tanaman pala yang diamati (sampel)	Jumlah tanaman pala yang terserang <i>B. hercules</i> (sampel)	Persentase serangan (%)
Karegesan	80	48	60,00
Treman	80	21	26,25
Watudambo	80	12	15,00

Sumber: Mamonto *et al.* (2022).

Tabel 7 Populasi larva *Batocera hercules* pada tanaman pala di Kecamatan Kauditan, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara

Lokasi / Desa	Jumlah tanaman pala yang diamati (sampel)	Jumlah larva <i>B. hercules</i> yang ditemukan (ekor)	Rata-rata
Karegesan	80	38	0,475
Treman	80	7	0,087
Watudambo	80	2	0,025

Sumber: Mamonto et al. (2022).

Selain serangga *Batocera* spp., rayap juga dapat menyerang tanaman pala di kebun-kebun. Rayap biasanya menyerang bagian bawah tanaman mulai dari akar hingga bagian dalam batang. Gejala serangan rayap ditandai oleh adanya bercak hitam pada permukaan batang. Jika bercak terkelupas akan terlihat sarang rayap. Batang tanaman yang terserang dengan intensitas serangan tinggi akan mati (Samarang 2019).

Putra (2018) menjelaskan bahwa serangga hama akan meninggalkan gejala kerusakan yang khas pada tanaman yang diserangnya, seperti gerkakan pada batang atau kerusakan pada jaringan daun tanaman tersebut. Contohnya terlihat dari kerusakan yang ditimbulkan oleh beberapa spesies serangga yang menyerang pala di perkebunan Desa Batu Itam, Kabupaten Aceh Selatan, seperti *Branchiacata* sp., *Epilachna indica*, *Batocera hercules*, *Odontotaenius* sp., *Tenebrio molitor*, *Anasa tristis*, *Reticulitermes flavipes*, dan *Spathosternum* sp. (Tabel 8).

Tabel 8 Spesies serangga dan bagian tanaman pala yang diserang

Spesies	Nama daerah	Ordo	Bagian tanaman pala yang diserang	Jumlah serangan serangga (%)
<i>Branchiacata</i> sp.	Kumbang daun	Coleoptera	Daun	55
<i>Epilachna indica</i>	Kumbang daun	Coleoptera	Daun dan batang	
<i>Batocera hercules</i>	Kumbang	Coleoptera	Batang	
<i>Odontotaenius</i> sp.	Kumbang	Coleoptera	Batang	
<i>Tenebrio molitor</i>	Kumbang	Coleoptera	Batang	
<i>Anasa tristis</i>	Kepik	Hemiptera	Daun dan batang	18
<i>Reticulitermes flavipes</i>	Rayap	Isoptera	Batang	9
<i>Spathosternum</i> sp.	Belalang	Orthoptera	Daun	9

Sumber: Putra (2018).

Menurut Montgomery (2002) serangga *Branchiacatha* sp. berbentuk kembang dan lonjong, berwarna dasar hitam dengan bintik merah, jingga dan kuning, serta memiliki antena *clavate* dengan sebelas ruas antena. Morfologi serangga *Branchiacatha* sp. dapat dilihat pada Gambar 4a. Adapun ciri morfologi serangga *Epilachna indica* umumnya memiliki panjang tubuh 0,8 - 10 mm, berwarna cerah (merah cerah, cokelat berkarat, dan kuning keemasan), berbentuk cembung, dan

kepala bersembunyi di bawah pronotum yang meluas ke samping (Gambar 4b) (Borror *et al.* 1992). Telur *E. indica* berwarna kuning dengan panjang tubuh $\pm 1,3$ mm.



Gambar 4 Serangga yang menyerang tanaman pala di perkebunan: (a) *Branchiacatha* sp. dan (b) *Epilachna indica*

(Sumber foto *Branchiacatha* sp.: Putra 2018); (Sumber foto *Epilachna indica*: <http://www.natureloveyou.sg/Minibeast-Beetle/Epilachna%20indica/Main.html>).

Serangga *Odontotaenius* sp. memiliki ciri-ciri yaitu berwarna mengkilap dengan lekukan *longitudinal* di bagian elitra, dan mempunyai tanduk khas (Borror *et al.* 1992). Ciri-ciri serangga *Tenebrio molitor* yaitu panjang tubuh 13 - 17 mm dan lebar 4,5 - 6 mm, berwarna cokelat gelap sampai hitam muda, larva berwarna kuning dan berukuran 3 mm, bagian luar dilapisi kitin yang keras, serta memiliki antena pendek (Borror *et al.* 1992). Morfologi *Odontotaenius* sp. dan *Tenebrio molitor* dapat dilihat pada Gambar 5a dan 5b.



Gambar 5 Serangga yang menyerang tanaman pala di perkebunan: (a) *Odontotaenius* sp. dan (b) *Tenebrio molitor*

(Sumber foto *Odontotaenius* sp.: Callagher 2015); (Sumber foto *Tenebrio molitor*: Murray 2006).

Ciri morfologi serangga *Anasa tristis* yaitu panjang tubuh 1,5 cm, berwarna cokelat dengan bintik cokelat muda di tepi sayap, garis cokelat atau kekuningan pada tepi toraks, dan sayap elitra menutupi setengah membraneus. Serangga ini umumnya ditemukan pada daun, bunga, dan buah (Putra 2018). Ciri morfologi serangga *Reticulitermes flavipes* yaitu caput berwarna kuning keemasan, abdomen berwarna putih kekuningan, berukuran 6 - 8 mm, polimorfik (lebih dari satu bentuk), tidak

memiliki sayap dan berwarna pucat, tipe mulut penggigit dan pengunyah, antena sebanyak 9 - 30 segmen. Serangga ini bersifat hemimetabolous (metamorfosis tidak sempurna), hidup secara berkoloni dan dipimpin oleh ratu. Serangga *Spathosternum* sp. memiliki ciri antara lain berwarna cokelat muda pada bagian caput dan toraks, abdomen berwarna cokelat kehitaman, panjang tubuh \pm 5 mm, tipe mulut penggigit dan pengunyah, kepala bertipe *hypognatus* (mulut mengarah ke bawah). Serangga ini memakan daun tanaman yang diserangnya (Putra 2018). Morfologi serangga *A. tristis*, *R. flavipes*, dan *Spathosternum* sp. dapat dilihat pada Gambar 6.



(a)



(b)



(c)

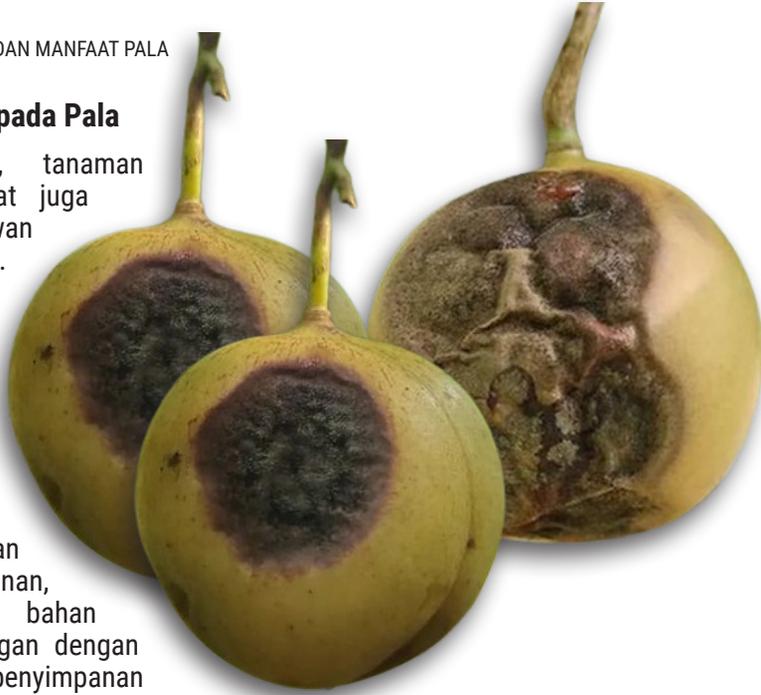
Gambar 6 Serangga yang menyerang tanaman pala di perkebunan: (a) *Anasa tristis*; (b) *Reticulitermes flavipes*; dan (c) *Spathosternum* sp.

(Sumber foto *Anasa tristis*: Murray 2006); (Sumber foto *Reticulitermes flavipes*: Berger 2021); (Sumber foto *Spathosternum* sp.: Ishara et al. 2021).

2.2 Cendawan Lapangan pada Pala

Selain serangga hama, tanaman pala di perkebunan dapat juga diserang oleh cendawan lapangan atau prapanen. Cendawan lapangan merupakan cendawan yang menyerang bahan pangan sebelum dipanen. Pada umumnya, cendawan lapangan tidak menghasilkan racun atau toksin, tidak terlalu berperan terhadap mutu bahan pangan selama penyimpanan, membutuhkan kadar air bahan pangan dalam kesetimbangan dengan kelembapan relatif ruang penyimpanan lebih dari 90%.

Menurut Najooan *et al.* (2016) daging buah pala yang diperoleh dari Desa Pampusungan, Kelapa Dua dan Mawali, Kecamatan Lembah Selatan, terserang cendawan penyebab busuk buah kering. Rata-rata persentase serangan tertinggi ditemukan pada sektor bawah, masing-masing sebesar 12,87; 6,76; dan 7,37% (Tabel 9). Gejala penyakit busuk buah kering ditandai dengan bercak kecil bulat, bergaris tengah ≤ 0.3 cm, berwarna coklat, dan cekung, bercak meluas hingga mencapai 2,5 cm, kadang-kadang 2 bercak menyatu menjadi bercak besar (Gambar 7). Penyakit busuk buah kering ini disebabkan oleh cendawan *Stigmia myristicacea*. Berdasarkan Kalay *et al.* (2015) cendawan *S. myristicacea* juga menyerang buah pala yang berasal dari Kecamatan Leihitu, Kabupaten Maluku Tengah. Faktor yang mempengaruhi penyakit busuk buah kering yaitu curah hujan. Spora *S. myristicaceae* berkecambah dengan baik pada lapisan air yang tipis atau dalam kelembapan nisbi 100%. Spora tidak dapat berkecambah bila kelembapan 90%, dengan suhu 21 - 26 °C (Mandang-Sumaraw 1981).



Gambar 7 Buah pala yang terserang cendawan penyebab penyakit busuk buah kering (Sumber foto: Najooan *et al.* 2016).



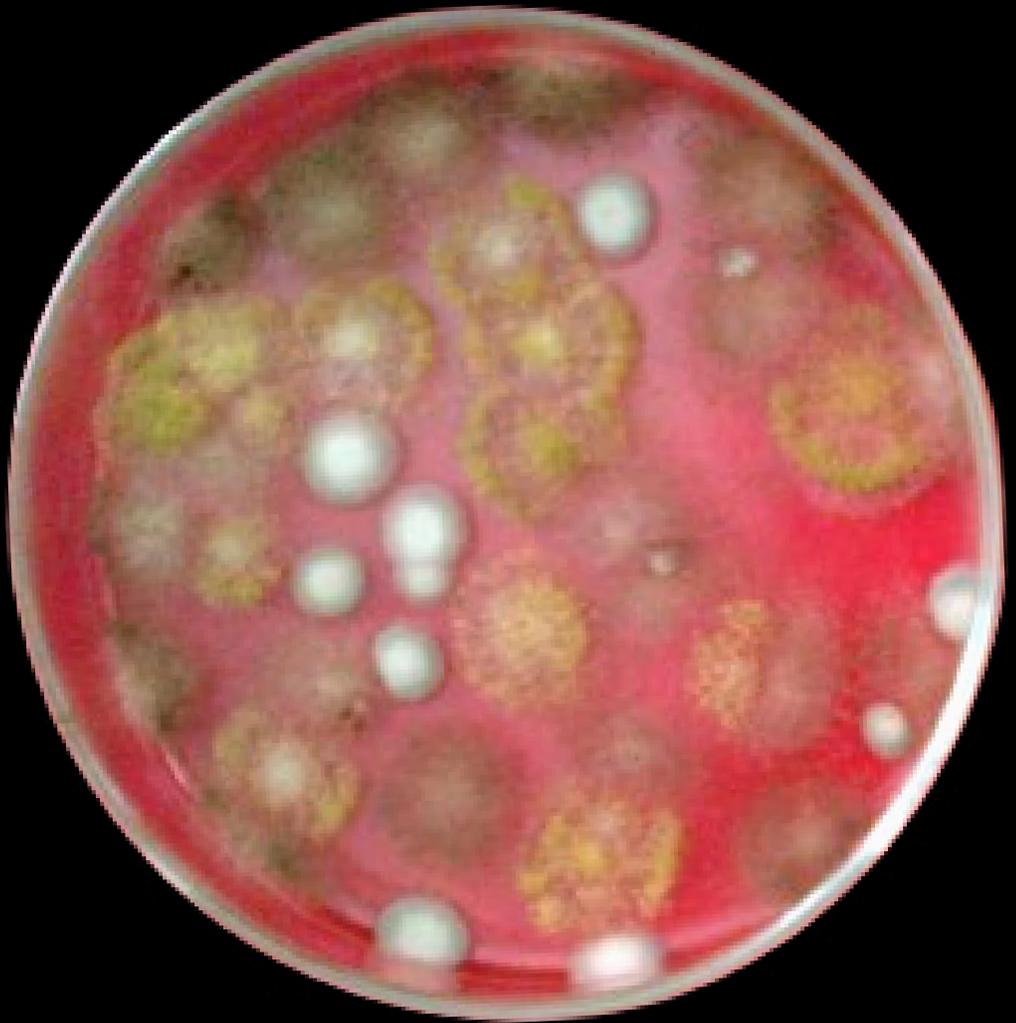
Gambar 8 Buah pala yang terserang cendawan penyebab penyakit busuk buah basah (Sumber foto: Ditjenbun 2011).

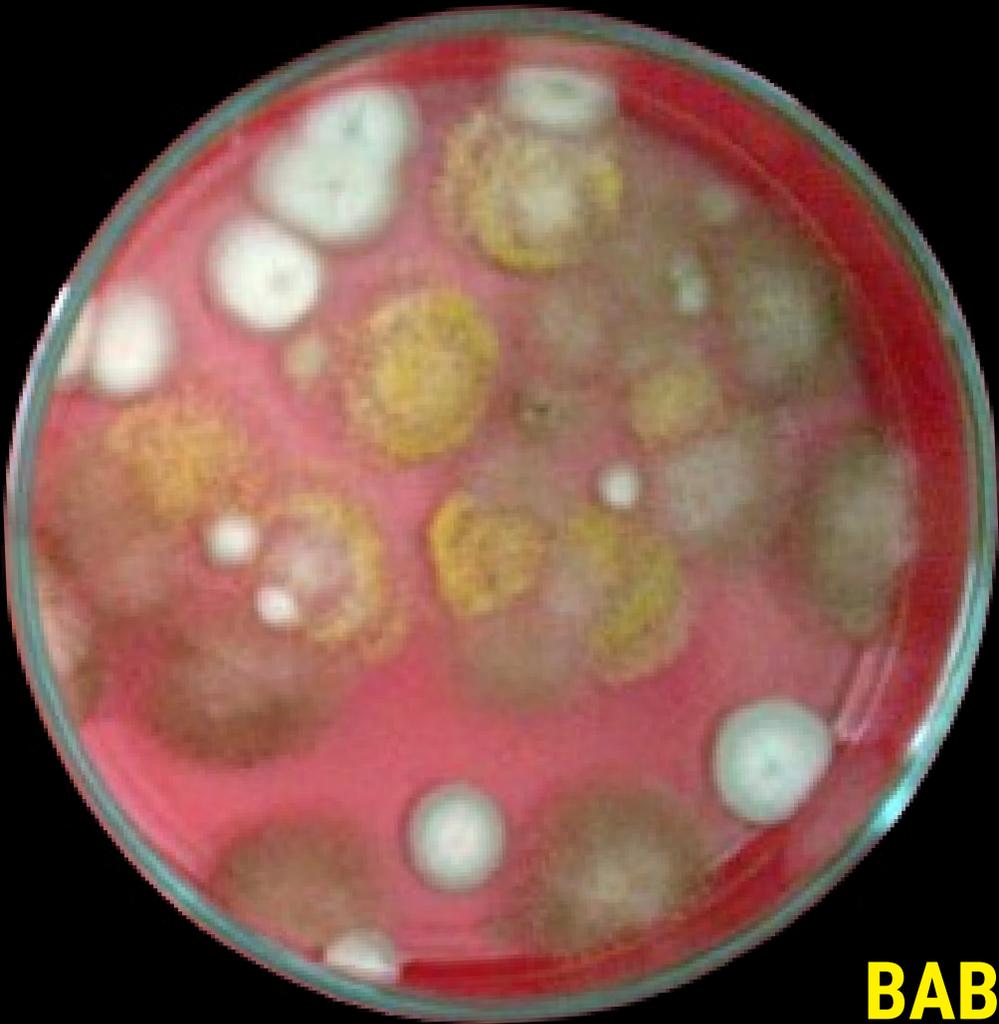
Gejala penyakit busuk buah basah berbeda dengan busuk buah kering, yaitu ditandai oleh bagian yang sakit berwarna coklat, perkembangan bercak sangat cepat, sehingga dalam waktu beberapa hari diameter bercak dapat mencapai 2,5 cm. Buah yang sakit tidak menjadi cekung (Gambar 8). Umumnya, penyakit busuk buah basah disebabkan oleh cendawan *Colletotrichum gloeosporioides* (Najoan *et al.* 2016). Rata-rata persentase serangan cendawan penyebab penyakit busuk buah basah tertinggi yang terdapat pada pala yang berasal dari Desa Papusungan, Kelapa Dua dan Mawali, Kecamatan Lembeh Selatan ditemukan pada sektor bawah sebesar 16,80; 12,86; dan 13,41% (Tabel 9) (Najoan *et al.* 2016). Penelitian mengenai serangga dan cendawan lapangan pala di beberapa negara eksportir pala lainnya belum diketahui hingga saat ini. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh rendahnya persentase serangan serangga dan cendawan lapangan atau prapanen pada pala, seperti hasil penelitian Najoan *et al.* (2006).

Tabel 9 Persentase serangan cendawan penyebab penyakit busuk buah basah dan kering pada pala di Kecamatan Lembeh Selatan, Provinsi Sulawesi Utara

Lokasi (Desa)	Rata-rata serangan penyakit busuk buah basah (%)		Rata-rata serangan penyakit busuk buah kering (%)	
	Sektor atas	Sektor bawah	Sektor atas	Sektor bawah
Papusungan	13,03	16,80	8,81	12,87
Kelapa Dua	9,93	12,86	5,76	6,76
Mawali	7,64	13,41	5,87	7,37

Sumber: Najoan *et al.* (2016) dengan modifikasi.





BAB III
SERANGGA HAMA GUDANG,
CENDAWAN PERUSAK
PASCAPANEN, DAN KONTAMINASI
AFLATOKSIN PADA PALA

3.1 Serangga Hama Gudang, Cendawan Perusak Pascapanen, dan Kontaminasi Aflatoksin pada Pala di Indonesia

3.1.1 Serangga hama gudang pada pala di Indonesia

Bagian dari tanaman pala yang paling dipengaruhi oleh faktor biologis setelah dipanen adalah biji pala, terutama selama penyimpanan. Faktor biologis tersebut antara lain adanya serangan serangga hama gudang dan cendawan perusak pascapanen yang dapat mengurangi mutu pala. Menurut Rees (2004) hama serangga selama penyimpanan dibedakan menjadi dua jenis hama berdasarkan peranannya, yaitu hama serangga primer dan sekunder.

Hama serangga primer yaitu serangga yang mampu merusak bahan pangan yang masih utuh, misalnya *Sitophilus zeamais*. Hama serangga sekunder yaitu serangga yang hanya mampu menyerang bahan pangan yang telah dirusak oleh hama primer atau retak dalam proses penyimpanan, contohnya *Tribolium castaneum* (Ditjenbun 2011).

Serangan serangga pada bahan pangan selama penyimpanan dapat menyebabkan penurunan mutu bahan pangan. Salah satu persyaratan mutu biji pala yaitu tidak adanya serangga hidup atau mati (BSN 2015). Menurut Mangoendiarjo (1978) serangga-serangga hama gudang memiliki kemampuan khusus untuk menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungan tempat penyimpanan atau gudang, meskipun kondisi lingkungannya kritis bagi kelangsungan hidup hama serangga tersebut. Kondisi lingkungan yang kritis adalah suatu keadaan di mana aerasi udara tidak baik serta iklim mikro yang tidak sesuai bagi hama serangga tersebut. Iklim mikro adalah iklim di sekitar gudang penyimpanan, yang parameternya adalah suhu dan kelembapan udara.

Litbang Perkebunan (2017) juga menjelaskan beberapa spesies serangga perusak biji pala yaitu *Araecerus* sp., *Carpophilus* sp., *Lasioderma* sp., dan *Tribolium* sp. Penanganan pascapanen yang tidak layak dan penyimpanan jangka panjang dapat memicu serangan hama gudang. Menurut Dharmaputra *et al.* (2018b) sebanyak empat spesies serangga termasuk Ordo Coleoptera ditemukan pada biji pala yang dipanen dengan dua jenis perlakuan pemanenan dan pengeringan, baik dengan maupun tanpa cangkang selama empat bulan penyimpanan, yaitu *Araecerus fasciculatus* (Coleoptera: Anthribidae), *Carpophilus dimidiatus* (Coleoptera: Nitidulidae), *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae), dan *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). Serangga yang dominan adalah *A. fasciculatus* (Tabel 10). Morfologi dan ciri-ciri serangga hama *A. fasciculatus*, *C. dimidiatus*, *O. surinamensis*, dan *T. castaneum* dapat dilihat pada Gambar 9 dan Tabel 11.

Tabel 10 Populasi setiap spesies serangga dewasa pada biji pala yang terdapat di berbagai perlakuan

Perlakuan	Populasi serangga dewasa (individu/kg)			
	<i>A. fasciculatus</i>	<i>C. dimidiatus</i>	<i>O. surinamensis</i>	<i>T. castaneum</i>
PADC	0	0	0	1
PATC	68	8	4	3
PJDC	0	0	1	0
PJTC	2	19	14	9
TADC	2	2	1	1
TATC	7	6	3	4
TJDC	0	10	2	3
TJTC	17	45	25	12

Keterangan: **P** = buah pala yang dipetik dari pohon; **T** = buah pala yang dipungut dari tanah; **A** = biji pala yang dikeringkan dengan cara pengasapan; **J** = biji pala yang dikeringkan dengan bantuan sinar matahari; **DC** = biji pala bercangkang; **TC** = biji pala tanpa cangkang.

Sumber: Dharmaputra et al. (2018).



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 9 Serangga hama gudang pada biji pala dengan berbagai perlakuan selama 4 bulan penyimpanan: (a) *Araecerus fasciculatus*; (b) *Carpophilus dimidiatus*; (c) *Oryzaephilus surinamensis*; dan (d) *Tribolium castaneum* (Sumber foto: Dharmaputra et al. 2018).

Tabel 11 Status dan ciri-ciri setiap spesies serangga hama pada biji pala di dalam fase penyimpanan

Serangga hama	Status	Ciri-ciri
<i>Araecerus fasciculatus</i> (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae)	Serangga hama primer	Serangga dewasa dengan panjang tubuh 3 - 5 mm, berwarna cokelat, sampai cokelat gelap, protoraks dan elitra memiliki bercak-bercak kecil berwarna cokelat kelabu terang, elitra lebih pendek daripada abdomen, 3 segmen antena terminal lebih tebal dan berbentuk seperti gada.
<i>Carpophilus dimidiatus</i> (Fabricius) (Coleoptera: Nitidulidae)	Serangga hama sekunder	Serangga dewasa berbentuk lonjong dan pipih, panjang tubuh 2 - 5 mm, berwarna cokelat hingga hitam, memiliki satu atau dua bintik berwarna kuning kemerahan, antena terdiri dari 11 segmen, 3 segmen berbentuk lonjong atau seperti gada bulat, elitra pendek dan abdomen terlihat keluar.
<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (Linnaeus) (Coleoptera: Silvanidae)	Serangga hama sekunder	Serangga dewasa dengan panjang tubuh 2,1 - 3,2 mm, antena terdiri dari 11 segmen dan berbentuk gada, sisi kepala di belakang mata relatif panjang dan terlihat jelas, tetapi mata agak kecil, bentuk tubuh agak pipih, kepala menyerupai segitiga, antena berbentuk gada, protoraks memiliki enam pasang gerigi pada kedua sisinya, sepasang elitra memiliki garis-garis membujur yang jelas dan menutupi abdomen dengan sempurna.
<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae)	Serangga hama sekunder	Serangga dewasa bertubuh pipih, panjang tubuh 2,3 - 4,4 mm, berwarna cokelat kemerahan, mata pada bagian ventral terletak berdekatan satu sama lain, antena berbentuk gada dan terdiri dari 3 segmen.

Sumber: Dharmaputra *et al.* (2018).

Berdasarkan Lumi *et al.* (2021) serangga hama gudang yang menyerang pala di Kecamatan Tuminting, **Kota Manado** terdiri dari 7 famili dan 1 ordo, yaitu Famili Anthribidae, Laemophloeidae, Silvanidae, Ptinidae, Tenebrionidae, Nitidulidae (Tabel 12). Rata-rata populasi serangga tertinggi pada pala di Kecamatan Tuminting, **Kota Manado** yang diperoleh dengan metode penangkapan langsung (*hand sampling*) yaitu famili Tenebrionidae (66,6 ekor), kemudian diikuti oleh Ptinidae (34,2 ekor), Anthribidae (30,4 ekor), Nitidulidae (16,0 ekor), Laemophloeidae (15,8 ekor), dan Silvanidae (15,4 ekor) (Tabel 13).

Rata-rata populasi serangga tertinggi pada pala dengan metode penangkapan menggunakan *yellow sticky trap* yaitu famili Tenebrionidae (195,2 ekor), kemudian diikuti oleh Laemophleidae (153,4 ekor), Anthribidae (110,8 ekor), dan Silvanidae (2,0 ekor) (Tabel 14). Keberadaan serangga hama dapat menyebabkan serangan cendawan. Jian dan Jayas (2012) menjelaskan bahwa sebanyak 21 spesies cendawan ditemukan berasosiasi dengan serangga *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) dan *T. castaneum* (Herbst).

Tabel 12 Serangga hama gudang pada pala di Kecamatan Tuminting, Kota Manado

No.	Ordo / Famili	Gambar morfologi	Ciri morfologi
1	Coleoptera: Anthrribidae		Imago berwarna hitam kecokelatan, panjang tubuh 3 - 5 mm. Tubuh berbentuk bulat/bundar, pola elitra dengan bercak muda dan tua.
2	Coleoptera: Laemophloeidae		Imago berwarna cokelat kemerahan, dan berbentuk bulat atau pipih, panjang tubuh 1 - 1,5 mm, antena seperti benang.
3	Coleoptera: Silvanidae		Imago berwarna cokelat gelap, panjang tubuh 2,5 - 3,5 mm, bagian samping protoraks terlihat seperti bergerigi.
4	Coleoptera: Ptinidae		Imago berwarna cokelat terang atau cokelat tua, berbentuk globular (bulat/bundar), kepalanya menghadap ke bawah, panjang tubuh 3 - 4 mm, dan permukaan elitra berambut.
5	Coleoptera : Tenebrionidae		Imago berwarna cokelat kemerahan, panjang tubuh 2,3 - 4,4 mm, berbentuk agak pipih, tiga segmen terakhir pada antena membentuk gada.
6	Coleoptera : Nitidulidae		Imago berwarna cokelat terang hingga hitam, panjang tubuh 2 - 4 mm, berbentuk oval/pipih.

Sumber: Lumi *et al.* (2021) dengan modifikasi.

Tabel 13 Populasi serangga hama pada pala di Kecamatan Tuminting, Kota Manado dengan metode penangkapan langsung (*hand sampling*)

No.	Famili/ordo serangga	Waktu pengamatan (minggu ke-)					Total populasi serangga (ekor)	Rata-rata populasi serangga (ekor)
		I	II	III	IV	V		
1	Tenebrionidae	16,0	58,0	115,0	27,0	117,0	333,0	66,6
2	Ptinidae	7,0	29,0	55,0	41,0	39,0	171,0	34,2
3	Anthrribidae	34,0	49,0	36,0	24,0	9,0	152,0	30,4
4	Nitidulidae	12,0	21,0	8,0	23,0	16,0	80,0	16,0
5	Laemophloeidae	3,0	31,0	14,0	15,0	16,0	79,0	15,8
6	Silvanidae	16,0	33,0	20,0	7,0	1,0	77,0	15,4

Sumber: Lumi *et al.* (2021).

Tabel 14 Populasi serangga hama pada pala di Kecamatan Tumintung, Kota Manado dengan metode penangkapan menggunakan *yellow sticky tray*

No.	Famili/ordo serangga	Waktu pengamatan (minggu ke-)					Total populasi serangga (ekor)	Rata-rata populasi serangga (ekor)
		I	II	III	IV	V		
1	Tenebrionidae	112,0	166,0	216,0	131,0	351,0	976,0	195,0
2	Laemophloeidae	148,0	315,0	104,0	78,0	122,0	767,0	153,0
3	Anthribidae	117,0	156,0	178,0	34,0	69,0	554,0	110,8
4	Silvanidae	2,0	5,0	-	-	3,0	3,0	10,0

Sumber: Lumi et al. (2021) dengan modifikasi.

3.1.2 Cendawan perusak pascapanen dan kontaminasi aflatoksin pada pala di Indonesia

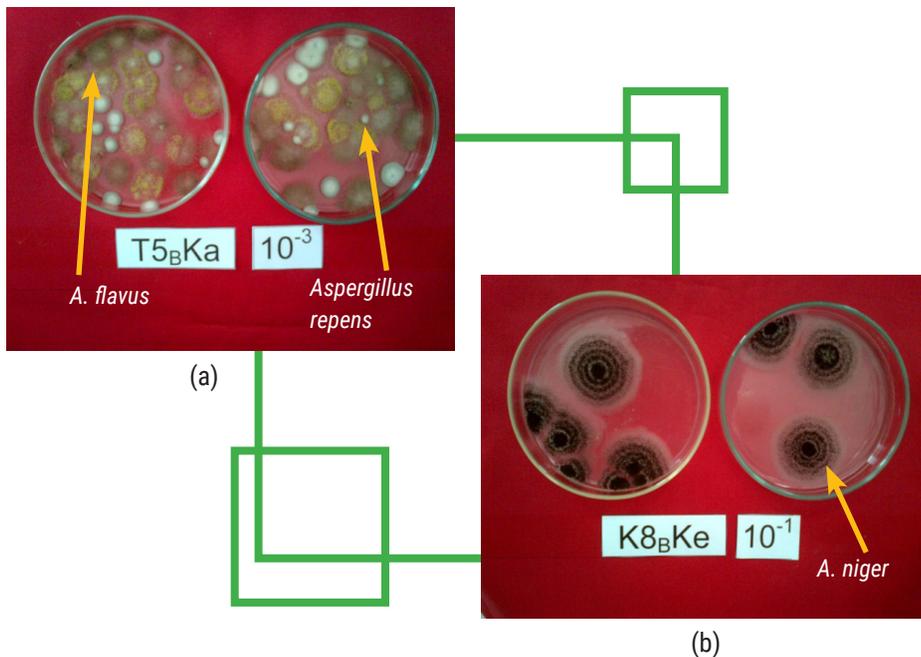
Cendawan pascapanen adalah cendawan yang menyerang bahan pangan setelah dipanen (terutama selama penyimpanan). Sebagian besar cendawan tersebut dapat tumbuh pada bahan pangan dengan tekanan osmotik tinggi, membutuhkan kadar air bahan pangan dalam kesetimbangan dengan kelembapan relatif ruangan penyimpanan 65 - 90%. Contoh cendawan pascapanen adalah *Aspergillus* spp. dan *Penicillium* spp.

