

**LAPORAN PENELITIAN KERJASAMA
MAGANG MAHASISWA (MBKM)**

**PENGUJIAN KARAKTERISTIK KEMASAN BERBAHAN
DASAR BIOPLASTIK UNTUK PRODUK SEGAR**

**LILIK PUJANTORO EKO NUGROHO
WAQIF AGUSTA
RENI GIARNI
PATRICIA YOHANETA GENDIS K.**



**PUSAT RISET AGRO INDUSTRI
ORGANISASI RISET PANGAN DAN PERTANIAN
BADAN RISET NASIONAL (BRIN)
SERPONG**

Dengan

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**

2023

ABSTRAK

Pengujian Karakteristik Kemasan Berbahan Dasar Bioplastik untuk Produk Segar. Dibimbing oleh LILIK PUJANTORO EKO NUGROHO, WAQIF AGUTSA, RENI GIARNI, dan PATRICIA YOHANETA GENDIS KUSMANINGJATI.

Produk hortikultura merupakan produk yang mudah mengalami kerusakan yang biasanya dikarenakan oleh penanganan pascapanen yang tidak sesuai terutama pada pengemasan. Kemasan plastik banyak digunakan sebagai bahan kemasan yang populer namun tidak ramah lingkungan. Maka dari itu penggunaannya dapat digantikan dengan bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik dari kemasan bioplastik berbahan dasar pati dan *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan variasi kondisi penyimpanan serta membandingkan nilai perubahan mutu produk segar terhadap pengemasan selama penyimpanan. Pengujian karakteristik dilakukan dengan memperhatikan parameter *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR) serta sifat mekanik dari kedua jenis kemasan selama penyimpanan 8 jam pada variasi suhu 16°C, 25°C, dan 30°C, dan variasi RH 18%, 51%, 79%, dan 90%. Pengujian perubahan mutu dilakukan dengan menggunakan pisang cavendish dengan memperhatikan parameter laju respirasi, susut bobot, dan perubahan warna serta sifat mekanik dari kemasan setelah dilakukan penyimpanan selama 10 hari dengan variasi suhu 16°C dan 25°C. Pengamatan pada produk dilakukan setiap 2 hari sekali pada penyimpanan hari ke-2, ke-4, ke-6, ke-8, dan ke-10. Hasil dari setiap parameter dibandingkan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan analisis menggunakan *three-way* ANOVA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan nilai WVTR pada kedua kemasan dipengaruhi oleh peningkatan RH lingkungan. Nilai kuat tarik pada kedua kemasan dipengaruhi oleh bahan penyusun masing-masing kemasannya saja, bukan oleh kondisi lingkungan penyimpanannya. Nilai elongasi kedua kemasan dipengaruhi oleh RH lingkungan penyimpanannya yang dapat mengubah sifat dari bahan penyusunnya. Dari pengamatan mutu produk selama penyimpanan 10 hari dapat dinyatakan bahwa pengemasan produk dengan bioplastik hanya dapat mempertahankan mutu visual produk pada penyimpanan suhu rendah.

Kata kunci: bioplastik, karakteristik kemasan, kemasan, perubahan mutu produk, pisang cavendish

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Ir. Lilik Pujantoro Eko Nugroho, M.Agr.



Pembimbing 2:

Waqif Agusta STP., M. Si



PRAKATA

Puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sepanjang pengerjaan skripsi ini. Judul penelitian yang telah dilaksanakan sejak bulan Maret 2023 hingga bulan Juni 2023 ini adalah “Pengujian Karakteristik Kemasan Berbahan Dasar Bioplastik Untuk Produk Segar”. Penulisan karya ilmiah ini tidak lepas dari dukungan, bantuan, bimbingan serta doa dari berbagai pihak sehingga setiap masalah yang penulis hadapi dapat terselesaikan dengan baik. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Waqif Agusta STP., M. Si dan Ibu Reni Giarni, S.Si, M.Si dari pihak BRIN-Serpong yang telah mendukung dan memfasilitasi segala keperluan penelitian.
2. Patricia Yohaneta Gendis Kusmaningjati sebagai mahasiswa bimbingan dan pelaksana penelitian dan menulis karya ilmiah sebagai tugas akhir pendidikan sarjana nya.
3. Seluruh staff UPT TMB IPB yang telah membantu dalam segala proses persuratan dan administrasi.
4. Seluruh staf di LAPTIAB, Serpong, terutama Sdr. Fardan, Sdr. Iki, dan Sdr. Viona yang telah membantu dalam pengambilan data di laboratorium.
5. Kepada seluruh pihak yang terlibat dalam memberikan masukan, dukungan, dan membantu dalam penyusunan laporan ini.

Dalam penyusunan laporan ini masih belum mencapai kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penulisan yang lebih baik. Semoga laporan ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, September 2023

Lilik Pujantoro Eko Nugroho

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
I PENDAHULUAN	68
1.1 Latar Belakang	68
1.2 Rumusan Masalah	69
1.3 Tujuan	69
1.4 Manfaat	69
1.5 Hipotesis	70
II TINJAUAN PUSTAKA	71
2.1 Bio-Plastik	71
2.2 Pengemasan	71
2.3 Laju Transmisi Uap Air (<i>Water Vapor Transmission Rate</i>)	72
2.4 Sifat Mekanis (Kekuatan Tarik dan Elongasi)	73
2.5 Pisang Cavendish	73
III METODE	76
3.1 Waktu dan Tempat	76
3.2 Alat dan Bahan	76
3.3 Prosedur Kerja untuk Pengamatan Karakteristik	Error! Bookmark not defined.
3.4 Prosedur Kerja untuk Pengamatan Perubahan Mutu Produk pada Pengaplikasian Bioplastik	80
3.5 Analisis Data	85
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	87
4.1 Pengamatan Karakteristik Plastik	87
4.2 Pengamatan Mutu Produk dalam Pengaplikasian kemasan untuk Produk Hortikultura	94
V SIMPULAN DAN SARAN	112
5.1 Simpulan	112
5.2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN	119
RIWAYAT HIDUP	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

1	Kandungan gizi pisang cavendish	74
2	Alat yang digunakan dalam penelitian	76
3	Bahan yang digunakan dalam penelitian	76

