



PAPER – OPEN ACCESS

Permodelan CAD Buah Tomat Untuk Analisis Deformasi Komputasi

Author : Rayyan, dkk.
DOI : 10.32734/ee.v7i1.2179
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 7 Issue 1 – 2024 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Permodelan CAD Buah Tomat Untuk Analisis Deformasi Komputasi

Rayyan^{a*}, Oyong Novareza^a, Achmad As'ad Sonief^b, Salim Subarkah^c

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Kota Malang 65145, Indonesia

^bDepartemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Kota Malang 65145, Indonesia

^cDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Madiun, Jl. Serayu, Kota Madiun 63133, Indonesia

rayyan.2130520030.rs@gmail.com, novareza15@ub.ac.id, sonief@ub.ac.id, salim@unmer-madiun.ac.id

Abstrak

Simulasi digunakan sebagai metode analisis awal untuk memprediksi suatu fenomena. Untuk melakukan simulasi, permodelan 3 dimensi (3D) desain dibutuhkan sebagai objek utama simulasi komputasi. Aplikasi CAD (Computer Aided Design) digunakan untuk membuat pola fisik obyek. Paper ini membahas tentang permodelan 3D buah tomat yang dipersiapkan untuk simulasi getaran. Obyek buah tomat dibuat dengan 4 bagian utama yakni tangkai, kulit buah, mesokarp, dan gelatin. Buah terdiri atas 3 lokul. *Properties* dan dimensi ditentukan untuk memunculkan fenomena reaksi menyerupai buah tomat nyata.

Kata Kunci: Simulasi; CAD; 3D; *Properties*; Desain

Abstract

Simulation is used as an initial analysis method to predict a phenomenon. To carry out simulations, 3-dimensional (3D) design modeling is needed as the main object of computational simulation. CAD (Computer Aided Design) applications are used to create physical patterns of objects. This paper discusses 3D modeling of tomatoes prepared for vibration simulation. Tomato fruit objects are made from 4 main parts, namely stem, fruit skin, mesocarp and gelatin. The fruit consists of 3 locules. Properties and dimensions are determined to describe a reaction phenomenon resembling a real fruit.

Keywords: Simulation; CAD; 3D; Properties; Desain

1. Pendahuluan

Pada masa Panen, Buah tomat dipetik dan ditempatkan pada wadah. Saat proses petik dan storing, terdapat kemungkinan buah mengalami kerusakan mekanis berupa gesekan antar buah, krat, dan tekanan yang diakibatkan dari tumpukan buah. Untuk memenuhi permintaan konsumen, dilakukan penyortiran untuk memilah buah tomat yang baik. Tomat yang memenuhi standar akan dipindahkan pada krat pengiriman dengan pola penyusunan tertentu. Namun selama masa transportasi, adanya faktor eksternal selama perjalanan mengakibatkan adanya kerusakan mekanis yang muncul pada buah tomat [1].

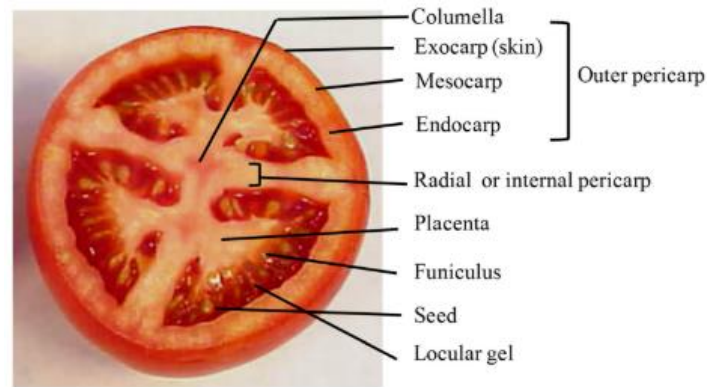
Pola kontur jalan menyebabkan kendaraan mengalami guncangan. Guncangan ini tentu menjadi faktor kerusakan buah tomat karena dapat memicu benturan dan gesekan antar buah maupun wadah. kerusakan buah dapat berupa memar, susut bobot, dan sobekan [2].