Menurut Dharmaputra et al. (2015) jumlah spesies cendawan tertinggi yang diisolasi dari biji pala di tingkat petani dan pedagang pengumpul di **Kabupaten Minahasa Utara (Minut)** adalah masing-masing 13 dan 12 spesies, sedangkan jumlah spesies cendawan terendah yang diisolasi dari biji pala yang diperoleh dari petani di **Kabupaten Siau Tagulandang Biaro (Sitaro)** adalah 7 spesies, dan dari pedagang pengumpul di **Kabupaten Sangihe Talaud** adalah 2 spesies. Spesies cendawan yang diisolasi dari biji pala diperoleh dari petani dan pedagang pengumpul di Kabupaten Minut, Sitaro, dan Sangihe Talaud dapat dilihat pada Tabel 15, 16, dan 17.

Persentase sampel biji pala yang terserang *Aspergillus flavus* di tingkat petani dan pedagang pengumpul di **Kabupaten Minut (Minahasa Utara)** masing-masing sebesar 56 dan 53% dengan kisaran dan rata-rata populasi masing-masing 5 - 8.833 *cfu/g* (1.488 *cfu/g*) dan 7 - 5.167 *cfu/g* (784 *cfu/g*) (Tabel 15). Persentase sampel yang terserang *A. flavus*, kisaran dan rata-rata populasi yang diperoleh dari petani lebih tinggi daripada pengumpul. Cendawan lain yang dominan di tingkat petani yaitu *Penicillium citrinum* (81% sampel yang terserang, kisaran dan rata-rata populasi masing-masing 3 - 60.000 *cfu/g* dan 6.262 *cfu/g*, diikuti oleh *A. niger* (69% sampel yang terserang, kisaran dan rata-rata populasi masing-masing 2 - 21.667 *cfu/g* dan 4.322 *cfu/g*), dan *Aspergillus repens* (63% sampel yang terserang, kisaran dan rata-rata populasi masing-masing 5 - 6.833 *cfu/g* dan 1.708 *cfu/g*). Hasil isolasi cendawan pada pala di tingkat petani dan pedagang pengumpul dapat dilihat pada Gambar 10. Cendawan lain yang dominan di tingkat pedagang pengumpul yaitu *Endomyces fibuliger* (76% sampel yang terserang, kisaran dan rata-rata populasi masing-masing 15 - 10.780.000 *cfu/g* dan 2.167.297 *cfu/g*), kemudian diikuti *A. niger* (76% sampel yang terserang, kisaran dan rata-

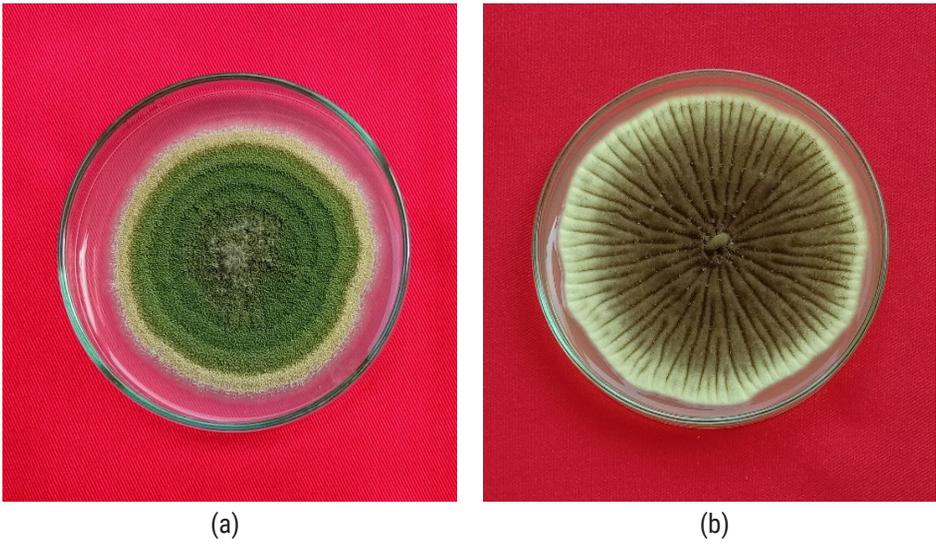
rata populasi 10 - 8.833 *cfu/g* dan 2.003 *cfu/g*), dan *P. citrinum* (76% sampel yang terserang dengan kisaran dan rata-rata populasi 13 - 4.000 *cfu/g* dan 775 *cfu/g*). Biakan murni dan struktur morfologi secara mikroskopis *A. flavus* dan *A. niger* dapat dilihat pada Gambar 11 dan 12, sedangkan biakan murni dan struktur morfologi *P. citrinum* dapat dilihat pada Gambar 13.

Warna koloni *A. flavus* pada medium CYA terlihat dari hifa yang berwarna putih dengan konidium berwarna hijau, serta bagian bawah koloni berwarna krem (Gambar 10a), sedangkan *A. niger* memiliki konidium berwarna hitam dan hifa berwarna putih kekuningan (Gambar 10b). Koloni *Aspergillus repens* berwarna kuning dengan diameter koloni relatif lebih kecil daripada *A. flavus* dan *A. niger* (Gambar 10a). Warna koloni *P. citrinum* adalah abu tosca dengan bagian bawah koloni berwarna krem dan diameter koloni relatif lebih kecil dari *A. flavus*. Tingkat serangan *Endomyces fibuliger* yang sangat tinggi pada sampel yang diperoleh dari pedagang pengumpul disebabkan oleh sampel yang memiliki kadar air yang relatif tinggi hingga mencapai 15%. *Endomyces fibuliger* juga menyerang 7 sampel biji pala yang diperoleh dari petani dengan kisaran dan rata-rata populasi tertinggi yaitu 52 - 8.378.333 *cfu/g* dan 1.294.429 *cfu/g* (Tabel 15). Jenis khamir ini dapat tumbuh dengan baik pada substrat dengan kadar air tinggi.

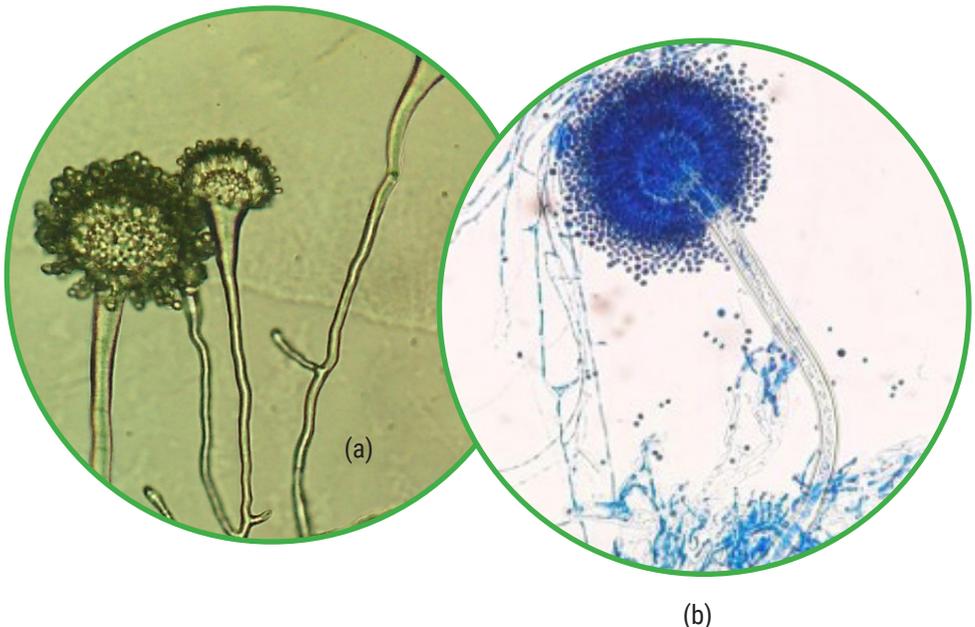


Gambar 10 Hasil isolasi cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani (a) dan pedagang pengumpul (b) di **Kabupaten Minut** (Minahasa Utara) dengan menggunakan metode pengenceran berderet yang dilanjutkan dengan metode cawan tuang pada medium *Dichloran 18% Glycerol Agar* (DG18) setelah 7 hari inkubasi pada suhu 27 ± 2 °C

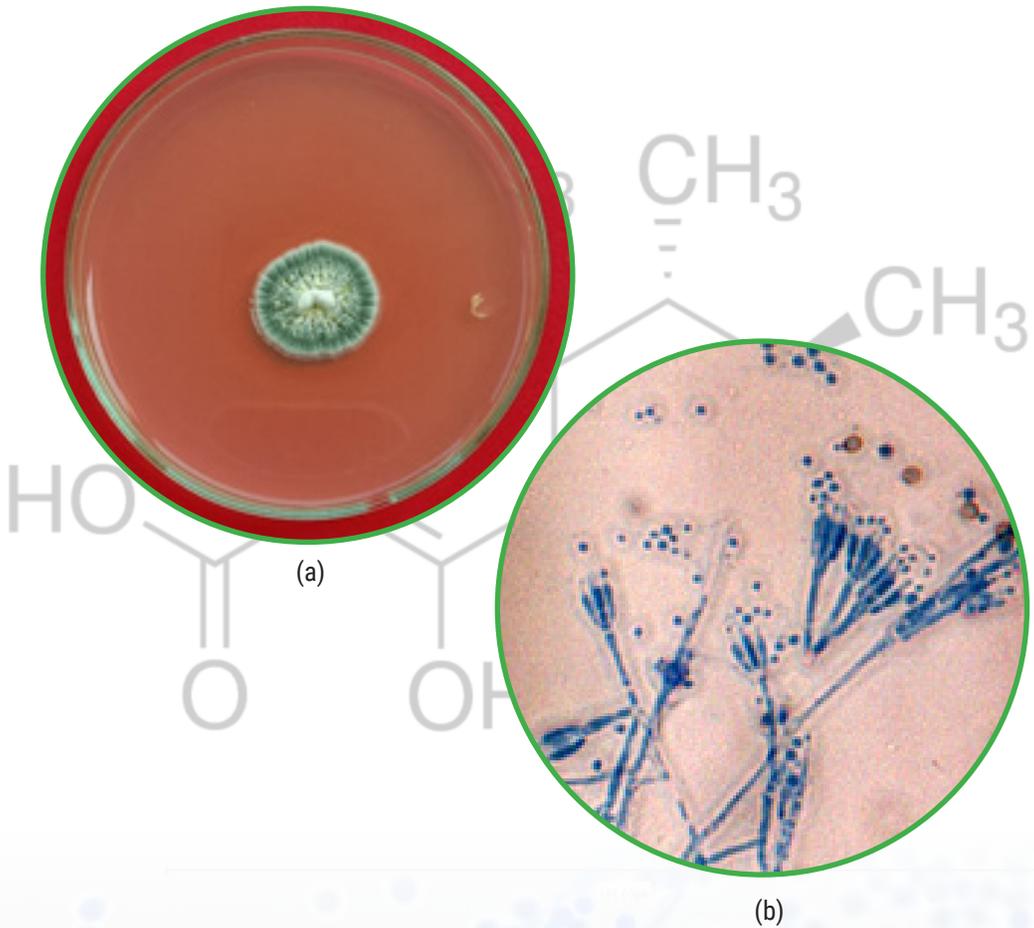
(Sumber foto: Nijma Nurfadila).



Gambar 11 Biakan murni (a) *Aspergillus flavus* dan (b) *A. niger* pada medium Czapeks Yeast Extract Agar (CYA) setelah 7 hari inkubasi pada suhu $27 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Sumber foto: Nijma Nurfadila).



Gambar 12 Mikrograf (a) *Aspergillus flavus* dan (b) *A. niger* secara mikroskopis (10 x 40) pada suhu $27 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Sumber foto *Aspergillus flavus*: Kiki Nurtjahja); (Sumber foto *A. niger*: Nijma Nurfadila).



Gambar 13 (a) Biakan murni *Penicillium citrinum* pada medium *Czapeks Yeast Extract Agar* (CYA) setelah 7 hari inkubasi pada suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$ dan (b) Mikrograf *P. citrinum* (10 x 40)
(Sumber foto: Nijma Nurfadila).

Tabel 15 Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kabupaten Minut (Minahasa Utara)

No	Cendawan	Jumlah (%) sampel yang terserang cendawan			Kisaran (rata-rata) populasi cendawan pada biji pala (cfu/g)		
		Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir	Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir
1.	<i>Aspergillus flavus</i>	9 (56)	9 (53)	-	5 - 8.833 (1.488)	7 - 5.167 (784)	-
2.	<i>A. niger</i>	11 (69)	13 (76)	-	2 - 21.667 (4.322)	10 - 8.833 (2.003)	-
3.	<i>A. ochraceus</i>	-	1 (6)	-	-	7 (7)	-
4.	<i>A. penicillioides</i>	2 (13)	3 (18)	-	217 - 1.333 (775)	45 - 267 (171)	-
5.	<i>A. tamarii</i>	8 (50)	4 (24)	-	8 - 1.167 (329)	150 - 733 (367)	-
6.	<i>A. sydowii</i>	2 (13)	1 (6)	-	12 - 1.833 (923)	817 (817)	-
7.	<i>A. wentii</i>	1 (6)	-	-	117 (117)	-	-
8.	<i>Endomyces fibuliger</i>	7 (44)	13 (76)	-	52 - 8.378.333 (1.294.429)	15 - 10.780.000 (2.167.297)	-
9.	<i>Aspergillus chevalieri</i>	5 (31)	3 (18)	-	15 - 4.000 (1.219)	33 - 7.333 (2.556)	-
10.	<i>A. repens</i>	10 (63)	9 (53)	-	5 - 6.833 (1.708)	13 - 3.167 (896)	-
11.	<i>A. rubrum</i>	-	7 (41)	-	-	2 - 3.500 (942)	-
12.	<i>Penicillium citrinum</i>	13 (81)	13 (76)	-	3 - 60.000 (6.262)	13 - 4.000 (775)	-
13.	<i>Rhizopus</i> sp.	2 (13)	-	-	250 - 717 (483)	-	-
14.	<i>Syncephalastrum racemosum</i>	-	1 (6)	-	-	200 (200)	-
15.	<i>Trichoderma</i> sp.	2 (13)	-	-	10 - 1.000 (505)	-	-

Keterangan: Jumlah sampel biji pala di tingkat petani = 16; Jumlah sampel biji pala di tingkat pedagang pengumpul = 17; Tidak ada sampel biji pala di tingkat eksportir.

Sumber: Dharmaputra et al. (2015).

Sampel biji pala di **Kabupaten Sitaro**, baik yang diperoleh dari petani, maupun pedagang pengumpul tidak terserang *A. flavus* (Tabel 16). Sebanyak 100% sampel di tingkat petani terserang *A. niger*, *A. penicillioides*, *A. repens* dan *P. citrinum* dengan populasi yang relatif rendah, kecuali populasi *A. penicillioides* relatif tinggi (berkisar 18 - 2.033 *cfu/g* dan rata-rata 1.026 *cfu/g*). Sebanyak 67% sampel di tingkat pedagang pengumpul terserang *A. niger* dengan rata-rata populasi relatif tinggi yaitu 21.108 *cfu/g* (Tabel 16).

Persentase sampel biji pala yang terserang *A. flavus* di tingkat petani di **Kabupaten Sangihe Talaud** hanya 14% dengan populasi yang sangat rendah yaitu 2 *cfu/g*, sedangkan sampel di tingkat pedagang pengumpul tidak terserang *A. flavus* (Tabel 17). *Aspergillus niger* menyerang 100% sampel, baik yang diperoleh dari petani maupun pedagang pengumpul dengan kisaran dan rata-rata populasi yang relatif tinggi, yaitu masing-masing 7 - 243.333 *cfu/g* (50.725 *cfu/g*) dan 48 - 10.833 *cfu/g* (5.441 *cfu/g*) (Tabel 17).

Selain dari tingkat petani dan pedagang pengumpul, biji pala juga diperoleh dari tingkat eksportir yang berada di **Kota Bitung** dan **Manado**. Jumlah spesies, tingkat serangan cendawan dan populasi cendawan dari sampel di **Kota Bitung** relatif lebih rendah dibandingkan dengan sampel di **Kota Manado**.

Persentase sampel biji pala di **Kota Bitung** yang terserang *A. flavus* yaitu sebesar 2% dengan kisaran dan rata-rata populasi 5 - 767 *cfu/g* (386 *cfu/g*) (Tabel 18). Cendawan lain yang dominan yaitu *A. repens* (100% sampel yang terserang dengan populasi berkisar 10 - 883 *cfu/g* dan rata-rata 363 *cfu/g*), diikuti oleh *A. chevalieri* (83% sampel yang terserang dengan populasi berkisar 2 - 2.500 *cfu/g* dan rata-rata 541 *cfu/g*) (Tabel 18 dan Gambar 14a).

Persentase sampel biji pala di **Kota Manado** yang terserang *A. flavus* yaitu sebesar 39% dengan kisaran dan rata-rata populasi 10 - 533 *cfu/g* (131 *cfu/g*) (Tabel 19). Spesies cendawan lain yang dominan adalah *A. repens* (87% sampel yang terserang dengan kisaran populasi 250 - 18.333 *cfu/g* dan rata-rata 4.964 *cfu/g*), diikuti oleh *A. niger* (70% sampel yang terserang dengan populasi berkisar 7 - 40.000 *cfu/g* dan rata-rata 3.068 *cfu/g*) dan *A. penicillioides* (65% sampel yang terserang dengan populasi berkisar 133 - 29.333 *cfu/g* dan rata-rata 6.617 *cfu/g*) (Gambar 14b).

Tabel 16 Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kabupaten Siau Tagulandang Biaro (Sitaro)

No	Cendawan	Jumlah (%) sampel yang terserang cendawan			Kisaran (rata-rata) populasi cendawan pada biji pala (cfu/g)		
		Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir	Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir
1.	<i>Aspergillus niger</i>	2 (100)	2 (67)	-	2 - 25 (13)	550 - 41.667 (21.108)	-
2.	<i>A. penicillioides</i>	2 (100)	1 (33)	-	18 - 2.033 (1.026)	368 (368)	-
3.	<i>Endomyces fibuliger</i>	1 (50)	-	-	5 (5)	-	-
4.	<i>A. chevalieri</i>	1 (50)	1 (33)	-	67 (67)	28 (28)	-
5.	<i>A. repens</i>	2 (100)	1 (33)	-	2 - 333 (168)	18 (18)	-
6.	<i>A. rubrum</i>	1 (50)	1 (33)	-	17 (17)	3 (3)	-
7.	<i>Penicillium citrinum</i>	2 (100)	-	-	2 - 8 (5)	-	-

Keterangan: Jumlah sampel biji pala di tingkat petani = 2; Jumlah sampel biji pala di tingkat pedagang pengumpul = 3; Tidak ada sampel biji pala di tingkat eksportir.

Sumber: Dharmaputra et al. (2015).

Tabel 17 Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kabupaten Sangihe Talaud

No	Cendawan	Jumlah (%) sampel yang terserang cendawan			Kisaran (rata-rata) populasi cendawan pada biji pala (cfu/g)		
		Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir	Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir
1.	<i>Aspergillus flavus</i>	1 (14)	-	-	2 (2)	-	-
2.	<i>A. niger</i>	7 (100)	2 (100)	-	7 - 243.333 (50.725)	48 - 10.833 (5.441)	-
3.	<i>A. penicillioides</i>	3 (43)	-	-	10 - 367 (132)	-	-
4.	<i>Endomyces fibuliger</i>	1 (14)	-	-	145.000 (145.000)	-	-
5.	<i>A. repens</i>	4 (57)	-	-	5 - 833 (218)	-	-
6.	<i>A. rubrum</i>	3 (43)	-	-	3 - 500 (169)	-	-
7.	<i>Fusarium solani</i>	1 (14)	-	-	51.667 (51.667)	-	-
8.	<i>Penicillium citrinum</i>	3 (43)	1 (50)	-	30 - 18.333 (6.843)	433 (433)	-

Keterangan: Jumlah sampel biji pala di tingkat petani = 7, Jumlah sampel biji pala di tingkat pedagang pengumpul = 2; Tidak ada sampel biji pala di tingkat eksportir.

Sumber: Dharmaputra et al. (2015).

Tabel 18 Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kota Bitung

No	Cendawan	Jumlah (%) sampel yang terserang cendawan			Kisaran (rata-rata) populasi cendawan pada biji pala (cfu/g)		
		Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir	Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir
1.	<i>Aspergillus flavus</i>	-	-	2 (33)	-	-	5 - 767 (386)
2.	<i>A. niger</i>	-	-	3 (50)	-	-	3 - 170 (71)
3.	<i>A. penicilliioides</i>	-	-	2 (33)	-	-	50 - 3.483 (1.767)
4.	<i>A. sydowii</i>	-	-	1 (17)	-	-	5 (5)
5.	<i>A. tamarii</i>	-	-	1 (17)	-	-	200 (200)
6.	<i>Endomyces fibuliger</i>	-	-	2 (33)	-	-	167 - 667 (417)
7.	<i>A. chevalieri</i>	-	-	5 (83)	-	-	2 - 2.500 (541)
8.	<i>A. repens</i>	-	-	6 (100)	-	-	10 - 883 (363)
9.	<i>A. rubrum</i>	-	-	1 (17)	-	-	683 (683)
10.	<i>Penicillium citrinum</i>	-	-	4 (67)	-	-	5 - 933 (269)

Keterangan: Tidak ada sampel biji pala di tingkat petani dan pedagang pengumpul; Jumlah sampel biji pala di eksportir: 6.

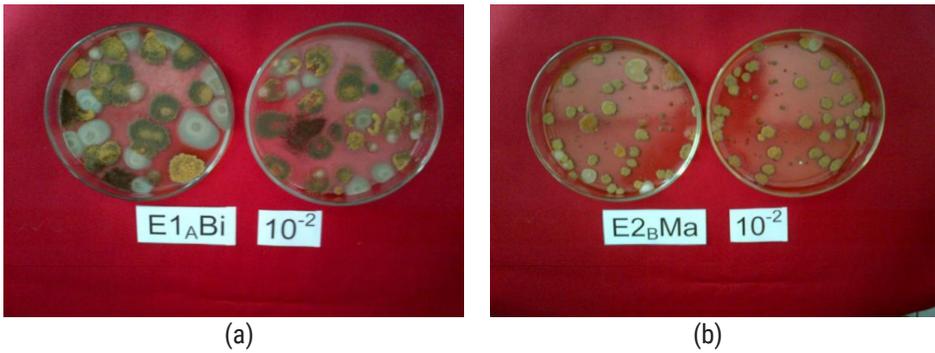
Sumber: Dharmaputra et al. (2015).

Tabel 19 Serangan cendawan pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di Kota Manado

No	Cendawan	Jumlah (%) sampel yang terserang cendawan			Kisaran (rata-rata) populasi cendawan pada biji pala (cfu/g)		
		Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir	Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir
1.	<i>Aspergillus flavus</i>	-	-	9 (39)	-	-	10 - 533 (131)
2.	<i>A. niger</i>	-	-	16 (70)	-	-	7 - 40.000 (3.068)
3.	<i>A. penicillioides</i>	-	-	15 (65)	-	-	133 - 29.333 (6.617)
4.	<i>A. tamarii</i>	-	-	1 (4)	-	-	217 (217)
5.	<i>A. versicolor</i>	-	-	2 (9)	-	-	450 - 1.167 (808)
6.	<i>Endomyces fibuliger</i>	-	-	4 (17)	-	-	283 - 5.333 (1.696)
7.	<i>A. chevalieri</i>	-	-	5 (22)	-	-	50 - 3.667 (1.073)
8.	<i>A. repens</i>	-	-	20 (87)	-	-	250 - 18.333 (4.964)
9.	<i>A. rubrum</i>	-	-	15 (65)	-	-	28 - 2.000 (523)
10.	<i>Paecilomyces variotii</i>	-	-	1 (4)	-	-	450 (450)
11.	<i>Penicillium citrinum</i>	-	-	11 (48)	-	-	18 - 1.250 (240)

Keterangan: Tidak ada sampel biji pala di tingkat petani dan pedagang pengumpul; Jumlah sampel biji pala di eksportir = 23.

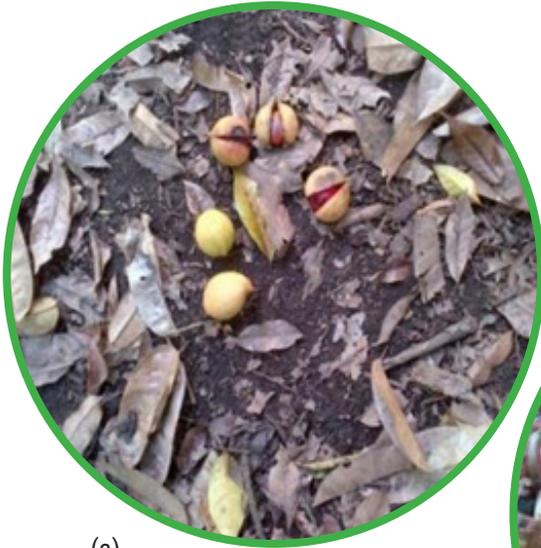
Sumber: Dharmaputra *et al.* (2015).



Gambar 14 Hasil isolasi cendawan pada biji pala yang diperoleh dari eksportir di **Kota Bitung** (a) dan **Kota Manado** (b) pada medium *Dichloran 18% Glycerol Agar* (DG18) setelah 7 hari inkubasi pada suhu $27 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Sumber foto: Okky S. Dharmaputra).

Kisaran AFB1 dan aflatoksin total pada sampel yang terkontaminasi **di tingkat petani di Provinsi Sulawesi Utara**, masing-masing adalah 0,40 - 1.632,19 ppb dan 0,58 - 1.831,48 ppb. Rata-rata AFB1 biji pala di **Kabupaten Minut, Sitaro, dan Sangihe Talaud** masing-masing sebesar 128,52; 1,23; dan 335,92 ppb (Tabel 20). Rata-rata AFB1 biji pala di **Kabupaten Minut dan Sangihe Talaud** melebihi batas maksimum AFB1 yang ditentukan oleh CIR (2016), yaitu AFB1 (5 ppb) dan aflatoksin total (10 ppb). Biji pala yang diperoleh dari petani di Provinsi Sulawesi Utara mudah terkontaminasi aflatoksin karena sebanyak 50% petani memungut biji pala dari tanah dengan durasi retensi di tanah (lamanya berada di tanah) adalah 1 - 6 hari, sehingga biji pala mudah terserang serangga dan cendawan penghasil aflatoksin. Perbedaan biji pala yang dipetik dari pohon dan dipungut dari tanah dapat dilihat pada Gambar 15. Selain itu, petani tidak melakukan sortasi, sebagian besar petani (87,5%) mengeringkan biji pala dengan penjemuran di atas terpal atau karung plastik, baik di atas tanah maupun lantai jemur, serta petani belum mengetahui keberadaan aflatoksin pada biji pala.

Kisaran AFB1 dan aflatoksin total pada sampel yang terkontaminasi **di tingkat pedagang pengumpul di Provinsi Sulawesi Utara**, masing-masing adalah 0,11 - 14,59 ppb dan 0,11 - 16,65 ppb (Tabel 20). Rata-rata kandungan AFB1 pada biji pala **di tingkat pedagang pengumpul di Kabupaten Minut** (4,70 ppb) dan **Sitaro** (0,40 ppb) lebih rendah dari batas maksimum AFB1 berdasarkan *Food and Agriculture Organization* (FAO) (2004), yaitu AFB1 (5 ppb) dan aflatoksin total (10 ppb) (Tabel 26). Sebanyak 42,9% pedagang pengumpul umumnya memperoleh biji pala bercangking dari petani, kemudian biji pala dijemur, baik di atas terpal maupun karung polipropilena (57,1%), sedangkan sisanya dikeringkan dengan cara pengasapan (42,9%).



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 15 (a) Buah pala yang jatuh di tanah; (b) Biji pala bercangkang yang dipungut dari tanah; (c) Buah pala di pohon; dan (d) Biji pala bercangkang yang dipetik dari pohon (Sumber foto: Nijma Nurfadila).

Tabel 20 Kandungan aflatoksin B₁ dan aflatoksin total pada biji pala yang diperoleh dari petani, pedagang pengumpul dan eksportir di **Provinsi Sulawesi Utara**

Kabupaten/ Kota	Tingkatan rantai distribusi	Jumlah sampel	Jumlah (%) sampel yang terkontaminasi aflatoksin	Kisaran (rata- rata) kandungan AFB1 (ppb) pada sampel yang terkontaminasi	Kisaran (rata-rata) kandungan AF total (ppb) pada sampel yang terkontaminasi
Minahasa Utara	Petani	16	6 (37,50)	0,40 - 762,24 (128,52)	0,58 - 910,48 (153,28)
	Pedagang pengumpul	17	5 (29,41)	0,19 - 14,59 (4,70)	0,19 - 16,65 (5,67)
	Eksportir	-	-	-	-
Sitaro	Petani	2	2 (100)	1,03 - 1,44 (1,23)	1,44 - 1,55 (1,49)
	Pedagang pengumpul	3	3 (100)	0,11 - 0,69 (0,40)	0,11 - 1,34 (0,58)
	Eksportir	-	-	-	-
Sangihe Talaud	Petani	7	7 (100)	1,65 - 1.632,19 (335,92)	1,65 - 1.831,48 (371,99)
	Pedagang pengumpul	2	2 (100)	3,28 - 13,94 (8,61)	3,28 - 13,94 (8,61)
	Eksportir	-	-	-	-
Bitung	Petani	-	-	-	-
	Pedagang pengumpul	-	-	-	-
	Eksportir	6	3 (50)	1,40 - 799,25 (267,74)	1,40 - 1.112,58 (372,18)
Manado	Petani	-	-	-	-
	Pedagang pengumpul	-	-	-	-
	Eksportir	23	15 (65,22)	0,10 - 266,72 (18,37)	0,18 - 334,49 (20,69)

Sumber: Dharmaputra *et al.* (2022).

