

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi buah salak

Pengukuran dimensi buah salak dilakukan pada 3 (tiga) varietas buah salak yaitu salak pondoh, salak manonjaya dan salak sidimpuan. Sampel pengukuran pada ketiga varietas tersebut dibatasi pada buah salak kelas mutu ukuran besar (bobot buah salak D61 gram) sesuai SNI 01 - 3167 - 1992.

Tabel 6. Hasil pengukuran bobot dan dimensi 3 (tiga) varietas salak

No	Varietas salak	Data pengukuran	Rataan	Simpangan baku (SD)	Tingkat kesalahan (<i>error</i>)
1	Manonjaya	berat (g)	78.165	8.910	± 5 gram
		diameter mayor (cm)	5.505	0.306	± 0.5 cm
		diameter minor (cm)	4.944	0.427	± 0.5 cm
		h (cm)	6.400	0.668	± 0.5 cm
2	Pondoh	berat (g)	74.064	9.065	± 5 gram
		diameter mayor (cm)	5.247	0.282	± 0.5 cm
		diameter minor (cm)	4.786	0.446	± 0.5 cm
		h(cm)	6.401	0.640	± 0.5 cm
3	Sidimpuan	berat (g)	90.088	16.009	± 5 gram
		diameter mayor (cm)	5.793	0.389	± 0.5 cm
		diameter minor (cm)	4.944	0.467	± 0.5 cm
		h (cm)	7.161	0.928	± 0.5 cm

Dari hasil pengukuran dimensi buah salak (Tabel 6) ditunjukkan bahwa dimensi panjang buah salak yang meliputi diameter terbesar dan terkecil serta tinggi tidak jauh berbeda. Hal ini didukung dengan nilai standar deviasi dimensi panjang yang rendah dan tidak jauh berbeda antar varietas. Sehingga penyusunan buah salak dengan metode *fcc* yang menitik - beratkan pada pola susun buah berdasarkan jumlah buah dalam satu jenis kemasan adalah metode penyusunan buah yang tepat bagi buah salak.

Kondisi yang berbeda ditunjukkan pada nilai standar deviasi berat buah salak yang variatif antar varietas buah salak. Keragaman ukuran berat buah salak yang tertinggi didapatkan pada varietas salak sidimpuan, kemudian salak pondoh, dan terakhir salak manonjaya, dengan nilai standar deviasi masing - masing varietas adalah 16.009, 9.065 dan 8.910 gram. Berdasarkan besarnya nilai standar

deviasi berat buah salak tersebut, dapat dinyatakan bahwa berat tiap individu buah salak sangat beragam bahkan dalam satu varietas salak.

Keragaman berat buah salak yang cukup besar ini akan sangat berpengaruh pada berat bersih kemasan jika telah diisi dengan buah salak, karena berat bersih kemasan tersebut akan menjadi beragam pula. Jika diurutkan dari jenis varietas, berat rata-rata yang terbesar adalah berat rata-rata buah salak sidimpuan, lalu salak manonjaya dan pondoh, masing-masing $90.08 \text{ g} + 5 \text{ g}$, $78.165 + 5 \text{ g}$, dan $74.064 + 5 \text{ g}$. Dari nilai berat rata-rata tersebut dapat dinyatakan bahwa berat bersih kemasan yang diisi buah salak sidimpuan lebih besar daripada yang diisi salak pondoh dan manonjaya karena berat rata-rata buah salak sidimpuan adalah yang terbesar daripada kedua jenis varietas salak tersebut. Sedangkan pada buah salak pondoh dan manonjaya, berat bersih kemasannya juga tidak akan jauh berbeda karena berat rata-rata dan standar deviasi kedua varietas buah salak tersebut tidak berbedajauh pula.

Sifat mekanis buah salak

Berdasarkan hasil uji sifat mekanis buah salak (Tabel 7), didapatkan informasi bahwa *bioyield* buah salak sebesar 34.186 kg. Informasi ini menunjukkan buah salak utuh (masih dengan kulit) mampu menahan beban hingga 34.186 kg tanpa mengalami kerusakan (perubahan bentuk buah) atau deformasi. Batasan yang disyaratkan kemasan harus dapat menahan beban melebihi *bioyield* buah salak dan beban yang diterima oleh buah salak pada bagian dasar dari suatu susunan buah (tumpukan) dalam satu kemasan rancangan juga harus tidak melebihi *bioyield* buah salak tersebut.

Tabel 7. Hasil uji kekerasan buah salak

Sifat mekanis buah salak	Nilai	Keterangan
Bioyield (kg)	34.186	Fmax (puncak I)
Deformasi (cm)	1.3139	deformasi saat Fmax
Strain (cm/cm)	0.2006	deformasi/h salak
Stress (kg/cm ²)	0.6508	bioyield/ A
Firmness (kg/cm)	34.6035	bioyield/ deformasi

Dari nilai *bioyield* (Tabel 7) dan berat rata-rata buah salak (Tabel 6) dapat dinyatakan bahwa buah salak manonjaya dapat disusun secara vertikal ke atas sebanyak 437 buah atau setara dengan 34.158 kg buah salak manonjaya, sedangkan buah salak pondoh dapat disusun vertikal sebanyak 461 buah (setara 34.143 kg) dan buah salak sidimpuan sebanyak 379 buah (setara 34.143 kg).

Dari Tabel 7 ditunjukkan bahwa saat buah salak menerima beban sebesar *bioyield* (34.186 kg) maka buah salak akan mengalami deformasi sebesar 1.3139 cm atau 0.2006 cm per tinggi buah salak (nilai *strain* buah salak). Dari Tabel 7 ditunjukkan bahwa buah salak akan mengalami deformasi sebesar 1 cm bila diberi beban sebesar 34.6035 kg (*nilaifirmness* buah salak).

Keseluruhan informasi - informasi tersebut digunakan sebagai bahan pertimbangan (persyaratan) dalam perancangan kemasan pada penelitian ini. Kemasan yang dirancang harus dapat menahan beban tekan minimal sama dengan *bioyield* buah salak agar buah salak yang disusun dalam kemasan hasil rancangan tidak mengalami deformasi ataupun kerusakan bentuk yang menurunkan mutu dan harga jual buah salak.

Sifat fisik dan mekanis pelepah salak

Meskipun pelepah salak termasuk produk non - kayu, namun sifat - sifat pelepah salak memiliki kemiripan dengan sifat - sifat kayu. Pada kayu, sifat fisik dan mekanik, ketahanan terhadap penghancuran biologis, dan kestabilan dimensi produk dipengaruhi oleh kandungan air yang ada. Karakter - karakter tersebut juga didapatkan pada pelepah salak, sebagaimana yang ditunjukkan pada sifat fisik (Tabel 8) dan sifat mekanis pelepah salak (Tabel 9).

Tabel 8. Sifat fisik pelepah salak

Jenis sifat fisik	Nilai
Kadarair (%)	67.04
Kabb Kabk	203.51
Susut (%) Radial (diameter)	14.74
Longitudinal (tinggi)	0.47
Volume	27.64

Keterangan : susut pelepah salak diukur dari kondisi segar sampai kering tanur (oven).