DAFTAR GAMBAR

4	Pisang cavendish	74
5	Tingkat kematangan pisang berdasarkan warna kulit	75
6	(a) Sampel bioplastik merk “TR” (b) sampel HDPE	77
7	(a) Sampel film yang telah dipotong (b) peletakkan CaCl_2 di dalam cawan yang akan ditutupi sampel film (c) pengkondisian sampel di dalam desikator dan <i>climatic chamber</i>	78
8	(a) Sampel yang akan dilakukan uji kuat tarik (b) pengujian kuat tarik pada UTM	79
9	(a) Sampel yang akan dilakukan uji Elongasi (b) pengujian elongasi pada UTM	80
10	Penyortiran pisang dengan warna dan ukuran yang cenderung sama	81
11	(a) Pengemasan pisang menggunakan kemasan bioplastik (b) pengemasan pisang menggunakan kemasan HDPE	81
12	(a) Penyimpanan pisang pada suhu 25 °C (b) penyimpanan pisang pada suhu 16 °C (di dalam showcase)	82
13	(a) Setting <i>gas analyzer</i> (b) pengukuran laju respirasi pisang pada H0	82
14	Pengukuran laju respirasi pisang pada kemasan	83
15	Pengukuran bobot pisang	84
16	(a) Setting <i>colorimeter</i> (b) pengukuran warna pada pisang	85
17	Grafik nilai WVTR bioplastik terhadap perubahan RH	87
18	Grafik nilai WVTR HDPE terhadap perubahan RH	88
19	Grafik nilai WVTR bioplastik terhadap perubahan suhu	88
20	Grafik nilai WVTR HDPE terhadap perubahan suhu	89
21	(a) Grafik tegangan-regangan pada bioplastik dan HDPE (b) keterangan garis ulangan pada grafik	90
22	Grafik nilai kuat tarik terhadap perubahan RH	91
23	Grafik nilai kuat tarik terhadap perubahan suhu	91
24	Grafik nilai elongasi terhadap perubahan RH	92
25	Grafik nilai elongasi terhadap perubahan suhu	93
26	Grafik perubahan laju produksi gas etilen pada kemasan selama penyimpanan	95
27	Grafik perubahan laju konsumsi O_2 pada kemasan selama penyimpanan	97
28	Grafik perubahan laju respirasi CO_2 pada kemasan selama penyimpanan	98
29	Grafik susut bobot pisang selama penyimpanan	100
30	Grafik perubahan warna pisang selama penyimpanan	102
31	Grafik perubahan nilai <i>browning index</i> selama penyimpanan	105

32	(a) Kurva tegangan-regangan pada bioplastik (b) keterangan garis ulangan pada grafik	107
33	(a) Kurva tegangan-regangan pada bioplastik (b) keterangan garis ulangan pada grafik	107
34	Grafik nilai kuat tarik pada kemasan selama penyimpanan	108
35	Grafik elongasi pada kemasan selama penyimpanan	109
36	Tumbuhnya cendawan pada ujung buah	110
37	(a) Kulit pisang yang sobek karena buah membengkak (b) browning yang hampir merata (c) daging pisang yang berair	111

DAFTAR LAMPIRAN

38	Diagram alir prosedur penelitian	120
39	Data pengamatan WVTR pada kemasan	Error! Bookmark not defined.
40	Data pengamatan kekuatan tarik pada pengujian karakteristik	Error! Bookmark not defined.
41	Data pengamatan elongasi pada pengujian karakter	Error! Bookmark not defined.
42	Data pengamatan laju respirasi pada HDPE	Error! Bookmark not defined.
43	Data pengamatan laju respirasi pada Bioplastik	Error! Bookmark not defined.
44	Data pengamatan laju respirasi pada perlakuan tanpa kemasan	Error! Bookmark not defined.
45	Data pengamatan susut bobot	Error! Bookmark not defined.
46	Data pengamatan perubahan warna	Error! Bookmark not defined.
47	Data pengamatan <i>browning index</i>	Error! Bookmark not defined.
48	Data pengamatan kuat tarik pasca pengaplikasian	Error! Bookmark not defined.
49	Data pengamatan elongasi pasca pengaplikasian	Error! Bookmark not defined.
50	Hasil pengamatan visual pada pisang selama penyimpanan pada HO	Error! Bookmark not defined.
51	Hasil pengamatan visual pada pisang selama penyimpanan	Error! Bookmark not defined.
52	Hasil uji ANOVA menggunakan aplikasi SPSS	Error! Bookmark not defined.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produk hortikultura merupakan produk yang mudah mengalami kerusakan dimana kerusakan tersebut dapat menyebabkan susut secara kuantitas maupun kualitas. Kerusakan tersebut semakin besar jika tindakan pascapanen yang dilakukan tidak sesuai. Salah satu tindakan untuk memperbaiki mutu produk adalah dengan memperhatikan teknik pengemasan dan suhu penyimpanan. Penanganan pascapanen produk hortikultura di Indonesia kurang diperhatikan dengan kerusakan pascapanen antara 25%-28% (Murtiwulandari *et al.* 2020).

Pengemasan adalah salah satu bagian dari penanganan pascapanen produk hortikultura. Saat ini pengemasan menjadi salah satu faktor penentu kesuksesan sebuah industri pangan nasional. Kemasan berfungsi untuk meningkatkan daya tarik terhadap konsumen, juga sebagai faktor yang menentukan mutu suatu produk setelah mengalami perjalanan dari tempat produksi hingga ke konsumen, termasuk penerapannya pada pengemasan buah-buahan (Perdana *et al.* 2019). Plastik sering dijadikan pilihan bahan kemasan karena sifatnya praktis, fleksibel, ringan, tahan air, dan harganya yang terjangkau oleh semua lapisan masyarakat, selain itu plastik mudah diproduksi secara massal (Waryat dan Handayani 2020).

Data dari *Making Ocean Plastik Free* (2017) menyatakan rata-rata ada 182.7 miliar kantong plastik digunakan di Indonesia setiap tahunnya. Dari jumlah tersebut, bobot total sampah kantong plastik di Indonesia mencapai 1,278,900 ton per tahunnya. Pada tahun 2022 total sampah plastik mencapai 17.8% dari total berbagai jenis sampah di Indonesia (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional 2022). Padahal, menurut penelitian yang dilakukan oleh Schirinzi *et al.* (2017) menyatakan bahwa mikroplastik yang ada dalam makanan laut dan minuman memiliki efek beracun bagi sel manusia.

Plastik adalah polimer rantai-panjang atom mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau yang biasa disebut monomer. Plastik terbentuk dari unsur-unsur seperti karbon, oksigen, hidrogen, klorin, belerang dan nitrogen (Sulistyo 2019). Plastik yang beredar saat ini dapat menimbulkan permasalahan lingkungan hidup. Hal ini disebabkan karena plastik tidak dapat terurai dalam waktu singkat (Rahmayani dan Aminah 2021) dan dapat menyebabkan penumpukan. Hal tersebut dapat masalah kerusakan lingkungan seperti banjir karena penyumbatan saluran air dan tanggul (Qomariah 2020). Selain itu sampah plastik yang sulit terurai oleh mikroorganisme dapat mengakibatkan penurunan kesuburan tanah (Setianingsih *et al.* 2023). Untuk mengurangi permasalahan tersebut, diperlukan adanya alternatif yang ramah lingkungan sebagai pengganti penggunaan plastik yaitu dengan penggunaan bioplastik.