Kisaran AFB1 dan aflatoksin total pada sampel yang terkontaminasi **di tingkat pedagang pengumpul di Provinsi Sulawesi Utara**, masing-masing adalah 0,11 - 14,59 ppb dan 0,11 - 16,65 ppb (Tabel 20). Rata-rata kandungan AFB1 pada biji pala di tingkat pedagang pengumpul di Kabupaten Minut (4,70 ppb) dan Sitaro (0,40 ppb) lebih rendah dari batas maksimum AFB1 berdasarkan FAO (2004), yaitu AFB1 (5 ppb) dan aflatoksin total (10 ppb) (Tabel 26). Sebanyak 42,9% pedagang pengumpul umumnya memperoleh biji pala bercangkang dari petani, kemudian biji pala dijemur di atas terpal maupun karung polipropilena (57,1%) sedangkan sisanya dikeringkan dengan cara pengasapan (42,9%). Pengeringan biji pala di tingkat pedagang pengumpul disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16 Metode pengeringan biji pala: dengan bantuan sinar matahari (a) dan pengasapan (b dan c)
(Sumber foto: Nijma Nurfadila)

Beberapa **eksportir di Provinsi Sulawesi Utara** telah memiliki fasilitas pengeringan, pengupasan cangkang, penyortiran dan penyimpanan biji pala yang cukup memadai, sehingga peluang kontaminasi aflatoksin dapat dihindari. Biji pala yang berpendar di bawah lampu UV (365 nm) terkontaminasi aflatoksin B₁ dengan kisaran 0,10 - 799,25 ppb. Kisaran kandungan aflatoksin total pada biji pala yang diperoleh di tingkat eksportir adalah 0,18 - 1.112,58 ppb (Tabel 20). Rata-rata kandungan AFB1 pada biji pala yang diperoleh dari eksportir di **Kota Bitung dan Kota Manado** masing-masing 267,74 dan 18,37 ppb. Kandungan AFB1 tersebut lebih tinggi dari batas maksimum AFB1 yang telah ditentukan CIR (2016), yaitu AFB1 (5 ppb) dan aflatoksin total (10 ppb).

Lukiawan *et al.* (2017) juga telah meneliti kandungan aflatoksin pada biji pala di Papua dan Sulawesi Utara. Sebanyak 12 sampel diperoleh di Provinsi Sulawesi Utara, terdiri dari 4 sampel diperoleh dari petani di Sangihe, 4 sampel dari pedagang pengumpul di Manado, dan 4 sampel dari eksportir di Manado; sedangkan 8 sampel diperoleh di Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua. Kandungan aflatoksin B₁ (AFB1) dan aflatoksin total pada biji pala yang berasal dari Manado, masing-masing 1,79 dan < 2,23 ppb, sedangkan biji pala yang berasal dari Sangihe tidak terdeteksi aflatoksin B1 dan aflatoksin total < 2,23 ppb (Tabel 21). Sebanyak 75% sampel yang diperoleh dari daerah Fakfak, Papua mengandung AFB1 sebesar < 0,78 ppb dan aflatoksin total sebesar < 2,23 ppb (Tabel 22).

Tabel 21 Kandungan AFB1 dan aflatoksin total pada biji pala di Manado dan Sangihe, Provinsi Sulawesi Utara

Kode sampel	Asal daerah	Tingkat distribusi	Kandungan aflatoksin	
			AFB1 (LoQ = 0,78 ppb)	Aflatoksin total (LoQ = 2,23 ppb)
A	Sangihe	Petani	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi
B	Sangihe	Petani	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi
C	Sangihe	Petani	Tidak terdeteksi	< LoQ
D	Sangihe	Petani	Tidak terdeteksi	< LoQ
E	Manado	Pedagang pengumpul	< LoQ	< LoQ
F	Manado	Pedagang pengumpul	Tidak terdeteksi	< LoQ
G	Manado	Pedagang pengumpul	< LoQ	< LoQ
H	Manado	Pedagang pengumpul	1.79	< LoQ
I	Manado	Eksportir	< LoQ	< LoQ
J	Manado	Eksportir	Tidak terdeteksi	< LoQ
K	Manado	Eksportir	Tidak terdeteksi	< LoQ
L	Manado	Eksportir	< LoQ	< LoQ
M	Fakfak	Petani	< LoQ	< LoQ
N	Fakfak	Petani	< LoQ	< LoQ
O	Fakfak	Petani	< LoQ	< LoQ
P	Fakfak	Petani	Tidak terdeteksi	< LoQ

Keterangan: LoQ (*Limit of Quantification*) = batas pengukuran (ppb).

Sumber: Lukiawan *et al.* (2017).

Tabel 22 Kandungan AFB1 dan aflatoksin total pada biji pala di Kabupaten Fakfak, Papua

Kode sampel	Asal daerah	Tingkat distribusi	Kandungan aflatoksin	
			AFB1 (LoQ = 0,78 ppb)	Aflatoksin total (LoQ = 2,23 ppb)
Q	Fakfak	Pedagang pengumpul	9,32	13,32
R	Fakfak	Pedagang pengumpul	21,5	23,62
S	Fakfak	Pedagang pengumpul	< LoQ	< LoQ
T	Fakfak	Pedagang pengumpul	< LoQ	< LoQ

Keterangan: LoQ (*Limit of Quantification*) = batas pengukuran (ppb).

Sumber: Lukiawan *et al.* (2017).

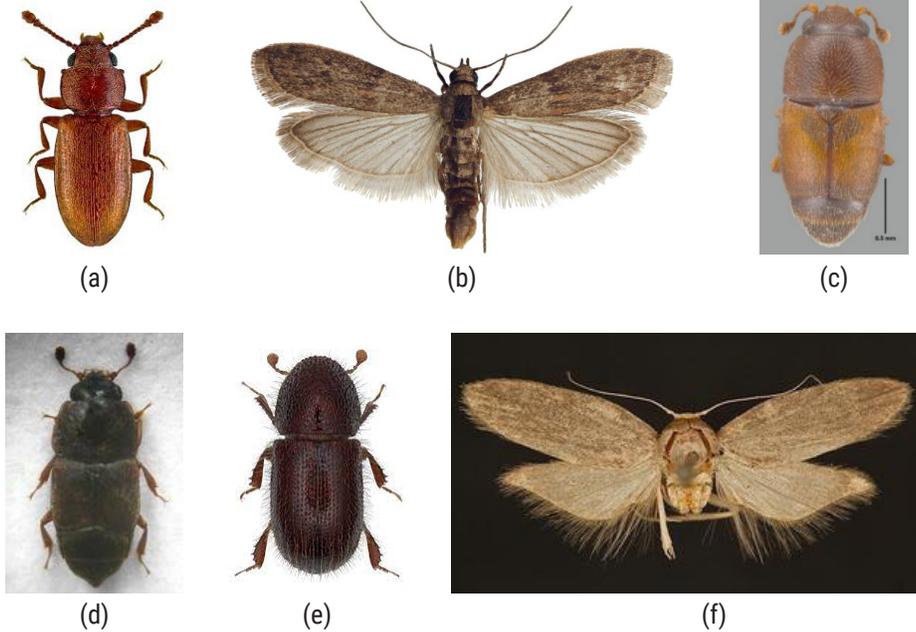
Ichinoe *et al.* (2006) melaporkan, bahwa *Aspergillus* spp. merupakan cendawan dominan yang terdapat pada 12 sampel bubuk pala yang diperoleh dari pengecer di Indonesia. Selain itu, menurut Nurtjahja *et al.* (2019) beberapa spesies cendawan yang menyerang biji pala yang diperoleh dari pasar tradisional di Kota Medan, Provinsi Sulawesi Utara adalah *Aspergillus chevalieri* (26×10^3 cfu/g), *A. sydowii*

($5,7 \times 10^3$ cfu/g), *A. niger* ($4,3 \times 10^3$ cfu/g), *Penicillium citrinum* ($3,0 \times 10^3$ cfu/g), *A. tamarii* ($2,3 \times 10^3$ cfu/g), *A. candidus* ($0,9 \times 10^3$ cfu/g), *A. flavus* ($0,9 \times 10^3$ cfu/g), *A. wentii* ($0,5 \times 10^3$ cfu/g), *Fusarium* sp. ($0,4 \times 10^3$ cfu/g), dan *Rhizopus stolonifer* ($0,1 \times 10^3$ cfu/g). Sebanyak 4 dari 9 isolat *A. flavus* dapat menghasilkan aflatoksin.

3.2 Serangga Hama Gudang, Cendawan Perusak Pascapanen, dan Kontaminasi Aflatoksin pada Pala di Negara Lain

3.2.1 Serangga hama gudang pada pala di negara lain

Menurut Edde *et al.* (2012) spesies serangga yang menyerang komoditas pala di dunia adalah *Araecerus fasciculatus*, *Ahasverus advena* (Gambar 17a), *Cadra cautella* (Gambar 17b), *Carpophilus dimidiatus* (Gambar 17c), *Carpophilus obsoletus* (Gambar 17d), *Coccotrypes dactyliperda*, *Coccotrypes myristicae*, *Corcyra cephalonica*, *Cryptolestes klapperichi*, *Cripturgus pusillus*, *Cryptolestes turcicus*, *Dermestes Lardarius*, *Doloessa viridis*, *Ephestia elutella*, *Euscelinus sarawacus*, *Gnatocerus maxillosus*, *Hypothenemus obscures*, *Lasioderma serricorne*, dan *Lophocateres pusillus*.



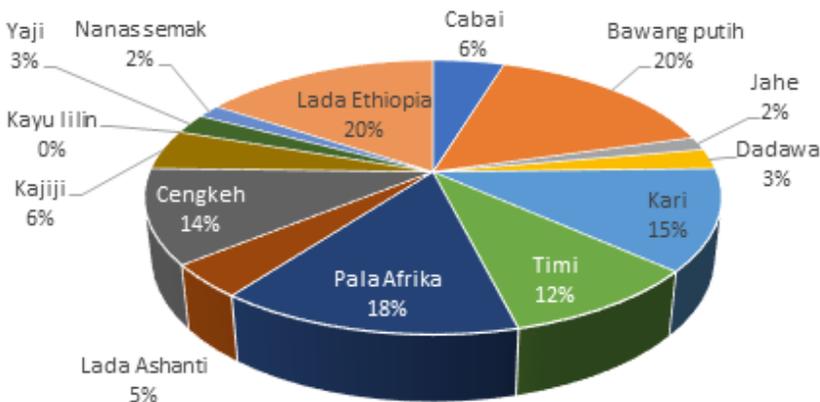
Gambar 17 Serangga hama gudang: (a) *Ahasverus advena* (Sumber foto *Ahasverus advena*: Coop Gimar 2020); (b) *Cadra cautella* (Sumber foto: *Cadra cautella*: Provision Gard 2021); (c) *Carpophilus dimidiatus* (Sumber foto: *Carpophilus dimidiatus*: Collison and MacGawn 2015); (d) *Carpophilus obsoletus* (Sumber foto: *Carpophilus obsoletus*: BioLib 2019); (e) *Coccotrypes dactyliperda* (Sumber foto: *Coccotrypes dactyliperda*: Provision Gard 2018); dan (f) *Corcyra cephalonica* (Sumber foto: *Corcyra cephalonica*: Grinter 2012)

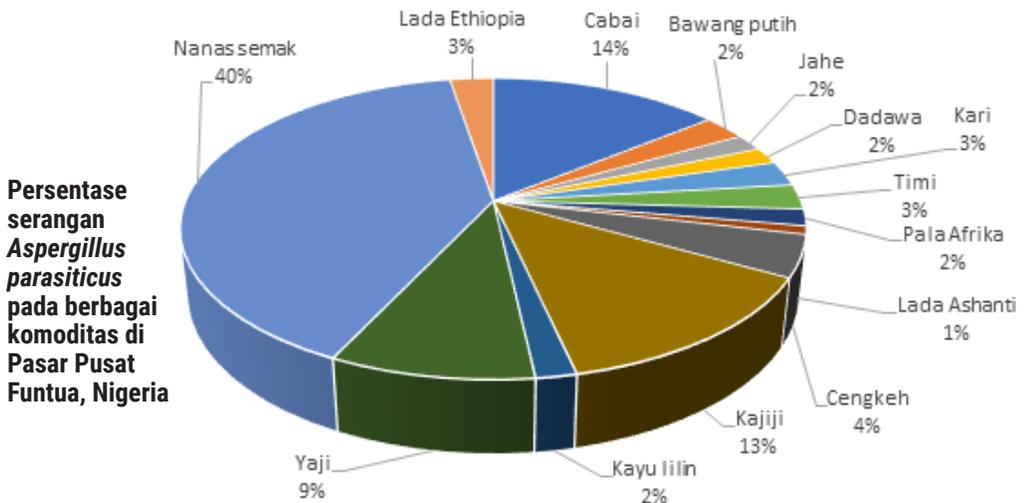
Menurut Haines (1991) *Carpophilus dimidiatus* merupakan serangga yang dapat menyerang biji kacang tanah, pala, padi, kakao, dan jagung. Beberapa spesies *Carpophilus* dapat ditemukan di lapangan dan penyimpanan pada sebagian besar komoditas. Selain itu, *Oryzaephilus surinamensis* juga merupakan hama serangga sekunder pada sereal dan produk sereal, dapat ditemukan pada kopra, pala, kacang-kacangan, dan buah kering. Bahkan, serangga dewasa *O. surinamensis* dapat menyerang cangkang pala.

3.2.2 Cendawan perusak pascapanen dan kontaminasi mikotoksin pada pala di negara lain

Sama halnya dengan pala di Indonesia, pala di negara lain juga mengalami kasus penurunan mutu akibat serangan cendawan perusak pascapanen dan kontaminasi aflatoksin. Kasus serangan cendawan lainnya terjadi pada berbagai jenis komoditas yang diperoleh dari Pasar Pusat Funtua, Nigeria. Jenis komoditasnya antara lain cabai, bawang putih, jahe, dadawa, kari, timi, pala Afrika, lada Ashanti, cengkeh, kajiji, kayu lilin, yaji, nanas semak, dan lada Ethiopia. Persentase serangan *A. flavus* tertinggi ditemukan pada lada Ethiopia (20%), bawang putih (20%), dan pala Afrika (18%) (Gambar 18a). Persentase serangan *A. parasiticus* tertinggi ditemukan pada nanas semak (45%), diikuti oleh cabai (16%) dan kajiji (15%). Adapun persentase serangan *A. parasiticus* pada pala Afrika adalah 2% (Gambar 18b) (Haruna et al. 2017). Menurut Betina (1984) dan Scott (1994) *A. flavus* dan *A. parasiticus* merupakan cendawan penghasil aflatoksin yang dapat menyebabkan kanker hati. Kedua spesies cendawan tersebut dapat memproduksi jenis aflatoksin yang berbeda. Beberapa galur *A. flavus* dapat menghasilkan aflatoksin B₁ dan B₂, sedangkan *A. parasiticus* menghasilkan aflatoksin B₁, B₂, G₁, dan G₂. Selain pala, kedua jenis spesies cendawan ini dapat juga menyerang kacang tanah dan jagung. Pitt dan Hocking (2009) menjelaskan bahwa *A. flavus* dan *A. parasiticus* umumnya menyerang bahan pangan setelah dipanen, terutama selama penyimpanan dengan kelembapan relatif ruang simpan 65 - 90%.

Persentase Serangan *Aspergillus flavus* (%) pada berbagai komoditas di Pasar Pusat Funtua, Nigeria





Gambar 18 Persentase serangan (a) *Aspergillus flavus* dan (b) *A. parasiticus* pada berbagai komoditas di Pasar Pusat Funtua, Nigeria

(Sumber: Haruna *et al.* 2017 dimodifikasi oleh Nijma Nurfadila).

Kasus aflatoksin pertama terjadi pada tahun 1986 - 1991 di Jepang. Takahashi (1993) menjelaskan sebanyak 29 (43%) dari 67 sampel pala di Jepang, terkontaminasi oleh aflatoksin. Selanjutnya, kontaminasi aflatoksin pada pala terjadi pada tahun 1993. Menurut Tabata *et al.* (1993) aflatoksin ditemukan pada 3.054 sampel bahan pangan, antara lain pada pala dan produk olahannya. Kontaminasi aflatoksin tertinggi ditemukan pada biji pala (80%), sedangkan AFB1 ditemukan pada *pistachio* (1.382 ppb). Okano *et al.* (2012) menjelaskan bahwa sebanyak 25 sampel pala yang diimpor dari Indonesia di Jepang terkontaminasi aflatoksin B_s atau B_g dan G_s. Sebanyak 3 sampel terkontaminasi aflatoksin B dan G dalam konsentrasi yang tinggi. Spesies cendawan yang dapat menghasilkan aflatoksin pada sampel tersebut yaitu *A. nomius* dan *A. bombycis*. Tabel 23 menunjukkan kandungan aflatoksin dan populasi cendawan penghasil aflatoksin pada pala impor di Jepang.

Tabel 23 Kandungan aflatoksin dan populasi cendawan penghasil aflatoksin pada pala impor di Jepang

Kode sampel	Aflatoksin (ppb)				Populasi cendawan (<i>cfu/g</i>)			Jumlah isolat cendawan yang dapat menghasilkan aflatoksin	
	B ₁	B ₂	G ₁	G ₂	Total cendawan	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>A. flavus</i>	Jumlah positif	Jumlah yang diuji
S-1	378	22	78	4,4	1,3 x 10 ⁵	3,0 x 10 ³	5,0 x 10 ²	7 (B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂)	10
S-2	67	5,5	22	0,4	8,9 x 10 ⁴	8,2 x 10 ⁴	2,0 x 10	4 (B ₁ , B ₂) 1 (B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂)	10
S-3	31	1,7	5,5	ND* ¹	7,4 x 10 ³	7,2 x 10 ³	4,0 x 10	3 (B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂)	3
S-4	9,3	0,4	1,4	ND	8,1 x 10 ⁴	6,6 x 10 ⁴	9,0 x 10 ²	6 (B ₁ , B ₂)	10
S-5	8,7	0,4	1,3	ND	1,5 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁵	1,0 x 10 ²	4 (B ₁ , B ₂)	10
S-6	280	12	31	ND	8,0 x 10 ⁴	7,3 x 10 ⁴	8,0 x 10	2 (B ₁ , B ₂)	10
S-7	30	1,8	1,0	ND	4,3 x 10 ³	4,0 x 10 ³	2,3 x 10 ²	1 (B ₁)	10
S-8	22	1,5	0,7	ND	2,7 x 10 ³	2,5 x 10 ³	1,2 x 10 ²	3 (B ₁)	10
S-9	13	1,1	0,6	ND	7,1 x 10 ⁴	6,7 x 10 ⁴	1,2 x 10 ²	0	10
S-10	8,1	0,7	2,0	ND	2,0 x 10 ³	1,8 x 10 ³	ND* ²	-	-
S-11	240	43	ND	ND	1,2 x 10 ⁴	1,8 x 10 ³	8,0 x 10	10 (B ₁ , B ₂)	10
S-12	44	6,0	ND	ND	1,2 x 10 ⁴	1,0 x 10 ⁴	1,2 x 10 ²	15 (B ₁ , B ₂)	15
S-13	12	0,6	ND	ND	3,2 x 10 ³	3,1 x 10 ³	3,0 x 10	3 (B ₁ , B ₂)	10
S-14	4,9	ND	ND	ND	1,1 x 10 ³	1,0 x 10 ³	2,0 x 10	1 (B ₁ , B ₂)	2
S-15	11	1,4	ND	ND	1,2 x 10 ⁴	8,5 x 10 ³	1,0 x 10	1 (B ₁ , B ₂)	3
S-16	88	6,4	ND	ND	4,7 x 10 ³	4,1 x 10 ³	3,0 x 10	7 (B ₁ , B ₂)	15
S-17	4,2	ND	ND	ND	5,8 x 10 ³	5,5 x 10 ³	7,0 x 10	3 (B ₁ , B ₂)	10
S-18	18	2,2	ND	ND	2,4 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	2,0 x 10 ³	0	20
S-19	15	0,8	ND	ND	6,4 x 10 ⁴	5,8 x 10 ⁴	6,5 x 10 ²	0	10

Keterangan: ND = tidak terdeteksi; ND*¹ = tidak terdeteksi (0,1 ppb); ND*² = tidak terdeteksi (<10 *cfu/g*).

Sumber: Okano *et al.* (2012).

Kode sampel	Aflatoksin (ppb)				Populasi cendawan (cfu/g)			Jumlah isolat cendawan yang dapat menghasilkan aflatoksin	
	B ₁	B ₂	G ₁	G ₂	Total cendawan	<i>Aspergillus sp.</i>	<i>A. flavus</i>	Jumlah positif	Jumlah yang diuji
S-20	2,4	ND	ND	ND	8,7 x 10 ³	8,4 x 10 ³	1,5 x 10 ²	0	10
S-21	2,2	ND	ND	ND	4,2 x 10 ³	4,1 x 10 ³	1,3 x 10 ²	0	10
S-22	1,0	ND	ND	ND	3,7 x 10 ³	3,5 x 10 ³	2,0 x 10	0	3
S-23	6,2	0,5	ND	ND	1,1 x 10 ⁴	8,7 x 10 ³	ND	-	-
S-24	5,5	0,2	ND	ND	8,8 x 10 ²	2,3 x 10 ²	ND	-	-
S-25	5,7	0,3	ND	ND	1,2 x 10 ³	5,8 x 10 ²	ND	-	-

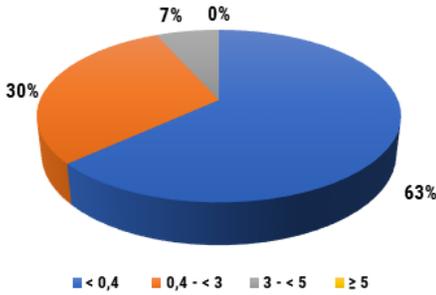
Keterangan: ND = tidak terdeteksi; ND*₁ = tidak terdeteksi (0,1 ppb); ND*₂ = tidak terdeteksi (<10 cfu/g).

Sumber: Okano *et al.* (2012).

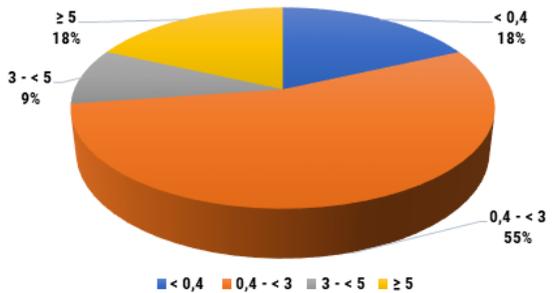
Tak hanya di Jepang, kasus aflatoksin pada biji pala juga terjadi di Portugal, Kenya, Italia, Nigeria, dan Brazil. Martin *et al.* (2001) menjelaskan bahwa tiga sampel pala yang diperoleh di Portugal terkontaminasi AFB₁ dengan kisaran 1 - 5 ppb, tiga sampel lainnya berkisar 6 - 20 ppb, dan dua sampel masing-masing mengandung 54 dan 58 ppb. Mwangi *et al.* (2014) juga telah meneliti kontaminasi aflatoksin pada beberapa komoditas rempah-rempah di Pasar Retail Nyahururu, Kenya. Jenis komoditas rempah yang diteliti antara lain lada, cabai, kari, cabai rawit, paprika, cinnamon, kunyit, jinten, cengkeh, bawang putih, pala, dan campuran rempah-rempah. Kandungan aflatoksin tertinggi ditemukan pada cabai rawit (99,6 ppb), paprika (99 ppb), dan jinten (98 ppb), sedangkan kari dan pala tidak terdeteksi aflatoksin.

Menurut Pesavento *et al.* (2016) sebanyak 63 sampel cabai impor (13 sampel berupa bentuk utuh dan 50 sampel berupa bubuk) dan 52 sampel pala impor (12 sampel berupa bentuk utuh dan 40 sampel berupa bubuk) diperoleh dari "*Drogheria e Alimentari Spa*" (Scarperia e San Piero, Italia). Di dalam penelitian yang dilakukan oleh Pesavento *et al.* (2016), masing-masing dari 22 sampel cabai dan pala impor diberi perlakuan penguapan (*heat treatment*) (100 °C untuk beberapa menit) oleh *supplier* sebelum dikirim ke pabrik di Italia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebanyak 63% sampel pala yang diberi perlakuan penguapan (*heat treatment*) mengandung aflatoksin < 0,4 ppb, sedangkan 30% dan 7% sampel masing-masing mengandung aflatoksin 0,4 - < 3 dan 3 - < 5 ppb (Gambar 19a). Sebanyak 55% sampel pala tanpa perlakuan *heat treatment* mengandung aflatoksin 0,4 - < 3 ppb, sedangkan 18% sampel mengandung kisaran aflatoksin ≥ 5 dan < 4 ppb dan 9% sampel mengandung kisaran aflatoksin 3 - < 5 ppb (Gambar 19b). Rata-rata kandungan aflatoksin pada bubuk pala adalah 2,5; 1,1; dan 0,6 ppb, sedangkan kisarannya masing-masing yaitu 0 - 4,8; 0 - 2,1; dan 0 - 2,0 ppb. Pada sampel pala utuh tidak terdeteksi aflatoksin (Gambar 20).

Persentase sampel pala dengan perlakuan penguapan (heat treatment) yang terkontaminasi aflatoksin (%)



Persentase sampel pala tanpa perlakuan penguapan (heat treatment) yang terkontaminasi aflatoksin (%)



Gambar 19 Persentase sampel pala yang terkontaminasi aflatoksin (a) dengan perlakuan dan (b) tanpa perlakuan penguapan (heat treatment)

(Sumber: Pesavento *et al.* (2016) dimodifikasi oleh Nijma Nurfadila).



Gambar 20 Rata-rata kandungan aflatoksin pada bubuk pala dan pala utuh

(Sumber: Pesavento *et al.* 2016 dimodifikasi oleh Nijma Nurfadila).

Menurut Haruna *et al.* (2017) pala Afrika, cabai, lada Ethiopia, dan bawang putih yang diperoleh dari Pasar Pusat Funtua, Nigeria, masing-masing terkontaminasi aflatoksin total sebesar 17,2; 16,6; 5,7; dan 3,3 ppb. Adapun kasus aflatoksin berikutnya terjadi pada pala yang diperoleh dari Sao Paulo State, Brazil. Iha *et al.* (2021) menjelaskan bahwa sebanyak 29 (100%) sampel terkontaminasi aflatoksin total dan okratoksin A (OTA) dengan kisaran masing-masing 2,71 - 48,67 ppb dan 0,92 - 65,49 ppb. Sebanyak satu sampel mengandung OTA dan 11 sampel mengandung aflatoksin total melebihi batas maksimum yang diizinkan di Brazil yaitu OTA < 30 ppb dan aflatoksin total < 20 ppb. Delapan belas sampel

mengandung OTA dengan kisaran 1,1 - 5 ppb, sedangkan 4, 3, 2 dan 2 sampel masing-masing mengandung OTA dengan kisaran 5,1 - 10 ppb; 10,1 - 20 ppb; > 20 ppb; dan < 1 ppb (Tabel 24). Sebanyak 9, 8, 8, dan 4 sampel pala mengandung kisaran AFB1 masing-masing yaitu > 20 ppb; 1,1 - 5 ppb; 5,1 - 10 ppb, dan 10,1 - 20 ppb. Kisaran aflatoksin total > 20 ppb ditemukan pada 11 sampel pala (Tabel 25).

Tabel 24 Kandungan okratoksin A (OTA) pada berbagai jenis rempah di Sao Paolo State, Brazil

Jenis rempah	Jumlah sampel	Jumlah sampel dengan berbagai kisaran OTA (%)				
		< 1 ppb	1,1 - 5 ppb	5,1 - 10 ppb	10,1 - 20 ppb	> 20 ppb
Lada hitam	30	24	6	0	0	0
<i>Colorifico</i>	33	33	0	0	0	0
Jahe	25	20	3	2	0	0
Pala	29	2	18	4	3	2
Paprika	30	1	12	9	5	3
Kunyit	33	14	19	0	0	0

Sumber: Iha *et al.* (2021).

Tabel 25 Kandungan aflatoksin B₁ (AFB₁) dan aflatoksin total pada berbagai jenis rempah yang diperoleh di Sao Paolo State, Brazil

Jenis rempah	Jumlah sampel	Jumlah sampel dengan berbagai kisaran AFB ₁ (%)				
		< 1 ppb	1,1 - 5 ppb	5,1 - 10 ppb	10,1 - 20 ppb	> 20 ppb
Lada hitam	30	29	1	0	0	0
<i>Colorifico</i>	33	33	0	0	0	0
Jahe	25	22	2	1	0	0
Pala	29	0	8	8	4	9
Paprika	30	24	5	0	1	0
Kunyit	33	31	2	0	0	0

Jenis rempah	Jumlah sampel	Jumlah sampel dengan berbagai kisaran aflatoksin total (%)				
		< 1 ppb	1,1 - 5 ppb	5,1 - 10 ppb	10,1 - 20 ppb	> 20 ppb
Lada hitam	30	28	2	0	0	0
<i>Colorifico</i>	33	33	0	0	0	0
Jahe	25	19	5	1	0	0
Pala	29	0	8	6	4	11
Paprika	30	24	5	0	1	0
Kunyit	33	29	4	0	0	0

Sumber: Iha *et al.* (2021).





BAB IV
FAKTOR-FAKTOR YANG
BERPENGARUH TERHADAP
PERTUMBUHAN CENDAWAN DAN
KONTAMINASI MIKOTOKSIN, SERTA
EFEK CENDAWAN PADA BIJI PALA
SELAMA PENYIMPANAN



<https://finance.detik.com/berita-ekonomi-bisnis/d-4668728/13-ton-biji-pala-ri-mulai-diekspor-ke-belanda>

4.1 Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Pertumbuhan Cendawan pada Biji Pala Selama Penyimpanan

Pertumbuhan cendawan merusak pascapanen pada bahan pangan (termasuk biji pala) selama penyimpanan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

- **Bahan organik:** cendawan merusak pascapanen pada bahan pangan (termasuk biji pala) dapat tumbuh pada segala jenis bahan organik.
- **Kadar air:** kadar air merupakan faktor penting karena berpengaruh terhadap mutu bahan pangan. Kadar air bahan pangan selalu dalam kesetimbangan dengan kelembapan relatif ruangan penyimpanan. Kadar air biji pala dalam kesetimbangan dengan kelembapan relatif 65 - 97% dan cendawan yang dapat tumbuh dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 26 Kadar air biji pala dalam kesetimbangan dengan kelembapan relatif 65 - 97% dan cendawan yang dapat tumbuh pada suhu 25 ± 2 °C

Kelembapan relatif (%)	Spesies cendawan yang tumbuh pada biji pala				
	Kadar air (%)				
	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 18
70 - 75	<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. tamarii</i> , <i>A. wentii</i> , <i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , dan <i>Syncephalastrum racemosum</i>	<i>A. niger</i> , <i>A. tamarii</i> , <i>A. wentii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , dan <i>A. chevalieri</i>	-	-	-
75 - 80	<i>A. niger</i> , <i>A. wentii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , <i>A. chevalieri</i> , <i>Fusarium verticillioides</i> , <i>P. citrinum</i>	<i>A. niger</i> , <i>A. wentii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , <i>A. chevalieri</i> , dan <i>P. citrinum</i>	-	-	-
80 - 85	<i>A. niger</i> , <i>A. wentii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , <i>A. chevalieri</i> , dan <i>P. citrinum</i>	<i>A. niger</i> , <i>A. wentii</i> , <i>A. tamarii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , dan <i>A. chevalieri</i>	-	-	-
85 - 90	-	<i>A. candidus</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. wentii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , <i>A. chevalieri</i> , dan <i>P. citrinum</i>	<i>A. candidus</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. wentii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , <i>A. chevalieri</i> , dan <i>P. citrinum</i>	-	-
90 - 97	<i>A. niger</i> dan <i>A. chevalieri</i>	<i>A. niger</i> dan <i>A. chevalieri</i>	<i>A. tamarii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , <i>A. chevalieri</i> , <i>Fusarium semitectum</i> , <i>P. citrinum</i> , dan <i>Penicillium</i> spp.	<i>A. tamarii</i> , <i>A. wentii</i> , <i>C. cladosporioides</i> , <i>A. chevalieri</i> , <i>Fusarium semitectum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. islandicum</i> , dan <i>Penicillium</i> spp.	<i>A. niger</i> , <i>A. wentii</i> , <i>A. chevalieri</i> , <i>P. citrinum</i> , dan <i>P. islandicum</i>

Keterangan: - = belum ada data.