Pada pelepah salak kering, uji sifat mekanis dilakukan untuk 2 (dua) jenis diameter berukuran 1.2 cm dan 1.5 cm yang dianggap mewakili variasi diameter pelepah kering sebagai bahan baku kemasan. Hasil uji menunjukkan pengeringan pelepah salak meningkatkan kekuatan mekanis (Tabel 9).

Tabel 9. Sifat mekanis |oelepah salak

Jenis pelepah	MoE (kg/cm ²)	MoR (kg/cm ²)	Tekan kg/cm ²
segar	4,778.592	28.066	12.023
kering dia.1.2 cm	8,971.101	38.319	14.111
kering dia.1.5 cm	8,388.170	34.429	16.330

Dari hasil uji sifat fisik pelepah salak ditunjukkan bahwa pelepah salak termasuk bahan berkadar air tinggi (67.04% kabb) dengan penyusutan bersifat anisotropik seperti yang ditemukan pada kayu. Penyusutan anisotropik mengandung pengertian penyusutan yang terjadi tidak sama besar dan arahnya pada penampang radial, longitudinal dan tangensial. Sifat anisotropik tersebut juga ditemukan pada penyusutan pelepah salak (Tabel 8) yang ditunjukkan dengan penyusutan radial lebih besar daripada penyusutan longitudinal, masing - masing 14.736% dan 0.417%. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan dimensi tinggi (longitudinal) dapat diabaikan dalam pertimbangan desain kemasan, namun berbeda dengan nilai susut radial yang cukup besar harus menjadi pertimbangan yang penting dalam desain. Susut radial tersebut menimbulkan masalah bila pelepah salak digunakan dalam kondisi segar. Penggunaan pelepah salak segar akan menyebabkan perubahan dimensi kemasan yang mengakibatkan kemasan menjadi kurang kokoh (*rigid*) dan mudah rusak. Bila ditinjau dari nilai susut volume sebesar 27.642%, penggunaan pelepah salak segar dapat dipastikan akan menyebabkan perubahan dimensi kemasan yang merugikan.

Pelepah salak pada kondisi segar memiliki kadar air yang cukup tinggi, yaitu 67.041% bb atau 203.509% bk. Kadar air yang tinggi mengakibatkan pelepah salak segar mudah membusuk karena kandungan air yang tinggi memudahkan cendawan untuk berkembang, sehingga bila digunakan sebagai bahan baku kemasan dapat dipastikan kemasan akan segera rusak.

Dari uji sifat mekanis ditunjukkan bahwa pengeringan pelepah salak hingga mencapai kadar air kering udara (10 - 20%) dengan metode penjemuran

meningkatkan kekuatan (sifat) mekanis pelepah salak, sehingga pelepah salak kering udara menjadi lebih layak digunakan sebagai bahan baku kemasan daripada pelepah salak segar. Ketiga sifat mekanis yang terdiri atas modulus elastisitas (MOE), modulus patahan (MOR), dan kekuatan tekan tersebut menunjukkan peningkatan nilai bila pelepah salak dikeringkan. Nilai MOE meningkat hampir dua kali lipat bila pelepah salak dikeringkan (Tabel 9). Hal ini menunjukkan bahwa pelepah salak kering lebih kaku (*rigid*) daripada pelepah salak segar. Kekakuan bahan dibutuhkan untuk kekokohan kemasan. Nilai MOR dan kekuatan tekan pelepah kering yang juga lebih besar daripada pelepah segar menunjukkan bahwa kemampuan pelepah salak kering dalam menahan beban lengkung dan tekan lebih baik daripada pelepah segar, sehingga pelepah salak kering lebih layak digunakan sebagai bahan baku kemasan.

Disebabkan bervariasinya diameter pelepah salak setelah dikeringkan, maka uji sifat mekanis juga dilakukan pada pelepah salak dengan diameter berbeda, yaitu 1.2 cm dan 1.5 cm. Pemilihan kedua diameter ini didasarkan pada pengamatan selama penelitian terhadap diameter yang dianggap mewakili variasi diameter pelepah salak kering sebagai bahan baku kemasan. Dari Tabel 9 ditunjukkan bahwa semakin besar diameter pelepah salak kering yang digunakan maka semakin besar pula kekuatan mekanis pelepah tersebut karena penambahan diameter menyebabkan penambahan luas penampang pelepah salak yang diberi beban tekan. Pertimbangan - pertimbangan inilah yang menjadi dasar pemilihan penggunaan pelepah kering sebagai bahan baku kemasan. Untuk pengeringan pelepah dipilih metode penjemuran agar lebih aplikatif di lapangan. Penjemuran dilakukan sampai pelepah salak mencapai kadar air kering udara (10 - 20% bb).

Bila sifat fisik dan mekanis pelepah salak dibandingkan dengan kayu sengon (jeunjing) yang biasanya juga sebagai bahan baku peti kayu, dapat dilihat kekuatan mekanis pelepah masih lebih rendah daripada kayu sengon. Nilai MOE dan MOR kayu sengon masing - masing sebesar 7,3140.80 kg/cm² dan 546.48 kg/cm² (Sribuono 2000, diacu dalam WR Pradana 2001). Kekuatan mekanis yang lebih tinggi pada kayu sengon menyebabkan kayu sengon masih lebih baik sebagai bahan baku kemasan. Kelebihan kayu sengon ini disebabkan kayu sengon termasuk jenis kayu sedangkan pelepah salak termasuk bahan non - kayu.

Perancangan kemasan

Lampiran 5 menunjukkan bahwa perancangan dimensi dalam kemasan dengan metode *fcc* dipengaruhi oleh dimensi dari geometri buah salak. Berdasarkan Tabel 6 dan asumsi dalam rancangan bahwa geometri buah salak adalah *spheroid*, didapatkan ukuran buah salak untuk perancangan yang nilai diameter mayornya (2a) sama dengan tinggi buah salak hasil asumsi (2c) dan diameter minor yang lebih kecil dari tinggi buah salak hasil asumsi tersebut. Hal ini menyebabkan komponen - komponen ukuran dimensi dalam dari ketiga jenis kapasitas kemasan hanya berbeda pada komponen - komponen ukuran sejajar sumbu y saja (Tabel 10). Pada ketiga jenis kapasitas tersebut ditunjukkan bahwa perbedaan ukuran dimensi dalam kemasan hanya terdapat pada ukuran lebar kemasan dan jumlah buah pada tiap baris sejajar sumbu y sebagai konsekuensi dari bentuk geometri buah salak yang digunakan dalam perancangan kemasan.