Kerusakan buah dapat diidentifikasi dari perubahan pola deformasi. Pada dasarnya struktur buah tomat memiliki sifat yang berbeda antara tangkai, kulit, daging dan gelatin. Sifat bahan ini akan mengalami deformasi saat menerima gaya yang melebihi batas (yield dan batas elastisitas). Deformasi ini pada akhirnya akan memunculkan visual buah berupa memar, bercak, atau bahkan sobekan pada buah.

Dalam paper ini, dibahas tentang pembuatan permodelan 3D buah tomat. Buah tomat memiliki dimensi dan struktur penyusun yang berbeda. Tiap struktur (tangkai, kulit, mesokarp, dan gelatin) memiliki *properties* atau sifat yang berbeda. Adanya sifat yang berbeda dapat meningkatkan kemiripan hasil simulasi dengan keadaan riil. Permodelan struktur dan sifat dalam paper ini didasarkan pada studi literatur terdahulu.

2. Tinjauan Pustaka

Buah tomat umumnya terdiri atas bagian seperti ditunjukkan gambar 1.



Gambar 1. komponen buah tomat (sumber: Rames et al, 2020)

Bagian terluar (kulit) disebut dengan eksokarp. Kulit di-*support* oleh mesokarp, endokarp, dan calumnella dalam menjaga struktur padat buah tomat. Bagian dalam buah terdiri atas biji dan locular gel sebagai nutrisi cadangan buah tomat. Unsur nutrisi pada buah tomat mengalami perubahan kadar (P, K, Mg, Ca, Fe, Zn, B, Cu dan Mn) pada 5 tahap pematangan buah. Adapun tahap pematangan tersebut meliputi mentah (*immature*), matang hijau (*green mature*), matang kuning (*turning*), matang merah (*light red*), dan matang sempurna. Namun pada umumnya, buah dipanen dalam keadaan matang merah [3].

2.1 Parameter Kualitas Buah

Tomat yang berkualitas akan memiliki tingkat permintaan pasar yang tinggi. Buah dengan nama latin *Solanum Lycopersicum* kaya akan vitamin dan zat gizi. Perihal tomat yang memberi manfaat sebagai sumber vitamin dan mineral, antioksidan, serta bermanfaat untuk kesehatan mata karena kandungannya yang kaya akan vitamin. Buah tomat tersusun dari beberapa bagian, termasuk perikarp, plasenta, funikulus, dan biji.

Tabel 1. Kandungan vitamin buah tomat (sumber: Aprilah, 2016)

Nutrien	Jumlah	Kebutuhan per hari (%)	Kepadatan nutrisi
Vitamin C	34,38 mg	57,3	27,3
Vitamin A	1121,40 IU	22,4	10,7
Vitamin K	14,22 mcg	18,8	8,5
molybdenum	9,00 mcg	12,0	5,7
Kalium	399,6 mg	11,4	5,4
Mangan	0,19 mg	9,5	4,5
Serat	1,98 g	7,9	3,8
Kromium	9,00 mcg	7,5	3,6
Vitamin B1 (thiamine)	0,11 mg	7,3	3,5
Vitamin B6 (pyridoxine)	0,14 mg	7,0	3,3
Folat	27,00 mcg	6,8	3,2
Tembaga	0,13 mg	6,5	3,1
Vitamin B3 (niacin)	1,13 mg	5,6	2,7
Vitamin B2 (riboflavin)	0,09 mg	5,3	2,5
Magnesium	19,80 mg	5,0	2,4
Besi	0,81 mg	4,5	2,1
Vitamin B5 (as. pantotenat)	0,44 mg	4,4	2,1
Phosphor	43,20 mg	4,3	2,1
Vitamin E	0,68 mg	3,4	1,6
Tryptophan	0,01 g	3,1	1,5
Protein	1,53 g	3,1	1,5

Kualitas buah tomat secara fisik dapat dilihat berdasarkan visualisasi buah. Buah yang kurang sehat akan memiliki ciri seperti memar dan bercak pada kulit, perubahan organoleptik, dan susut bobot.