Bioplastik dapat digunakan untuk mengemas produk-produk pangan. Bioplastik berfungsi untuk menahan difusi oksigen dan uap air sehingga dapat menciptakan kondisi atmosfer internal yang sesuai dengan kebutuhan produk yang dikemas. Keuntungan penggunaan bioplastik sebagai pengemas bahan pangan adalah mampu memperpanjang umur simpan produk dan bersifat ramah lingkungan. Bioplastik dapat dibuat dari pati yang banyak ditemukan di Indonesia, antara lain pati sagu dan pati singkong. Teknologi pembuatan bioplastik relatif

sederhana dan produk yang dihasilkan mirip dengan kemasan plastik yang banyak digunakan seperti LDPE, HDPE dan PP. Bioplastik terbuat dari biopolimer, yaitu polimer yang berasal dari biomassa dengan sifat terbarukan. Bioplastik dapat digunakan sebagai kemasan karena tidak mudah ditembus oleh uap air. Oleh karena itu bioplastik dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengganti plastik konvensional. Penggunaan bioplastik saat ini sedang dikembangkan di beberapa sektor, diantaranya sektor medis seperti *prosthesis* dan benang jahitan, pada sektor pangan untuk produksi *catering* dan makanan dalam kemasan, mainan anak-anak, dan bahkan *fashion*.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan plastik konvensional dalam pengemasan produk pangan saat ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Hal tersebut terjadi karena masyarakat Indonesia sering mengonsumsi produk pangan dengan kemasan plastik konvensional. Plastik konvensional yang tidak mudah terurai dapat menyebabkan penumpukan karena jumlahnya yang banyak. Selain itu penggunaan plastik konvensional juga dapat menyebabkan pencemaran tanah yang juga berakibat buruk pada hasil dan kualitas dari tanaman hortikultura yang ditanam dan dikonsumsi oleh manusia. Penggunaan bioplastik dapat mengurangi pencemaran lingkungan karena menggunakan bahan baku organik yang mudah terurai di alam. Penggunaan bioplastik di pasaran sering kali ditemukan pada kemasan produk segar. Diperlukan penelitian mengenai pengujian karakteristik kemasan berbahan dasar bioplastik untuk produk segar agar dapat diketahui sejauh mana kemasan bioplastik dapat digunakan untuk memperpanjang masa simpan dari produk hortikultura. Untuk mengetahui efektifitas dari penggunaan bioplastik untuk kemasan produk segar maka perlu dilakukan pengukuran karakteristik pada bioplastik seperti laju transmisi uap air (WVTR) serta uji sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi). Pengamatan pada pengaplikasian juga diperlukan untuk melihat perubahan mutu yang terjadi dalam penggunaan bioplastik sebagai kemasan.

1.3 Tujuan

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk menguji efektifitas kemasan berbahan dasar bioplastik untuk produk segar dari segi karakteristik bahan. Secara khusus penelitian ini bertujuan:

1. Mengkaji karakteristik dari kemasan bioplastik berbahan dasar pati singkong dengan melihat pengaruh suhu dan *Relative Humidity* (RH) terhadap perubahan karakteristik kemasan bioplastik berbahan dasar pati singkong.
2. Membandingkan nilai perubahan mutu produk segar selama penyimpanan menggunakan kemasan bioplastik dan HDPE dengan melihat pengaruh jenis kemasan, suhu penyimpanan dan lama penyimpanan.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian yang dilakukan yaitu mengetahui parameter yang mempengaruhi perubahan karakteristik kemasan bioplastik berbahan baku pati

singkong serta mengetahui pengaruh jenis kemasan dalam mempertahankan mutu produk segar selama penyimpanan.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah adanya pengaruh suhu dan RH terhadap perubahan karakteristik kemasan bioplastik berbahan dasar pati singkong selama penyimpanan serta adanya pengaruh jenis kemasan, suhu penyimpanan dan lama penyimpanan terhadap perubahan mutu produk segar selama penyimpanan dalam kemasan bioplastik berbahan dasar pati singkong.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bioplastik

Bioplastik adalah plastik yang dapat terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir berupa air dan gas karbondioksida, setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan tanpa meninggalkan sisa yang beracun (Pangestu 2022). Bioplastik dapat digunakan layaknya plastik konvensional, yang dapat terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Karena sifatnya yang dapat diperbaharui, bahan pembuatan bioplastik ini bersifat ramah terhadap lingkungan (Zaky *et al.* 2021). Bioplastik dan plastik konvensional memiliki kesamaan fungsi, tetapi berbeda pada bahan baku keduanya. Jenis-jenis bioplastik di antaranya adalah yang berasal dari sel bakteri (poli-asam amino) dan polyhidroksialkanoat (PHA), polylaktida (PLA) yang merupakan perubahan zat tepung kentang atau jagung oleh mikroorganisme dan poliaspartat sintesis yang dapat terdegradasi hasil dari modifikasi asam laktat (Cengristitama dan Insan 2020).

Polimer alami adalah polimer yang dihasilkan dari monomer organik seperti pati, karet, kitosan, selulosa, protein, dan lignin. Biopolimer berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui, dapat terurai, mempunyai sifat mekanis yang baik dan ekonomis. Biopolimer saat ini banyak diteliti karena dipastikan dapat menghasilkan film yang dapat menggantikan keberadaan plastik sintetis (Saputri 2018). Dalam pembuatan bioplastik setidaknya dibutuhkan tiga komponen utama yaitu pati, *plasticizer* dan kitosan. Pati adalah salah satu polimer alam yang paling umum ditemukan di alam. Pati memiliki sifat yang mudah terurai, memiliki sifat mekanis yang baik, dan cukup ekonomis. Oleh karena itu, polimer pati ini banyak diteliti dan dikembangkan untuk menghasilkan plastik yang ramah lingkungan yang dapat menggantikan plastik sintetis yang saat ini digunakan. Namun pati umumnya bersifat hidrofilik. Bahan yang memiliki sifat hidrofilik menunjukkan bahwa bahan tersebut dapat berikatan dengan air. Sifat tersebut sangat memengaruhi stabilitas dan sifat mekanik dari film yang dihasilkan sehingga ketahanan bioplastik terhadap air rendah dan mudah hancur, oleh karena itu untuk meningkatkan nilai fisik dan fungsional dari film ini diperlukan penambahan beberapa bahan yaitu kitosan yang berfungsi untuk memperkuat lembar film yang dihasilkan dan *plasticizer* berupa gliserol atau *Virgin Coconut Oil* (VCO) yang berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik pada film (Albar *et al.* 2021).