Sumber: Nurtjahja et al. (2017).

- **Aktivitas air** (*water activity, a_w*): penentuan aktivitas air pada pala mencerminkan air bebas yang terdapat pada pala di dalam ruangan penyimpanan atau suatu wadah. Aktivitas air minimum untuk pertumbuhan beberapa spesies cendawan pascapanen dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 27 Aktivitas air minimum untuk pertumbuhan beberapa spesies cendawan pascapanen

Cendawan	Aktivitas air minimum untuk pertumbuhan
<i>Aspergillus candidus</i>	0,75 - 0,78
<i>A. flavus</i>	0,78 - 0,80
<i>A. ochraceus</i>	0,76 - 0,83
<i>A. penicillioides</i>	0,73 - 0,77
<i>A. wentii</i>	0,73 - 0,75
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	0,86 - 0,88
<i>A. chevalieri</i>	0,71 - 0,73
<i>Fusarium graminearum</i>	0,89
<i>Penicillium citrinum</i>	0,80 - 0,82
<i>Wallemia sebi</i>	0,68 - 0,75

Sumber: Sauer *et al.* (1992).

- **pH:** pada umumnya cendawan tumbuh pada kisaran pH 3 - 8 (Pitt & Hocking 2009).
- **Suhu:** cendawan perusak bahan pangan di negara beriklim tropis tumbuh pada suhu 20 - 35 °C
- **Biji retak, rusak atau kotor:** biji retak dan rusak memberikan peluang terhadap serangan cendawan, sedangkan kotoran (biji sekam dan biji gulma) menyerap dan menahan kelembapan, sehingga biji lebih rentan terhadap serangan cendawan.
- **Oksigen:** sebagian besar cendawan memerlukan oksigen untuk pertumbuhannya (aerob obligat). Walaupun demikian, banyak cendawan dapat tumbuh pada konsentrasi oksigen < 1%.
- **Lama penyimpanan:** pada umumnya bahan pangan kering, termasuk pala, dapat disimpan dengan periode yang lama jika kondisi penyimpanan sejuk dan kering. Walaupun demikian, peluang cendawan untuk merusak bahan pangan lebih besar terdapat pada penyimpanan dalam jangka waktu lama dibandingkan dengan jangka waktu pendek. Hal ini disebabkan oleh peningkatan suhu dan kelembapan di dalam penyimpanan sebagai aktivitas metabolisme bahan pangan, serangan, dan cendawan.
- **Serangga:** serangan serangga pada bahan pangan dapat menyebabkan kerusakan pada biji pala, sehingga cendawan dapat menyerang dengan lebih mudah. Selain itu, terdapat serangga yang bertelur dan larvanya hidup di dalam biji. Keberadaan telur dan larva serangga di dalam biji menyebabkan

peningkatan kadar air biji akibat aktivitas respirasinya, sehingga mempercepat pertumbuhan cendawan. Contoh serangga hama gudang yang menyerang biji pala adalah *Ahasverus advena*, *Araecerus fasciculatus*, *Carpophilus dimidiatus*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum*, dan lain-lain.

4.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Produksi Mikotoksin pada Pala

- **Kadar air:** kadar air bahan pangan (termasuk pala) berpengaruh terhadap perkembangan cendawan selama penyimpanan, yang meningkatkan kemungkinan terjadinya produksi mikotoksin. Kisaran kadar air yang tepat bagi daging buah pala adalah 12 - 14% (Taarae *et al.* 2020), sedangkan batas maksimum kadar air maksimum biji pala 10% (BSN 2015).
- **Serangan serangga dan nematoda:** serangga dapat menyerang biji pala pada saat prapanen dan pascapanen (terutama selama penyimpanan). Serangan serangga dapat terjadi pada buah pala yang jatuh di tanah. *Aspergillus flavus* merupakan cendawan penghuni tanah, sehingga adanya serangan serangga pada buah pala yang jatuh di tanah dapat memudahkan *A. flavus* untuk berpenetrasi. Jika penanganan pascapanen tidak layak, pada kadar air tertentu cendawan dapat memproduksi mikotoksin.
- **Isolat atau galur cendawan:** *A. flavus*, *A. parasiticus*, dan *A. nomius* dapat menyerang bahan pangan, baik sebelum maupun setelah panen dan selama penyimpanan. Jika kondisi kondusif, ketiga cendawan tersebut dapat memproduksi aflatoksin (Basappa 2009). Menurut Nurtjahja *et al.* (2019) ada 4 dari 9 isolat *A. flavus* toksigen dari biji pala yang diperoleh di pasar tradisional Medan, Provinsi Sumatera Utara. Menurut Ehrlich (2014) tidak semua galur *A. flavus* bersifat toksigen dan setiap galur toksigen menghasilkan kandungan aflatoksin yang berbeda.
- **Jenis substrat:** pada umumnya bahan pangan atau pakan yang mengandung karbohidrat atau lemak tinggi mudah terkontaminasi oleh aflatoksin. Menurut Horn *et al.* (1996); Vaamonde *et al.* (2003); dan Perrone *et al.* (2014), adanya *A. flavus* toksigen tidak menunjukkan kontaminasi aflatoksin. Produksi aflatoksin dari galur *A. flavus* toksigen ditentukan oleh genetik, substrat, asal geografis, perubahan iklim, dan teknik budidaya tanaman.
- **Kelembapan relatif ruangan penyimpanan dan kadar air pala:** kelembapan relatif di dalam ruangan penyimpanan bahan pangan atau pakan hendaknya tidak melebihi 70%. Nurtjahja *et al.* (2017) menjelaskan bahwa pala yang disimpan pada ruangan penyimpanan dengan kelembapan relatif 90 - 97% lebih mudah terserang oleh cendawan yang beragam (terutama cendawan penghasil aflatoksin). Menurut BSN (2015) kadar air maksimum biji dan fuli pala adalah 10%.
- **Kerusakan biji dan fuli pala:** biji pala rusak (retak, patah, pecah atau berlubang) lebih mudah terserang cendawan bila dibandingkan dengan biji pala utuh. Biji pala yang rusak memicu adanya kontaminasi mikotoksin. Fuli pala yang berasal dari buah pala yang jatuh di tanah dengan metode pengeringan yang tidak sesuai akan lebih mudah terkontaminasi aflatoksin, meskipun kasus aflatoksin pada fuli masih relatif rendah. Rendahnya kontaminasi aflatoksin

pada fuli pala disebabkan oleh adanya kandungan minyak atsiri yang bermanfaat sebagai bioinsektisida dan antifungi.

- **Interaksi antara cendawan penghasil toksin dengan cendawan lain:** *A. flavus* seringkali berasosiasi dengan sejumlah spesies cendawan lain pada bahan pangan (termasuk biji pala) selama penyimpanan. Keberadaan cendawan lain memungkinkan terjadinya kompetisi antar cendawan dalam memperoleh nutrisi, sehingga produksi aflatoksin terhambat. Menurut Dharmaputra *et al.* (2003) di antara tiga isolat cendawan (*A. flavus* non-toksigen, *A. niger*, dan *Trichoderma harzianum*) yang diuji sifat antagonistiknya terhadap *A. flavus* toksigen, maka *A. niger* menjadi isolat cendawan yang paling berpotensi dalam menghambat produksi AFB1 oleh *A. flavus* toksigen.
- **Konsentrasi oksigen:** penyimpanan biji dan fuli pala pada kondisi kedap udara atau berkonsentrasi oksigen rendah dapat menghambat pertumbuhan cendawan, yang berarti juga menghambat produksi mikotoksin. Menurut Dharmaputra *et al.* (2022) sebagian besar eksportir menyimpan biji pala di dalam karung goni dan karung polipropilena. BSN (2015) menjelaskan bahwa syarat kemasan fuli selama penyimpanan adalah kotak yang bagian dalamnya dilapisi dengan plastik bersih dan tidak mencemari produk. BSN (2015) juga menjelaskan bahwa biji pala harus dikemas di dalam karung kemasan yang baik dan bersih atau kemasan lain yang sesuai dan tidak mencemari produk. Dharmaputra *et al.* (2000) menjelaskan bahwa jagung yang disimpan di dalam kantong polietilena dengan konsentrasi oksigen $O_2 < 2\%$ menunjukkan produksi aflatoksin yang lebih rendah dibandingkan dengan produksi aflatoksin dari jagung yang disimpan pada perlakuan kontrol (konsentrasi O_2 pada awal penyimpanan $\pm 21\%$).
- **Suhu ruangan penyimpanan:** suhu sangat berpengaruh terhadap produksi mikotoksin. Pratiwi *et al.* (2015) menjelaskan bahwa kisaran suhu 23 - 31 °C merupakan suhu optimum pertumbuhan *A. flavus* yang menghasilkan aflatoksin dengan masa inkubasi selama 7 hari. Menurut Nurtjahja *et al.* (2019), 4 dari 9 isolat *A. flavus* yang diisolasi dari biji pala yang diperoleh dari pasar tradisional di Medan, Provinsi Sumatera Utara mampu menghasilkan aflatoksin dengan suhu inkubasi 29 ± 2 °C.

4.3 Pengaruh Serangan Cendawan terhadap Pala

- **Penurunan daya kecambah dan perubahan warna biji:** cendawan prapanen seperti *Sclerotium rolfsii* menyebabkan penyakit busuk pada benih pala (Sarjoko *et al.* 2018), sehingga menyebabkan penurunan daya kecambah benih pala dan perubahan warna benih. Cendawan pascapanen pada biji pala selama penyimpanan dapat juga menyebabkan perubahan warna biji.
- **Penurunan kandungan nutrisi:** cendawan membutuhkan nutrisi untuk pertumbuhannya. Dengan demikian, keberadaan cendawan di dalam biji atau benih pala akan mengakibatkan menurunnya kandungan nutrisi biji atau benih pala. Semakin banyak spesies cendawan yang menyerang biji pala selama penyimpanan, maka semakin rendah kandungan nutrisinya. Serangan cendawan pada fuli dan daging buah pala selama penyimpanan dapat menyebabkan penurunan kandungan minyak atsiri.

- **Peningkatan suhu:** peningkatan suhu dapat terjadi selama penyimpanan pada biji-bijian yang memiliki kadar air tinggi. Selain cendawan, bakteri juga berperan terhadap peningkatan suhu.
- **Produksi mikotoksin:** cendawan yang tumbuh pada biji-bijian dapat memproduksi mikotoksin. Beberapa mikotoksin penting, cendawan penghasilnya, penyakit yang diakibatkannya, dan bahan pangan utama yang dapat terkontaminasi disajikan pada Tabel 28.

Tabel 28 Beberapa mikotoksin penting, cendawan penghasil, penyakit yang diakibatkannya, dan bahan pangan utama yang dapat terkontaminasi

Mikotoksin	Cendawan penghasil	Penyakit yang diakibatkannya	Bahan pangan utama yang dapat terkontaminasi
Aflatoksin B ₁ , B ₂	<i>Aspergillus flavus</i>	Kanker hati	Kacang tanah, jagung, pala, kapulaga, cengkeh, lada hitam, lada putih, ketumbar, jinten, dan kakao
Aflatoksin B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂	<i>A. parasiticus</i>	Kanker hati	Kacang tanah, jagung
Fumonisin	<i>Fusarium verticillioides</i>	Kanker tenggorokan, <i>leuconcephalomalacia</i> pada kuda	Jagung, sorgum
Okratoksin	<i>A. carbonarius</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>Penicillium verrucosum</i>	Kerusakan ginjal	Jagung, kopi, kakao, dan pala

Sumber: Betina (1984); Scott (1994); Nurtjahja (2019); Nurfadila *et al.* (2021); Dharmaputra *et al.* (2010).

Upaya pencegahan dan pengendalian serangan serangga dan cendawan, serta kontaminasi aflatoksin pada pala di Indonesia terdiri dari: 1) penanganan prapanen yang tepat; 2) metode pemanenan yang sesuai; dan 3) penanganan pascapanen yang sesuai.



<https://www.sciencephoto.com/media/218352/view/dried-nutmeg>





BAB V
PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN
SERANGAN SERANGGA DAN
CENDAWAN, SERTA KONTAMINASI
AFLATOKSIN PADA PALA
DI INDONESIA

5.1 Penanganan Prapanen Pala yang Sesuai

Tahap pencegahan serangan cendawan dan kontaminasi aflatoksin pada pala diawali dengan penanganan prapanen yang sesuai (*Good Agricultural Handling*) agar produktivitas tanaman meningkat. Berikut ini adalah beberapa penanganan prapanen yang layak untuk dilakukan oleh petani pala:

- Kesesuaian lahan dan iklim

Penanaman pala di lokasi yang tidak sesuai merupakan salah satu penyebab rendahnya produktivitas pala. Ketidakesesuaian tersebut berdampak terhadap biaya untuk mengelola tanaman pala, sehingga dibutuhkan biaya tinggi, tidak efisien, dan kalah bersaing. Menurut Emmyzar *et al.* (1989) tanaman pala tumbuh dengan baik pada ketinggian 5 - 700 mdpl dengan kisaran curah hujan 1.500 - 3.500 mm/tahun, hari hujan 80 - 180 hari, suhu 20 - 28 °C, kelembapan 55 - 80%, kondisi drainase baik, pH agak asam hingga netral, tekstur tanah liat, liat berpasir, dan lempung berpasir. Rosman (2020) telah menyempurnakan kriteria lahan dan iklim yang tepat untuk tanaman pala (Tabel 29).

Tabel 29 Kesesuaian lahan dan iklim tanaman pala berbasis ekologi di Indonesia

Faktor lingkungan	Amat sesuai	Sesuai	Kurang sesuai	Tidak sesuai
Ketinggian lahan (mdpl)	5 - 500	1 - 5 dan 500 - 700	700 - 1.200 dan < 1	> 1.200
Tanah:				
1. Drainase	Baik	Agak baik	Agak terhambat	Terhambat
2. Tekstur	Lempung berpasir	Lempung berhumus, liat berpasir, berpasir lainnya	Berpasir lainnya	Berpasir
3. pH	6 - 7	5 - 6	7 - 8 dan 4,5 - 5	> 8 dan < 4,5
4. Kedalaman air tanah (cm)	> 200	100 - 200	50 - 100	< 50
5. Kapasitas tukar kation (me/100 g)	> 16	5 - 16	< 5	< 5
6. Kelas salinitas tanah*	< 1	1 - 2	2 - 4	> 4
7. Kedalaman sulfidik (cm)	> 100	60 - 100	50 - 60	< 50
8. N-total (%)	0,51 - 0,75	0,21 - 0,50	0,10 - 0,20	< 0,10
9. P ₂ O ₅ (ppm)	> 16	10 - 15	< 10	< 10
10. K ₂ O (me/100 g)	> 1	0,3 - 1	< 0,3	< 0,3
11. Ca (me/100 g)	6 - 10	2 - 5 dan 11- 20	< 2 dan > 20	< 2 dan > 20
12. Mg (me/100 g)	1,1 - 2	0,4 - 1	> 2,1	> 8
13. Kejenuhan basa (%)	36 - 50	20 - 35	< 20 dan > 36	< 70

Iklim :				
1. Curah hujan (mm/tahun)	2.000 - 3.000	1.500 - 2.000 dan 3.000 - 5.000	> 3.000 dan 850 - 1.500	> 5.000 dan < 850
2. Hari hujan	80 - 180	180 - 220	< 80 dan > 180	< 80 dan > 220
3. Bulan basah (> 100 mm/bulan)	7 - 9	5 - 6	3 - 4	< 3
4. Bulan kering (< 100 mm/bulan)	2 - 3	3 - 4	< 2	< 2
5. Suhu (°C)	24 - 26	23 - 24	21 - 23 dan 25 - 27	< 21 dan > 27
6. Kelembapan (%)	60 - 75	76 - 80 dan 50 - 60	< 50 dan > 80	< 50 dan > 80

Keterangan: * Kelas salinitas tanah (ditentukan berdasarkan metode daya hantar listrik untuk mengukur jumlah total garam terlarut di dalam tanah yang dinyatakan sebagai konduktivitas tanah dengan satuan mmhos/cm).

Sumber: Emmyzar *et al.* (1989) dimodifikasi Rosman (2020).

- Pemilihan varietas benih pala

Bermawie *et al.* (2015) menjelaskan bahwa perkembangan pala semakin meluas, sehingga permintaan benih pala semakin meningkat. Oleh karena itu, dibutuhkan benih varietas unggul agar produktivitas pala meningkat. Menurut Suryadi (2017) beberapa varietas benih pala unggul adalah Bagea Yan Maliaro 221, Banda 11, Botol 137, Kupal 139, Patani 25, Patani 32, dan Patani 33 dengan produksi kumulatif tertinggi diperoleh dari Banda 11 dan Patani 33. Berdasarkan Rosman (2020) ada empat varietas unggul pala yang merupakan hasil kerja sama Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balittri) dan Pemerintah Provinsi Maluku Utara yaitu Banda, Ternate 1, Tidore 1, dan Tobelo 1. Keempat varietas benih pala ini dikembangkan dan dilepas oleh Kementerian Pertanian dengan surat keputusan: SK Menteri Pertanian No. 4059/Kpts/SR.120/12/2009; SK Menteri Pertanian No. 4061/Kpts/SR.120/12/2009; SK Menteri Pertanian No. 4062/Kpts/SR.120/12/2009; dan SK Menteri Pertanian No. 4063/Kpts/SR.120/12/2009. Jika dibandingkan, dari keempat varietas benih pala tersebut, Tobelo relatif lebih resisten terhadap hama penggerek dan penyakit busuk buah. Menurut Ditjenbun (2011) persyaratan benih pala unggul antara lain yaitu: 1) benih berasal dari buah yang dipetik matang; 2) biji segar berwarna coklat tua mengkilap; 3) bobot biji pala minimal 50 g/biji; dan 4) bebas hama dan penyakit (Ditjenbun 2011).

- Persiapan lahan

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam persiapan lahan untuk penanaman pala antara lain: 1) pohon pelindung sebaiknya sudah tumbuh baik dengan jarak tanam 20 x 20 m; 2) persiapan lubang tanam untuk tanaman pala dengan jarak tanam 8 x 8 atau 7 x 7 m; 3) pengisian lubang tanam dengan tanah bercampur pupuk kandang yang sudah matang (Ditjenbun 2011).

- Pembuatan lubang tanam

Lubang tanam dibuat 60 x 60 x 60 cm dengan tanah lapisan atas dan bawah dipisahkan. Lubang tanam dibiarkan terbuka selama 2 x 4 minggu, kemudian tanah dikembalikan seperti semula (lapisan bawah dikembalikan ke bawah dan lapisan atas yang telah dicampur pupuk kandang dikembalikan ke atas). Penanaman dapat dilakukan dua atau tiga minggu kemudian (Ditjenbun 2011).

- Penanaman dan penyiraman

Benih pala yang akan ditanam harus sudah berumur 1,5 - 2,0 tahun di dalam *polybag*. Benih harus baik dan menunjukkan ciri-ciri pohon betina, bentuk pohon *pyramidal*, setiap tangga cabang terdiri dari 2 - 4 cabang yang saling berhadapan, dan tinggi tanaman 75 - 100 cm. Pada bagian tengah dari kumpulan sepuluh pohon betina ditanami pohon jantan. Waktu tanam sebaiknya dilakukan pada awal musim hujan. Cara penanaman yaitu dengan pembuatan lubang tanam kecil di tengah lubang tanam sebesar *polybag* benih. *Polybag* disayat dari bagian atas ke bawah dengan hati-hati supaya akar dan tanah dari dalam *polybag* tidak rusak. Selanjutnya, penanaman dilakukan sampai leher batang terkubur di dalam tanah, kemudian tanah dirapikan kembali (Ditjenbun 2011). Rosman (2020) menjelaskan bahwa dalam meningkatkan produktivitas lahan dapat ditanam tanaman lain dalam bentuk pola tanam. Pola tanam diperlukan, ketika tanaman pala masih muda hingga intensitas cahaya yang masuk 80% ke tanah. Menurut Rosman *et al.* (2016) pola tanam pala dengan intensitas cahaya 80% dapat ditanami juga dengan tanaman nilam, jagung dan kacang hijau. Rosman *et al.* (2016) juga menyatakan bahwa penanaman nilam di antara pala memberikan nilai tambah yang cukup besar dari hasil nilam, yaitu Rp7.159.900 per hektar. Selain itu, tanaman pala dapat juga ditanam di dekat tanaman serai wangi yang memiliki perakaran dangkal. Pola tanam pala dengan tanaman tahunan berupa pohon kelapa telah diterapkan di Cicurug (Rosman *et al.* 2016).

Penyiraman dilakukan saat kondisi iklim tidak mendukung pertumbuhan tanaman, terutama saat musim kemarau dan tanaman masih muda. Penyiraman pada tanaman muda, sebaiknya dilakukan bila tidak terjadi hujan selama 4 - 5 hari (Rosman 2020).

- Penyulaman dan penyiangan

Penyulaman dilakukan terhadap tanaman pala yang mati dan pertumbuhannya terhambat. Penyiangan dilakukan terhadap rumput dan tanaman pengganggu lainnya yang tumbuh di sekitar tanaman pala berumur 2 - 3 bulan (Ditjenbun 2011).

- Pemangkasan dan pemupukan

Pemangkasan dilakukan saat tanaman masih muda untuk mengurangi kelembapan di sekitar lokasi tanaman pala dan mencegah penyebaran hama dan penyakit. Pemupukan merupakan upaya untuk meningkatkan produktivitas tanaman pala. Namun, pemberian pupuk yang berlebihan dinilai tidak efisien dan memerlukan biaya tinggi. Pemupukan lengkap diberikan sejak umur 1 tahun. Dosis pemupukan yang dianjurkan untuk tanaman pala ditunjukkan pada Tabel 30.

Tabel 30 Dosis pemupukan tanaman pala

Umur tanaman (bulan)	Dosis pupuk (kg/ha/tahun)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	20	20	30
2 - 3	40	40	50
4 - 6	80	80	100
7 - 15	100	100	150
> 15	120	120	150

Sumber: Ditjenbun (2011)

- Pengendalian hama dan penyakit prapanen pada pala

Hama penggerek batang dapat mematikan pohon pala yang sudah berumur ratusan tahun. Pengendaliannya dapat dilakukan dengan cara menutup lubang gerakan kayu atau membuat lekukan pada lubang gerakan dan membunuh hamanya (Ditjenbun 2011). Samarang (2019) menjelaskan bahwa menginjeksi racun juga menjadi alternatif untuk membasmi hama penggerek batang pada tanaman pala, sehingga racun terserap secara sistemik ke dalam batang. Pengendalian rayap dilakukan dengan penyemprotan larutan insektisida dua kali dalam setahun. Penyemprotan ditujukan pada tanah dan di sekitar batang untuk mencegah naiknya rayap ke bagian batang sebelah atas. Jika hamanya berupa kumbang (*Araecerus fasciculatus*), dapat dikendalikan dengan cara memetik buah pala yang terserang, kemudian buah atau biji pala segera dikeringkan.

Pengendalian cendawan penyebab penyakit busuk kering dapat dilakukan dengan mengurangi kelembapan berupa pembabatan gulma dan sanitasi kebun, membakar sisa-sisa tanaman yang sakit, dan penyemprotan fungisida *Dithane M-45* dengan konsentrasi 0,2%. Cendawan penyebab penyakit busuk basah dapat dikendalikan dengan cara sanitasi kebun, pemangkasan buah yang terserang parah, dan penyemprotan tanaman dengan fungisida (*Dithane M-45* konsentrasi 0,2%) selama musim hujan.

5.2 Pemanenan

Mengacu pada Ditjenbun (2011), tanaman pala mulai berbuah pada umur 5 - 7 tahun dan dapat berproduksi selama 200 tahun dengan dua kali pemanenan dalam setahun. Buah pala dipetik pada umur 9 - 10 bulan sejak dari pembungaan. Tanda buah pala sudah masak adalah kulit buah berwarna kusam merah kuning tua dan tidak mengkilap seperti beludru, fuli berwarna merah tua, cangkang biji mengkilap dan berwarna cokelat tua (Gambar 21a). Metode pemanenan buah pala yang sebaiknya dilakukan yaitu dengan menggunakan galah untuk memetik buah pala yang sudah masak di pohon dan hasil buah pala yang telah terpetik tersebut ditampung oleh *paranet* yang dipasang di bawah pohon pala yang dipanen (Gambar 21b). Hasil penelitian Dharmaputra *et al.* (2018a) menunjukkan bahwa di dalam masa penyimpanan biji pala selama 4 bulan terlihat persentase biji yang terserang cendawan dari buah pala yang jatuh langsung di tanah adalah lebih

tinggi dibandingkan dengan persentase biji pala yang dipetik dari pohon (Tabel 31). Kriteria biji pala rusak dan utuh ditunjukkan pada Gambar 22.



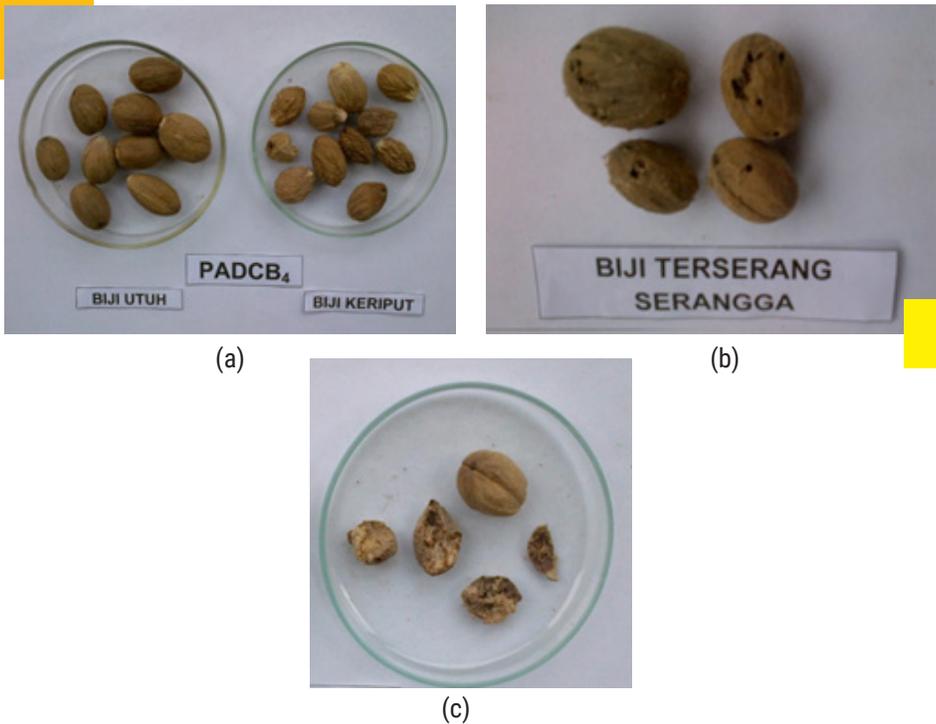
Gambar 21 (a) Buah pala masak dengan fuli berwarna merah tua; (b) Pemanenan buah pala masak menggunakan galah; dan (c) *Paranet* yang dipasang untuk menampung buah pala yang jatuh dari pohon
(Sumber foto: Nijma Nurfadila).

Tabel 31 Persentase biji rusak akibat serangan serangga pada biji pala dengan berbagai perlakuan selama penyimpanan

Perlakuan	Lama penyimpanan (bulan)		
	0	2	4
PADC	0	0	5,6 ± 3,8
PATC	0	0	19,6 ± 17,5
PJDC	0	0	1,7 ± 2,9
PJTC	0	2,3 ± 1,1	10,5 ± 8,6
TADC	13,5 ± 2,4	15,7 ± 0,6	24,0 ± 0,0
TATC	15,2 ± 0,0	16,6 ± 0,2	20,2 ± 2,2
TJDC	15,1 ± 1,1	28,5 ± 10,2	10,9 ± 6,4
TJTC	12,8 ± 1,6	18,6 ± 0,8	39,5 ± 16,2

Keterangan: P = petik dari pohon; T = jatuh di atas tanah; A = pengeringan dengan metode pengasapan; J= pengeringan dengan bantuan sinar matahari; DC = biji pala dengan cangkang; TC = biji pala tanpa cangkang

Sumber: Dharmaputra *et al.* (2018).

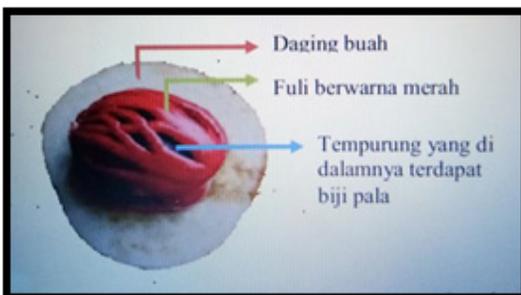


Gambar 22 (a) Biji pala yang utuh dibandingkan dengan biji pala yang keriput; (b) Biji pala yang terserang serangga; dan (c) Biji patah dan terserang cendawan (Sumber foto: Nijma Nurfadila).