2.1.1 Memar Permukaan

Sifat buah yang rentan terhadap gaya eksternal, sangat mudah melukai penampilan buah. Pada buah yang terjatuh, akan memunculkan bekas hitam (memar) pada bagian yang mengalami kontak dengan lantai beberapa saat setelah terjatuh. Selain itu, dalam meningkatkan keakuratan, digunakan alat *penetrometer* untuk mengetahui kekerasan fisik buah. Satuan yang digunakan ditunjukkan dengan satuan Newton.

Pada umumnya, *Solanum Lycopersicum* terdiri dari pedicel (tangkai), sepal (daun tangkai), eksocarp (kulit luar), Mesocarp (kulit dalam), endokarp (daging), biji, plasenta, dan locular cavity (rongga dalam). Daging buah disebut endokarp. Pada segmen ini, sel penyusun berupa *carpel* dan *locule*. Didalamnya terdapat kantung sari buah ber dinding tipis. Sedangkan kulit buah tomat, terdiri eksocarp dan endokarp.

Getaran mengakibatkan degradasi pada buah apel dan merubah sintase etilen [4]. Dalam pengiriman bir, terjadi perubahan ikatan kimia pada senyawa alkohol [5]. perubahan tersebut terjadi karena adanya eksitasi getaran yang muncul saat pengiriman berlangsung. Karbohidrat sangat rentan terhadap perubahan lingkungan sehingga rentan mengalami perubahan unsur ikatan kimia. Sel buah tomat terdiri atas pektin dan karbohidrat. Apabila terjadi depolimerisasi karbohidrat dan pektin, maka hubungan antara komponen akan melemah dan buah tomat akan menjadi lunak [1]. Dengan demikian, deformasi buah tomat menjadi hal yang perlu diwaspadai saat pengiriman buah berlangsung.

2.1.2 Perubahan Organoleptik

Seiring proses pematangan buah tomat yang terus berlangsung, buah akan mengalami perubahan fisik secara alami. Perubahan ini ditunjukkan dengan adanya ciri berupa bau, warna, dan tekstur. Secara umum, buah matang akan memunculkan aroma khas. Namun, seiring berjalannya waktu, bau akan menjadi lebih menyengat karena adanya peningkatan unsur asam. Hal ini kemudian menjadi lebih sensitif dengan adanya faktor eksternal seperti perubahan suhu, kelembaban, dan gaya luar (guncangan). Masa simpan buah menjadi lebih singkat dan sangat beresiko untuk dijual.

2.1.3 Susut Bobot

Pada buah tomat, parameter fisiologis pada umumnya dapat ditentukan melalui perbedaan berat sebelum dan sesudah perlakuan. Berat buah dihitung menggunakan timbangan. Persentase kehilangan berat dapat diketahui dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Weight Loss (\%)} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100 \quad (2.1)$$

Besarnya penurunan berat menunjukkan bahwa proses transpirasi dan respirasi pada tomat tersebut lebih intensif. Selain itu, kelembaban udara relatif (RH) di ruang penyimpanan juga mempengaruhi penurunan berat. Jika ruang penyimpanan memiliki RH yang tinggi, maka penurunan berat yang terjadi akan lebih rendah dibandingkan dengan ruang penyimpanan dengan RH yang rendah (Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, 2015).

2.2 Dimensi Buah Tomat

Buah tomat hasil panen memiliki bentuk yang berbeda satu sama lain. Namun, jika digambarkan secara umum, tomat akan memiliki kecenderungan berbentuk lonjong. Bagian lokul pada buah tomat bervariasi dari 3-6 lokul bergantung varian buah.