2.2 Pengemasan

Pengemasan merupakan bagian dari rangkaian penanganan pascapanen untuk produk hortikultura (Waryat dan Nurawan 2022). Pengemasan berfungsi memberikan perlindungan pada produk agar terhindar dari kotoran dan pencemaran, melindungi bahan pangan dari kerusakan fisik, air, O₂, dan sinar, memudahkan dalam penyimpanan, pengangkutan dan pendistribusian, serta memberikan daya tarik penjualan dalam mempromosikan produk. Menurut Widiati (2020), peran kemasan pada produk adalah 1) Sebagai wadah untuk mengangkut suatu produk atau barang dari satu tempat ke tempat yang lain atau dari produsen ke konsumen. 2) Melindungi produk yang dikemas dari pengaruh

cuaca, benturan, tumpukan dan lain-lain. 3) Memberikan informasi, *brand image* dan sebagai media promosi dengan pertimbangan mudah dilihat, dipahami serta diingat. Kemasan juga sebagai media penandaan barang, warna kemasan mencerminkan isi, ramah lingkungan dan dapat didaur ulang.

Kemasan atau *packaging* yang baik dapat melindungi produk dari bahaya yang timbul pada saat pendistribusian, penyimpanan dan menyediakan produk yang praktis mudah dibawa oleh konsumen (Herudiansyah *et al.* 2019). Perancangan kemasan yang akan digunakan selama pengangkutan ditujukan untuk mengurangi guncangan selama pengangkutan, yang dapat menyebabkan memar pada produk dan pengurangan kekerasan produk. Faktor yang perlu diperhatikan antara lain dari segi kemasan yaitu jenis, sifat, struktur dan dimensi bahan; komoditas yang diangkut, sifat fisik, bentuk, ukuran, struktur, dan pola susunan biaya pengangkutan dibandingkan dengan harga komoditas, permintaan waktu, jarak dan keadaan jalan yang dilintasi (Wibowo 2022).

Pengemasan pada produk hortikultura umumnya menggunakan produk berbahan dasar plastik. Plastik yang seringkali digunakan untuk mengemas produk hortikultura adalah jenis plastik Polietilen (PE), Polipropilen (PP), *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) (Deglas 2023). Pengemasan produk dengan plastik mempunyai beberapa keunggulan yaitu kuat tapi ringan, tidak berkarat, dan memiliki sifat termoplastik, yaitu dapat direkat menggunakan panas (Jumadewi 2019). Pengemasan plastik menurut Anggraini (2020) mampu menahan laju transpirasi dan respirasi pascapanen produk pertanian sehingga dapat memperpanjang umur simpan produk. Namun pengemasan menggunakan plastik konvensional memiliki kekurangan yaitu bahan bakunya yang tidak ramah lingkungan.

2.3 Laju Transmisi Uap Air (*Water Vapor Transmission Rate*)

Water Vapor Transmission Rate (WVTR) atau sering juga disebut *Moisture Vapor Transmission Rate* (MVTR) biasa dilakukan untuk mengukur jumlah uap air yang dapat melewati lapisan kemasan. Pengujian WVTR berfungsi untuk mengetahui ketahanan kemasan dalam mempertahankan mutu produk dan mengetahui umur simpan (Febriati 2018). Pengujian WVTR biasanya dilakukan bersama dengan sifat lain dari bahan kemasan, seperti kekuatan tarik dan elongasi untuk memastikan bahwa kemasan tersebut berkualitas tinggi dan dapat melindungi produk. Satuan unit yang biasa digunakan pada pengukuran ini adalah $\text{g H}_2\text{O}/\text{m}^2 \cdot 8 \text{ jam}$ (berapa banyak (gram) uap air yang lewat dalam satuan meter persegi dalam 8 jam).

Faktor eksternal yang mempengaruhi adalah perbedaan tekanan, suhu, dan kelembapan udara. Sedangkan faktor internal yang mempengaruhi nilai WVTR di antaranya ketebalan bahan, massa bahan, berat jenis bahan, dan ikatan polimer bahan (Kim 2021). Maka dari itu nilai WVTR dapat menunjukkan ketahanan sebuah kemasan dalam melindungi produk pada berbagai kondisi. Semakin besar nilai WVTR maka permeabilitas kemasan juga tinggi. Permeabilitas adalah kemampuan suatu bahan untuk melewatkan partikel gas dan uap air per suatu unit luasan bahan pada suatu kondisi tertentu. Kemasan dengan WVTR kecil berarti memiliki kemampuan lebih besar untuk menghambat uap air keluar masuk bahan pangan yang dilapisi (Wati 2021). Film yang baik seharusnya tidak mudah dilewati oleh uap air atau dapat dikatakan memiliki nilai WVTR yang rendah.

Dapat disebutkan bahwa film yang baik adalah film yang memiliki WVTR sekecil mungkin. Film yang mempunyai laju transmisi uap air yang kecil cocok digunakan untuk mengemas produk yang mempunyai kelembaban tinggi. Film tersebut akan menghambat jumlah uap air yang dikeluarkan produk ke luar lingkungan sehingga produk tersebut tidak cepat kering (Gozali dan Wijaya 2020)

2.4 Sifat Mekanis (Kekuatan Tarik dan Elongasi)

Kekuatan tarik (*Tensile Strength*) adalah salah satu sifat mekanik yang penting bagi film. Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya pada sumbu yang sama (Nugroho *et al.* 2021). Film dengan kekuatan tarik dan pemanjangan yang tinggi akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis dengan baik. Uji tarik dilakukan dengan menarik benda uji menggunakan gaya tarik yang diberikan secara terus menerus, sehingga benda uji akan mengalami perpanjangan secara terus menerus hingga putus (Rahman 2021). Menurut Ismaya *et al.* (2021), kuat tarik dapat dipengaruhi oleh sifat dan jumlah gliserol sebagai *plasticizer*. Jika dalam pembuatan proporsi gliserol dan *plasticizer* tinggi maka mobilitas polimer pada matriks *edible* film akan tinggi sehingga kuat tarik akan menurun. Pengujian kekuatan tarik dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).

Elongasi adalah perpanjangan atau pertambahan regangan optimum bahan ketika ditarik hingga putus (Warsiki *et al.* 2020). Pemanjangan sama pentingnya dengan kekuatan tarik, dimana persentase pemanjangan yang tinggi akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis dengan baik. Menurut Jumiati *et al.* (2023) nilai elongasi dipengaruhi oleh berapa banyak penguat yang digunakan dalam pembuatan sampel. Semakin besar jumlah zat penguat yang dipakai maka akan terjadi penurunan pada nilai elongasinya. Pengujian pemanjangan dilakukan bersama dengan pengujian kekuatan tarik menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).

2.5 Pisang Cavendish

Pisang cavendish (*Musa acuminata L.*) adalah salah satu tanaman yang paling penting untuk dibudidayakan oleh masyarakat yang hidup di wilayah tropis dan subtropis. Pisang cavendish dikenal dengan nilai komersial dan permintaan yang tinggi. Produksi pisang memiliki nilai paling tinggi di Indonesia dibandingkan dengan komoditas pertanian lainnya. Produksi tahun 2022 meningkat sebesar 5.45% dari tahun sebelumnya dengan jumlah mencapai 9,245,427 (Badan Pusat Statistik 2022). Seiring dengan pertumbuhan populasi Indonesia, tingkat konsumsi ini akan meningkat. Pisang cavendish ini juga memiliki keuntungan karena ukurannya yang lebih besar dan memiliki sekitar 10 tandan (Karamina *et al.* 2022).