Tabel 10. Hasil perancangan ukuran dimensi dalam kemasan

Jenis ukuran	Kapasitas kemasan (kg)		
	10	15	20
Jumlah buah dalam satu kemasan (N)	128	192	256
Jumlah buah pada tiap baris			
sejajar sumbu x (K_A)	8	8	8
sejajar sumbu y (K_B)	4	6	8
sejajar sumbu z (K_C)	8	8	8
Jarak antar buah (cm)			
sejajar sb x (A_x)	2.5	2.5	2.5
sejajar sb y (filjEJ)	2.1	2.1	2.1
sejajar sb z (A_z)	2.5	2.5	2.5
Dimensi dalam kemasan (cm)			
Panjang (A)	36	36	36
Lebar (B)	16	23	30
Tinggi (C)	36	36	36
Volume (m ³)			
total buah dalam satu kemasan (V_k)	0.014	0.022	0.029
kemasan (V)	0.020	0.029	0.038
Kepadatan kemasan (S)	61%	63%	64%

Tabel 10 menunjukkan bahwa penggunaan metode *fcc* memberikan beberapa keuntungan, yaitu penyusunan buah jauh lebih teratur, jumlah buah per kemasan sama, jumlah buah yang disusun pada tiap baris juga sudah dapat ditentukan dari awal, kepadatan kemasan berada pada kisaran 60 - 65 % sesuai kepadatan kemasan yang dianjurkan untuk komoditi hortikultura (Peleg, 1985), sehingga masih memberikan ruang dalam kemasan untuk pertukaran udara agar buah tidak busuk dan ruang dalam kemasan tidak lembab. Kepadatan kemasan ini adalah kepadatan kemasan bila hanya diisi buah salak saja, belum diberi kemasan pengisi seperti potongan kertas ataupun daun - daun kering.

Pembuatan kemasan hasil rancangan

Kemasan berbentuk peti dengan bagian dinding, dasar, dan tutup kemasan dibuat dari pelepah salak yang telah dikeringkan (Gambar 12). Dari tiap pelepah salak yang telah dijemur tersebut dipilih bagian - bagian pelepah yang lurus sebagai bahan baku kemasan. Bagian pelepah yang lurus tersebut digergaji sesuai ukuran yang ditentukan dalam perancangan, lalu dilubangi dengan bor listrik. Kemudian pelepah - pelepah salak ini disambung (dirangkai) menggunakan kawat yang dimasukkan pada lubang - lubang hasil bor, sehingga kemasan hasil rancangan tidak menggunakan paku kecuali pada dasar kemasan untuk melekatkan dasar kemasan ke dinding kemasan. Rangkaian - rangkaian pelepah salak ini yang menjadi dasar, dinding dan tutup kemasan. Untuk memperkokoh rangkaian, pelepah salak dijepit dengan kawat (Gambar 13). Karena sulitnya mendapatkan pelepah salak kering yang berdiameter seragam, maka kemasan hasil rancangan dibuat tanpa mengharuskan keseragaman ukuran diameter pelepah yang telah digergaji dengan tetap membatasi ukuran diameter pelepah salak kering yang digunakan berada dalam selang 1.2-1.5 cm.



Gambar 12. Ketiga kapasitas kemasan hasil rancangan dalam berbagai sudut pandang.



Gambar 13. Pelepah - pelepah salak yang dijepit dengan kawat.

Tabel 11. Dimensi dan berat kemasan hasil rancangan

Jenis ukuran	Kapasitas kemasan (kg)		
	10	15	20
<u>Perancangan kemasan</u>			
Dimensi dalam kemasan (cm)			
panjang	36	36	36
lebar	16	23	30
tinggi	36	36	36
<u>Pembuatan kemasan</u>			
Dimensi kemasan (cm)			
<u>Dimensi dalam</u>			
panjang	36.2	36	36
lebar	16.5	23.8	31.7
tinggi	37.5	37.3	37.2
<u>Dimensi luar</u>			
panjang	39.3	40.2	40.2
lebar	19.2	27.2	34.8
tinggi	40	40.2	40.3
<u>Tutup kemasan</u>			
panjang	39.3	40	40.7
lebar	19.8	27.3	35.7
tinggi	1.5	1.5	1.5
<u>Berat kemasan (kg)</u>			
Berat kotor kemasan	12.24	16.90	22.35
berat kotak kemasan	2.15	2.69	3.34
berat tutup kemasan	0.35	0.44	0.59
berat kertas	0.09	0.21	0.31
berat bersih kemasan (berat buah salak)	9.64	13.56	18.10
%ase rasio berat bersih/ kapasitas kemasan	96.4	90.4	90.5

Ukuran kemasan hasil rancangan adalah 39 x 19 x 40 cm untuk kapasitas 10 kg, 40 x 27 x 40 cm untuk kapasitas 15 kg, dan 40 x 35 x 40 cm untuk kapasitas 20 kg dengan toleransi ukuran + 2 cm (Tabel 11 dan Lampiran 6).

Dari perbandingan dimensi kemasan yang tercantum pada Tabel 10 dan Tabel 11, dapat dicermati bahwa dalam pembuatan kemasan hasil rancangan didapati perbedaan (selisih) ukuran dimensi dalam hasil perhitungan dengan hasil pembuatan. Selisih tersebut berada dalam kisaran 0 - 2 cm. Selisih ini menyebabkan ruang di dalam kemasan menjadi lebih luas, namun kelebihan ini tidak menimbulkan masalah karena dalam penyusunan buah salak juga digunakan potongan - potongan kertas sebagai kemasan pengisi. Potongan - potongan kertas yang digunakan berukuran panjang 15 - 17 cm dan lebar 0.5 - 0.7 cm.

Selain untuk menutupi kelebihan ruang tersebut, penggunaan potongan - potongan kertas juga ditujukan untuk mempermudah penyusunan buah salak di dalam kemasan hasil rancangan. Pada kenyataannya di lapangan, bentuk buah salak yang meruncing ke atas menyebabkan kesulitan tersendiri dalam penyusunan buah secara vertikal sebagaimana pada metode *fcc*, maka disiasati dengan menggunakan potongan - potongan kertas yang akan mengisi rongga - rongga antar buah salak yang disusun, sehingga mempermudah penyusunan buah salak pada lapisan selanjutnya.

Seperti yang telah disajikan pada Tabel 6, berat tiap individu buah salak bervariasi meski berasal dari 1 (satu) varietas buah salak. Keragaman berat buah salak tersebut berpengaruh pada berat bersih kemasan sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 11 dan Lampiran 6. Kondisi ini menyebabkan berat total buah salak yang disusun dalam 1 (satu) kemasan tidak mencapai kapasitas kemasan yang seharusnya. Hal ini ditunjukkan dari persentase rasio berat bersih dengan kapasitas kemasan (Tabel 11), rasio yang variatif tidak disebabkan oleh kapasitas kemasan, namun disebabkan oleh berat bersih kemasan yang variatif sebagai konsekuensi berat buah salak yang beragam tersebut.

Kemudian buah - buah salak disusun dengan metode *fcc*, sesuai yang dicantumkan pada Tabel 10, sebanyak jumlah yang ditentukan pada tiap kemasan. Rongga - rongga antar buah diisi dengan potongan - potongan kertas. Pemilihan kertas berdasarkan pertimbangan higinitas dibandingkan menggunakan daun - daun kering (Gambar 14).



Gambar 14. Susunan/cc buah salak dan pengisian kertas dalam kemasan.

Buah salak yang disusun dalam percobaan ini adalah buah salak manonjaya. Salak maonjaya termasuk buah salak yang banyak dibudidayakan di daerah Jawa

Barat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengurangi kerusakan buah salak setelah diangkut, sehingga akan meningkatkan penjualan buah salak tersebut.