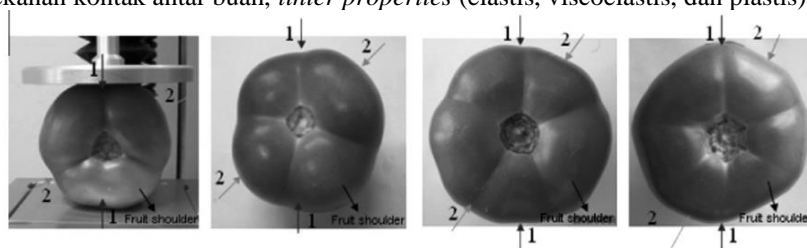
Tabel 2. sifat fisik buah tomat (sumber: [6])

Properties	Fenguan906		Jinguan28	
	Three locules	Four locules	Five locules	Six locules
Height H (cm)	$6.07 \pm 0.43^{a,b}$	5.72 ± 0.87^b	6.32 ± 0.53^a	6.47 ± 0.66^a
Diameter1 D_1 (cm)	$7.38 \pm 0.44^{a,b}$	7.09 ± 0.65^b	$7.29 \pm 0.38^{a,b}$	7.53 ± 0.86^a
Diameter2 D_2 (cm)	$7.29 \pm 0.56^{a,b}$	6.98 ± 0.66^b	$7.26 \pm 0.78^{a,b}$	7.45 ± 0.87^a
Arithmetic mean diameter D_a (cm)	$6.89 \pm 0.39^{a,b}$	6.59 ± 0.70^b	$6.96 \pm 0.46^{a,b}$	7.15 ± 0.74^a
Geometric mean diameter D_g (cm)	$6.86 \pm 0.38^{a,b}$	6.56 ± 0.72^b	$6.93 \pm 0.46^{a,b}$	7.13 ± 0.73^a
Sphericity Φ (%)	$92.99 \pm 2.04^{a,b}$	92.5 ± 3.07^b	95.14 ± 5.09^a	$94.85 \pm 3.45^{a,b}$
Surface area S (cm ²)	$148.20 \pm 16.62^{a,b}$	136.77 ± 30.46^b	$151.45 \pm 19.78^{a,b}$	161.18 ± 33.50^a
Volume V (cm ³)	168.90 ± 29.89	140.55 ± 36.83	158.44 ± 38.31	176.24 ± 39.43
Porosity e (%)	6.49 ± 5.47	11.50 ± 8.77	9.39 ± 7.40	4.78 ± 5.91
Mass (g)				
Total mass M	159.65 ± 28.94	145.38 ± 35.92	143.47 ± 21.60	162.87 ± 45.66
Pericarp M_p	127.71 ± 21.19	109.24 ± 13.96	114.81 ± 16.06	126.74 ± 25.54
Gelatinous matter M_g	31.94 ± 14.87	25.38 ± 8.14	28.66 ± 18.25	36.13 ± 14.69
Density (g/cm ³)				
Bulk density ρ_b	0.95 ± 0.07	1.04 ± 0.06	0.92 ± 0.09	0.93 ± 0.07
Pericarp ρ_p	1.05 ± 0.07	1.09 ± 0.12	1.01 ± 0.14	0.95 ± 0.07
Gelatinous matter ρ_g	0.96 ± 0.16	1.04 ± 0.13	0.99 ± 0.06	1.07 ± 0.12
Projected area PA (cm ²)				
PA_{XOY}	42.88 ± 5.95	38.66 ± 7.36	39.63 ± 5.39	43.59 ± 9.81
PA_{XOZ}	36.54 ± 4.85	32.95 ± 8.65	35.45 ± 2.92	38.69 ± 8.21
PA_{YOZ}	37.39 ± 5.17	33.32 ± 7.87	34.48 ± 3.82	36.90 ± 7.22
Shape factor SF				
SF_{XOY}	0.91 ± 0.02	0.90 ± 0.03	0.89 ± 0.03	0.90 ± 0.02
SF_{XOZ}	0.85 ± 0.05	0.78 ± 0.10	0.88 ± 0.04	0.84 ± 0.06
SF_{YOZ}	0.84 ± 0.06	0.85 ± 0.05	0.86 ± 0.02	0.84 ± 0.06