5.3 Penanganan Pascapanen Pala yang Tepat

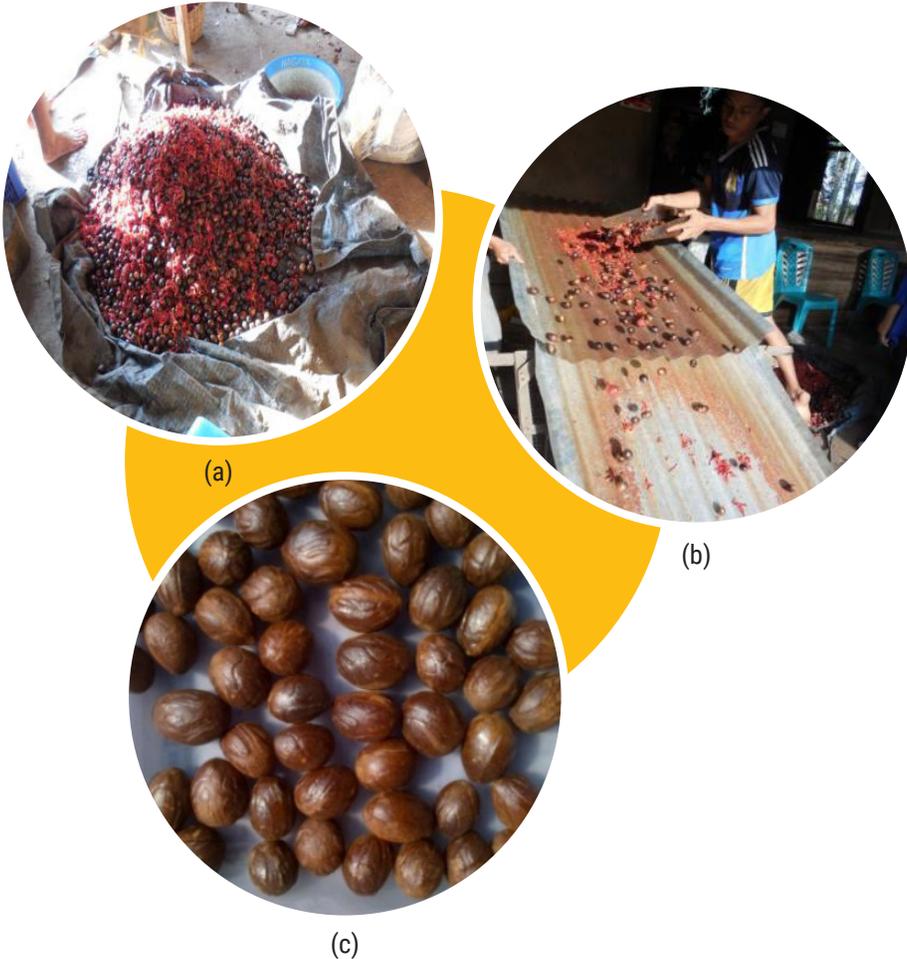
- Pemisahan buah (daging), fuli dan biji

Buah pala yang masak dikumpulkan, kemudian dibelah dan dipisahkan antara daging buah, biji dan fuli. Ketiga bagian pala tersebut disimpan di dalam wadah yang berbeda dengan kondisi bersih dan kering. Fuli dilepaskan secara hati-hati dari ujung ke arah pangkal agar diperoleh fuli utuh dan bermutu tinggi (Kementan 2012). Buah pala terdiri dari beberapa bagian, yaitu daging buah (83,3%), fuli (3,22%), tempurung biji (3,94%) dan daging biji (9,54%) seperti yang disajikan pada Gambar 23 (Kementan 2012).



Gambar 23 Bagian-bagian yang terdapat pada buah pala (Sumber foto: Kementan 2012).

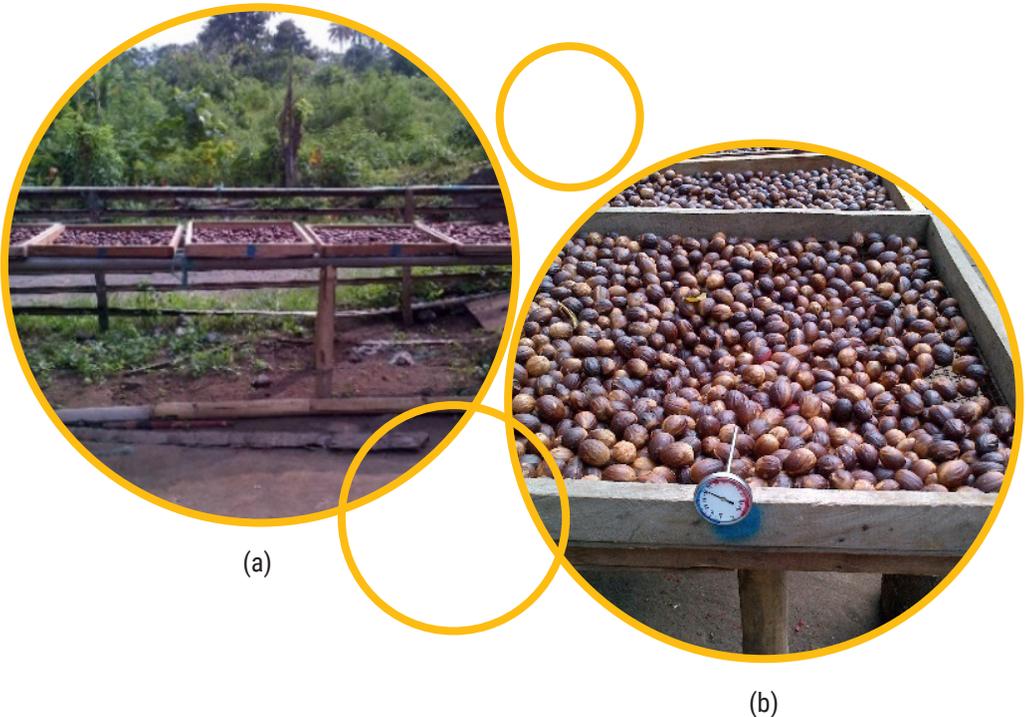
Berdasarkan Dharmaputra *et al.* (2015) sebanyak 57% dari 8 pedagang pengumpul memperoleh biji pala bercangkang dan tanpa cangkang dari petani berupa biji basah, semi kering, dan kering. Sebanyak 12,5% berupa biji pala semi kering dan 87,5% biji pala kering. Alasan petani lebih banyak menjual biji pala kering dibandingkan dengan menjual biji pala semi kering adalah lebih mahalnya harga jual biji pala kering. Dari 4 eksportir yang menjadi responden, 75% memperoleh biji pala tanpa cangkang dan 25% mendapatkan campuran biji pala bercangkang dan tanpa cangkang dari pedagang pengumpul (Dharmaputra *et al.* 2015). Biji pala bercangkang yang diselimuti fuli, pemisahan fuli pala, dan biji pala bercangkang yang berasal dari Provinsi Sulawesi Utara dapat dilihat pada Gambar 24.



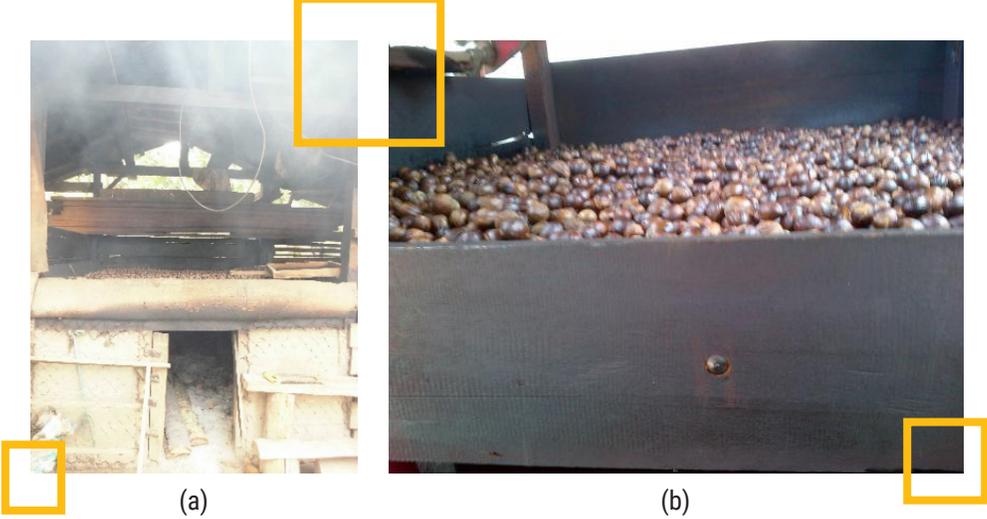
Gambar 24 (a) Biji pala bercangkang yang diselimuti fuli; (b) Pemisahan fuli dari biji pala di tingkat pedagang pengumpul; dan (c) Biji pala bercangkang yang berasal dari Provinsi Sulawesi Utara (Sumber foto: Nijma Nurfadila).

- Pengeringan biji pala bercangkang

Biji pala bercangkang dapat dikeringkan dengan tiga metode, yaitu pengeringan di atas para-para atau rak penjemuran dengan bantuan sinar matahari (Gambar 25), metode pengasapan (Gambar 26), dan metode oven (Gambar 27). Pengeringan biji pala beralaskan terpal bekas di atas tanah tidak dianjurkan, karena dapat memudahkan terjadinya serangan cendawan dan kontaminasi mikotoksin, baik yang berasal dari kotoran terpal bekas, kotoran hewan ternak, tanah maupun debu. Pedagang pengumpul pada umumnya mengetahui kadar air biji pala yang aman untuk disimpan yaitu $\pm 10\%$. Kadar air diukur setelah dikupas cangkangnya menggunakan *moisture meter*. Secara tradisional, kadar air dapat pula diketahui dengan cara menggoyangkan biji pala bercangkang. Jika terdengar bunyi nyaring maka kadar air pala sudah sesuai. Cara tradisional itu digunakan turun temurun dan memiliki alasan yang logis. Biji pala bercangkang yang telah dikeringkan dan memiliki kadar air yang aman berarti sudah terlepas dari lekatan cangkang. Dengan demikian, bunyi nyaring akan terdengar ketika biji pala bercangkang digoyangkan karena biji pala bergerak secara bebas di dalam cangkang.



Gambar 25 Pengeringan biji pala bercangkang di atas para-para atau rak penjemuran dengan bantuan sinar matahari dan dilengkapi dengan termometer (Sumber foto: Nijma Nurfadila).



Gambar 26 Pengeringan biji pala bercangkang dengan metode pengasapan
(Sumber foto: Nijma Nurfadila).



Gambar 27 Pengeringan biji pala bercangkang dengan metode oven
(Sumber foto: Nijma Nurfadila).



<https://ternate.tribunnews.com/2022/12/18/harga-rempah-ternate-pala-kering-terus-turun>

Menurut Dharmaputra *et al.* (2018) metode perlakuan pascapanen **biji pala bercangkang** dari buah pala yang dipetik dari pohon dan dikeringkan dengan metode kombinasi penjemuran (1 hari) dan pengasapan (13 hari) dengan lama penyimpanan 4 bulan memiliki populasi spesies cendawan yaitu *A. flavus* (2 cfu/g), *A. niger* (1 cfu/g), *A. tamarii* (1 cfu/g), *Cladosporium cladosporioides* (64 cfu/g), *Penicillium citrinum* (3 cfu/g), dan *P. thomii* (16 cfu/g). Sedangkan perlakuan pascapanen yang sama bagi **biji pala tanpa cangkang** dari buah pala yang juga dipetik dari pohon memiliki populasi spesies cendawan yaitu *A. niger* (2 cfu/g), *A. penicillioides* (251 cfu/g), *A. tamarii* (1 cfu/g), *C. cladosporioides* (17 cfu/g), *A. chevalieri* (2 cfu/g), dan *Syncephalastrum racemosum* (1 cfu/g).

Kisaran kandungan aflatoksin total pada biji pala dengan cangkang dan tanpa cangkang yang diperoleh dari buah pala yang jatuh di atas tanah lalu dikeringkan dengan bantuan sinar matahari adalah 20,7 - 79,5 ppb. Kisaran aflatoksin total ini lebih tinggi daripada batas maksimum toleransi pada pala yang ditetapkan oleh Uni Eropa, yaitu 10 ppb. Dari segi efisiensi waktu, pengeringan dengan cara penjemuran lebih singkat durasinya dibandingkan dengan cara pengasapan. Namun, penjemuran dengan bantuan sinar matahari tidak disarankan apabila cuaca cukup terik, karena akan menurunkan mutu minyak atsiri biji pala. Oleh karena itu, pengasapan cukup banyak dilakukan oleh pedagang pengumpul, karena suhu dapat dikendalikan.

Dharmaputra *et al.* (2022) menjelaskan bahwa kisaran kadar air pada biji pala yang dikeringkan, baik dengan metode pengasapan maupun *oven* lalu diberi perlakuan fumigasi atau tanpa perlakuan fumigasi adalah 7,1 - 7,7%. Kisaran ini relatif lebih rendah daripada batas maksimum kadar air pala yang ditentukan oleh SNI, yaitu 10%. Khamir merupakan cendawan dengan populasi tertinggi yang ditemukan pada biji pala dengan metode pengeringan melalui pengasapan maupun *oven*, lalu diberi perlakuan fumigasi atau tanpa perlakuan fumigasi. Populasi setiap spesies cendawan selain khamir pada semua perlakuan adalah relatif rendah (< 10 cfu/g berat basah). Hal ini menunjukkan bahwa metode pengasapan dan *oven* layak digunakan oleh petani maupun pedagang pengumpul untuk menjamin mutu biji pala yang baik. Menurut Sembiring *et al.* (2020) ada tiga tipe pengering pala yang layak digunakan selama proses pengeringan pala, yaitu: a) rak pengering tipe rumah dengan sumber panas dari sinar matahari yang dikombinasikan dengan api kompor minyak tanah; b) rak penjemuran dengan ketinggian 1 m di atas permukaan tanah; dan c) rak penjemuran terbuat dari kawat berpori yang diletakkan 5 cm di atas permukaan tanah. Kisaran kadar air biji pala bercangkang adalah 9,18 - 9,83% (Tabel 32). Kadar air biji pala tanpa cangkang yang dikeringkan menggunakan rak pengering tipe rumah dengan rak setinggi 1 m tidaklah berbeda nyata dengan kadar air biji pala tanpa cangkang yang dikeringkan menggunakan rak kawat berpori setinggi 5 cm di atas permukaan tanah dan dijemur dengan bantuan sinar matahari (Tabel 32). Ketiga jenis pengering biji pala ini dapat menghasilkan baik biji pala bercangkang maupun biji pala tanpa cangkang dengan kadar air < 10%.

Tabel 32 Pengaruh tipe alat pengering terhadap mutu biji pala bercangkang dan tanpa cangkang

Tipe alat pengering	Jenis biji pala	Rendemen	Kadar air	Kandungan minyak	Kandungan myristisin
Pengering tipe rumah	biji pala bercangkang	63,14 de	9,18 a	5,22 b	16,97 bc
	biji pala tanpa cangkang	83,70 a	7,33 cd	2,84 e	32,73 a
Rak penjemuran yang terletak 1 m di atas permukaan tanah dengan kain penutup berwarna hitam	biji pala bercangkang	66,21 cd	9,83 a	7,27 a	14,29 cd
	biji pala tanpa cangkang	65,19 cd	8,75 ab	6,67 a	10,00 e
Rak penjemuran yang terletak 1 m di atas permukaan tanah tanpa kain penutup	biji pala bercangkang	68,57 bc	6,2 cd	4,00 cd	13,74 d
	biji pala tanpa cangkang	67,80 bc	6,65 cd	3,45 de	12,92 d
Rak penjemuran yang terletak 5 cm di atas permukaan tanah dengan kain penutup berwarna hitam	biji pala bercangkang	70,31 b	9,68 a	6,62 a	15,47 bcd
	biji pala tanpa cangkang	70,31 b	7,77 bc	6,75 a	14,71 cd
Rak penjemuran yang terletak 5 cm di atas permukaan tanah tanpa kain penutup	biji pala bercangkang	60,00 e	6,55 d	4,62 bc	17,79 b
	biji pala tanpa cangkang	64,00 d	6,65 cd	4,44 c	13,31 d

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 0,05$.

Sumber: Sembiring *et al.* (2020).

Kandungan minyak, baik biji pala bercangkang maupun biji pala tanpa cangkang, yang dikeringkan dengan alat pengering tipe rak penjemuran yang terletak 1 m dan 5 cm di atas permukaan tanah dan ditutup dengan kain hitam adalah lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan minyak biji pala yang dikeringkan dengan tipe alat pengering yang lain. Kandungan minyak biji pala bercangkang berkisar 6,62 - 7,27% dan biji pala tanpa cangkang berkisar 6,67 - 6,75%. Kandungan minyak biji pala bercangkang dan tanpa cangkang setelah dikeringkan dengan rak pengering tipe rumah, masing-masing adalah 5,22 dan 2,84% (Tabel 32) (Sembiring *et al.* 2020). Penutup berupa kain hitam mampu menyerap sinar matahari dengan baik, sehingga dapat meningkatkan suhu selama pengeringan. Selain itu, penggunaan kain hitam juga dapat mencegah biji pala dari paparan langsung sinar ultra violet. Menurut Pramono (2006) paparan sinar ultraviolet dapat mendegradasi kandungan kimia pada bahan yang dikeringkan di bawah sinar matahari langsung.



Sembiring *et al.* (2020) menjelaskan bahwa kandungan *myristicin* paling tinggi (32,73%) diperoleh dari biji pala kupas yang dikeringkan dengan pengering tipe rumah, sedangkan kandungan *myristicin* paling rendah (10%) diperoleh dari biji pala yang dikeringkan di atas para-para atau rak penjemuran pada ketinggian 1 m di atas permukaan tanah dan ditutupi kain hitam. Selama pengeringan dengan bantuan sinar matahari langsung, sebagian besar membran sel pecah, kemudian cairan sel bebas keluar masuk dari satu sel ke sel lain, sehingga terjadi penguapan, oksidasi, polimerisasi dan resinifikasi (Sipahelut & Telusa 2011). Kandungan *myristicin* biji pala bercangkang maupun tanpa cangkang yang dikeringkan dengan tiga jenis tipe pengering telah memenuhi syarat, karena melebihi batas minimum kandungan *myristicin* yang ditetapkan oleh SNI, yaitu 5%, sehingga dapat diaplikasikan oleh petani maupun pedagang pengumpul.

Kandungan aflatoksin pada semua biji pala yang dikeringkan dengan tiga tipe pengering adalah relatif rendah, yaitu aflatoksin total < 3,29 ppb, B_1 < 1,07 ppb, B_2 < 0,39, G_1 < 1,35 ppb, dan G_2 < 0,48 ppb (Tabel 33) (Sembiring *et al.* 2020). Batas maksimum aflatoksin total dan AFB1 pada pala berdasarkan standar Uni Eropa adalah 10 ppb dan 5 ppb.

Jika dibandingkan, keseluruhan metode pengeringan dengan menggunakan metode pengasapan, oven, rak pengering tipe rumah dengan sumber panas dari sinar matahari yang dikombinasikan dengan api kompor minyak tanah, rak penjemuran dengan ketinggian 1 m di atas permukaan tanah, dan kawat berpori yang terletak 5 cm di atas permukaan tanah, semuanya dapat menjadi solusi bagi petani dan pedagang pengumpul dalam proses pengeringan biji pala dengan syarat suhu tidak melebihi 45 °C. Pemilihan metode pengeringan tentunya disesuaikan dengan anggaran modal yang dimiliki. Suhu melebihi 45 °C dapat menyebabkan biji pala keriput.



Tabel 33 Pengaruh tipe alat pengering terhadap kontaminasi aflatoksin pada biji pala bercanggang dan biji pala tanpa canggang

Jenis aflatoksin	Pengering tipe rumah	Aflatoksin pada berbagai tipe pengering (ppb)								
		Rak penjemuran yang terletak 1 m di atas permukaan tanah				Rak penjemuran yang terletak 5 cm di atas permukaan tanah				
		Dengan kain penutup berwarna hitam		Tanpa kain penutup		Dengan kain penutup berwarna hitam		Tanpa kain penutup		
Jenis biji pala										
		Biji pala bercanggang	Biji pala tanpa canggang	Biji pala bercanggang	Biji pala tanpa canggang	Biji pala bercanggang	Biji pala tanpa canggang	Biji pala bercanggang	Biji pala tanpa canggang	
B ₁ (ppb)	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07
B ₂ (ppb)	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39
G ₁ (ppb)	< 1,35	< 1,35	< 1,35	< 1,35	< 1,35	< 1,35	< 1,35	< 1,35	< 1,35	< 1,35
G ₂ (ppb)	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48
Total aflatoksin	< 3,29	< 3,29	< 3,29	< 3,29	< 3,29	< 3,29	< 3,29	< 3,29	< 3,29	< 3,29

Keterangan: Metode pengujian aflatoksin menggunakan HPLC (AOAC Official Method 991.31.2012) dengan batas minimal deteksi adalah B₁ = 1,07 ppb; B₂ = 0,39 ppb; G₁ = 1,35 ppb; G₂ = 0,48 ppb; dan aflatoksin total = 3,29 ppb.

Sumber: Sembiring et al. (2020).

Penelitian Launda *et al.* (2017) menunjukkan bahwa *prototype* alat pengering dapat mengubah tegangan PLN (220 V) menjadi tegangan DC 5 V dan DC 9 V dengan konsumsi daya rata-rata 585,634 W. Alat ini dapat mengeringkan 1 kg biji pala menjadi 0,65 kg selama 5 jam pada suhu 50 °C dengan kadar air 21,6%. Biji pala dengan berat 0,75 kg menjadi 0,51 kg selama 5 jam pada suhu 50 °C dan kadar air sampai 21,4%.

- Pengupasan cangkang pala

Cangkang pala dapat dikupas dengan dua cara, yaitu cara tradisional dan modern. Pengupasan cangkang pala secara tradisional dapat dilakukan menggunakan pemukul kayu yang bersih atau palu dengan posisi mata cangkang harus tegak agar biji tidak rusak (Gambar 28), sedangkan pengupasan cangkang secara modern yaitu menggunakan alat atau mesin pengupas cangkang (Gambar 29). Umumnya pedagang pengumpul mengupas cangkang pala secara tradisional, sedangkan eksportir mengupas cangkang pala secara modern.



Gambar 28 Pengupasan cangkang pala secara tradisional: (a) Menggunakan pemukul kayu (Sumber foto: Nijma Nurfadila) dan (b) Menggunakan palu (Sumber foto: Okky Setyawati Dharmaputra).



Gambar 29 Pengupasan cangkang pala secara modern menggunakan mesin pengupas cangkang pala
(Sumber foto: Nijma Nurfadila).

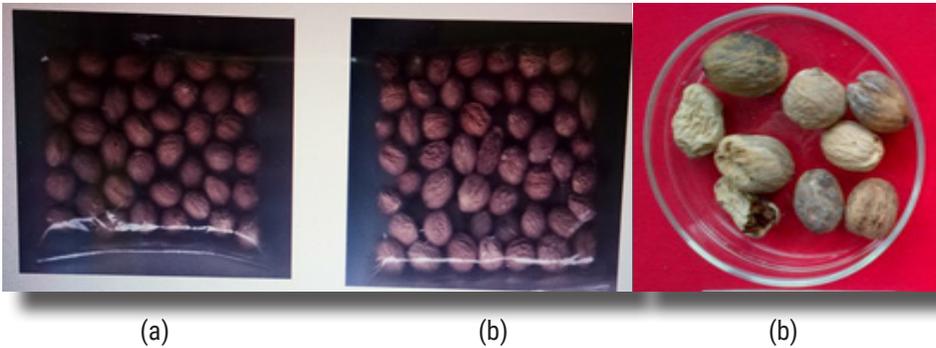
- Pengapuran

Tujuan pengapuran yaitu untuk mencegah pembusukan dan gangguan hama. Pengapuran biji pala yang banyak dilakukan yaitu dengan cara basah. Biji pala dimasukkan ke dalam keranjang kecil dan dicelupkan ke dalam larutan kapur dengan konsentrasi 1,5% dari biji pala yang akan direndam. Jika biji pala yang akan direndam sebanyak 5 kg, maka larutan kapur yang digunakan sebanyak 0.075 kg. Perendaman dengan larutan kapur dilakukan sebanyak 2 - 3 kali, kemudian dikeringanginkan. Metode perendaman dengan larutan kapur ini telah diuji pada kacang tanah yang terkontaminasi aflatoksin. Rubak dan Purawisastra (2011) menjelaskan bahwa aflatoksin pada kacang tanah dapat diminimalisir menggunakan larutan kapur. Semakin tinggi konsentrasi larutan kapur yang digunakan, maka semakin berkurang kandungan aflatoksin pada kacang tanah. Perebusan dengan larutan kapur 1,5% selama 10 menit pada proses pembuatan kacang telur, mampu menurunkan kandungan AFB1 sebesar 44%.

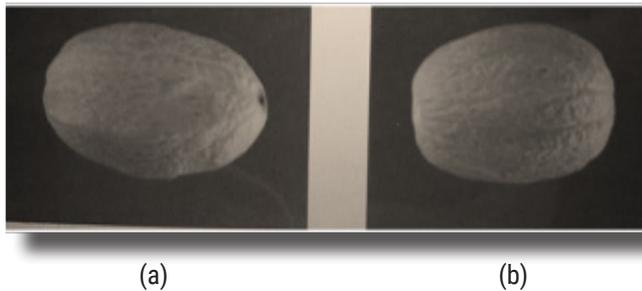
- Sortasi biji pala

Biji pala dapat disortasi berdasarkan ukuran, warna, dan bentuk biji (keriput atau tidak serta berlubang atau tidak). Biji pala dikelompokkan menjadi tiga kelas, yaitu mutu I, II dan III. Mutu I (ABCD) adalah biji pala yang dipetik cukup tua dengan permukaan biji licin. Mutu ini terbagi menjadi 4 yaitu A, B, C, dan D sesuai ukurannya. Mutu II (*rimple* atau SS) merupakan biji pala keriput yang ketika dipanen terlalu tua

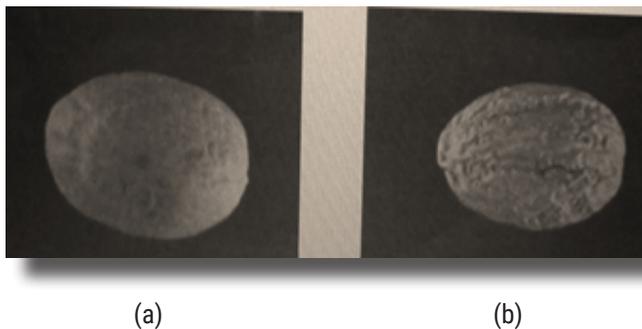
buah palanya atau suhu pengeringan melebihi 45 °C. Biji pala mutu III (BWP = *Broken, Wormy, dan Punky*) yaitu biji pala yang berasal dari buah pala yang terlalu muda atau dipungut dari tanah, rusak karena penanganan pascapanen yang salah (Ditjenbun 2011). Biji mutu I, II, dan III ditunjukkan pada Gambar 30. Biji pala mutu ABCD, *calibrated nutmeg*, *rimple*, dan BWP dapat dilihat pada Gambar 31 dan 32.



Gambar 30 Biji dengan berbagai mutu: (a) Mutu I; (b) Mutu II; dan (c) Mutu III (Sumber foto: Nijma Nurfadila).

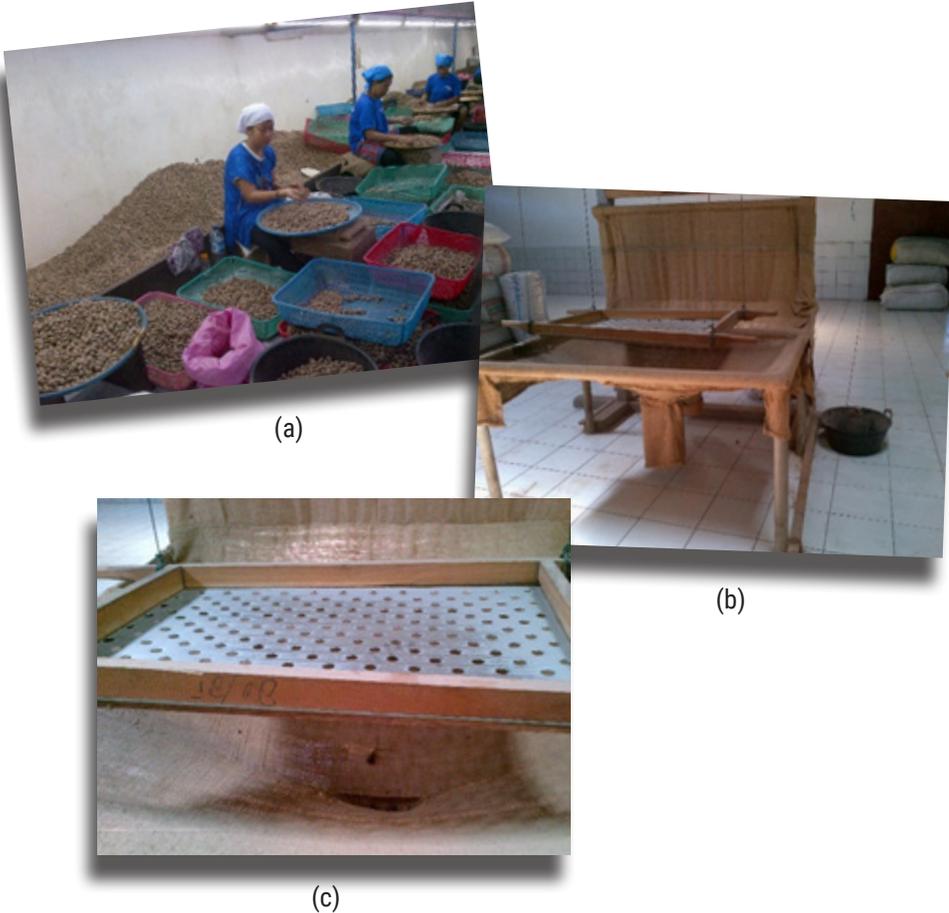


Gambar 31 (a) Biji pala mutu *calibrated nutmeg* dan (b) Mutu ABCD (Sumber foto: Nijma Nurfadila).



Gambar 32 (a) Biji pala mutu *rimple* dan (b) Mutu BWP (Sumber foto: Nijma Nurfadila).

Dharmaputra *et al.* (2015) menjelaskan bahwa sebanyak 71% dari 8 pedagang pengumpul melakukan penyortiran biji pala sebelum dijual ke eksportir, sedangkan 29% pedagang pengumpul tidak melakukannya. Sortir biji pala juga dilakukan oleh semua eksportir sebelum dikirim ke negara importir. Penyortiran biji pala dapat dilakukan secara manual atau menggunakan alat (Gambar 33).



Gambar 33 (a) Biji pala yang disortir secara manual; (b) Alat untuk penyortiran biji pala tampak secara keseluruhan; dan (c) Alat penyortiran biji pala tampak dari dekat

(Sumber foto: Nijma Nurfadila)

- Pengeringan fuli

Fuli yang telah dilepas dari biji pala bercangkang, diletakkan di atas alas yang bersih pada rak kawat berpori yang dipasang ± 1 m di atas permukaan tanah dan dikeringkan dengan bantuan sinar matahari. Setelah setengah kering, fuli dibentuk pipih menggunakan penggilingan, kemudian dikeringkan kembali hingga kadar air mencapai 10%. Warna fuli akan berubah dari merah cerah menjadi merah tua, dan akhirnya menjadi jingga, sedangkan tekstur fuli yang baik adalah kenyal

(tidak rapuh). Lama pengeringan sekitar 2 - 3 hari jika cuaca cerah, sedangkan jika musim hujan atau cuaca tidak cerah, pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan oven pada suhu $< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga minyak atsiri pada fuli tidak hilang (Ditjenbun 2011).

- Sortasi fuli

Sortasi fuli dilakukan setelah biji pala dikeringkan dengan memisahkan fuli utuh dan tidak utuh yang bertujuan meningkatkan nilai tambah fuli. Berdasarkan BSN (2015) fuli dibagi menjadi lima kelas mutu, yaitu: 1) *whole*; 2) *broken* fuli I; 3) *broken* fuli II; 4) *sifting* I; dan 5) *sifting* II. Menurut BSN (2015) fuli yang berwarna kuning atau kemerahan sampai merah termasuk ke dalam mutu terbaik.