Pengujian beban

Secara teoritis, penambahan kapasitas kemasan memperluas bidang tekan kemasan sehingga menambah beban tekan yang dapat ditahan karena luasan distribusi tekanan yang makin besar. Namun hasil uji beban (Tabel 12) menunjukkan kondisi yang sebaliknya; penambahan kapasitas memperluas bidang tekan kemasan, tetapi tidak meningkatkan kemampuan kemasan dalam menahan beban tekan. Hal ini juga didukung oleh hasil uji beda lanjut Duncan (Lampiran 8); penambahan kapasitas peti rancangan tidak berbeda nyata dengan nilai beban maksimum.

Tabel 12. Hasil uji beban kemasan rancangan

Kapasitas peti (kg)	Ukuran bidang tekan		Beban maksimum (kg)
	p x l (cm)	luas (cm ²)	
10	39 x 19 + 2 cm	741 + 120 cm ²	410.7
15	40 x 27 + 2 cm	1,080 + 134 cm ²	438.3
20	40 x 35 + 2 cm	1,400 + 150 cm ²	396.7

Pada Tabel 12 ditunjukkan bahwa kemasan yang berkapasitas 15 kg memiliki kemampuan menahan beban maksimum tertinggi, yaitu 438.3 kg. Meskipun kemasan berkapasitas 20 kg memiliki bidang tekan terluas, kemampuan menahan beban maksimum justru paling rendah diantara ketiga jenis kapasitas.

Kondisi ini disebabkan ketidakseragaman diameter dan bagian-bagian pelepah salak yang digunakan. Bagian lurus pelepah dapat diambil dari bagian pangkal atau tengah pelepah, tergantung pada letak bagian yang lurus tersebut. Selain itu usia pohon salak yang menjadi asal pelepah salak juga tidak seragam karena tidak ditanam sekaligus pada saat yang sama. Hal ini memperlihatkan kemiripan sifat pelepah salak dengan kayu, kekuatan kayu juga bervariasi dari bagian pangkal hingga ujung (kayu gelondongan) dan usia dari pohon kayu.

Berdasarkan hasil uji beban yang disajikan pada Tabel 12, dapat dinyatakan kemasan hasil rancangan mampu menahan beban dalam kisaran 400 kg. Pada kisaran pembebanan tersebut, kemasan telah rusak atau mengalami deformasi

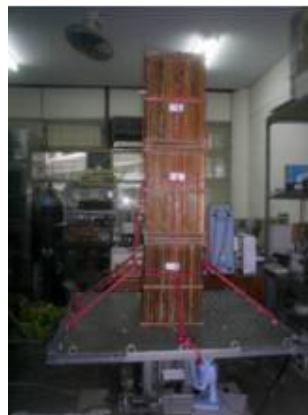
permanen karena serat - serat pelepah salak mulai patah (Gambar 15). Dari hasil ini juga dapat dinyatakan bila kemasan ditumpuk melebihi 400 kg, maka beban tumpukan akan ditransfer ke buah - buah salak dalam tumpukan paling bawah, sehingga akan memperparah kerusakan buah salak. Sebagaimana yang dicantumkan pada Tabel 6, *bioyield* buah salak adalah 34.186 kg.



Gambar 15. Kerusakan kemasan saat diberi uji beban.

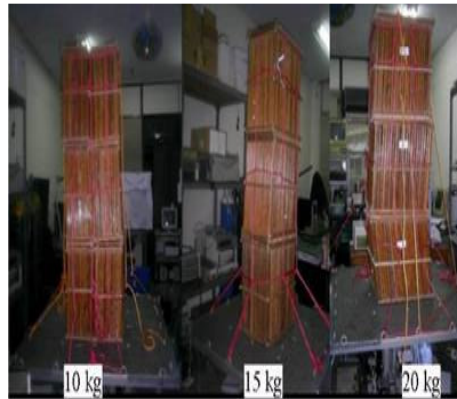
Simulasi transportasi

Simulasi transportasi menggunakan meja getar berfrekuensi 3.34 Hz dan amplitudo 4.85 cm selama 3 (tiga) jam atau setara dengan transportasi sejauh 500 km pada jalan luar kota menggunakan truk yang berfrekuensi 1.4 Hz dan amplitudo 1.74 cm (Lampiran 9). Kemasan ditumpuk pada meja getar, 1 (satu) tumpukan kemasan dijadikan sebagai 1 (satu) ulangan sesuai kapasitas kemasan yang diuji. Satu tumpukan terdiri atas 3 buah kemasan uji (Gambar 16).



Gambar 16. Susunan kemasan sebelum simulasi transportasi.

Setelah simulasi, kemasan bergeser dan menyebabkan tumpukan dan bentuk kemasan menjadi miring sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 17 dan Gambar 18. Kemiringan ini disebabkan getaran dan guncangan selama simulasi, sehingga menggeser posisi kemasan. Getaran dan guncangan tersebut merepresentasikan getaran dari sarana pengangkutan dan kondisi jalan selama transportasi.



Gambar 17. Berbagai kondisi tumpukan kemasan setelah simulasi.



Gambar 18. Kondisi kemasan setelah simulasi.

Goncangan selama simulasi juga menyebabkan susunan buah salak di dalam kemasan menjadi berubah (Gambar 19). Perubahan susunan buah ini mengakibatkan rongga - rongga antar buah menjadi berkurang dan tinggi susunan buah salak dalam tiap kemasan menjadi turun.

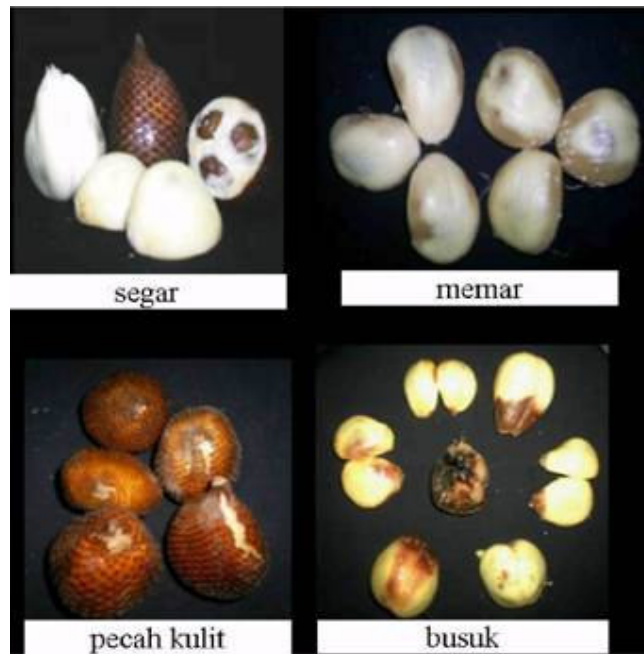


Gambar 19. Susunan buah sebelum dan setelah simulasi.