Gambar 1 Pisang cavendish

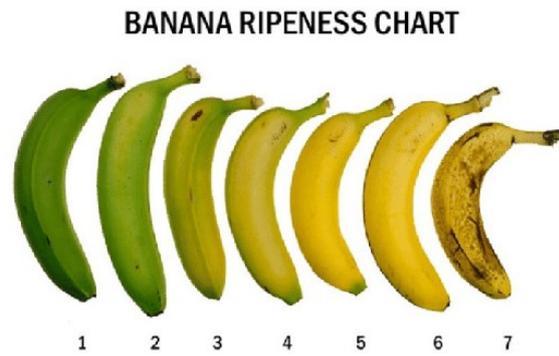
Kulit buah pisang cavendish tebal dan berwarna kuning cerah yang membuat konsumen tertarik membeli pisang ini karena kulit buahnya yang halus serta bersih (Shintia 2019). Pisang cavendish mempunyai banyak kandungan gizi. Kandungan gizi pada pisang cavendish dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kandungan gizi pisang cavendish

Kandungan Gizi	Nilai Satuan
Karbohidrat	22.2 gram
Protein	1.1 gram
Lemak	0.2 gram
Air	75.7%
Abu	0.8 gram
Vitamin A (SI)	5.1 mg
Vitamin C	20 mg
Tiamin	2.6 mg
Riboflavin	5.3 mg
Niacin	4.9 gram

Sumber : Nirmala dan Shanti (2017) dalam Mumtazah *et al.* (2023)

Pisang dikatakan cukup umur untuk dipanen adalah saat pisang berumur 80-100 hari, tergantung dari varietasnya (Indarto dan Murinto 2017). Tingkat ketuaan buah sangat penting untuk diperhatikan sebelum pemanenan karena ini merupakan faktor penting dalam menentukan mutu buah pisang. Apabila buah dipanen terlalu muda, meskipun sudah matang, kualitasnya berkurang karena rasa dan aroma yang buruk. Sebaliknya, buah yang terlalu tua memiliki rasa manis dan aroma yang kuat, tetapi waktu penyimpanannya pendek. Maka dari itu tingkat ketuaan panen sangat berpengaruh dengan jangkauan pemasaran dan tujuan penggunaan buah (Yulianto *et al.* 2018). Karakteristik warna pisang cavendish biasa digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan berdasarkan *Artificial Neural Network* (ANN) dan *image processing*. Dengan klasifikasi ini, waktu untuk pemanenan yang ideal dapat ditentukan (Wicaksono dan Hermawan 2021). Pada Gambar 2 ditampilkan tingkat kematangan pisang berdasarkan warna.



Gambar 2 Tingkat kematangan pisang berdasarkan warna kulit
Sumber: Ringer 2021

Setelah panen, pisang cavendish harus ditangani dengan hati-hati untuk meminimalkan kerusakan fisik. Memar atau cedera dapat menyebabkan pematangan dan pembusukan yang dipercepat. Buah harus disimpan di tempat yang sejuk dan berventilasi baik untuk menjaga kualitasnya dan memperpanjang umur simpannya (Ifmalinda dan Windasari 2018).

III METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu dan Tempat Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2023 sampai Juni 2023 yang Laboratorium Pengembangan Teknik Industri Agro & Biomedika, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Serpong, Tangerang Selatan

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ditampilkan pada Tabel 2, lalu bahan yang digunakan pada penelitian di tampilkan pada Tabel 3.

Tabel 2 Alat yang digunakan dalam penelitian

Alat	Fungsi
<i>Universal Testing Machine</i> AT-U2001	Mengukur kuat tarik dan elongasi sampel
Desikator	Wadah untuk pengukuran WVTR
Timbangan analitik	Menimbang massa sampel
Cawan petri 55 mm	Tempat menaruh CaCl_2 untuk pengukuran WVTR
<i>Termometer-Hygrometer Climatic Chamber</i>	Mengukur suhu dan kelembaban Mengontrol suhu ruang dan suhu tinggi untuk penyimpanan
<i>Cold Storage</i>	Mengontrol suhu rendah untuk penyimpanan
<i>Heat Sealer</i>	Menyegel plastik untuk pengemasan
<i>Colorimeter</i> CHNSpec CS-10	Mengukur warna sampel
<i>Felix Three Gas Analyzer</i> F950	Mengukur konsentrasi CO_2 , O_2 , dan gas etilen dalam kemasan
Mini Studio	Mengambil gambar untuk pengamatan visual
Wadah Plastik	Menaruh sampel pisang untuk inkubasi pengukuran laju respirasi

Tabel 3 Bahan yang digunakan dalam penelitian

Bahan	Fungsi
Kemasan bioplastik merk "TR" berbasis pati singkong	Kemasan sampel yang akan diuji
Kemasan plastik konvensional HDPE	Kemasan pembanding
CaCl_2	Untuk pengukuran WVTR, diletakkan pada cawan
Garam Jenuh	Mengatur nilai RH di dalam desikator
Parafilm	Menyegel bagian samping cawan untuk menahan sampel pada pengujian WVTR
Pisang cavendish	Media untuk pengamatan perubahan mutu

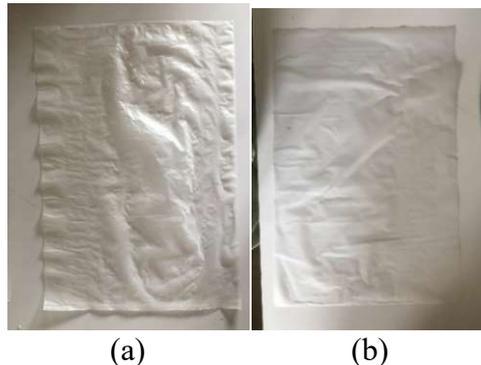
3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui dua tahap yaitu pada tahap pertama untuk pengamatan karakteristik pada kemasan pada interval 8 jam, lalu tahap kedua untuk pengamatan perubahan mutu produk yang dikemas dan perubahan karakteristik sifat mekanik kemasan setelah penyimpanan selama 10 hari. Untuk diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.4 Prosedur Kerja untuk Pengamatan Karakteristik