- Pengemasan dan penyimpanan daging buah, biji, dan fuli

Daging buah dan fuli disimpan di dalam karung atau kaleng tertutup rapat di dalam ruangan yang kering, gelap dan teduh. Penyimpanan fuli selama 3 bulan di dalam wadah tertutup dengan kondisi ruangan gelap dapat meningkatkan mutu fuli. Pada umumnya, fuli dikemas di dalam peti kayu berkapasitas 70 - 75 kg.

Biji pala yang telah dikupas cangkangnya dan telah dikeringkan hingga kadar air $< 10\%$, selanjutnya disimpan di dalam kantong kedap udara dan dikemas menggunakan karung goni yang diberi label sesuai dengan klasifikasi mutunya. Priyanto *et al.* (2021) menjelaskan bahwa biji pala yang dikemas di dalam plastik klip dan disimpan pada suhu kamar selama 12 hari memiliki daya berkecambah tertinggi (56,25%), sedangkan biji pala yang dikemas di dalam plastik klip pada suhu terkontrol (AC) memiliki daya berkecambah relatif rendah. Menurut Bursatriannyo (2017) penggunaan kemasan aluminium foil pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dapat menurunkan kadar air biji pala, tetapi jika disimpan pada suhu $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ menurunkan kandungan minyak atsiri biji pala. Jenis kemasan polietilena dapat meningkatkan kandungan minyak atsiri pala pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kemasan karung polipropilena dapat meningkatkan kandungan oleoresin pala pada suhu $20 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Menurut Ditjenbun (2011) biji bermutu ABCD umumnya disimpan di dalam karung goni berkapasitas 90 kg, sedangkan biji bermutu *rimple* dan *broken wormy panky* (BWP) disimpan di dalam karung goni berkapasitas 80 dan 75 kg. Biji dan fuli pala harus difumigasi terlebih dahulu sebelum disimpan untuk mengurangi risiko terserang cendawan dan hama serangga. Proses fumigasi biji pala ditunjukkan pada Gambar 34. Rata-rata total populasi cendawan pada biji pala yang difumigasi adalah relatif rendah (27 cfu/g), sedangkan rata-rata total populasi cendawan pada biji pala yang tidak difumigasi adalah relatif tinggi (2.335 cfu/g) (Dharmaputra *et al.* 2022).



Gambar 34 Proses fumigasi biji pala: (a) Persiapan sebelum fumigasi dan (b) Perlakuan fumigasi biji pala dengan menggunakan fosfin
(Sumber foto: Nijma Nurfadila).

Iradiasi gamma juga dapat digunakan untuk mengendalikan serangan cendawan dan kontaminasi aflatoksin pada pala. Namun, iradiasi gamma tidak mengendalikan serangan dari semua galur *Aspergillus flavus* toksigen. Selain itu, penggunaan iradiasi gamma belum tentu menurunkan kandungan aflatoksin, bahkan justru dapat memicu meningkatnya aflatoksin. Nurtjahja *et al.* (2017) menjelaskan bahwa perlakuan iradiasi sinar gamma dengan dosis 5 dan 10 kGy dapat menurunkan kandungan aflatoksin pada galur *A. flavus* AF5 (0 ppb). Kandungan aflatoksin pada galur *A. flavus* AF6, AF11, dan AF12 justru semakin meningkat setelah diiradiasi gamma dengan dosis 5 kGy, yaitu masing-masing 101,31; 86,19; dan 93,46 ppb (Tabel 34). Kandungan aflatoksin pada galur *A. flavus* AF6 dan AF12 menurun setelah diiradiasi gamma dengan dosis 10 kGy, yaitu masing-masing 0 ppb (Tabel 34). Menurut *European Commission* (2003) dosis aman iradiasi gamma untuk makanan adalah 10 kGy.

Tabel 34 Produksi aflatoksin B₁ pada beberapa galur *Aspergillus flavus* yang diberi berbagai perlakuan dosis iradiasi gamma

Galur <i>A. flavus</i>	Produksi AFB ₁ pada berbagai dosis iradiasi gamma (ppb)		
	Tanpa iradiasi	5 kGy	10 kGy
AF3	< 1	< 1	40,52
AF4	< 1	< 1	< 1
AF5	22,8	0	0
AF6	< 1	101,31	0
AF11	< 1	86,19	< 1
AF12	57,2	93,46	0

Sumber: Nurtjahja *et al.* (2017).

Setelah proses fumigasi dan penyimpanan, biji dan fuli pala siap dikirimkan ke berbagai negara importir, misalnya Eropa dan Amerika Serikat. Alat transportasi yang digunakan berupa *container* berukuran sangat besar yang telah difumigasi sebelum digunakan (Gambar 35). Sebelum diberangkatkan, petugas dari Balai Karantina Pertanian (Barantan) memeriksa terlebih dahulu *container* tersebut, termasuk kelengkapan dokumennya. Pemeriksaan produk ekspor ini membutuhkan waktu lama. Dengan demikian sangatlah penting untuk mengupayakan kondisi di dalam *container* agar tidak lembap dalam rangka mencegah penurunan mutu biji, daging dan fuli pala yang diekspor.



Gambar 35 Truk *container* yang berisi biji pala yang siap diekspor: (a) Tampak belakang dan (b) Tampak samping
(Sumber foto: Nijma Nurfadila).



A close-up photograph of a person's head and shoulder on the left, looking towards a tree trunk in the center. The tree has several branches extending outwards. The background is filled with lush green foliage and some brown, dried plant matter. A semi-transparent teal banner is overlaid at the bottom of the image, containing the title text in yellow.

BAB VI
PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN
SERANGAN SERANGGA DAN
CENDAWAN, SERTA KONTAMINASI
AFLATOKSIN PADA PALA
DI GRENADA

Grenada merupakan salah satu negara penghasil pala terbesar di dunia yang menjadi saingan terberat Indonesia. Grenada terletak di antara Trinidad dan Tobago di bagian selatan, serta Saint Vincent dan Grenadines di bagian utara Karibia Timur dengan luas wilayah 344 km² (Wenzen 2021). Meskipun negara ini memiliki wilayah yang relatif lebih kecil dari Sangihe, Provinsi Sulawesi Utara, tetapi kualitas biji palanya tak kalah saing. Upaya pencegahan dan pengendalian serangan serangga dan cendawan, serta kontaminasi aflatoksin pada pala di Grenada juga terdiri dari penanganan prapanen, pemanenan, dan penanganan pascapanen yang tepat. Tahapan penanganan prapanen pala yang dilakukan di Grenada hampir sama dengan penanganan prapanen pala di Indonesia. Perbedaan terlihat pada saat pemanenan dan penanganan pascapanen pala.

6.1 Pemanenan

Sama halnya dengan pemanenan pala yang banyak dilakukan di wilayah Indonesia, buah pala yang matang di Grenada juga dibiarkan terbelah dan jatuh ke tanah sebelum dipanen. Akan tetapi sebagian warga memetik pala menggunakan tiang panjang (*galah/rodding*). Buah dipisahkan dari biji pala, kemudian fuli dilepaskan dari biji pala secara hati-hati. Biji pala yang dipanen memiliki kadar air awal 30 - 35%. Pada umumnya petani di Grenada menjual biji pala dengan kondisi apa adanya atau dikeringkan (Singh *et al.* 2015). Namun, sebaiknya pala dikeringkan terlebih dahulu, baik dengan bantuan sinar matahari maupun menggunakan mesin pengering.

6.2 Penanganan Pascapanen

6.2.1 Penerimaan biji pala

Biji pala yang diperoleh dari petani, selanjutnya diletakkan di dalam bak penyortiran oleh pedagang pengumpul dan disebarkan menggunakan palet kayu. Biji pala yang pecah, berubah warna, basah, busuk, berjamur, biji ringan dan berkecambah disortir secara manual dan biasanya dikembalikan ke petani yang mengirimnya, sedangkan sisa biji yang penampilannya baik ditempatkan di dalam karung polipropilena (Singh *et al.* 2015).

6.2.2 Pengeringan biji pala

Biji pala dikeringkan di atas nampan dengan bantuan sinar matahari. Biasanya nampan diletakkan langsung di bawah atap stasiun pengolahan dengan suhu rata-rata 29 - 32 °C. Nampan pengering disusun berjenjang 7 - 10 nampan per tingkat. Tinggi nampan adalah 15 cm dan jarak antar nampan 30 cm. Letak antar biji pala di dalam nampan diatur dengan jarak 10 cm. Biji pala diaduk dua kali sehari dengan menggunakan garu supaya diperoleh pengeringan yang seragam. Biji pala dikeringkan hingga kadar air berkisar 8 - 9% dengan waktu pengeringan selama 6 - 8 minggu (Singh *et al.* 2015). Pemeriksaan kadar air biji pala dilakukan setelah 6 minggu, dengan cara membelah biji pala menggunakan pisau, lalu ditentukan kadar air dan kelembapan biji pala. Ciri-ciri biji pala yang diperiksa yaitu biji pala berderak/berbunyi jika biji pala digoyangkan atau tidak berderak, cangkang biji pala sulit atau mudah dipotong, derajat *oilness*, dan intensitas bau aromatik (Singh *et al.* 2015).

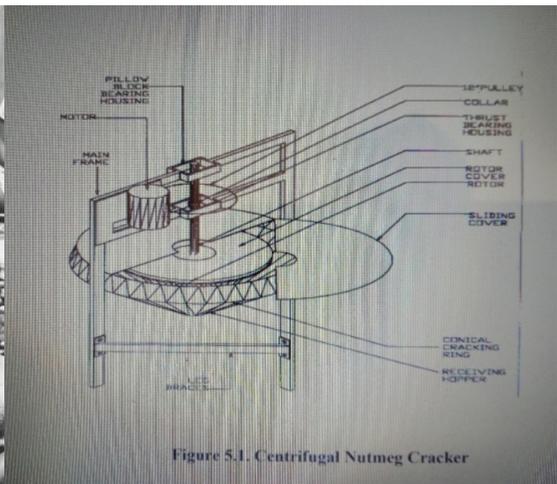
Menurut Satcunanathan (1977) pengeringan biji pala dapat dilakukan selama 3 - 4 minggu dengan bantuan sinar matahari pada suhu < 43 °C. McGraw dan Sankat (1984) menjelaskan bahwa biji pala dapat dikeringkan selama 7 hari menggunakan mesin pengering pada suhu 37 °C.

6.2.3 Pengupasan cangkang pala

Metode pengupasan cangkang pala di Grenada hampir sama dengan di Indonesia. Pengupasan cangkang pala di Grenada dilakukan dengan menggunakan palu kayu atau mesin tipe tumbukan. Cara manual (menggunakan palu kayu) ternyata efektif, tetapi tidak efisien (Gambar 36a). Cara mekanis (menggunakan mesin pengupas cangkang) dapat menyebabkan kerusakan biji pala dan tidak semua biji pala yang bercangkang akan terkupas (Gambar 36b) (Singh *et al.* 2015). Dengan demikian, perlu adanya penambahan orang untuk mengupas cangkang pala jika dilakukan secara manual. Namun, jika ingin lebih efektif dan efisien maka mesin pengupas cangkang harus dimodifikasi supaya semua biji pala bercangkang dapat terkupas merata dan persentase biji rusak menurun. Pengeringan sangat berpengaruh terhadap tingkat kemudahan terlepasnya cangkang dari biji pala. Jika pengeringan terlalu singkat, biji pala akan sulit terlepas dari cangkangnya, yang berakibat pada ikut tertumbuknya biji pala. Jika pengeringan terlalu lama, biji pala akan menjadi keriput karena hilangnya kandungan air dan sebagian nutrisi pada biji. Oleh karena itu, pengeringan harus dilakukan pada suhu dan durasi pengeringan yang tepat.



(a)



(b)

Gambar 36 Pengupasan cangkang pala di Grenada: (a) Menggunakan palu kayu (Sumber foto: Universal Image Group Editorial 2005) dan (b) Mesin tipe tumbukan (Sumber foto: Singh *et al.* 2015)

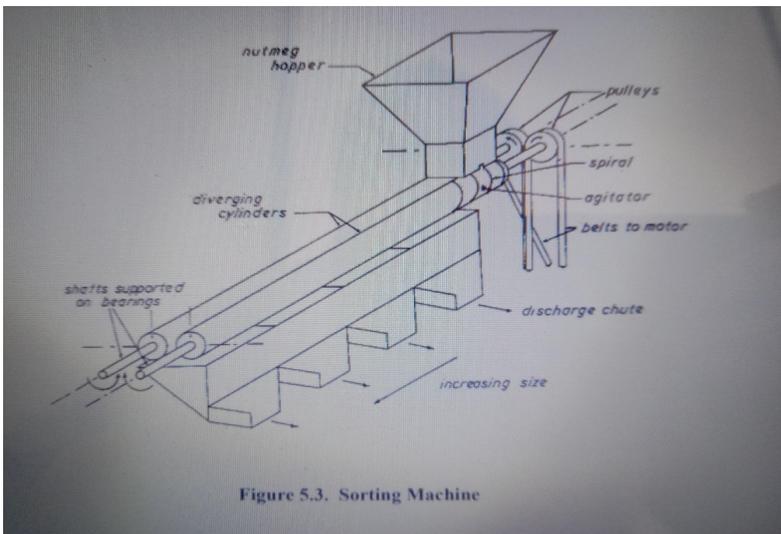
6.2.4 Pemisahan biji pala utuh sehat dari biji pala utuh tidak sehat

Cangkang pala yang masih menempel pada biji dipisahkan secara manual. Biji pala yang utuh dipisahkan dari biji pala yang rusak dengan menggunakan proses tenggelam-mengapung di penangas air. Biji pala yang mengapung (*floaters*) adalah biji pala yang belum matang atau biji pala yang sudah berkecambah. Jika

floaters dibelah menjadi dua bagian, akan terlihat ruang-ruang besar atau jaringan gabus putih dengan endosperma berwarna kecokelatan yang tereduksi. Biji pala yang tenggelam adalah biji pala yang sehat dan utuh. Biji pala yang sehat dan utuh tersebut selanjutnya dikeringkan selama 12 jam untuk menghilangkan kelembapan permukaan. Sedangkan biji pala utuh yang tidak sehat dikeringkan selama 24 jam (Singh *et al.* 2015).

6.2.5 Sortasi dan *grading* biji pala

Biji pala hasil pemisahan tahap sebelumnya, selanjutnya disortasi berdasarkan kriteria biji yaitu biji utuh, bercendawan, berlubang karena serangan serangga, patah, dan keriput. Sortasi dilakukan oleh pekerja terampil dan berpengalaman menggunakan ayakan besar berbahan logam dengan perforasi melingkar dan ukuran yang berbeda. Biji yang jatuh melalui lubang yang sesuai, dikumpulkan di dalam karung polipropilena yang bersih. Metode sortasi biji pala lainnya yaitu menggunakan mesin sortasi (Gambar 37). Penggunaan mesin sortasi mempersingkat durasi proses sortasi biji pala, tetapi tetap memerlukan pemeriksaan hasil sortasi secara manual oleh pekerja terampil. *Grading* biji pala utuh dilakukan berdasarkan jumlah biji pala per pon. Umumnya yaitu 60-an, 65-an, 80-an, 110-an, dan 130-an biji pala per pon (Sankat & Narayan 1985).



Gambar 37 Mesin sortasi biji pala di Grenada

(Sumber foto: Sankat & Narayan 1985).

Biji pala yang telah disortasi dan diklasifikasikan sesuai *grade*, selanjutnya dikemas di dalam karung polipropilena yang bersih dan diletakkan di dalam ruangan pengasapan untuk diberi perlakuan fumigasi kimiawi dengan menggunakan metil bromida (fosfin). Perlakuan ini bertujuan untuk melindungi biji pala dari berbagai serangan serangga dan cendawan (Singh *et al.* 2015). Fumigasi dengan fosfin harus dilakukan dengan dosis yang tepat, karena fosfin sudah tidak disarankan penggunaannya oleh berbagai negara karena sifat toksik bahan aktif fosfin, yaitu metil bromida. Biji, daging buah, dan fuli pala yang cacat atau rusak tidak diekspor, tetapi digunakan secara lokal untuk penyulingan minyak pala.



<https://www.largeup.com/2017/05/22/weekend-pure-grenada/>

6.2.6 Pengolahan fuli pala

Fuli yang telah diterima di stasiun penerima, selanjutnya diperiksa dengan cermat dan diklasifikasikan sebagai No.1 atau No.2. Fuli selanjutnya dikemas di dalam karung polipropilena sesuai dengan tingkatannya. Pada tahap akhir dilakukan penimbangan dan pencatatan kembali bobot fuli. Setelah itu, fuli diletakkan di dalam wadah kayu terpisah yang merupakan wadah pengawetan. Setiap nampan berisi 727 - 772 kg, kemudian disimpan selama 3 bulan. Botol berisi karbon disulfida (CS_2) digantung di setiap wadah (*bin*) untuk mengusir serangga hama. Setelah masa pemeraman selama 3 bulan, fuli siap untuk diekspor (Singh *et al.* 2015). Pada tahap penerimaan fuli dan biji pala di stasiun pengolahan diperlukan dua jenis *conveyor*, yaitu 1) *belt conveyor* bersifat *portable* dengan sudut kemiringan bervariasi, dan 2) *bucket elevator* untuk memindahkan biji pala ke atas stasiun penerima untuk penempatan di dalam nampan penering.

6.2.7 Pengiriman biji dan fuli pala

Biji dan fuli pala yang telah difumigasi atau diberi perlakuan kimiawi lainnya, selanjutnya dikirim ke negara importir, misalnya Amerika Serikat. Jenis kemasan yang digunakan oleh eksportir di Grenada tidak dijelaskan secara rinci, sehingga tidak dapat dibandingkan dengan jenis kemasan yang digunakan di Indonesia. Namun, pengiriman biji dan fuli pala di Grenada juga menggunakan *container* yang telah dibersihkan dengan disinfektan serta dilengkapi dengan termometer digital agar kondisi suhu serta kelembapan relatifnya dapat terkendali.



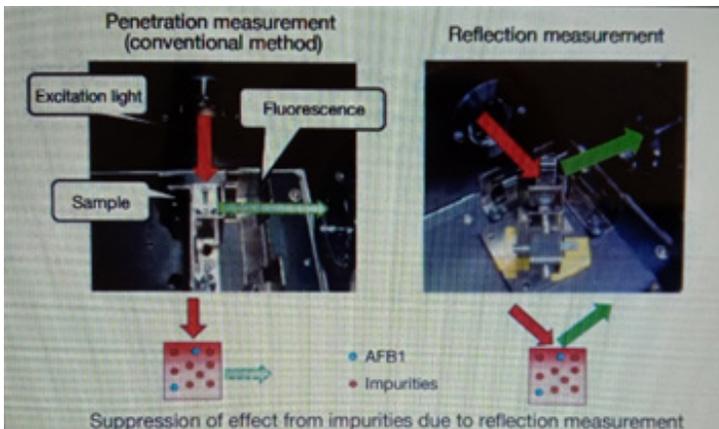


BAB VII
INOVASI TEKNOLOGI
PENANGANAN PASCAPANEN PALA

Pemeriksaan *fingerprint* (sidik jari) melalui senyawa volatil dan non-volatil yang berasal dari pala yang bermutu tinggi dan rendah dapat dilakukan menggunakan *Reaksi Transfer Proton Spektrofotometri Massa* dan *Aliran Infus Electrospray Ionization Mass Spectrometry*. Perbandingan data diperoleh dari pengukuran total abu, *acid insoluble ash*, kelembapan, dan minyak atsiri. Perbedaan komposisi dilakukan menggunakan metode statistika *univariate* dan *multivariate*. Hasil menunjukkan bahwa *fingerprint* dari senyawa volatil dan non-volatil pada pala yang bermutu baik dan rendah menunjukkan adanya perbedaan. Dengan demikian, kedua teknik ini dapat memprediksi hampir 100% mengenai perbedaan mutu pala (van Ruth *et al.* 2019).

Metode *fingerprint* juga dapat mengestimasi kandungan aflatoksin pada biji pala. Sugiyama dan Fujita (2014) menjelaskan bahwa konsep *fingerprint* dikenal juga sebagai matriks emisi eksitasi. Metode ini berupa pengukuran aktual dalam waktu relatif singkat tanpa usaha yang cukup besar. Mulanya metode ini digunakan untuk menentukan asal mangga, mengestimasi komposisi campuran tepung soba dan tepung terigu pada soba mie kering, membedakan varietas dan nilai sereal, dan memperkirakan jumlah bakteri aerobik pada daging untuk dikonsumsi. Saat ini, metode *fingerprint* dapat juga digunakan untuk memprediksi kandungan aflatoksin pada biji pala.

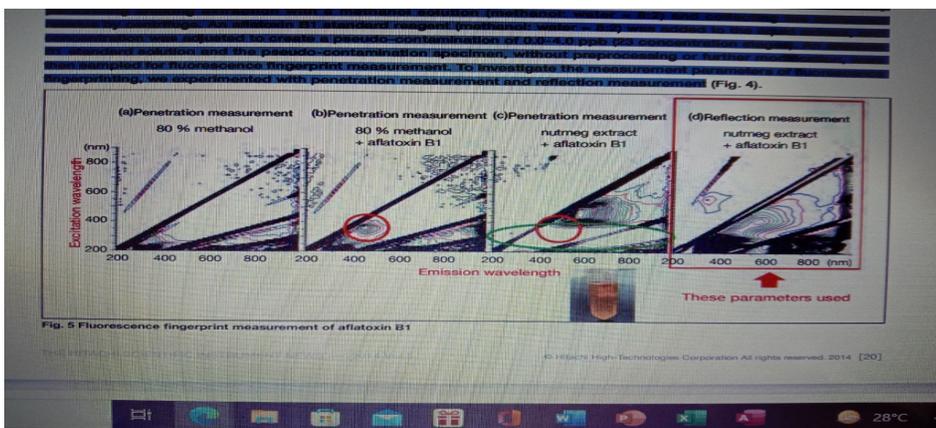
Ekstrak biji pala cair dibuat dengan cara melumatkan biji pala yang tidak mengandung aflatoksin, kemudian ditambahkan larutan metanol (metanol : air = 8 : 2). Hasil residu ekstraksi dikumpulkan menggunakan sentrifugasi. Reagen standar aflatoksin B₁ (metanol : air = 8 : 2) ditambahkan ke dalam ekstrak cair, dan konsentrasi disesuaikan supaya diperoleh kondisi kontaminasi semu 0,0 - 4,0 ppb (23 tahap konsentrasi). Larutan standar AFB₁ dan spesimen kontaminasi semu tanpa prapemrosesan atau modifikasi lanjut, diambil untuk pengukuran *fingerprint* fluoresensi. Pengukuran penetrasi dan refleksi dilakukan untuk menginvestigasi parameter pengukuran fluoresensi *fingerprint* (Gambar 38).



Gambar 38 Estimasi simultan AFB₁ menggunakan pengukuran penetrasi dan refleksi (Sumber foto: Sugiyama & Fujita 2014).

Sampel metanol dengan pengukuran penetrasi terlihat transparan (tidak ada fluoresensi) (Gambar 39a), sedangkan sampel metanol yang ditambahi AFB1 menghasilkan puncak fluoresensi karakteristik dari aflatoxin yang diamati (Gambar 39b). Saat AFB1 ditambahkan ke dalam ekstrak pala cair sebagai pengganti metanol, pewarnaan ekstrak pala cair menyebabkan penyerapan cahaya eksitasi. Cahaya eksitasi tidak dapat mencapai bagian dalam dari sel kuvet di dalam metode transmisi, sehingga informasi fluoresensi tidak dapat diperoleh kembali (Gambar 39c).

Pada metode refleksi, fluoresensi hanya dihasilkan pada permukaan sel kuvet. Fluoresensi *fingerprint* termasuk informasi AFB1 yang dapat diperoleh (Gambar 39d). Hal ini membuktikan bahwa penggunaan metode refleksi dalam pengukuran fluoresensi *fingerprint* memungkinkan pengukuran aflatoxin yang terkandung di dalam kontaminasi semu sampel tanpa langkah prapemrosesan yang kompleks (Sugiyama & Fujita 2014).



Gambar 39 Hasil fluoresensi *fingerprint* menggunakan pengukuran penetrasi dan refleksi terhadap AFB1 pada pala
(Sumber foto: Sugiyama & Fujita 2014).

Selain itu, penerapan analisis regresi *Partial Least Square* (PLS) terhadap data hasil fluoresensi *fingerprint* menunjukkan linieritas tinggi terhadap konsentrasi AFB1 yang ditambahkan. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi AFB1 yang rendah di dalam ekstrak pala cair dapat diestimasi secara sederhana dan mudah melalui fluoresensi *fingerprint* (Sugiyama & Fujita 2014).

Fluorescence imaging (Citra Fluoresensi) juga dapat digunakan untuk mendeteksi kontaminan pada biji pala kering. Buah pala yang diperoleh dari Pulau Siau, Sitaro, Provinsi Sulawesi Utara dikeringkan dengan dua jenis metode pengeringan selama 18 hari (Dahlan *et al.* 2017). Sebagian biji pala dikeringkan dengan bantuan sinar matahari setiap hari (pengeringan berlanjut), sedangkan sebagian lainnya dikeringkan dengan bantuan sinar matahari setiap 2 hari (pengeringan berselang).

Pengeringan berlanjut dengan bantuan sinar matahari memungkinkan lebih banyak cendawan yang mengkontaminasi biji pala dibandingkan dengan pengeringan berselang setiap dua hari karena pada pengeringan berselang kontaminasi cendawan terhalang oleh suhu yang lebih tinggi dan waktu pengeringan yang lebih

lama, serta kelembapan yang lebih rendah. Pengeringan berlanjut memungkinkan cendawan lebih cepat tumbuh dan menyebar, sehingga tingkat serangan lebih tinggi. Hal ini terjadi karena saat biji pala dikeringkan, maka biji pala berinteraksi langsung dengan kelembapan relatif yang lebih tinggi dan suhu ruangan yang lebih rendah, sehingga menstimulasi pertumbuhan cendawan.

Persentase serangan cendawan tertinggi pada biji pala yang dikeringkan pada suhu rendah ditemukan pada sampel yang dikeringkan berlanjut (17,6%), sedangkan persentase serangan cendawan tertinggi pada pala yang dikeringkan pada suhu tinggi ditemukan pada sampel yang dikeringkan berselang (12,2%) (Tabel 35). Hasil visual gambar biji pala yang diuji menggunakan kamera *Charge Coupled Device* (CCD) dengan sumber cahaya normal ditunjukkan pada Gambar 40.

Tabel 35 Persentase cendawan pada biji pala yang diuji dengan pengambilan gambar menggunakan kamera CCD dengan sumber cahaya normal

Jenis pengeringan	N	n (%)	Persentase serangan (%)		
			Perlakuan suhu pengeringan (°C)		
			Rendah	Medium	Tinggi
Pengeringan berlanjut	125	35 (28,0)	22 (17,6)	9 (7,2)	4 (3,2)
Pengeringan berselang	164	43 (26,2)	16 (9,8)	7 (4,3)	20 (12,2)

Keterangan: N = jumlah biji pala; n = jumlah biji pala yang terkontaminasi cendawan.

Sumber: Dahlan *et al.* (2017).

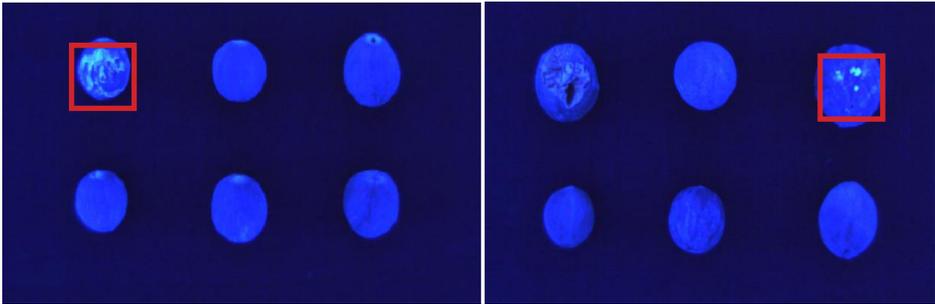


Gambar 40 Visual gambar biji pala yang diuji menggunakan kamera CCD dengan sumber cahaya normal

(Sumber foto: Dahlan *et al.* 2017)

Keberadaan aflatoksin pada biji pala dapat diamati secara visual menggunakan cahaya ultraviolet pada layar monitor (Gambar 41). Persentase kontaminasi aflatoksin tertinggi pada suhu rendah ditemukan pada biji pala yang dikeringkan berlanjut (10,4%), sedangkan persentase aflatoksin tertinggi pada suhu medium dan tinggi yaitu biji pala yang dikeringkan berselang yaitu masing-masing 3,1 dan 4,3% (Tabel 36). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kamera CCD dengan sumber cahaya normal hanya dapat mendeteksi keberadaan cendawan pada

biji pala, sedangkan kamera CCD dengan sumber cahaya UV dapat mendeteksi keberadaan aflatoksin yang ditandai dengan pendaran warna biru.



Gambar 41 Pendaran warna biru penanda keberadaan aflatoksin pada biji pala menggunakan kamera CCD dengan sumber cahaya ultraviolet (Sumber: Dahlan *et al.* 2017).

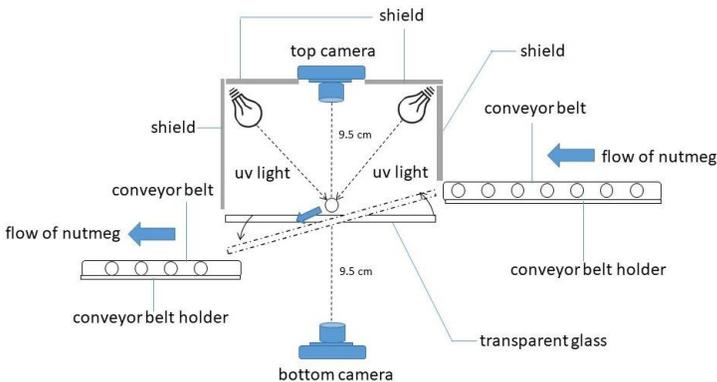
Tabel 36 Persentase kontaminasi aflatoksin pada biji pala menggunakan kamera CCD dengan sumber cahaya ultraviolet

Jenis pengeringan	N	n (%)	Persentase serangan (%)		
			Perlakuan suhu pengeringan (°C)		
			Rendah	Medium	Tinggi
Pengeringan berlanjut	125	13 (10,4)	10 (8,0)	1 (0,8)	2 (1,6)
Pengeringan berselang	164	22 (13,4)	10 (6,1)	5 (3,1)	7 (4,3)

Keterangan: N = jumlah biji pala; n = jumlah biji pala yang terkontaminasi cendawan.

Sumber: Dahlan *et al.* (2017).