Kerusakan fisik setelah simulasi

Setelah simulasi, buah salak sampel diamati kerusakannya selama 5 (lima) hari pada suhu ruang. Parameter kerusakan terdiri atas persentase kerusakan fisik setelah simulasi, kememaran buah, kekerasan dan total padatan terlarut. Kerusakan buah salak yang terjadi terdiri atas memar, busuk dan pecah kulit (Gambar 20). Kondisi kulit terkelupas tidak ditemui selama pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini.

Memar ditandai dengan adanya jaringan daging buah yang lembek, secara visual transparan dan seperti berair pada hari ke - 0 pengamatan. Selanjutnya jaringan tersebut akan berubah warna menjadi coklat. Busuk ditandai dengan adanya jaringan daging buah yang lembek dan berair serta berwarna hitam. Busuk ini juga menyebabkan kulit buah salak menjadi tidak keras, sehingga bila ditekan daging buah yang hancur akibat busuk akan segera keluar disertai cairan daging buah salak yang busuk tersebut. Pecah kulit ditandai dengan pengamatan visual berupa terpecahnya kulit buah salak sehingga daging buah salak terlihat.



Gambar 20. Berbagai kerusakan buah salak setelah simulasi.

Persentase kerusakan fisik setelah simulasi

Secara fisiologis, setelah dipanen buah salak tetap melakukan proses metabolisme, yang lebih bersifat autolisis. Pati; yang menjadi cadangan makanan, digunakan sebagai sumber energi setelah dipanen; dengan memecah pati menjadi glukosa. Energi ini dimanfaatkan untuk respirasi buah salak setelah dipanen. Penggunaan cadangan makanan menyebabkan penurunan mutu buah salak. Penurunan mutu akan semakin cepat bila buah mengalami kerusakan fisik akibat transportasi karena terjadi kerusakan pada jaringan daging buah salak.

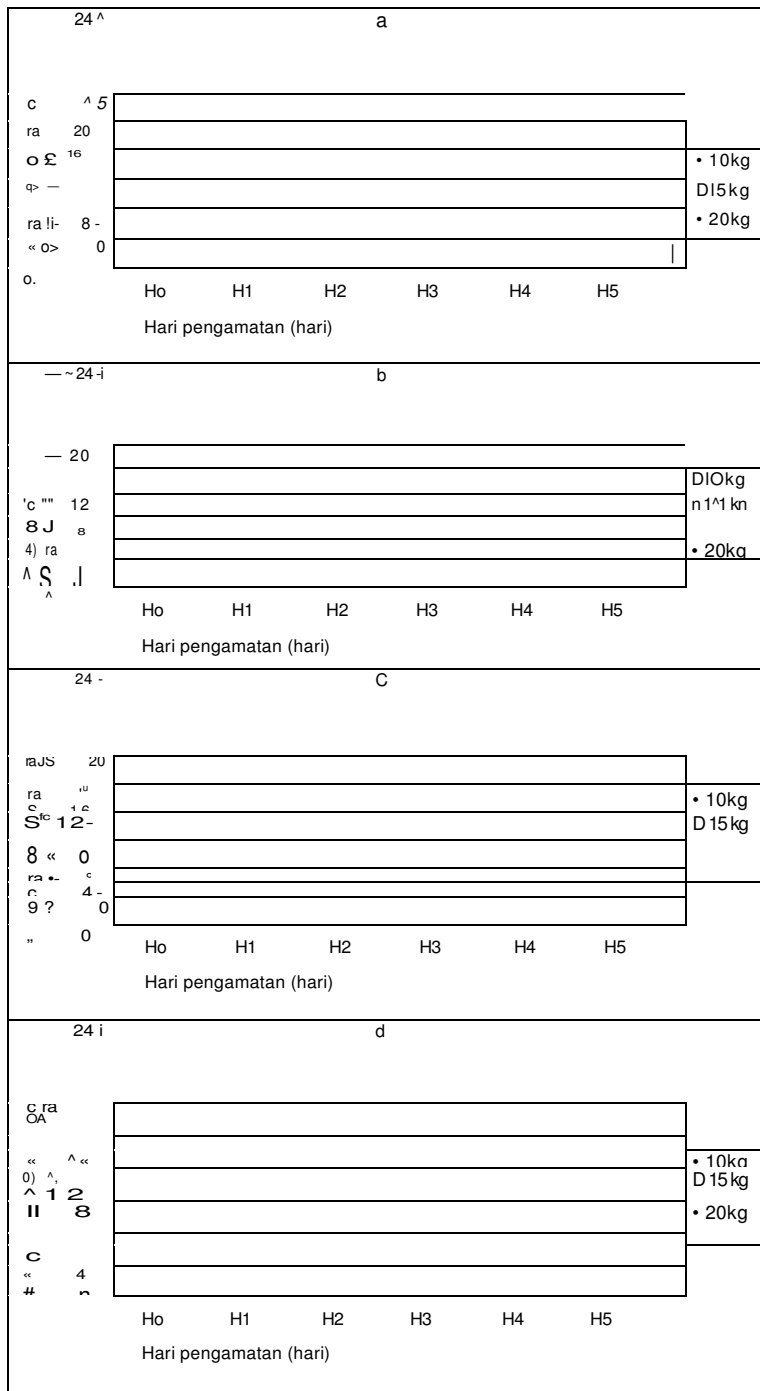
Analisis kerusakan fisik buah salak setelah simulasi ditunjukkan pada hasil uji beda lanjut Duncan yang diuraikan pada Lampiran 10 sampai dengan Lampiran 13. Lampiran 10 adalah hasil uji lanjut Duncan untuk kerusakan fisik total, Lampiran 11 untuk kerusakan fisik memar, Lampiran 12 untuk kebusukan dan Lampiran 13 untuk pecah kulit. Hasil uji lanjut Duncan kerusakan fisik total pada Lampiran 10 menunjukkan hasil yang berlainan pada pengamatan hari ke - 0 dan ke - 1, namun menunjukkan hasil yang sama pada hari ke - 2 sampai hari ke - 5. Pada pengamatan hari ke - 0, pengaruh kapasitas 20 kg tidak berbeda nyata dengan kapasitas 15 kg tetapi berbeda nyata dengan kapasitas 10 kg. Pada hari ke

- 1, pengaruh kapasitas 20 kg tidak berbeda nyata dengan 15 kg tetapi tetap berbeda nyata dengan 10 kg dan kapasitas 15 kg tidak berbeda nyata terhadap 10 kg. Pada hari ke - 2 dan seterusnya, pengaruh ketiga taraf perlakuan (kapasitas) tidak berbeda nyata terhadap kerusakan fisik total.

Pada Lampiran 11, hasil uji beda lanjut Duncan terhadap kerusakan memar menunjukkan hasil yang berlainan pula. Pada hari ke - 0, pengaruh kapasitas 20 kg tidak berbeda nyata dengan 15 kg tetapi tetap berbeda nyata dengan 10 kg dan kapasitas 15 kg tidak berbeda nyata terhadap 10 kg. Pada hari ke - 1 dan ke - 2, pengaruh kapasitas 20 kg tidak berbeda nyata dengan kapasitas 15 kg tetapi berbeda nyata dengan kapasitas 10 kg dan pengaruh kapasitas 15 kg tetap tidak berbeda nyata dengan 10 kg. Pada hari ke - 3 sampai hari ke - 5, pengaruh kapasitas 20 kg berbeda nyata dengan 15 kg dan 10 kg tetapi pengaruh kapasitas 15 kg tidak berbeda nyata terhadap 10 kg.