Ditentukan berdasarkan penelitian terdahulu sifat mekanis buah tomat berdasarkan 4 lokul yang berbeda [6]. Dari tabel 2.2 tersebut, diketahui bahwa hasil pengukuran fisik dari buah tomat pasca panen ditemukan adanya nilai toleransi akibat bentuk buah yang cenderung random. Namun, jika dilakukan pendekatan, buah dapat digambarkan sesuai dimensi keratnya.

2.3 Sifat Mekanis Buah Tomat

Buah tomat memiliki struktur bahan penyusun yang berbeda pada tiap komponennya. Struktur tersebut memiliki ciri sifat mekanis yang berbeda. Sifat ini muncul akibat adanya karakteristik mekanis zat penyusunnya. Sifat mekanis ini dapat diketahui dengan melakukan pengujian langsung pada buah tomat berupa uji kompresi dan impak. Metode uji dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakteristik tekanan kontak antar buah, *linier properties* (elastis, viscoelastis, dan plastis) [7].



Gambar 2. Gambar pengujian sifat mekanis buah tomat (sumber: [7])

Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana kemampuan buah tomat dalam menerima beban diprediksi. Pengujian tersebut menghasilkan informasi kemampuan buah tomat dalam merespon gaya secara radial. Dengan cara ini, peneliti dapat menentukan nilai respon gaya buah tomat dan menabelkan sifat mekanis buah tomat.

Banyak penelitian sebelumnya yang meneliti prediksi distribusi stres dan tingkat kerusakan pada buah dan sayuran dengan menggunakan metode elemen hingga [8]. Namun, permodelan yang dilakukan terbatas pada penyederhanaan geometri CAD obyek yang diteliti. Hal ini yang membuat peneliti dalam paper ini tertarik untuk melakukan penelitian lebih mendalam. Penelitian menggunakan hasil eksperimen penelitian terdahulu untuk menentukan sifat mekanis yang dimiliki oleh buah tomat.

3. Metodologi Penelitian

Pada dasarnya, untuk mengetahui secara pasti respon tiap komponen buah tomat terhadap eksitasi cukup sulit. Namun, Metode Elemen Hingga (FEM) dapat digunakan untuk mengetahui respons tersebut [9]. Penulis mengumpulkan data dari berbagai jurnal

dan makalah sebagai dasar untuk analisis. Tujuan dari langkah ini adalah untuk melihat apakah sudah sejalan dengan makalah yang telah diterbitkan. Data tersebut diperoleh dengan mencari jurnal dan makalah yang berhubungan dengan topik penelitian. Beberapa contoh seperti Google Scholar dan ScienceDirect digunakan sebagai sumber referensi yang andal. Selanjutnya, artikel dan publikasi yang sejalan pada tema diseleksi. Penyeleksian artikel dan publikasi tidak dibatasi oleh tahun terbit atau asal author. Pada artikel dan publikasi yang dipilih, lalu akan ada analisis dan diambil kesimpulan.