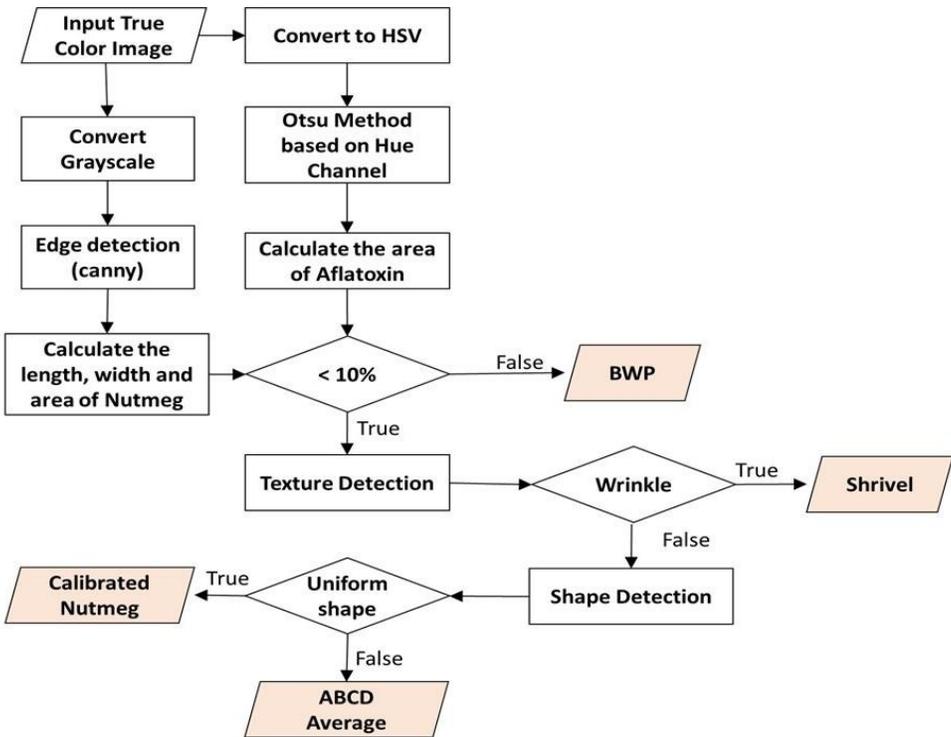
Paulus dan Suryani (2019) telah mengembangkan prototipe stasiun akuisisi citra menggunakan dua kamera untuk menangkap permukaan biji pala di mesin sortir pintar. Selain itu, sinar ultraviolet ditambahkan untuk memudahkan deteksi aflatoksin menggunakan metode segmentasi warna (Gambar 42).



Gambar 42 Desain stasiun akuisisi citra untuk menangkap permukaan biji pala (Sumber foto: Paulus & Suryani 2019).

Ekstraksi fitur merupakan titik kunci untuk mengidentifikasi objek. Ada beberapa operasi yang membantu untuk menganalisis citra seperti representasi wilayah, deteksi tepi dan morfologi ekstraksi batas. Citra masukan pada sistem yang dikembangkan oleh Paulus dan Suryani (2019) diperoleh dari dua kamera, sedangkan format gambar berupa *true color* 24 bit.

Perancangan analisis citra dibagi menjadi tiga bagian. Fokus bagian pertama adalah menghitung tiga variabel yaitu tinggi, lebar, dan luas biji pala. Luas biji pala diukur berdasarkan citra 2D yang diambil. Pada bagian pertama, citra masukan diubah menjadi citra *grayscale*. Selanjutnya, deteksi tepi diimplementasikan dengan menggunakan pendekatan *canny*. Setelah itu, variabel tinggi (sumbu semi minor) dan variabel lebar (sumbu semi mayor) diukur dari *property* daerah citra. Bagian kedua difokuskan pada penghitungan luas sebaran aflatoxin. Gambar input diubah menjadi format *Hue, Saturation and Value (HSV)*. Pengelompokan objek aflatoxin dilakukan dengan menerapkan metode Otsu berdasarkan *hue channel*. Luas sebaran aflatoxin dijumlahkan dari semua komponen benda putih yang terhubung. Tujuan utama dari bagian ketiga yaitu untuk mengurutkan pala berdasarkan beberapa variabel yang terdiri dari tiga syarat yang telah ditetapkan di dalam SNI.



Gambar 43 Diagram alir analisis gambar untuk mendeteksi kontaminasi aflatoxin pada pala (Sumber foto: Paulus & Suryani 2019).



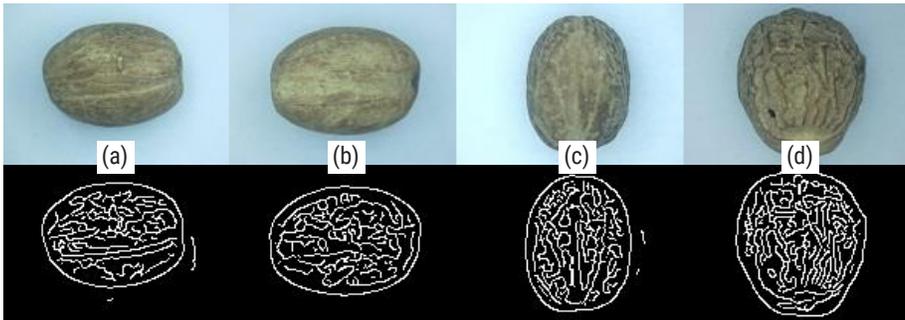
Percobaan pertama yaitu menguji *image analyzer* untuk mengklasifikasi bentuk dan tekstur citra biji pala. Berdasarkan 22 citra yang diperoleh dari proses akuisisi inialisasi, dipilih satu sistem yang memberikan hasil terbaik dengan cara mengembalikan kelas yang sesuai dan karakteristik yang terdeteksi dari citra biji pala (Tabel 37). Gambar 44 menunjukkan sampel *Red Green Blue* (RGB) dan biner citra biji pala yang dihasilkan oleh *image analyzer*.

Tabel 37 Hasil analisis tekstur dan bentuk biji pala menggunakan *image analyzer*

Gambar sampel dari satu sudut (px)	Panjang sumbu mayor (px)	Panjang sumbu minor (px)	Orientasi	Centroid (x,y)	Luas pala (px)	Tingkat kekeriputan
Sampel 1 (148 x 104)	94	70	3	x = 72; y = 48	5.167	Jarang
Sampel 2 (148 x 104)	100	72	3	x = 75; y = 56	5.653	Jarang
Sampel 3 (148 x 104)	90	69	87	x = 79; y = 54	4.905	Banyak
Sampel 4 (148 x 104)	96	84	-85	x = 76; y = 53	6.301	Banyak

Keterangan: px = pixel.

Sumber: Paulus dan Suryani (2019).



Gambar 44 Bentuk dan tekstur biji pala berdasarkan *image analyzer*: (a) dan (b) Biji utuh; (c) Biji keriput; dan (d) Biji sangat keriput (Sumber foto: Paulus & Suryani 2019).

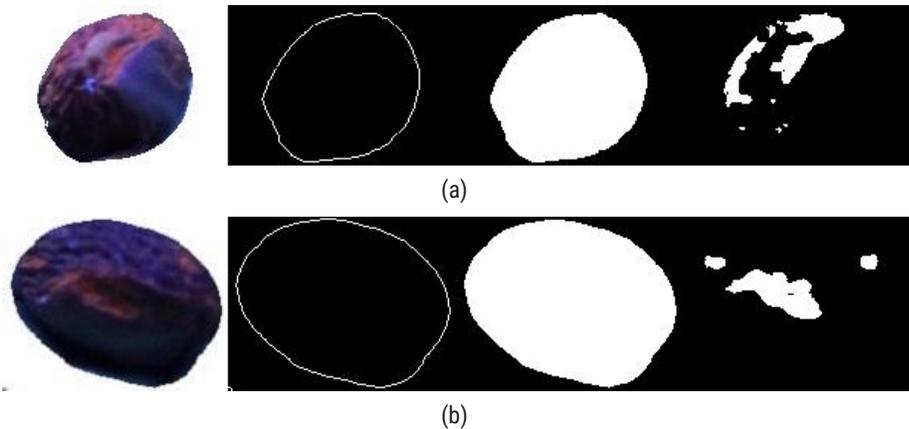
Tabel 38 menunjukkan hasil penghitungan luas sebaran aflatoksin berdasarkan perbedaan saluran *hue*, di mana citra RGB berfungsi sebagai input di dalam sistem yang diusulkan untuk mendeteksi batas dan area biji pala terlebih dahulu. Proses analisis citra dari citra RGB hingga citra biner untuk menemukan area sebaran aflatoksin ditunjukkan pada Gambar 45.

Tabel 38 Hasil analisis kontaminasi aflatoksin pada biji pala dengan menggunakan *image analyzer*

Gambar sampel dari satu sudut (px)	Panjang sumbu mayor (px)	Panjang sumbu minor (px)	Orientasi	Centroid (x,y)	Luas pala (px)	Area aflatoksin (px)
Sampel 1 permukaan atas (148 x 104)	107	89	40	x = 75; y = 56	7.425	1.309
Sampel 2 Permukaan bawah (148 x 104)	143	105	-18	x = 78; y = 58	11.720	1.241
Total					19.145	2.550
% kontaminasi						13,32

Keterangan: px = pixel.

Sumber: Paulus dan Suryani (2019).



Gambar 45 Hasil penghitungan area sebaran aflatoksin pada biji pala berdasarkan *image analysis process* pada permukaan atas (a) dan permukaan bawah (b); dari kiri ke kanan: gambar asli, *boundary image*, gambar area biji pala, dan area sebaran aflatoksin

(Sumber foto: Paulus & Suryani 2019).



Sumber foto: Nijma Nurfadila



BAB VIII

PEMANFAATAN PALA

Pala terdiri dari daging buah, biji, dan fuli. Biji pala utuh mengandung lemak (30 - 55%) dan bahan padat (45 - 60%). Biji pala digiling menjadi pala bubuk yang mengandung minyak atsiri (*essential oil*) (5 - 15%), *fixed oil* atau *butter* (24 - 45%), dan oleoresin.

Minyak atsiri pala terdiri dari *camphene*, *d-pinene*, *dipentene*, *coriandrol*, *d-borneol*, *i-terpineol*, *geraniol*, *myristicin*, *safrole*, *eugenol*, dan *iso-eugenol*. *Fixed oil* atau *butter* berupa trimyristin (73%) yang terdiri dari asam myristic dan gliserol. Fuli utuh dapat diubah menjadi fuli bubuk yang memiliki kandungan minyak volatil 4 - 17% dan oleoresin.

Menurut Astawan (2008) pala biasa digunakan sebagai obat diare, kembung, serta meningkatkan daya cerna dan selera makan. Pala juga dapat digunakan sebagai obat korigensia, karminatif, kejang lambung, pegel linu, sulit tidur, dan sariawan (Alegantina & Mutiatikum 2009). Selain itu, pala juga dapat digunakan untuk menghilangkan rasa mual (Cahyo 2012).

8.1 Pemanfaatan Daging Buah Pala

Daging buah pala dapat diolah menjadi manisan, sirop, dan selai pala. Menurut Arief *et al.* (2015) konsumen di Desa Sinar Harapan, Kecamatan Kedondong, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung lebih menyukai warna dan rasa manisan pepaya dibandingkan manisan pala, tetapi aromanya tidak menunjukkan perbedaan nyata (Tabel 39). Berdasarkan tingkat kesukaan konsumen terhadap sirop pala dengan pembanding sirop melon menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata dari warna, aroma, dan rasa kedua sirop tersebut (Tabel 40). Adapun tingkat kesukaan konsumen terhadap aroma dan rasa selai nanas dibandingkan selai pala disajikan pada Tabel 41.

Tabel 39 Tingkat kesukaan konsumen terhadap manisan pala dan pepaya

Sampel	Warna	Aroma	Rasa
Manisan pala	3,30 b	3,93 a	3,43 b
Manisan pepaya	4,00 a	3,85 a	3,83 a
KK (%)	14,62	10,73	10,26

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama di dalam kolom yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata dengan DMRT pada taraf 5%

Sumber: Arief *et al.* (2015).

Tabel 40 Tingkat kesukaan konsumen terhadap sirop pala dan sirop melon

Sampel	Warna	Aroma	Rasa
Sirop pala	3,80 a	3,93 a	3,87 a
Sirop melon	3,87 a	4,00 a	4,13 a
KK (%)	12,64	11,53	10,06

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama di dalam kolom yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata dengan DMRT pada taraf 5%

Sumber: Arief *et al.* (2015).

Tabel 41 Tingkat kesukaan konsumen terhadap selai pala dan selai nanas

Sampel	Warna	Aroma	Rasa
Selai pala	3,47 a	3,13 b	3,40 b
Selai nanas	3,87 a	4,13 a	4,40 a
KK (%)	12,04	12,74	13,71

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama di dalam kolom yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata dengan DMRT pada taraf 5%

Sumber: Arief *et al.* (2015).

Berbeda dengan di Lampung, manisan pala justru menjadi ciri khas oleh-oleh asal Bogor. Ada dua jenis manisan pala yang diproduksi di Bogor, yaitu manisan pala basah dan kering. Cita rasa manisan pala basah lebih dominan dibandingkan dengan cita rasa manisan pala kering. Daya tahan simpan manisan pala kering (satu tahun) lebih lama dibandingkan dengan daya tahan simpan manisan pala basah (2 bulan) (Yayat 2019). Aulia dan Suseno (2020) menjelaskan bahwa pemanfaatan buah pala menjadi minuman sari pala dilakukan dengan cara mengolah 100 kg daging buah pala menjadi sirup pala sebanyak 800 botol yang masing-masing bervolume 250 mL, sehingga total produksi adalah sekitar 200 liter sari pala dalam sekali produksi. Daging buah pala juga dapat menghasilkan minyak pala dengan kandungan *myristicin* yang baik (Sipahelut & Telusa 2011). Daging buah pala yang dikeringkan dengan cara dikeringanginkan dan diekstrak dengan air distilasi memiliki kandungan *myristicin* yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya (Tabel 42).

Tabel 42 Kandungan *myristicin* minyak pala yang diekstrak dari daging buah pala dengan metode pengeringan dan distilasi yang berbeda

Metode pengeringan	Kandungan <i>myristicin</i> minyak pala (%)	
	Distilasi air	Distilasi air-uap
Kering angin	17,4 ± 1,2 a	11,9 ± 1,0 b
Kering matahari	12,0 ± 1,2 b	14,1 ± 0,1 b
<i>Cabinet dryer</i>	14,4 ± 1,0 b	13,3 ± 1,2 b

Sumber: Sipahelut dan Telusa (2011).

8.2 Pemanfaatan Fuli Pala

Fuli merupakan salah satu bagian pala yang mengandung banyak nutrisi. Seratus gram fuli mengandung kadar air 8,17%; energi 1.989 kJ; protein 6,71 g; lipid total 32,38 g; kandungan abu 2,23 g; karbohidrat 50,5 g; serat 20,2 g; kalsium 252 mg; zat besi 13,9 mg; magnesium 163 mg; fosfor 110 mg; dan potassium 463 mg (USDA 2018). Fuli bermanfaat untuk memperbaiki sistem pencernaan, menghilangkan rasa sakit, stres, kecemasan, menenangkan sistem saraf, melancarkan detoksifikasi tubuh, dan memperkuat sistem kekebalan tubuh (Biotifor 2023). Selain itu, Abutaha *et al.* (2021) menjelaskan bahwa ekstrak kloroform dari fuli pala juga mengandung fenol ($26,24 \pm 0,1$ mg GAE/g ekstrak) dan flavonoid ($8,28 \pm 0,1$ mg QuE/g ekstrak).



Berdasarkan uji *in vitro* menggunakan metode *disk*, sumur, dan uji mikrodilusi dengan *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC), ekstrak kloroform dari fuli pala memiliki efek antimikroba terhadap bakteri gram positif dan *Candida albicans*. Efektivitas ekstrak kloroform dari fuli pala terlihat dari kisaran zona hambat yang terbentuk ketika bereaksi terhadap bakteri gram positif dan *C. albicans* yaitu 9 - 15 mm pada perlakuan 20 g ekstrak per *disk*/sumur.

Jika dilihat dari hasil uji mikrodilusi dengan MIC, ekstrak kloroform dari fuli pala dapat menghambat bakteri gram positif dengan daya hambat berkisar 1,56 - 3,12 g/mL, serta menghambat *C. albicans* dengan daya hambat sebesar 25 g/mL. Ekstrak kloroform dari fuli pala termasuk aman berdasarkan uji toksisitas terhadap sel tikus dengan nilai $LD_{50} > 2.000$ mg/kg. Tikus yang diberi ekstrak etanol dari fuli pala dengan dosis 0,3 mg/hari selama 7 hari melalui aplikasi oral menunjukkan peningkatan yang signifikan pada kandungan kreatin fosfokinase, sehingga tidak ada perubahan aktivitas katalase dan tidak ada gangguan morfologi sel tikus.

8.3 Pemanfaatan Biji Pala

Biji pala berpengaruh terhadap komponen presinaptik dari neuron *Gamma-aminobutyric acid subtype A* (GABA)-ergik yang mempengaruhi pelepasan *sinaptomal* GABA. Tak hanya itu, biji pala juga dapat menghambat *reuptake* GABA dan katabolisme GABA dengan menghambat enzim GABA transaminase. Efek sedasi biji pala berkaitan erat dengan reseptor GABA_A. Reseptor GABA_A merupakan target penting untuk komponen hipnotik-sedatif, anestesi umum, benzodiazepin, dan barbiturat (Rahadian 2009). Dengan kata lain, ekstrak biji pala dapat digunakan untuk menghilangkan kecemasan pasien (obat bius).

Menurut Panggabean (2016), ekstrak biji pala mengandung pelarut yang baik untuk menghambat pertumbuhan mikroba yaitu metanol dan etil asetat. Berdasarkan uji *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC), ekstrak etil asetat dari biji pala dengan konsentrasi 0,1% dapat menghambat aktivitas *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Selain itu, uji aplikatif etil asetat untuk mengawetkan produk sosis tempe menunjukkan bahwa ekstrak etil asetat dari biji pala terbukti mengawetkan sosis tempe hingga penyimpanan hari ke-5.

Menurut Ariandi *et al.* (2018) biji pala juga dapat menghasilkan minyak atsiri. Nilai rendemen minyak atsiri dari biji pala dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu intensitas cahaya matahari, jarak rata-rata pohon bersinggungan, jenis pohon bersinggungan, dan jumlah pohon bersinggungan secara bersama-sama. Intensitas cahaya matahari berkategori sedang merupakan intensitas cahaya terbaik untuk tanaman pala untuk memperoleh hasil rendemen minyak atsiri 198,2 mL/kg (Ariandi *et al.* 2018).

Selain itu, Ariandi *et al.* (2018) juga menemukan bahwa jarak rata-rata pohon pala terbaik yaitu 3,5 m, menunjukkan hasil rendemen minyak atsiri 196,6 mL/kg, sedangkan jenis pohon bersinggungan terbaik yaitu pada nilai 4 dengan rendemen minyak atsiri sebanyak 216 mL/kg. Jumlah pohon bersinggungan terbaik adalah 1 pohon bersinggungan dengan nilai rendemen minyak atsiri sebesar 165 mL/kg.





BAB IX
PENUTUP



Pala merupakan salah satu produk ekspor terpenting Indonesia yang mendukung peningkatan perekonomian Indonesia. Penerimaan dan penolakan pala Indonesia yang diekspor sangat dipengaruhi oleh mutu pala. Mutu pala yang terbaik dapat diperoleh dengan dilakukannya *Good Agricultural Practices*, *Good Handling Practices*, *Good Manufacturing Practices*, dan *Good Distribution Practices*. Beberapa inovasi teknologi dapat digunakan untuk memeriksa mutu pala, misalnya metode *fingerprint*, prototipe stasiun akuisisi citra dengan 2 kamera, dan *image analyzer*. Semakin tinggi mutu pala, semakin meningkat harga daging buah, fuli, dan biji pala yang diekspor ke negara tujuan. Daging buah, fuli dan biji pala memiliki banyak manfaat bagi makhluk hidup, khususnya manusia. Pemanfaatan dari setiap bagian pala perlu dilakukan sebagai upaya peningkatan daya jual pala di sektor perdagangan.



BAB X

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah F, Subramanian P. 2008. The feeding response of *Epilachna indica* (Coleoptera: Coccinellidae: Epilachninae) towards extracts *Azadirachta indica*. *J of Entomol* 5:77-90.
- Abutaha N, Al-Keridis LA, Saddig R, Al-Mekhlafi F. 2021. Potency and selectivity indices of *Myristica fragrans* Houutt. mace chloroform extract against non-clinical and clinical human pathogens. *Open Chemistry* 19(1):1096-107.
- Alegantina S, Mutiatikum D. 2009. Pengembangan dan potensi pala (*Myristica fragrans*). *Jurnal Kefarmasian Indonesia* 1(2):64-70.
- Anonim. 2021. *Epilachna indica*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 09]. Tersedia pada: <http://www.natureloveyou.sg/Minibeast-Beetle/Epilachna%20indica/Main.html>.
- Ariandi EA, Duryat, Santoso T. 2018. Analisis rendemen atsiri biji pala (*Myristica fragrans*) pada berbagai kelas intensitas cahaya matahari di Desa Batu Keramat, Kecamatan Kota Agung, Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Sylva Lestari* 6(1):24-31.
- Arief RW, Firdausil AB, Asnawi R. 2015. Potensi pengolahan daging buah pala menjadi aneka produk olahan bernilai ekonomi tinggi. *Bul Littro* 26(2):165-74.
- Astawan M. 2008. Pala, mujarab buat perut. [Internet]. [diunduh 2022 Apr 20]. Tersedia pada: http://health.kompas.com/read/2008/09/26/162_33198/Pala.Mujarab.buat.Perut.
- Aulia S, Suseno SH. 2020. Diversifikasi produk olahan buah pala (*Myristica fragrans*) di Desa Sukadamai. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat* 2(6):966-972.
- [Barantan] Badan Karantina Pertanian. 2019. Persyaratan dan prosedur ekspor karantina: Akselerasi ekspor Kementerian Pertanian melalui Badan Karantina Pertanian. Di dalam: Seminar Peningkatan Kompetensi dan Kinerja Pengamat Mutu Hasil Pertanian (PMHP). 27 Agustus 2019. Bogor (ID): Badan Karantina Pertanian.
- [BioLib] Biology Library. 2019. *Carpophilus obsoletus*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 10]. Tersedia pada: <http://animal.memozee.com/list.php?qry=Carpophilus%20obsoletus>.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2015. SNI 0006: 2015. Pala. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- Baroody J. 2021. *Batocera hercules*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 02]. Tersedia pada: <https://www.pinterest.com/pin/41517627798124359/>.
- Basappa SC. 2009. Aflatoxins. Formation, Analysis and Control. New Delhi (IN): Narosa Publishing House.
- Berger J. 2021. *Reticulitermes flavipes*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 09]. Tersedia pada: <https://entomologytoday.org/2021/04/06/new-method-faster-genetic-identification-eastern-termites/reticulitermes-flavipes-termites/>.

- Bermawie N, Ma'mun, Purwiyanti S, Lukman W. 2015. Keragaman hasil, morfologi dan mutu plasma nutfah Pala di KP Cicurug. Prosiding Seminar Teknologi Budidaya Cengkeh, Lada, dan Pala. Jakarta (ID): IAARD Press Balitbangtan. hlm. 239-50.
- Betina V. 1984. Toxigenic fungi and their occurrence. Di dalam: Betina V (editor). *Mycotoxins: Production, isolation, separation and purification*. Amsterdam (NL): Elsevier Science Publishers. hlm. 3-12.
- Biotifor. 2023. Manfaat buah pala: Menggali khasiat luar biasa dari buah pala. [Internet]. [diunduh 2023 Aug 04]. Tersedia pada: <https://www.biotifor.or.id/manfaat-buah-pala/>
- Borrer DJ, Triplehorn CA, Johnson NF. 1992. Pengenalan pelajaran serangga. Di dalam: Partosoedjono S [penerjemah]. Yogyakarta (ID): Universitas Gadjah Mada.
- Bursatriannyo. 2017. Teknologi penyimpanan biji pala dengan berbagai kemasan dan suhu untuk reduksi aflatoksin. [Internet]. [diunduh 2022 Apr 4]. Tersedia pada: <https://perkebunan.litbang.pertanian.go.id/teknologi-penyimpanan-biji-pala-dengan-berbagai-kemasan-dan-suhu-untuk-reduksi-aflatoksin/>
- [CIR] Commission Implementing Regulation. 2016. Regulations: Commission Implementing Regulation (EU) 2016/24 of 8 January 2016. Imposing special conditions governing the import of groundnuts from Brazil, *Capsicum annum* and nutmeg from India and nutmeg from Indonesia and amending Regulation (EC) No 669/2009 and (EU) No 884/2014. Official J of The European Union L 1 - 8.
- [Comtrade] United Nations Commodity Trade. 2022. United Nations Commodity Trade Statistics Database 2022. [Internet]. [diunduh 2022 Jan 15]. Tersedia pada: <https://comtrade.un.org/data/>.
- Cahyo. 2012. Khasiat buah pala bagi kesehatan. [Internet]. [diunduh 2022 Apr 20]. Tersedia pada: <http://bagi.me/2012/12/khasiat-buah-pala-bagi-kesehatan/>
- Callagher J. 2015. *Odontotaenius* sp. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 08]. Tersedia pada: <https://www.flickr.com/photos/52450054@N04/16957993784/>
- Collison C, MacGawn J. 2015. *Carpophilus dimidiatus*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 10]. Tersedia pada: https://mississippientomologicalmuseum.org.msstate.edu/Researchtaxapages/Nitidulidae/species/Carpophilus_dimidiatus.html.
- Coop Gimar. 2020. *Ahasverus advena*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 09]. Tersedia pada: <https://coopgimar.it/project/ahasverus-advena/>.
- [Ditjenbun] Direktorat Jenderal Perkebunan. 2011. Budidaya tanaman pala (*Myristica fragrans* Houtt.). Jakarta (ID): Kementerian Pertanian.
- Dahlan SA, Ahmad U, Subrata IDM. 2017. Visual method for detecting contaminant on dried nutmeg using fluorescence imaging. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 147:1-6.

- Dharmaputra OS, Ambarwati S, Retnowati I. 2010. The occurrence of insects and fungi, and aflatoxin B contamination of stored sorghum in Demak and Wonogiri Regencies, Central Java. *BIOTROPIA* 18(2):102-22.
- Dharmaputra OS, Ambarwati S, Retnowati I, Nurfadila N. 2015. Fungal infection and aflatoxin contamination in stored nutmeg (*Myristica fragrans*) kernels at various stages of delivery chain in North Sulawesi Province. *BIOTROPIA* 22(2):129-39.
- Dharmaputra OS, Ambarwati S, Retnowati I, Nurfadila N. 2018a. Determining appropriate postharvest handling method to minimize fungal infection and aflatoxin contamination in nutmeg (*Myristica fragrans*). *Int Food Research J* 25(2):545-52.
- Dharmaputra OS, Ambarwati S, Retnowati I, Nurfadila N. 2022. Postharvest quality improvement of nutmeg (*Myristica fragrans*). *BIOTROPIA* 29(3):185-92.
- Dharmaputra OS, Putri ASR, Retnowati I, Ambarwati S. 2003. Control of aflatoxigenic *Aspergillus flavus* in peanuts using non-aflatoxigenic *A. flavus*, *A. niger*, and *Trichoderma harzianum*. *BIOTROPIA* 21:32-44.
- Dharmaputra OS, Retnowati I, Ahmad M, Ambarwati S. 2000. Airtight storage of maize: Its effect on fungal infection and aflatoxin production. Di dalam: Johnson GI, To LV, Nguyen DD, Webb MC (editors). *Quality assurance in agricultural produce. Proceedings of the 19th ASEAN/1st APEC Seminar on Postharvest Technology; 9 - 12 November 1999; Ho Chi Minh (VT): Postharvest Technology Industry.* hlm. 474 - 82.
- Dharmaputra OS, Sunjaya, Retnowati I, Nurfadila N. 2018b. Keanekaragaman serangga hama pala (*Myristica fragrans*) dan tingkat kerusakannya di penyimpanan. *J Entomologi Indonesia* 15(2):57-64.
- Edde PA. 2012. A review of the biology and control of (F.) the lesser grain borer. *J Stored Prod Res* 48:1-18. DOI: 10.1016/j.jspr.2011.08.007
- Ehrlich KC. 2014. Non-aflatoxigenic *Aspergillus flavus* to prevent aflatoxin contamination in crops: Advantages and limitations. *Front Microbiol* 5(50):1-9. DOI: 10.3389/fmicb.2014.00050
- Emmyzar, Rosman R, Muhammad H. 1989. Tanaman pala. *Littro* 5(1):52-60.
- European Commission. 2003. Revision of the opinion of the scientific committee on food on the irradiation of food. European Commission, Brussels. [Internet]. [diunduh 2022 Apr 04]. Tersedia pada: http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out135_en.pdf.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2004. *Worldwide Regulations for Mycotoxins in Food and Feed in 2003*. FAO Food and Nutrition Paper 81. Rome (IT): FAO.
- Grinter C. 2012. *Corcyra cephalonica*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 10]. Tersedia pada: <https://www.discoverlife.org/>

mp/20q?search=Corcyra+cephalonica&flags=glean:&mobile=close.