Uji beda lanjut Duncan terhadap kebusukan yang diuraikan pada Lampiran 12 juga menunjukkan hasil yang berlainan. Pada hari ke - 0, pengaruh ketiga jenis kapasitas berbeda nyata karena kebusukan buah salak belum terjadi pada hari ke - 0 tersebut. Pada hari ke - 1, pengaruh kapasitas tidak berbeda nyata. Pada hari ke - 2 dan seterusnya, pengaruh kapasitas 15 kg tidak berbeda nyata terhadap 10 kg tetapi berbeda nyata dengan 20 kg. Pada Lampiran 13 dapat dilihat bahwa uji lanjut Duncan untuk persentase pecah kulit tetap menunjukkan hasil yang sama pada tiap hari pengamatan.

Hasil uji beda lanjut Duncan yang berlainan pada beberapa hari pengamatan tersebut disebabkan karakteristik kerusakan fisik buah salak yang berbeda - beda. Kerusakan pecah kulit hanya terjadi pada hari ke - 0, kerusakan memar semakin jelas dilihat dengan bertambahnya waktu pengamatan, sedangkan kebusukan adalah reaksi lanjutan dari kerusakan memar buah salak. Kondisi dari kerusakan fisik buah salak pada tiap hari pengamatan disajikan pada Gambar 21 menunjukkan bahwa kerusakan fisik maksimal buah salak setelah disimulasi sekitar 22 % dengan menggunakan kemasan hasil rancangan.



Gambar 21a. Persentase kerusakan fisik total pada tiap kapasitas kemasan.
 b. Persentase kerusakan fisik memar pada tiap kapasitas kemasan.
 c. Persentase kerusakan fisik busuk pada tiap kapasitas kemasan.
 d. Persentase kerusakan pecah kulit pada tiap kapasitas kemasan.

Berdasarkan Lampiran 10 dan Gambar 21 a dapat dilihat bahwa kapasitas kemasan memberikan kontribusi terhadap persentase kerusakan fisik total buah salak setelah simulasi. Semakin besar kapasitas kemasan maka kerusakan fisik total juga semakin besar. Persentase kerusakan tertinggi terjadi pada buah salak yang disusun dalam kemasan berkapasitas 20 kg pada tiap hari pengamatan, kecuali pada hari ke - 0. Pengecualian ini ditunjukkan dengan nilai persentase kerusakan fisik total tertinggi ditemui pada buah salak yang disusun dalam kemasan berkapasitas 15 kg (Gambar 21a dan Gambar 21b). Tingginya persentase memar tersebut disebabkan oleh fluktuasi amplitudo dan frekuensi pada saat simulasi transportasi.

Memar terjadi sebagai reaksi daging buah salak terhadap beban tekan yang dialaminya. Beban tekan dapat berupa beban tumpukan dan benturan yang dialami buah salak selama transportasi. Tekanan tersebut menyebabkan daging buah salak berubah bentuk (deformasi) sesuai kemampuannya menahan beban tekan. Perubahan bentuk yang terjadi sebenarnya adalah penyempitan dinding sel daging buah salak karena diberi tekanan. Dinding sel yang menyempit meningkatkan tekanan turgor sel daging buah salak dan menyebabkan air yang berada dalam sel daging buah tersebut terdesak keluar. Pada batas tertentu dinding sel yang menyempit tersebut hancur karena tidak mampu menahan desakan air dalam sel daging buah salak sehingga jaringan buah salak menjadi memar (rusak).

Bila Gambar 21b dikaitkan dengan hasil uji lanjut Duncan memar buah salak pada Lampiran 11 dapat dilihat bahwa persentase memar buah salak meningkat dengan bertambahnya hari pengamatan. Penambahan persentase ini disebabkan oleh karakteristik memar pada buah yang akan semakin jelas terlihat dengan bertambahnya waktu pengamatan. Pada awal terjadi kerusakan, memar akan tampak transparan dan lama kelamaan akan berubah menjadi berwarna coklat sebagai akibat dari proses enzimatis.

Jumlah buah salak yang disusun pada kemasan berkapasitas 20 kg paling banyak daripada 10 dan 15 kg. Banyaknya jumlah buah tersebut menambah jumlah buah yang mengalami guncangan dan menambah beban tumpukan juga, sehingga menambah jumlah buah salak yang memar. Hal ini yang menyebabkan

persentase kerusakan fisik memar tertinggi ditemui pada buah salak yang disusun dalam kapasitas 20 kg selama hari pengamatan.

Kerusakan jaringan seperti memar dan pecah kulit pada buah salak memberi peluang bagi mikroba untuk berkembang dan membusukkan salak. Kondisi ini dapat dilihat pada Lampiran 12 dan Gambar 21c. Persentase kebusukan buah salak meningkat seiring pertambahan hari pengamatan. Gambar 21c menunjukkan persentase kebusukan tertinggi ditemukan pada kapasitas 15 kg, sedangkan kebusukan terendah ditemukan pada kapasitas 20 kg. Hasil uji beda lanjut Duncan terhadap persentase kebusukan juga menunjukkan bahwa kebusukan tertinggi ditemukan pada kapasitas 15 kg meskipun pengaruh kapasitas 15 kg tidak berbeda nyata dengan 10 kg dan berbeda nyata dengan 20 kg. Gambar 21c dan Lampiran 12 tersebut menunjukkan bahwa penambahan kapasitas tidak selalu meningkatkan persentase kebusukan buah salak.

Kebusukan mudah menyebar di antara buah salak. Kondisi kebusukan yang ditemukan tersebut kemungkinan disebabkan cendawan yang menyebar di antara buah salak. Infeksi cendawan penyebab kebusukan tersebut tidak terlihat jelas secara kasat mata, sehingga buah salak tetap baik secara visual meskipun telah diinfeksi cendawan. Infeksi dapat jelas terlihat bila cendawan telah berkembang dan merombak dinding sel daging buah salak yang ditandai dengan perubahan daging buah salak menjadi lebih lunak, berair dan berwarna hitam (Gambar 20). Pengaruh dari penyebaran tersebut dapat dilihat dari Gambar 21b dan Gambar 21c serta Lampiran 11 dan Lampiran 12. Persentase busuk kapasitas 20 kg paling rendah meskipun persentase memarnya paling tinggi pada tiap hari pengamatan. Persentase memar buah salak dalam ketiga kapasitas pada pengamatan hari ke - 0 lebih tinggi daripada persentase busuk buah dalam ketiga kapasitas pada pengamatan hari ke - 1 menunjukkan belum seluruh buah salak yang memar menjadi busuk, namun kondisi tersebut mengalami perubahan pada pengamatan hari selanjutnya; persentase busuk dapat lebih tinggi daripada persentase memar akibat karakteristik busuk yang mudah menyebar pada buah tersebut.