2.3.1 Preparasi Sampel

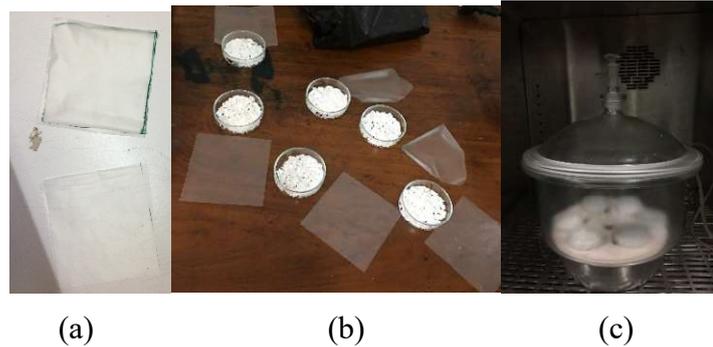
Bioplastik yang digunakan bermerk “TR” berbahan dasar pati singkong (Gambar 3a) dengan klaim dapat diuraikan oleh mikro maupun makroorganisme, dapat terurai menjadi CO_2 dan H_2O , larut di dalam air panas, meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan air, dan dapat bertahan pada suhu $22\text{-}30^\circ\text{C}$. Bioplastik yang digunakan berbentuk *fruitbag* dengan ukuran $30 \times 45 \times 40$ micron. Selain mempersiapkan bioplastik, kemasan plastik konvensional HDPE (Gambar 3b) juga disiapkan untuk menjadi pembanding karakteristik pada pengujian yang akan dilakukan.



Gambar 3 (a) Sampel bioplastik merk “TR” (b) sampel HDPE

2.3.2 Pengukuran WVTR (ASTM E 96-95)

Lajur transmisi uap air (WVTR) film ditentukan dengan menggunakan metode gravimetri sesuai dengan metode ASTM E 96-95 yang terdiri dari dua cara, yakni cara basah (*water method*) dan cara kering (*dry method*). Prinsip kerja dari metode basah (*water method*) adalah mengukur besarnya uap air yang mampu menembus sampel film dengan cara menghitung pertambahan berat pada bahan penyerap uap air (desikan) yang menyerap uap air dari sisi luar film.



Gambar 4 (a) Sampel film yang telah dipotong (b) peletakkan CaCl_2 di dalam cawan yang akan ditutupi sampel film (c) pengkondisian sampel di dalam desikator dan *climatic chamber*

Pengujian WVTR dilakukan dengan memotong sampel film berbentuk persegi dengan ukuran 8 x 8 cm (Gambar 4a). Sampel film direkatkan dengan cawan berisi garam CaCl_2 dengan menggunakan *parafilm* (Gambar 4b). Timbang berat total dari setiap cawan, lalu simpan cawan di dalam 4 desikator dengan RH beragam yang berisi NaCl , NaOH , KNO_3 dan K_2CO_3 jenuh. Desikator diletakkan di dalam *climatic chamber* (Gambar 4c) dengan suhu dan kelembaban yang konstan (25°C , 50% dan 30°C , 50%) serta di dalam *cold storage* pada suhu 16°C .

Secara periodik perubahan berat diukur dengan timbangan analitik. Pertambahan berat yang didapatkan oleh cawan diukur setiap interval 1 jam selama 8 jam untuk menentukan tingkat perpindahan uap air. Nilai laju transmisi uap air dinyatakan dalam $\text{g/m}^2 \cdot 8\text{jam}$ dan dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$WVTR = \frac{\left(\frac{G}{t}\right)}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

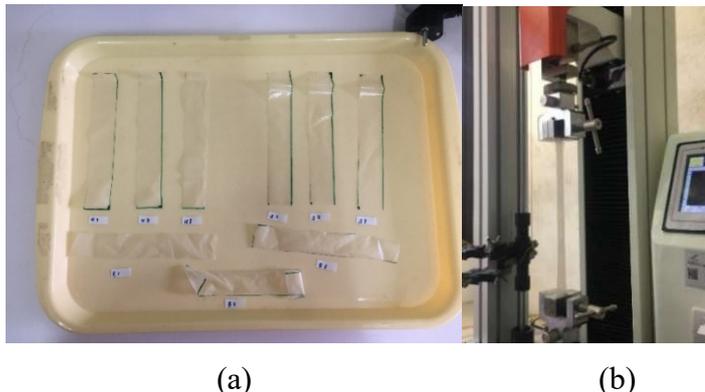
G/t = Selisih pertambahan berat air yang diserap oleh cawan (gram/8 jam)

A = Luas Area Film (m^2)

2.3.3 Pengukuran Kekuatan Tarik (ASTM D882)

Kekuatan tarik film diukur menggunakan *Universal Testing Machine* dengan metode standar ASTM-D882-75b. Bahan yang akan diuji dipotong berbentuk persegi panjang dengan lebar 2.5 cm dan panjang 10 cm, kemudian diberikan perlakuan suhu yang berbeda yaitu pada suhu 16°C , 25°C , dan 30°C . Sampel disimpan dalam 4 desikator dengan RH beragam yang berisi NaCl , NaOH , KNO_3 , dan K_2CO_3 jenuh selama 8 jam lalu diuji dengan menggunakan UTM. Sampel dikeluarkan dari penyimpanan (Gambar 5a), kemudian dipasang pada alat. Sesuai dengan standar *grip section* diatur sebesar 32.5 cm, *rectangular cross section* sebesar 25 mm dan *gauge length* sebesar 35 mm. Pengujian dilakukan dengan *cross head speed* sebesar 20 mm/g.menit. Setelah semua pengaturan sudah selesai, tekan tombol “*TEST*” untuk memulai pengujian (Gambar 5b). Pengujian dilakukan dengan menjepit ujung sampel yang sudah ditandai pada mesin penguji, kemudian mesin akan menarik

sampel sampai sampel putus. Pada alat akan terbaca gaya yang diberikan sampai sampel terputus (sobek) serta pertambahan panjangnya.



Gambar 5 (a) Sampel yang akan dilakukan uji kuat tarik (b) pengujian kuat tarik pada UTM

Kekuatan renggang putus dihitung dengan membagi gaya maksimum yang diberikan pada sampel sampai sobek (Newton) dibagi dengan luas penampang sampel (mm^2). Atau secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

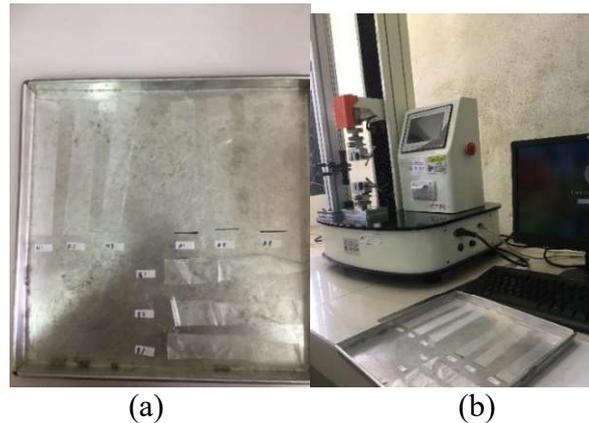
σ = kuat tarik

F = gaya kuat tarik (N)

A = luas penampang (mm^2)