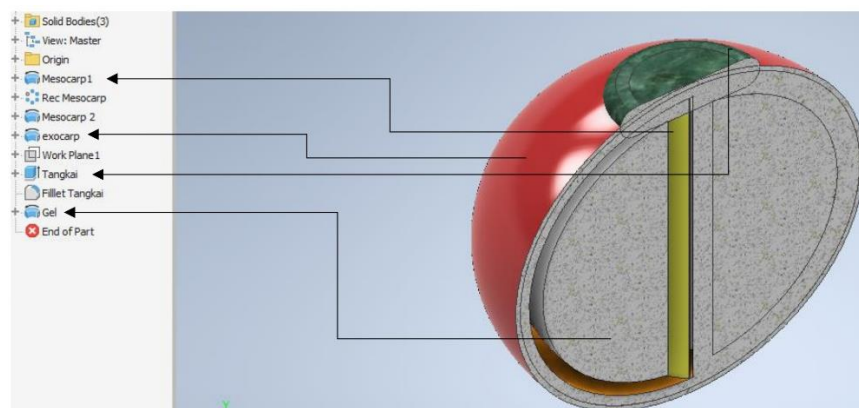
3.1 Dimensi CAD Buah Tomat

FEM dilakukan dengan Gambar sistem dibuat dengan menggunakan aplikasi Autodesk Inventor 2020. Untuk memudahkan penelitian. Ditentukan buah tomat merah jenis 3 *locular*. Geometri buah terdiri atas tangkai, kulit, mesokarp, dan gelatin dengan bentuk buah lonjong [3]. Adapun spesifikasi ditulis sebagai berikut:

Tabel 3. Spesifikasi gambar buah

Spesifikasi Buah	Nilai
Tinggi Buah	64 mm
Diameter Longitudinal	75 mm
Berat buah	118.7 gr
Tebal Daging (mesokarp)	5 mm
Tebal Kulit Buah	1 mm
Jumlah <i>Locular</i>	3 <i>Locul</i>
Boundary Condition	<i>All Fixed Mode</i>
Meshing	<i>Element Edge of mesocarp set to 2mm</i>

Penggambilan dimensi buah tomat pada tabel 3 didasarkan pada data eksperimen tabel 2. dimensi disesuaikan dengan toleransi pada data tertera. Pemilihan jumlah lokul dilakukan lebih spesifik pada buah dengan 3 lokul.



Gambar 4. Geometri buah tomat (satuan milimeter)

3.2 Mechanical Properties Buah Tomat

Desain sistem simulasi buah menggunakan ukuran mengikuti tabel 3.1 diinputkan untuk membuat permodelan sistem. Kemudian, diberikan *properties* pada beban dan alas. Sementara, Alas digambarkan sebagai lempengan tipis dengan material plastik. Posisi alas berada dibawah susunan buah. Masing-masing komponen memiliki *properties* yang berbeda.

Massa buah tomat merah diberikan sebesar 160 gram [6]. Model fisik buah yang mencakup modulus elastisitas, densitas, dan rasio Poisson tercantum pada Tabel 4. Penelitian ini mengadopsi data dari penelitian sebelumnya untuk diterapkan sebagai sifat buah tomat dalam sistem simulasi analisis getaran *vertikal*. Sebagai acuan, digunakan data FEM *average* pada tabel 3.2:

Tabel 4. mechanical properties buah tomat[10]

FEM	Tissues	Number	Elastic modulus E (kPa)	Poisson's ratio γ	Failure stress σ (kPa)	Density ρ (kg/m ³)
FEM (E_{ave})	Exocarp	1	9590	0.49	582	1000
	Mesocarp	2	726	0.45	122	1070
	Locular gel	3	124	0.45	12	1010

Data pada Tabel 3.2 merupakan nilai rata-rata sifat mekanis dari buah tomat berdasarkan eksperimen sebelumnya. Diketahui bahwa setiap komponen penyusun buah tomat memiliki hasil pengujian yang bervariasi. Hal ini tentu akan menghasilkan respons yang berbeda dari setiap bagian buah saat diberikan perlakuan.

3.2 Mesokarp

Mesocarp merupakan bagian daging buah tomat. Mesocarp memiliki struktur rigid. Struktur ini memiliki komposisi sebesar 80% dari keseluruhan geometri buah tomat. Pada dasar terdapat struktur internal pericarp buah tomat. Internal pericarp diasumsikan memiliki struktur material yang menyerupai mesocarp. Struktur mesokarp memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 726kPa, poisson rasio 0.45, dengan densitas 1070kg/m³ dan tegangan batas maksimum sebesar 122kPa. Nilai ini merupakan hasil dari rerata pengujian tekan dan kompresi dari buah sampel buah tomat dengan 3 lokul.