Berbeda dengan persentase kebusukan, penambahan kapasitas kemasan mempengaruhi kerusakan pecah kulit buah salak setelah disimulasi. Bila Lampiran 13 dihubungkan dengan Gambar 21d, maka dapat dilihat bahwa

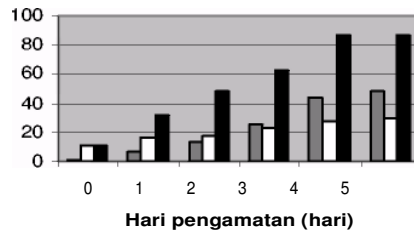
penambahan kapasitas meningkatkan persentase pecah kulit pada buah salak. Dari Gambar 21d dan Lampiran 13 tersebut juga ditunjukkan bahwa persentase pecah kulit tidak meningkat meskipun hari pengamatan bertambah. Pecah kulit ditemui hanya pada pengamatan hari ke - 0. Pecah kulit disebabkan oleh pertumbuhan dan perkembangan buah salak yang tidak proporsional antara daging dan kulit buah salak sebagai pembungkus daging buah, sehingga kulit buah salak menjadi mudah rusak saat diangkut.

Berdasarkan hasil uji lanjut Duncan pada Lampiran 10 sampai dengan Lampiran 13 dan hasil yang disajikan pada Gambar 21 menunjukkan bahwa 15 kg adalah kapasitas optimal untuk kemasan hasil rancangan, karena kerusakan buah salak yang disusun pada kapasitas 15 kg tidak berbeda nyata dengan 10 kg meskipun berat bersih kemasan berkapasitas 15 kg lebih besar daripada 10 kg (Lampiran 7).

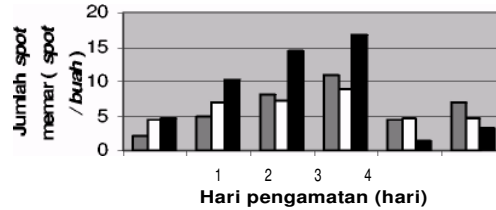
Persentase luas memar

Uji lanjut Duncan untuk persentase luas *spot* memar pada tiap buah salak pada Lampiran 14 menunjukkan perbedaan hasil pada pengamatan hari ke - 0 dan ke - 1, namun uji lanjut Duncan menunjukkan hasil yang tetap sama pada pengamatan hari ke - 2 dan ke - 3. Adapun uji lanjut Duncan untuk jumlah *spot* memar pada Lampiran 15 menunjukkan hasil yang sama pada pengamatan hari ke - 0 dan ke - 1, tetapi hasil uji berbeda pada pengamatan hari ke - 2 dan ke - 3. Dari Gambar 22 dapat dilihat perbedaan - perbedaan yang terjadi pada luas dan jumlah *spot* memar pada tiap buah salak.

Berdasarkan pengamatan persentase luas memar yang disajikan pada Gambar 22a dan Lampiran 14, peningkatan kapasitas meningkatkan persentase luas memar buah. Perbedaan hasil uji lanjut Duncan pada pengamatan hari ke - 0 dan ke - 1 lebih disebabkan oleh karakteristik memar yang makin jelas terlihat dengan bertambahnya hari pengamatan. Secara keseluruhan dari hasil tersebut ditunjukkan bahwa kapasitas 20 kg berbeda nyata dengan kapasitas lainnya tetapi kapasitas 15 kg tidak berbeda nyata dengan 10 kg.



[10 kg D 15 kg • 20 kg



[10 kg D 15 kg • 20 kg

Gambar 22a. Persentase luas *spot* memar buah salak setelah simulasi. b. Jumlah *spot* memar buah salak setelah simulasi.

Berdasarkan Gambar 22b, Lampiran 15 dan Tabel 13 dapat dilihat bahwa jumlah *spot* memar buah salak tidak selalu dipengaruhi oleh kapasitas kemasan. Gambar 22 menunjukkan meski persentase luas memar meningkat selama hari pengamatan, jumlah *spot* memar tidak bertambah, bahkan menurun pada hari ke - 4 dan ke - 5. Lampiran 15 menunjukkan bahwa kapasitas tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah *spot* memar buah salak pada pengamatan hari ke - 0 dan ke - 1, meskipun jumlah *spot* terbanyak ditemukan pada kapasitas 20 kg. Pada pengamatan hari ke - 2 dan ke - 3, Tabel 13 menunjukkan bahwa jumlah *spot* memar buah salak pada kapasitas 10 kg lebih besar daripada jumlah *spot* memar pada kapasitas 15 kg, tetapi hasil uji lanjut Duncan dalam Lampiran 15 menunjukkan bahwa pengaruh kapasitas 10 kg tidak berbeda nyata dengan 15 kg terhadap jumlah *spot* memar buah salak. Pada Tabel 13 juga dapat dilihat bahwa mayoritas *spot* memar buah salak berbentuk setengah elips karena memar lebih banyak terjadi di sisi samping dari suatu suku daging buah salak (Gambar 17).

Sisi samping suatu suku daging buah salak adalah jaringan yang paling lunak, karena pada bagian tengahnya terdapat biji buah.

Tabel 13. Jumlah *spot* memar pada tiap buah salak setelah simulasi

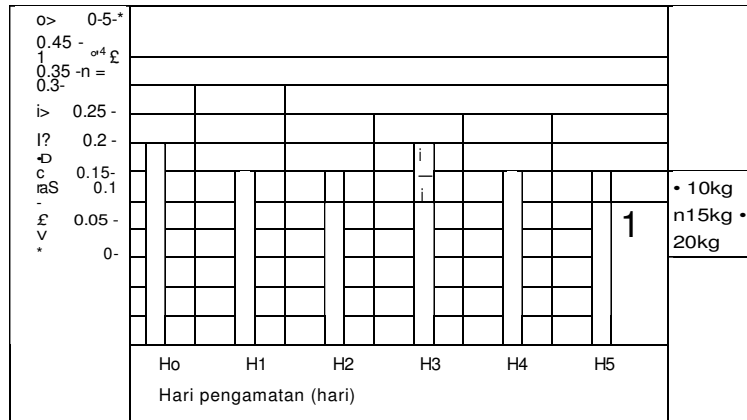
Sampel	Hari	Jumlah <i>spot</i>		
		setengah elips	lingkaran	total
10 kg	0	1	1	2
	1	3	2	5
	2	6	3	8
	3	8	3	11
	4	9	3	4
	5	10	3	7
15 kg	0	3	1	4
	1	5	2	7
	2	5	2	7
	3	6	3	9
	4	6	3	5
	5	7	3	5
20 kg	0	4	1	5
	1	8	2	10
	2	11	3	15
	3	13	4	17
	4	15	4	1
	5	15	4	3

Bila hasil yang disajikan pada Gambar 22, Lampiran 14 dan Lampiran 15 tersebut dikaitkan dengan hasil pada Gambar 21b, maka dapat dilihat bahwa kerusakan memar buah salak lebih dipengaruhi oleh besar luasan memar *spot* buah salak daripada oleh jumlah *spot* memar buah. Semakin besar luasan memar *spot* maka akan semakin luas pula jaringan daging buah salak yang rusak, sehingga mempercepat kerusakan buah. Berdasarkan hasil ini maka dinyatakan bahwa buah salak yang disusun dalam kapasitas 20 kg mengalami kerusakan fisik tertinggi dan kerusakan pada 15 kg tidak berbeda nyata dengan 10 kg.