2.3.4 Pengukuran Elongasi (ASTM D882)

Perubahan panjang atau elongasi film diukur menggunakan *Universal Testing Machine* dengan metode standar ASTM-D882-75b. Bahan yang akan diuji dipotong berbentuk persegi panjang dengan lebar 2.5 cm dan panjang 10 cm (Gambar 6a), kemudian diberikan perlakuan suhu yang berbeda yaitu pada suhu 16°C, 25°C, dan 30°C. Sampel disimpan dalam 4 desikator dengan RH beragam yang berisi NaCl, NaOH, KNO₃ dan K₂CO₃ jenuh selama 8 jam lalu diuji dengan menggunakan UTM. Sampel dikeluarkan dari penyimpanan, kemudian dipasang pada alat (Gambar 6b). Sesuai dengan standar *grip section* diatur sebesar 32.5 cm, *rectangular cross section* sebesar 25 mm dan *gauge length* sebesar 35 mm. Pengujian dilakukan dengan *cross head speed* sebesar 20 mm/menit. Setelah semua pengaturan sudah selesai, tekan tombol “TEST” untuk memulai pengujian. Pengujian dilakukan dengan menjepit ujung sampel yang sudah ditandai pada mesin penguji, kemudian mesin akan menarik sampel sampai sampel putus. Pada alat akan terbaca gaya yang diberikan sampai sampel terputus (sobek) serta pertambahan panjangnya.



Gambar 6 (a) Sampel yang akan dilakukan uji Elongasi (b) pengujian elongasi pada UTM

Perpanjangan dinyatakan dalam persentase, Diukur pertambahan panjang yang terjadi dari panjang awal sebelum sampel terputus. Dihitung nilai elastisitas sampel dengan persamaan 3 sebagai berikut

$$E = \frac{l_a - l_o}{l_o} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

E = Elongasi (%)

l_a = panjang akhir (mm)

l_o = panjang awal (mm)

2.3.5 Pengukuran O_2TR (ASTM D3985)

Pengukuran O_2TR dilakukan dengan menggunakan *Oxygen Analyzer Labthink* dengan metode standar ASTM-D3985. Sampel dipotong membentuk lingkaran dengan diameter sekitar 10.5 cm lalu ketebalan sampel yang telah dipotong diukur dengan menggunakan *thickness gauge*, pada lima titik yang berbeda, dan dihitung rata-rata ketebalan sampel tersebut. Setelah dihitung ketebalannya, kedua sisi sampel dilubangi (pada pinggiran sampel yang telah dipotong) agar sampel dapat dipasangkan pada *sampel holder* O_2TR . Pada alat O_2TR , atur parameter sesuai ASTM-D3985 (termasuk suhu dan RH pada alat saat proses analisis). Pada pinggiran *sampel holder*, dioleskan *high vacuum grease* dan sampel dimasukkan kedalam *sampel holder* O_2TR . *Sampel holder* ditutup rapat lalu tekan tombol “*START TEST*”. Proses analisis berjalan selama 20 jam. Setelah proses analisis selesai, hasil O_2TR akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

3.5 Prosedur Kerja untuk Pengamatan Perubahan Mutu Produk pada Pengaplikasian Bioplastik

3.5.1 Preparasi dan Pengaplikasi pada Produk Hortikultura

Produk hortikultura yang digunakan yaitu buah yang bersifat klimakterik. Pada produk hortikultura buah yang termasuk golongan klimakterik ditandai dengan fase pemasakan yang cepat setelah dipanen serta

mengalami peningkatan konsumsi O₂ dan produksi CO₂ yang tinggi. Produk hortikultura yang digunakan yaitu pisang cavendish. Pisang merupakan produk klimaterik yang mudah terdeteksi perubahan mutunya, seperti perubahan warna, perubahan bobot dan laju produksi etilen yang tinggi. Penggunaan pisang cavendish dikarenakan permintaan pasar untuk pisang cavendish tinggi, sehingga diperlukan penelitian untuk mendapatkan penanganan pasca panen yang baik sehingga tidak terjadi susut kualitas yang mengakibatkan penurunan harga jual. Pisang disortasi agar mendapatkan tingkat kematangan yang sama yaitu pada level 2 (Gambar 7). Selanjutnya pisang dicuci dan kemudian ditimbang bobot awalnya dan dilakukan pengukuran warna (Lampiran 12).



Gambar 7 Penyortiran pisang dengan warna dan ukuran yang cenderung sama

Sebelum dilakukan pengemasan pada pisang, plastik dipotong terlebih dahulu dengan ukuran 12 x 24 cm. Sisi plastik kemudian disegel dengan menggunakan *hot sealer*. Sebelum dikemas dan dilakukan penyimpanan, pisang terlebih dahulu diukur untuk laju respirasinya dengan masa inkubasi selama 1 jam. Setelah pengukuran H₀ selesai, pisang dikemas dengan menggunakan kemasan bioplastik (Gambar 8a) dan HDPE (Gambar 8b) yang sudah disesuaikan ukurannya kemudian pada bagian ujungnya disegel kembali dengan *hot sealer*.



(a)

(b)

Gambar 8 (a) Pengemasan pisang menggunakan kemasan bioplastik (b) pengemasan pisang menggunakan kemasan HDPE

Selanjutnya produk disimpan pada suhu yang berbeda yaitu suhu 16°C (Gambar 9b), dan suhu 25°C (Gambar 9a) selama 10 hari. Pengamatan

dilakukan pada hari ke-0 dan selanjutnya dilakukan setiap 2 hari sekali dengan parameter pengamatan yang diukur yaitu laju respirasi, susut bobot produk, dan perubahan warna.



Gambar 9 (a) Penyimpanan pisang pada suhu 25 °C (b) penyimpanan pisang pada suhu 16 °C (di dalam showcase)

3.5.2 Pengukuran Laju Respirasi

Pengukuran laju respirasi dilakukan dengan mengamati konsentrasi gas etilen, O₂, dan CO₂ di dalam kemasan. Pada hari ke-0 dilakukan pengukuran laju respirasi dengan masa inkubasi selama 1 jam yang dilakukan pada seluruh sampel pisang (Gambar 10b). Pengukuran diawali dengan menaruh pisang di dalam wadah yang telah diberi lubang pada tutupnya. Setelah wadah ditutup, lubang dan celah diantara tutup dilapisi dengan lakban kertas. Setelah 1 jam, jarum disuntikkan ke dalam lubang yang berada ditutup wadah (Gambar 11) dan konsentrasi gas dapat dilihat pada tampilan layar *gas analyzer*. *Measure mode* pada *gas analyzer* diatur pada mode *continuous* (Gambar 10a).