3.3 Gelatin

Buah tomat memiliki kadar air yang terkandung pada struktur gelatin. Struktur ini berada pada bagian dalam buah yang mengisi ruangan yang disekat oleh struktur lokul. Pemberian input properties dilakukan dengan mengasumsikan bahwa biji tomat juga termasuk dalam struktur ini. Oleh karena itu, gambar geometri dibuat menjadi *boolean* yang mengisi ruang kosong disela-sela lokul. Struktur gelatin memiliki sifat seperti gel. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan nilai densitas dari gelatin sebesar 1010kg/m³, Modulus elastisitas sebesar 124kPa, Poisson rasio sebesar 0.45 dan tegangan batas maksimum sebesar 12kPa.

3.4 Kulit Buah

Kulit buah tomat didesain dengan ketebalan 1 mm menyelimuti seluruh permukaan mesokarp. Ekstrusi dibuat dengan opsi boolean agar membentuk geometri baru. Hal ini bertujuan agar kulit dapat diberikan *properties* saat akan dilakukan simulasi. Pada penelitian ini, kulit buah tomat merupakan bagian terluar dari buah tomat. Adapun penentuan sifat mekanis berdasarkan data pada tabel 3.2 ditunjukkan pada struktur eksokarp (koom pertama). Struktur kulit memiliki sifat mekanis berupa poisson rasio sebesar 0.49, modulus elastisitas 9590kPa, densitas sebesar 1000kPa, dan batas tegangan maksimum sebesar 582kPa.

3.5 Tangkai

Tangkai buah tomat terletak pada bagian ujung atas buah tomat. kecenderungan dari sifat tangkai menyerupai bagian daging namun dengan tekstur yang lebih keras dan ulet. Dengan demikian, dalam penelitian ini dilakukan pemberian properties dengan menambah nilai densitas serta modulus elastisitas. Nilai ditambahkan sebesar 0.5 lebih besar pada *properties* modulus elastisitas dan poisson rasio sebesar 0.05 pada tabel mesokarp. Sehingga sifat mekanis memiliki nilai modulus elastisitas 726,5kPa, poisson rasio 0.46, densitas 1070kg/m³, dan batas tegangan maksimum sebesar 122kPa.

4. Kesimpulan

Desain 3D geometri buah tomat dibuat dengan memerhatikan kondisi dan sifat fisik tiap komponen. Penelitian ini dibuat berdasarkan studi kajian literatur. Hasil analisa data dilakukan dengan memilih topik jurnal dan paper yang sesuai. Buah digambar dengan bentuk lonjong. Diameter tinggi 64mm dan lebar 76mm. Ditentukan dimensi tebal kulit buah 1mm dan tebal daging 5mm. Buah tomat dipilih dengan 3 lokul. Ruang tengah pada buah diisi dengan gelatin dan digambarkan dengan ekstrusi boolean.

Properties mekanis dari tiap elemen buah tomat diberikan dengan nilai yang berbeda untuk menunjukkan respon yang mendekati nyata. Diberikan nilai pada sifat mekanis pada bagian mesokarp, gelatin, kulit buah, dan tangkai. Sifat mekanis diberikan dengan menginput *general properties* pada aplikasi simulasi.

Modulus young adalah nilai yang menunjukkan sifat benda dalam menerima deformasi secara elastis. Mesokarp, gelatin, kulit, dan tangkai memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 726kPa, 124kPa, 9590kPa, dan 726 kPa. Nilai ini dapat menunjukkan bahwa buah dapat menerima tekanan sebesar batas tersebut sebelum berlanjut menuju sifat plastis.

Poisson rasio adalah nilai perbandingan ragangan transversal dibanding regangan aksial. Nilai ini mengindikasikan bagaimana respon suatu benda dalam memulai deformasi saat merespon gaya luar. pada tiap komponen bernilai masing-masing 0.45., 0.45., 0.49., dan 0.46.