Kekerasan dan TPT

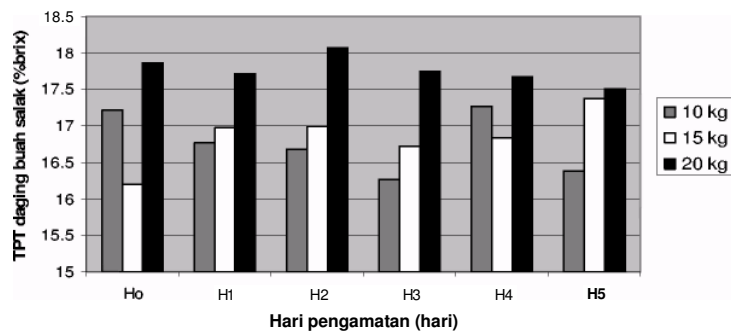
Berdasarkan hasil uji lanjut Duncan pada Lampiran 16, tingkat kekerasan dan TPT buah salak setelah simulasi transportasi berbeda nyata pada kapasitas 20 kg, namun tidak berbeda nyata pada kapasitas 15 dan 10 kg. Hasil uji tetap sama pada tiap hari pengamatan. Hasil ini menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap

kekerasan buah salak ditemui pada kapasitas 20 kg. Pada Gambar 23 dapat dilihat perbedaan - perbedaan nilai kekerasan buah tersebut.



Gambar 23. Kekerasan buah salak setelah simulasi transportasi.

Lampiran 17 dan Gambar 24 menunjukkan bahwa kapasitas kemasan tidak selalu berpengaruh terhadap TPT buah salak. Kapasitas 20 kg adalah kapasitas tertinggi tetapi nilai TPT buah salak dalam kapasitas tersebut tidak selalu berbeda nyata dengan kapasitas 15 dan 10 kg.



Gambar 24. Total Padatan Terlarut buah salak setelah simulasi transportasi.

Total padatan terlarut (TPT) buah salak yang disimpan pada suhu ruang dari kondisi segar hingga membusuk memiliki kecenderungan menaik di awal penyimpanan karena proses respirasi buah salak masih menggunakan karbohidrat sebagai substrat respirasi. Kondisi ini menyebabkan gula menjadi terakumulasi

dan konsentrasi gula akan menyebabkan rasa buah salak semakin manis. Kemudian pada batas tertentu hari penyimpanan, TPT menurun karena gula digunakan sebagai substrat respirasi menggantikan karbohidrat yang sudah habis terpakai. Kecenderungan TPT buah salak tersebut hanya terlihat jelas pada perubahan TPT buah salak dalam kapasitas 10 kg (Gambar 24). TPT meningkat dari hari pengamatan ke - 0 sampai hari ke - 1 lalu menurun pada hari selanjutnya.

Kondisi kekerasan dan TPT hasil pengamatan dalam penelitian ini kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di sekitar buah salak sampel dan penggunaan sampel buah salak yang berbeda pada tiap hari pengamatan. Yang dimaksud dengan lingkungan dalam hal ini adalah kondisi kebusukan buah salak yang menjadi tetangga buah salak sampel selama proses transportasi dari lapangan dan selama simulasi transportasi di laboratorium. Kebusukan diakibatkan oleh infeksi cendawan mudah menyebar pada buah salak. Infeksi mempengaruhi kekuatan dinding sel buah salak karena cendawan memiliki enzim selulosa yang bersifat merombak hemiselulosa yang merupakan senyawa yang terdapat di dalam dinding sel tumbuhan. Kekuatan dinding sel buah salak mempengaruhi kekerasan buah; semakin lemah dinding sel maka kekerasan buah akan makin rendah karena makin rendahnya beban yang dibutuhkan Rheometer (alat ukur kekerasan) untuk menekan daging buah. Perombakan oleh cendawan juga mempengaruhi kadar padatan terlarut dalam sel daging buah sehingga mempengaruhi TPT buah salak.

Analisis ekonomi

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kerugian secara ekonomi akibat kerusakan fisik setelah simulasi dengan penggunaan peti hasil rancangan yang diuraikan pada Lampiran 18 dengan asumsi kemasan hasil rancangan dibuat sendiri oleh petani salak. Buah salak diangkut menggunakan truk sewaan dan langsung dijual setelah sampai di daerah tujuan pemasaran, sehingga tidak didapati buah salak yang busuk (pengamatan hari ke - 0) dan harga jual buah salak sebesar Rp. 3,000.00/ kg. Daya angkut truk sebesar 2,400 kg dengan ukuran bak truk 4 x 1.75 meter dan tumpukan kemasan dalam bak truk setinggi 2 meter.

Tabel 14. Analisis kehilangan secara ekonomi

Komponen analisis ekonomi	Kapasitas kemasan (kg)		
	10	15	20
Jumlah kemasan yang digunakan (buah)	196	142	87
Biaya pembuatan kemasan (Rp.)	862,400	624,800	382,800
Berat buah salak dalam satu jenis kemasan (kg)	9.64	13.56	18.1
Berat buah salak yang dapat diangkut satu truk (kg)	1,890	1,926	1,575
Kerusakan fisik buah salak (%)	0.93	3.09	2.62
Sewa truk (Rp.)	400,000	400,000	400,000
Pendapatan dari penjualan buah salak (Rp.)	5,670,000	5,778,000	4,725,000
Kerugian akibat kerusakan fisik (Rp.)	52,500	178,333	123,958
Laba dari penjualan buah salak (Rp.)	4,355,100	4,574,867	3,818,242

Tabel 14 menunjukkan bahwa tingkat kerusakan buah salak dan penambahan kapasitas tidak terlalu berperan dalam mempengaruhi laba bersih. Buah salak yang disusun dalam kapasitas 10 kg mengalami kerusakan fisik yang paling rendah daripada 15 kg dan 20 kg, tetapi jumlah kemasan yang digunakan paling banyak daripada kedua kapasitas lainnya, sehingga biaya pembuatan kemasan berkapasitas 10 kg paling besar daripada kedua kapasitas lainnya dan mempengaruhi laba penjualan buah salak dalam kapasitas tersebut. Penggunaan kapasitas 20 kg sebagai kapasitas terbesar juga tidak meningkatkan laba bersih karena kerusakan buah salak tertinggi ditemukan pada kapasitas 20 kg dan berat buah salak yang dapat diangkut paling rendah bila menggunakan kapasitas tersebut, sehingga menyebabkan laba penjualannya paling rendah dibandingkan dengan laba pada kapasitas 15 kg dan 10 kg. Dari Tabel 14 ini dapat dinyatakan bahwa penggunaan kapasitas 15 kg lebih menguntungkan daripada 20 dan 10 kg. Meskipun persentase kerusakan buah salak tertinggi terjadi pada kapasitas 15 kg namun kerugian masih dapat ditutupi karena berat buah salak yang dapat diangkut tertinggi didapatkan dengan kemasan berkapasitas 15 kg.