- Haines CP. 1991. Insects and Arachnids of Tropical Stored Products: Their Biology and Identification (A Training Manual). Edisi kedua. Chatham Maritime (UK): Natural Resources Institute. 246 hlm.
- Haruna M, Dangora DB, Khan AU, Batagarawa US, Ibrahim H, Adamu SU. 2017. Incidence of fungal flora and aflatoxin some spices sold in central market Funtua, Nigeria. *UMYU J of Microbiol Research* 2(1):47-53.
- Horn BW, Greene RL, Sobolev VS, Dorner JW, Powell JH, Layton RC. 1996. Association of morphology and mycotoxin production with vegetative compatibility groups in *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* and *A. tamarii*. *Mycologia* 88(4):574-87.
- Iha MH, Rodrigues ML, Briganti RdC. 2021. Survey of aflatoxins and ochratoxin A in spices from Brazillian market. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 64:1-9.
- [ILO] International Labour Organization. 2013. Kajian Pala. Papua (ID): ILO-UNDP.
- Ichinoe M, Takahashi H, Ikeda N, Kanai Y, Kiraku Y. 2006. Occurrence of *Aspergillus flavus* and storage fungi in nutmeg. *Proceedings 2nd International Symposium on Mycotoxicology*. Bangkok, Thailand, 13-14 December 2006.
- INA Agrimap. 2018. Pala. [Internet]. [diunduh 2022 Jan 18]. Tersedia pada: <http://inaagrimap.litbang.pertanian.go.id/index.php/sentra-produksi/tanaman-perkebunan/pala>.
- Ishara J, Ayagirwe R, Karume K, Mushagalusa G, Bugeme D, Niassy S, Udomkun P, Kinyuru J. 2021. Inventory reveals wide edible insects biodiversity in selected Territories of South-Kivu 2 Province, Democratic Republic of Congo. *Research Square* (under review). DOI: 10.21203/rs.3.rs-744787/v1.
- Jian F, Jayas DS. 2012. The ecosystem approach to grain storage. *Agriculture Research* 1:148-56. DOI: 10.1007/s40003-012-0017-7.
- Juli H, Suminto. 2017. Daya saing produk pala Indonesia di Pasar Uni Eropa. Di dalam: *Prosiding PPI Standardisasi 2017*. 25 Oktober 2017. Makassar (ID). hlm 85-98.
- [Kementan] Kementerian Pertanian. 2012. Lampiran Peraturan Menteri Pertanian Nomor 53/Permentan/OT.140/9/2012. Pedoman Penanganan Pascapanen Pala. Jakarta (ID): Kementerian Pertanian Indonesia.
- Kalay AM, Lamerkabel JSA, Thenu FJL. 2015. Kerusakan tanaman pala akibat serangan penyakit busuk buah kering dan hama penggerek batang pala di Kecamatan Leihitu, Kabupaten Maluku Tengah. *J Agroekotek* 7(2):138-46.
- Khairunnisa SN. 2020. Sejarah pala, rempah dengan kisah penuh darah. Yuharrani A. (editor). [Internet]. [diunduh 2022 Jan 18]. Tersedia pada: <https://travel.kompas.com/read/2020/04/19/213100327/sejarah-pala-rempah-dengan-kisah-penuh-darah?page=all>

- Launda AP, Mamahit DJ, Allo EK. 2017. Prototipe sistem pengering biji pala berbasis mikrokontroler arduino uno. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 6(3):141-7.
- Lipsey RG, Courant PN, Purvis DD, Steiner PO. 1995. *Economics*. 10th Edition. Dialihbahasakan oleh Wasana AJ, Kirbrandoko. Jakarta (ID): Binarupa Aksara.
- Litbang Perkebunan. 2017. Serangga Perusak Biji Pala. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. [Internet]. [diunduh 2022 Jan 18]. Tersedia pada: <http://www.perkebunan.litbang.pertanian.go.id>.
- Lukiawan R, Ritonga M, Susanto DA. 2017. Kandungan aflatoxin B₁ pada biji pala Indonesia sebagai respon penolakan produk [*Content of aflatoxin B₁ in Indonesian nutmeg seeds as response to product rejection*]. Di dalam: *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi 2017*; 20 Juli 2017. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional. hlm. 131-42.
- Lumi MA, Lengkong M, Pelealu J. 2021. Jenis dan populasi serangga-serangga hama gudang biji pala di Kecamatan Tuminting, Kota Manado. *Cocos* 5(5):1-11.
- Mamonto RDL, Dien MF, Rimbing J. 2022. Populasi dan serangan larva *Batocera hercules* Boisduv (Coleoptera: Cerambycidae) pada tanaman pala di Kecamatan Kauditan, Kabupaten Minahasa Utara. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 03]. Tersedia pada <https://www.semanticscholar.org/paper/POPULASI-DAN-SERANGAN-LARVA-Batocera-hercules-PADA-Mamonto-Dien/e59d8907016f80e2b6fec6282deab4a0ea65d8fb>
- Mandang-Sumaraw S. 1981. Penyakit-penyakit jamur pada buah pala di Kabupaten Minahasa. Di dalam: *Kongres Nasional VI Perhimpunan Fitopatologi Indonesia, Bukittinggi, Indonesia*.
- Mangoendiardjo S. 1978. Hama-hama gudang (pada bahan simpanan). Yogyakarta (ID): Yayasan Pembina Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Mankiw NG. 2000. *Principles of Microeconomics*, 2nd edition. Harcourt (US): Harcourt College Publisher. 488 hlm.
- Martin ML, Martins HM, Bernardo F. 2001. Aflatoxins in spices marketed in Portugal. *Food Additives and Contaminants* 18(4):315-9.
- Matyubayashi KW, Kahono S, Katakura H. 2013. Divergent host plant preference causes assortative mating between sympatric host races of the ladybird beetle, *Henosepilachna diekei*. *Biological J Linnean Society* 110(3):606-14. <http://www.natureloveyou.sg/Minibeast-Beetle/Epilachna%20indica/Main.html>.
- McGaw D, Sankat CK. 1984. Effect of Air Flow rate on the drying of nutmeg. *Tropical Agriculture* 61(3).
- Montgomery HW. 2002. The *Branchiacaantha* (Coleoptera: Coccinellidae) of Illinois. *Transactions of the Illinois State Academy of Science* 95(2):1-8.
- Murray T. 2006. *Tenebrio molitor*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 08]. Tersedia pada:

<https://bugguide.net/node/view/88703>.

- Murray T. 2009. *Anasa tristis*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 09]. Tersedia pada: <https://bugguide.net/node/view/336705>.
- Mwangi WW, Nguta CM, Murluki BG. 2014. Aflatoxin contamination in selected spice preparations in the Nyahururu retail market, Kenya. *J of Scientific Research and Reports* 3(7):917-23.
- Najoan YS, Ratulangi MM, Emmy S. 2016. Insidensi penyakit busuk buah pada tanaman pala (*Myristica fragrans* H.) di Kecamatan Lembeh Selatan. *Cocos* 7(4):1-15.
- Nurfadila N, Sutrisno, Ahmad U, Samsudin. 2021. Antagonistic effect of yeast, acetic acid bacteria and mangosteen rind extract on aflatoxigenic *Aspergillus flavus* in unfermented cocoa beans. *BIOTROPIA* 28(3): 239-252.
- Nurtjahja K, Dharmaputra OS, Rahayu WP, Nazli RSS. 2017. Fungal infection of nutmeg (*Myristica fragrans*) kernels affected by water activity during storage. *Agritech* 37(3): 288-94.
- Nurtjahja K, Dharmaputra OS, Rahayu WP, Syarief R. 2017. Gamma irradiation of *Aspergillus flavus* strains associated with Indonesian nutmeg (*Myristica fragrans*). *Food Sci Biotechnol* 26(6):1755-61.
- Nurtjahja K, Zuhra CF, Sembiring H, Bungsu A, Simanullang J, Silalahi JE, Gultom BNL, Sartini S. 2019. Fungal contamination spices from Indonesia with emphasis on *Aspergillus flavus*. *Czech Journal of Food Sciences* 37(5):338-44.
- Okano K, Tomita T, Ohzu Y, Takai M, Ose A, Kotsuka A, Ikeda N, Sakata J, Kumeda Y, Nakamura N, Ichinoe M. 2012. Aflatoxin B and G contamination and aflatoxigenic fungi in nutmeg. *Food Hygiene and Safety Sci (Shokuhin Eiseigaku Zasshi)* 53(2):211-6.
- Panggabean KA. 2016. Pemanfaatan ekstrak biji pala (*Myristica fragrans* Houtt.) sebagai antimikroba pada produk sosis tempe. [Tesis]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.
- Paulus E, Suryani M. 2019. Image analysis for smart machine of nutmeg sorting. *Journal of Physics: Conference Series* 1196:1-6.
- Perrone G, Gallo A, Logrieco F. 2014. Biodiversity of *Aspergillus* section Flavi in Europe in relation to the management of aflatoxin risk. *Front Microbiol* 5(377):1-5. DOI: 10.3389/fmicb.2014.00377
- Pesavento G, Ostuni M, Calonico C, Rossi S, Capei R, Lo Nostro A. 2016. Mycotic and aflatoxin contamination in *Myristica fragrans* seeds (nutmeg) and *Capsicum annum* (chilli) packaged in Italy and commercialized worldwide. *J Prev Med Hyg* 57:E102-9.
- Pratiwi C, Rahayu WP, Lioe HN, Herawati D, Broto W, Ambarwati S. 2015. The effect of temperature and relative humidity for *Aspergillus flavus* BIO 2237 and aflatoxin production on soybeans. *Int Food Research J* 22(1):82-7.

- Pitt J, Hocking A. 2009. *Fungi and Food Spoilage*. New York (US): Springer.
- Pramono S. 2006. Penanganan pascapanen dan pengaruhnya terhadap efek terapi obat alami. Di dalam: *Prosiding Seminar Nasional Tumbuhan Obat Indonesia XXVIII*, Bogor (ID). hlm. 1-6.
- Priyanto YA, Qadir A, Suhartanto MR, Melati M. 2021. Pengaruh kondisi ruang simpan dan jenis kemasan selama penyimpanan terhadap viabilitas benih pala (*Myristica fragrans*, Houtt.) [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Provision Gard. 2021. *Cadra cautella*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 09]. Tersedia pada: <https://www.pinterest.com/pin/590323463634286590/>.
- Provision Gard. 2018. *Coccotrypes dactyliperda*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 10]. Tersedia pada: <https://www.pinterest.com/pin/590323463635029512/>.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. 2017. Serangga perusak biji pala. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 08]. Tersedia pada: <http://www.perkebunan.litbang.pertanian.go.id>.
- Putra R. 2018. Karakteristik serangga hama pada tanaman pala (*Myristica fragrans*) di Desa Batu Itam, Kabupaten Aceh Selatan sebagai penunjang praktikum mata kuliah entomologi. [Skripsi]. Banda Aceh (ID): Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Rahadian DD. 2009. Pengaruh ekstrak biji pala (*Myristica fragrans* Houtt.) dosis 7,5 mg/25 g BB terhadap waktu induksi tidur dan lama waktu tidur mencit BALB/C yang diinduksi thiopental. [Skripsi]. Semarang (ID): Universitas Diponegoro.
- Rahayu G, Listiyowati S, Sukarno N, Gunawan AW. 2015. *Cendawan dalam Praktik Laboratorium*. Edisi ke-5. Bogor (ID): IPB Press. hlm. 79-86. ISBN 979-493-098-9.
- Ratriani V. 2021. Sejarah pala. [Internet]. [diunduh 2022 Jan 18]. Tersedia pada: <https://caritahu.kontan.co.id/news/sejarah-pala-buah-berwarna-kekuningan-yang-menarik-penjajah-datang-ke-indonesia?page=all>.
- Rees D. 2004. *Insects of stored products*. Collingwood (AU): CSIRO Publishing.
- Rosman R, Suryadi R, Djazuli M, Sudiman A, Setiawan. 2016. Pengaruh pola tanam terhadap pertumbuhan, produksi dan usahatani nilam. *Bul Littro* 17(1): 19-26.
- Rosman R. 2020. Permasalahan pengembangan dan inovasi teknologi budidaya tanaman pala berbasis ekologi. *Perspektif* 19(1):53-62.
- Rubak YT, Purawisastra S. 2011. Reduksi kandungan aflatoksin B1 (AFB1) pada pembuatan kacang telur melalui prebusan dalam larutan kapur. *PGM* 34(1):21-8.
- Salvatore D. 2013. *International Economics*. 11th Edition. Hoboken (US): John Wiley & Sons. 787 hlm.
- Samarang SH. 2019. Hama dan penyakit tanaman pala dan penanggulangannya.

- [Internet]. [diunduh 2022 Feb 03]. Tersedia pada: <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/65704/Hama-Dan-Penyakit-Tanaman-Pala-Dan-Penanggulangannya/>.
- Sankat CK, Narayan CV. 1985. A machine for sorting nutmegs. *The West Indian Journal of Engineering* 10(2):83-5.
- Sarjoko, Djauhari S, Muhibuddin A. 2018. Potensi jamur tanah dan mikoriza dalam menekan perkembangan penyakit layu pada bibit pala (*Myristica fragrans* Houtt.) di Maluku. *Indonesian Green Technology Journal* 7(1):21-6.
- Satcunanathan S. 1977. A preliminary report on the possibilities of improving the processing methods in the nutmeg industry of Grenada. Trinidad (TR): UWI, Faculty of Agriculture.
- Sauer DB, Meronuck RA, Christensen CM. 1992. Microflora. Di dalam: Sauer DB, editor. *Storage of Cereal Grains and Their Products*. Edisi ke-4. St. Paul (US): Eagan Press. hlm. 261-85.
- Scott PM. 1994. *Penicillium* and *Aspergillus* toxins. Di dalam: Miller JD, Trenholm HL, editors. *Mycotoxins in Grains: Compounds other than Aflatoxin*. St. Paul (US): Eagen Press. hlm. 261-85.
- Satcunanathan, S. Faculty of Agriculture, UWI, Trinidad. A Preliminary Report on the 1977.
- Sembiring BGR, Supriadi, Ediningsih. 2020. Efektivitas metode pengeringan untuk menekan aflatoxin pada biji pala kering. *Jurnal Littri* 26(1):1-10.
- Singh RH, Sankat CK, Mujaffar S. 2015. A case study: The nutmeg and spice industry in Grenada: Innovations and competitiveness. Di dalam: *Workshop on the Role of Science, Technology and Innovation in Increasing Competitiveness in the Productive Sector*. November 2003, St. Augustine, Trinidad (TR): University of the West Indies.
- Sipahelut S, Telussa I. 2011. Karakteristik minyak atsiri dari daging buah pala melalui beberapa proses teknologi. *Teknologi Hasil Pertanian* 4(2):126-34.
- Srirahayu D, Suribidari, Widyatmoko B. 2020. Hambatan perdagangan dan pasar yang mapan pala Indonesia di Eropa. [Internet]. [diunduh 2022 Jan 18]. Tersedia pada: <http://psdr.lipi.go.id/news-and-events/opinions/hambatan-perdagangan-dan-pasar-yang-mapan-pala-indonesia-di-eropa-1.html>
- Sugiyama J, Fujita K. 2014. Detection of food safety using fluorescence fingerprint. *Scientific Instrument News* 5:1-6.
- Suryadi R. 2017. Strategi penelitina budidaya untuk meningkatkan produktivitas dan daya saing pala. *Perspektif* 16(1):1-13.
- Susanti A, Yuliana L. 2021. Analisis ekspor biji pala Indonesia ke tujuh negara Uni Eropa periode 2012 - 2019. Di dalam: *Official statistics dan sains data mendukung percepatan pemulihan sosial ekonomi masyarakat dalam rangka hari statistik nasional tahun 2021*. Prosiding Seminar Nasional *Official Statistics* 2021. 25 September 2021. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik.

- Taarae MD, Wenur F, Longdong IA. 2020. Karakteristik pengeringan daging buah pala (*Myristica fragrans* Houtt.) menggunakan alat pengering tenaga surya tipe tenda. *Cocos* 4(4):1-9.
- Tabata S, Kamimura H, Ibe A, Hashimoto H, Iida M, Tamura Y, Nishima T. 1993. Aflatoxin contamination in foods and foodstuffs in Tokyo: 1986-1990. *J AOAC Int* 76 (1):32-5.
- Takahashi T. 1993. Aflatoxin contamination in nutmeg: Analysis of interfering TLC spots. *J Food Sci* 58:197-8.
- Theo. 2021. *Batocera celebiana*. [Internet]. [diunduh 2022 Feb 02]. Tersedia pada : <https://www.pinterest.com/pin/548031848380600545/>.
- [USDA] United State Department of Agriculture. 2018. Food data central: spices, maces, ground. [Internet]. [diunduh 2022 May 25]. Tersedia pada: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170927/nutrients>.
- Universal Images Group Editorial. 2005. Shelling a nutmeg harvest in Grenada. [Internet]. [diunduh 2022 Aprl 13]. Tersedia pada: <https://www.gettyimages.com/detail/news-photo/grenada-shelling-a-nutmeg-harvest-a-grenadian-woman-uses-a-news-photo/1195745408>.
- Vaamonde G, Patriarca A, Pinto VF, Comerio R, Degrossi C. 2003. Variability of aflatoxin and cyclopiazonic acid production by *Aspergillus* section *flavi* from different substrates in Argentina. *Int J Food Microbiol* 88(1):79-84.
- van Ruth SM, Silvis ICJ, Alewijn M, Liu N, Jansen M, Luning PA. 2019. No more nutmegging with nutmeg: Analytical fingerprints for distinction of quality from low-grade nutmeg products. *Food Control* 98:439-48.
- Wenzen N. 2021. Mengenal Grenada pulau kecil penghasil pala kedua terbesar di dunia. [Internet]. [diunduh 2022 Des 17]. Tersedia pada: <https://www.infoterkini24.com/entertainment/pr-2121598284/mengenal-grenada-pulau-kecil-penghasil-pala-kedua-terbesar-di-dunia>.
- Yayat. 2019. Manisan pala Bogor, makanan sederhana yang proses pembuatannya lama. [Internet]. [diunduh 2022 Apr 20]. Tersedia pada: https://www.kompasiana.com/yayat/5dd68002097f364539552ca2/manisan-pala-bogor-makanan-sederhana-yang-proses-pembuatannya-lama?page=2&page_images=1.

TENTANG PENULIS



Nijma Nurfadila

Penulis dilahirkan di Bogor pada tanggal 11 Juni 1988. Pendidikan dasar dan menengah ditempuh di kota kelahiran. Penulis menempuh pendidikan sarjana di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, dengan Minor Gizi Masyarakat, Fakultas Ekologi Manusia, Institut Pertanian Bogor yang diselesaikan pada tahun 2010, dengan skripsi berjudul "Serangan Cendawan dan Kontaminasi Aflatoksin pada Sorgum pada Setiap Rantai Distribusi di Kabupaten Wonogiri". Pendidikan Magister Sains diselesaikan pada tahun 2020 dari Program Studi Teknologi Pascapanen, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,

Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, dengan judul tesis "Peningkatan Mutu dan Keamanan Pangan pada Kakao Kering". Selama mengikuti perkuliahan S1, penulis menjadi asisten praktikum Biologi Dasar Tahap Persiapan Bersama (TPB) tahun ajaran 2008/2009 dan 2009/2010, asisten praktikum Genetika Molekuler dan Perkembangan Hewan tahun ajaran 2009/2010. Penulis aktif dalam Perhimpunan Mahasiswa Biologi (HIMABIO).

Pada tahun 2012-2013, penulis menjadi *Research Assistant* di Laboratorium Fitopatologi, SEAMEO BIOTROP, Bogor. Selanjutnya, penulis menjadi tim peneliti permanen di Laboratorium Fitopatologi, SEAMEO BIOTROP, Bogor sejak tahun 2014 - 2021. Tahun 2022 penulis bertugas sebagai staf *Environmental Technology and Security Section*, dari *Science Innovation and Technology Department*, SEAMEO BIOTROP. Penulis menjadi narasumber atau instruktur pada setiap pelatihan "Pencegahan dan Pengendalian Cendawan Perusak Pascapanen dan Mikotoksin pada Bahan Pangan dan Pakan", baik di tingkat nasional maupun regional. Selain itu, penulis bertanggung jawab sebagai *document controller* untuk ISO Laboratorium Riset di SEAMEO BIOTROP kurun waktu tahun 2015 - 2018.

Penulis merupakan anggota Perhimpunan Mikologi Indonesia (MIKOINA) sejak tahun 2013 hingga sekarang (saat buku ini ditulis). Penulis juga mendapat penghargaan sebagai *Best Oral Presenter* dalam acara "*The 6th Food Ingredients Asia Conference 2020 on Food Science, Nutrition and Health*" pada tahun 2020 dan *1st Winner* pada "*Scientific Photography Competition*" tahun 2018. Penulis juga aktif mengikuti berbagai seminar, konferensi, maupun pelatihan terkait cendawan dan mikotoksin pada bahan pangan dan pakan, ISO 2008 dan 2015, serta topik Mikrobiologi lainnya, baik nasional maupun internasional. Penulis juga termasuk ke dalam tim penulis buku yang telah diterbitkan pada tahun 2021 yaitu berjudul "Serangan Cendawan dan Kontaminasi Mikotoksin pada Kacang Tanah, Jagung, dan Sorgum, serta Pencegahan dan Pengendaliannya".

Okky Setyawati Dharmaputra



Penulis lahir di Purbalingga, Jawa Tengah pada tanggal 24 April 1948. Pendidikan dasar hingga menengah ditempuh di kota kelahirannya, sedangkan tingkat sarjana diselesaikan di Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED) pada Fakultas Biologi tahun 1975, dengan skripsi berjudul “Suksesi jamur pada bedengan jamur merang”. Gelar Diplome d’Etudes Approfondies (DEA) (1980) diperoleh dari Université des Sciences et Techniques du Languedoc (USTL), Montpellier, Prancis dengan tesis berjudul “Induction de mutants de *Pyricularia oryzae* Briosi et Cavara par divers agents mutagènes et études de leur compartement à la chaleur”.

Gelar Docteur de 3ème cycle (1983) diperoleh dari universitas yang sama di Prancis dengan disertasi berjudul “*Etude de mutations induites du pouvoir pathogènes de Pyricularia oryzae Briosi et Cavara*”.

Okky Setyawati Dharmaputra adalah pensiunan staf pengajar di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor (1985-2018), mengajar dan membimbing mahasiswa S1, S2 dan S3 diantaranya dalam bidang Biologi Cendawan, Biologi Cendawan Symbion, Cendawan Perusak dan Mikotoksin pada Bahan Pangan. Jabatan Guru Besar dalam bidang Mikrobiologi diperoleh pada 1 Juli 2010. Beliau menjabat sebagai Kepala Divisi Mikologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor dari tahun 2013 hingga tahun 2017.

Beliau juga berkarya sebagai peneliti di SEAMEO Regional Centre for Tropical Biology (SEAMEO BIOTROP) dalam bidang “Pengendalian hayati gulma dengan menggunakan cendawan patogen” (1975-1977), dalam bidang Cendawan perusak dan mikotoksin pada bahan pangan” (1983-2018), dilanjutkan sebagai peneliti afiliasi di SEAMEO BIOTROP sejak pensiun di Institut Pertanian Bogor sampai sekarang. Okky Setyawati Dharmaputra juga menjabat sebagai *Tropical Pest Biology Program Manager* SEAMEO BIOTROP (1989-1997). Sejak pension dari Institut Pertanian Bogor, beliau menjadi peneliti afiliasi di SEAMEO BIOTROP hingga sekarang (saat buku ini diterbitkan pada tahun 2022).

Okky Setyawati Dharmaputra adalah *Project Leader* dari beberapa Kerjasama penelitian antara SEAMEO BIOTROP dengan : 1. Perum BULOG (nama sebelumnya BULOG), yaitu tahun 1989-1991 penelitian tentang “Toksitas Karbondioksida dan Fosfin terhadap Serangga dan Cendawan Pascapanen” dan tahun 1993-1995 penelitian tentang “Pengaruh Jenis Kemasan terhadap Kualitas Beras Selama Penyimpanan”; 2. ACIAR (*The Australian Centre for International Agricultural Research*) yaitu tahun 2001-2006 penelitian tentang “*Reducing aflatoxin in peanuts using agronomic management and biocontrol strategies in Indonesia and Australia*”; 3. Pusat Penelitian Marihat (sekarang Pusat Penelitian Kelapa Sawit), yaitu tahun 1986-1988 penelitian tentang “Ekologi dan Pengendalian Hama dan

Penyakit pada Perkebunan Kelapa Sawit”; tahun 1989-1991 penelitian tentang “Bioekologi dan Pengendalian Hama Vertebrata dan *Ganoderma* di Perkebunan Kelapa Sawit”; tahun 1991 penelitian tentang “Bioekologi dan Pengendalian *Ganoderma* di Perkebunan Kelapa Sawit”. Beliau juga terlibat dalam program kerja sama antara SEAMEO BIOTROP dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO) tahun 2006 - 2007 tentang “Penghapusan Metil Bromida pada Penyimpanan Biji-bijian di Gudang di Indonesia”.

Beliau telah menghasilkan lebih dari 90 publikasi dalam berbagai bentuk (prosiding dan jurnal), baik di tingkat nasional maupun internasional. Buku yang telah terbit adalah “*Fungi, mycotoxins and their control in Indonesian food and feedstuff*” (2014) dan “Serangan Cendawan dan Kontaminasi Mikotoksin pada Kacang Tanah, Jagung, dan Sorgum, serta Pencegahan dan Pengendaliannya” (2021).

Beliau juga terlibat dalam program kerjasama antara SEAMEO BIOTROP dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO) (2006-2007) tentang “Penghapusan penggunaan metal bromida pada penyimpanan biji-bijian di gudang di Indonesia”.

Beberapa penghargaan yang telah diterima oleh Okky Setyawati Dharmaputra:

- Pada tahun 2021 penghargaan dari Direktur SEAMEO BIOTROP sebagai peneliti senior terbaik atas kontribusinya dalam bidang penelitian
- Pada tahun 2020 beliau memperoleh penghargaan “*Lifetime Achievement Award for Longterm Dedication and Contribution as Scientist at SEAMEO BIOTROP*” dari Direktur SEAMEO BIOTROP.
- Pada tahun 2016 penghargaan berupa sertifikat pengakuan dari Direktur SEAMEO BIOTROP atas diperolehnya jabatan Guru Besar di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor pada 1 Juli 2010.
- Pada tahun 2015 penghargaan dari Rektor Institut Pertanian Bogor atas dedikasi dan kontribusinya dalam menghasilkan publikasi ilmiah pada jurnal bereputasi internasional.
- Pada tahun 2004 penghargaan diterima dari Direktur SEAMEO BIOTROP sebagai peneliti terbaik.

Beliau adalah anggota Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia, Perhimpunan Fitopatologi Indonesia, Perhimpunan Mikologi Indonesia, Perhimpunan Mikologi Kedokteran Manusia dan Hewan Indonesia, Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia, Perhimpunan Hortikultura Indonesia.



Ina Retnowati

Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 1 November 1964. Pendidikan dasar dan menengah ditempuh di Jakarta dan Bogor. Pendidikan sarjana diselesaikan pada tahun 1989 dari Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Penulis menjadi *Research Assistant* pada Program Penyakit Tanaman dan Cendawan Pascapanen SEAMEO BIOTROP sejak 1990 hingga 1996, selanjutnya menjadi *Supporting Staff (Research Assistant)* di *Pest and Disease Management Laboratory*, SEAMEO

BIOTROP sejak 1997 hingga 2007. Tahun 2008 - 2011, penulis menjadi Penyelia Laboratorium Fitopatologi. Sejak tahun 2012 hingga 2021, penulis menjadi Penyelia Laboratorium Fitopatologi dan tim peneliti permanen di Laboratorium Fitopatologi, SEAMEO BIOTROP. Sejak tahun 2022 penulis bertugas sebagai staf *Earth, Observatory and Change Section*, dari *Science Innovation and Technology Department*, SEAMEO BIOTROP.

Penulis aktif mengikuti berbagai seminar, konferensi, dan pelatihan terkait cendawan dan mikotoksin pada bahan pangan dan pakan, ISO 2008 dan 2015, serta topik Mikrobiologi lainnya. Penulis juga menjadi narasumber dan instruktur pada setiap pelatihan "Pencegahan dan Pengendalian Cendawan Perusak Pascapanen dan Mikotoksinnya pada Bahan Pangan dan Pakan", baik tingkat nasional maupun regional. Penulis merupakan anggota Perhimpunan Mikologi Indonesia (MIKOINA). Beliau telah menghasilkan banyak publikasi dalam berbagai bentuk (prosiding dan jurnal), baik di tingkat nasional maupun internasional, serta beliau termasuk tim penulis buku berjudul "Serangan Cendawan dan Kontaminasi Mikotoksin pada Kacang Tanah, Jagung, dan Sorgum, serta Pencegahan dan Pengendaliannya" yang diterbitkan pada tahun 2021.



Sri Widayanti

Penulis lahir di Ngawi, Jawa Timur pada tanggal 22 Agustus 1967. Beliau lulus pendidikan sarjana Jurusan Hama dan Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor pada tahun 1990. Selanjutnya, beliau meraih gelar Magister Sains dari Departemen Entomologi, Institut Pertanian Bogor pada tahun 2016.

Saat ini beliau merupakan Manajer *Science Innovation and Technology Department* (SITD), SEAMEO BIOTROP. Beliau telah memiliki banyak pengalaman dalam penelitian, pelatihan, dan pengujian efikasi pestisida

serta konsultasi mengenai subjek produk yang disimpan dan hama pemukiman. Beberapa pengalaman beliau antara lain: 1) Kerja sama antara Menteri Lingkungan Republik Indonesia dan *United Industrial Development Organization* (UNIDO) terkait "*Program to phase out the use of methyl bromide in grain storage in Indonesia (2006 – 2007)*"; 2) Kolaborasi penelitian dengan *Food Agricultural Organization* (FAO) terkait "*Developing a Rapid Method for Determining Losses in Stored Paddy and Milled Rice (2010)*" dan "*The Effectiveness of Super Bag in Protecting Milled-Rice from Insect Attacks During Storage (2010 – 2011)*"; 3) Pengujian Resistensi Fosfin pada Serangga Hama Gudang di PERUM BULOG; 4) Penelitian dan *Assessment* mengenai "*Integrated Management in Food Industries and Four Mills*"; dan 5) *In House Training of Storage Pest Management, Proper Fumigation Technique and Pest Control of Packaged Wood*.



Santi Ambarwati

Penulis lahir di Bogor, 25 November 1968. Sejak lulus Sekolah Analis Kimia Menengah Atas (SAKMA Bogor) tahun 1988, kemudian tahun 1996 penulis lulus sarjana di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Pakuan. Tahun 2002 penulis mendapat beasiswa dari SEAMEO SEARCA untuk melanjutkan S2 pada Program Studi Ilmu Lingkungan dan Pengelolaan Sumberdaya Alam, Institut Pertanian Bogor.

Penulis merupakan salah satu anggota tim peneliti SEAMEO BIOTROP dalam "Pencegahan dan Pengendalian Mikotoksin pada Bahan Pangan dan Pakan (Jagung, Kacang Tanah,

Beras, Kedelai, Sorgum, dan Pala) sejak tahun 1988 hingga sekarang (saat buku ini diterbitkan), kemudian beliau menjabat sebagai *Supervisor* Laboratorium Pangan dan Pakan pada tahun 1996 - 2003, dan diangkat menjadi Manajer Teknis *Services Laboratory*, SEAMEO BIOTROP pada tahun 2003 - 2017. Tahun 2018 - 2019, beliau menjabat sebagai Manajer Mutu, *Services Laboratory*, SEAMEO BIOTROP, dan tahun 2016 hingga sekarang, beliau menjadi Asesor ISO 17025, Komite Akreditasi Nasional - BSN. Tahun 2018 hingga saat ini, penulis menjadi anggota tim panel pakar pada *Indonesian Risk Assessment Centre (INARAC)* dan tim kajian "*Risk Assessment Aflatoxin B₁* pada kacang tanah". Tahun 2019 - 2021, beliau menjadi Manajer *Services Laboratory and Innovation Department*, SEAMEO BIOTROP, serta tahun 2022 beliau menjabat sebagai *Center Secretary* SEAMEO BIOTROP.

Penulis telah mengikuti sejumlah pelatihan terkait keamanan pangan bidang mikotoksin, antara lain CDI Training Course on "Governance and Food Safety in International Food Chains", di Wageningen, Belanda tahun 2016; 5th *Regional TC on Mycotoxin Control and Prevention on Food and Feed*, tahun 2015; 4th *Regional TC on Mycotoxin Control and Prevention on Food and Feed, Vietnam*, University of Agriculture Ha Noi, tahun 2014; *The 7th Conference of World Mycotoxin Forum and the 12th IUPAC International Symposium on Mycotoxins and Phycotoxins*, Rotterdam, Belanda, tahun 2012; *International Conference of Mycored North America*, Carlton University, Ottawa-Canada; *Chemical Risk Assessment, ASEAN-Australia Food Safety Project* di Hanoi, Phom Penh dan Yangoon, tahun 2006; serta *Regional Training Course (RCA) on Development of Quality Assurance for Mycotoxin Analysis of Food and Feed*, Manila, Filipina, tahun 1999; 6th *Asia Pacific Food Analysis Workshop*, Brisbane, Australia, tahun 1999; *Laboratory Workshop on Pesticide Immunoassay*, Chiang Mai University, Thailand, tahun 1998.