Tegangan batas elastis menunjukkan bagaimana benda memulai kegagalan deformasi. Kecenderungan respon akan menunjukkan benda menjadi sobek atau terbelah. Adapun nilai batas tegangan maksimum tiap komponen sebesar 122kPa, 12kPa, 582kPa, 122kPa.

Densitas merupakan nilai massa benda dibanding volume. Nilai menunjukkan kerapatan massa pada tiap volume benda. Semakin tinggi nilai densitas, benda akan menjadi semakin padat. Adapun nilai densitas tiap komponen sebesar 1070kg/m³, 1000kg/m³, 1010 kg/m³, dan 1070 kg/m³.

Ucapan Terimakasih

Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih dan rasa hormat kepada Ir. Oyong Novareza. ST., MT., Ph.D., IPU., Asean.Eng. dan Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT. yang telah memberi bimbingan kepada peneliti sehingga paper ini dapat diselesaikan.

Referensi

- [1] R. Rozana, D. Perdana, and O. N. Sigiuro, "Simulasi Transportasi Tomat Dan Perubahan Mutu Tomat Selama Penyimpanan," *J. Food Technol. Agroindustry*, vol. 3, no. 1, pp. 13–20, 2021, doi: 10.24929/jfta.v3i1.1209.
- [2] Z. A. Varanita and A. Haryanto, "PENGARUH GETARAN TERHADAP KERUSAKAN MEKANIS TOMAT (*Lycopersicum esculentum* Mill) EFFECT OF VIBRATION ON MECHANICAL DAMAGE OF TOMATO (*Lycopersicum esculentum* Mill)," vol. 5, no. 2, pp. 117–124, 2016.
- [3] K. V. Ramesh, V. Paul, and R. Pandey, "Dynamics of mineral nutrients in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits during ripening: part I—on the plant," *Plant Physiol. Reports*, vol. 26, no. 1, pp. 23–37, 2021, doi: 10.1007/s40502-020-00546-0.
- [4] C. Gui, J. Bai, and W. Zuo, "Simplified crashworthiness method of automotive frame for conceptual design," *Thin-Walled Struct.*, vol. 131, no. December 2017, pp. 324–335, 2018, doi: 10.1016/j.tws.2018.07.005.
- [5] A. Paternoster, S. Vanlanduit, J. Springael, and J. Braet, "Measurement and analysis of vibration and shock levels for truck transport in Belgium with respect to packaged beer during transit," *Food Packag. Shelf Life*, vol. 15, no. December 2017, pp. 134–143, 2020, doi: 10.1016/j.fpsl.2017.12.007.
- [6] Z. Li, P. Li, and J. Liu, "Physical and mechanical properties of tomato fruits as related to robot 's harvesting," *J. Food Eng.*, vol. 103, no. 2, pp. 170–178, 2011, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.10.013.
- [7] M. Rashvand, G. Altieri, F. Genovese, Z. Li, and G. C. Di Renzo, "Numerical simulation as a tool for predicting mechanical damage in fresh fruit," *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 187, no. February, p. 111875, 2022, doi: 10.1016/j.postharvbio.2022.111875.
- [8] H. M. Jung, S. Lee, W. H. Lee, B. K. Cho, and S. H. Lee, "Effect of vibration stress on quality of packaged grapes during transportation," *Eng. Agric. Environ. Food*, vol. 11, no. 2, pp. 79–83, 2018, doi: 10.1016/j.eaef.2018.02.007.
- [9] M. Z. Irawan, N. I. M. Simanjuntak, F. F. Bastarianto, R. Dwitasari, and Herawati, "Predicting the impact of Trans Java Toll Roads on demand for intercity air travel in Indonesia," *J. Air Transp. Manag.*, vol. 87, no. March, p. 101848, 2020, doi: 10.1016/j.jairtraman.2020.101848.
- [10] Z. Li, P. Li, H. Yang, and J. Liu, "Internal mechanical damage prediction in tomato compression using multiscale finite element models," *J. Food Eng.*, vol. 116, no. 3, pp. 639–647, 2013, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.01.016.