Gambar 10 (a) Setting *gas analyzer* (b) pengukuran laju respirasi pisang pada H0

Pada hari pengamatan setelah hari ke-0, proses pengukuran konsentrasi gas etilen, O₂, dan CO₂ dilakukan dengan menyuntikkan jarum pada kemasan dan mengamati hasil yang ditampilkan pada layar *Gas Analyzer*. Data yang diperoleh dari hasil pembacaan alat (persen etilen, O₂, dan CO₂) dikonversi ke dalam satuan ml/kg.jam dengan persamaan 4 sebagai berikut:

$$R = \frac{V}{m} x \frac{dx}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

R = Laju respirasi (ml CO₂/kg.jam dan ml O₂/kg.jam)

V = Volume bebas kemasan (ml) = Volume kemasan (ml) - Volume buah(ml)

m = Massa sampel (kg)

$\frac{dx}{dt}$ = Laju perubahan konsentrasi etilen, O₂ dan CO₂ (%/jam)



Gambar 11 Pengukuran laju respirasi pisang pada kemasan

3.5.3 Pengukuran Penyusutan Bobot Produk

Pengukuran penyusutan bobot dilakukan dengan menghitung persentase penurunan bobot bahan dari awal hingga akhir penyimpanan sehingga dapat diketahui persentase bobot akhir dari bahan selama penyimpanan. Pengukuran susut bobot dilakukan pada hari ke-0 pada buah pisang tanpa perlakuan apapun sebagai bobot awal dan selanjutnya dilakukan pada hari ke-0, 2, 4, 6, 8, dan 10 setelah disimpan dengan perlakuan 3 perlakuan kemasan dan 2 suhu penyimpanan yang berbeda (16°C dan 25°C). Penimbangan bobot awal dan akhir dari produk dilakukan dengan menggunakan timbangan analitik (Gambar 12). Untuk mengukur penurunan bobot digunakan persamaan 5 sebagai berikut

$$S = \left(\frac{m - m_a}{m} \right) x 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

S = Susut Bobot (%)

m = Bobot produk awal (g)

m_a = Bobot produk akhir (g)



Gambar 12 Pengukuran bobot pisang

3.5.4 Pengukuran Perubahan Warna

Perubahan warna pisang akan diukur menggunakan alat *colorimeter*. *Colorimeter* menentukan warna berdasarkan komponen merah, biru, dan hijau dari cahaya yang diserap oleh objek atau sampel. Sistem warna pada *colorimeter* diatur menggunakan nilai $L^*a^*b^*$ berdasarkan sistem warna CIE (Gambar 13a). Nilai L^* menyatakan tingkat kecerahan dimana L^* : 0 (hitam) dan L^* :100 (putih). Nilai a^* menyatakan warna campuran merah - hijau dengan nilai $+a^*$ dari 0 sampai +80 untuk warna merah dan nilai $-a^*$ dari 0 sampai -80 untuk warna hijau. Notasi b^* : menyatakan warna campuran biru – kuning dengan nilai $+b^*$ dari 0 sampai +70 untuk warna kuning dan nilai $-b^*$ dari 0 sampai -70 untuk warna biru (Sinaga 2019). Pengukuran warna dilakukan sebanyak lima kali dengan pengulangan uji warna dilakukan pada 3 pisang setiap 2 hari sekali. Sebelum melakukan pengukuran, alat dikalibrasi terlebih dahulu. Pengukuran warna dilakukan dengan menempelkan bagian ujung alat yang telah dikalibrasi dengan kulit buah yang telah diberi tanda (Gambar 13b).

Nilai pengukuran L^* , a^* , dan b^* dikonversikan menjadi nilai *color change* dan *browning index*. *Colour change* merupakan nilai perbedaan warna diantara 2 titik pada sistem CIE- $L^*a^*b^*$ (Mokrzycki dan Tatol 2011). Nilai *color change* dapat diperoleh dengan persamaan 6 sebagai berikut:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

ΔE = Nilai perubahan warna (*color change*)

L^* = Indikator kecerahan pada kulit pisang

a^* = Indikator warna merah (positif), warna hijau (negatif)

b^* = Indikator warna kuning (positif), warna biru (negatif)

Perhitungan *browning index* dengan menggunakan sistem CIA- $L^*a^*b^*$ digunakan untuk mengindikasikan pencoklatan yang terjadi pada kulit

pisang. Nilai *Browning index* dapat diperoleh dengan persamaan 7 (Ding dan Ling 2014):

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana nilai x didapatkan dari persamaan 8 yaitu,

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 0.3012b^*)} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

BI = Nilai *Browning Index*

L* = Indikator kecerahan pada kulit pisang

a* = Indikator warna merah (positif), warna hijau (negatif)

b* = Indikator warna kuning (positif), warna biru (negatif)



(a) (b)

Gambar 13 (a) Setting *colorimeter* (b) pengukuran warna pada pisang

3.6 Analisis Data

Penelitian ini dilakukan dengan mengamati karakteristik produk diantaranya WVTR, uji kuat tarik, dan elongasi, dengan 2 ragam kemasan yaitu bioplastik dan HDPE, 3 ragam perlakuan suhu yaitu suhu 16 °C, 25 °C dan 30 °C serta 4 ragam perlakuan RH yaitu pada RH 18%, 51%, 79% dan 90%. Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap 3 faktor (RAL) dengan dua ulangan pada uji karakteristik WVTR, tiga ulangan pada uji kuat tarik, elongasi, dan pada pengaplikasian.

Model rancangan acak lengkap 3 faktor dapat dinyatakan dalam persamaan 9 sebagai berikut:

$$X_{npqr} = \mu + \alpha_p + \beta_q + (\alpha\beta)_{pq} + \gamma_r + (\alpha\gamma)_{pr} + (\beta\gamma)_{qr} + (\alpha\beta\gamma)_{pqr} + e_{npqr} \dots\dots\dots (9)$$

dengan :

- X_{npqr} = respon setiap variable pengamatan
- μ = rata-rata umum pengamatan

α_p	= pengaruh jenis kemasan ke-p
β_q	= pengaruh suhu penyimpanan ke-q
γ_r	= pengaruh nilai RH (karakteristik) / pengaruh lama penyimpanan (pengujian mutu) ke-r
$(\alpha\beta)_{pq}$	= pengaruh interaksi jenis kemasan ke-p dan suhu penyimpanan ke-q
$(\alpha\gamma)_{pr}$	= pengaruh interaksi jenis kemasan ke-p dan nilai RH/pengaruh lama penyimpanan ke-r
$(\beta\gamma)_{qr}$	= pengaruh interaksi suhu penyimpanan ke-q dan nilai RH/pengaruh lama penyimpanan ke-r
$(\alpha\beta\gamma)_{pqr}$	= pengaruh interaksi jenis kemasan ke-p, suhu penyimpanan ke-q, dan nilai RH/pengaruh lama penyimpanan ke-r
e_{npqr}	= galat yang muncul dari kombinasi ulangan ke-n dalam jenis kemasan ke-p, suhu penyimpanan ke-q, dan nilai RH/pengaruh lama penyimpanan ke-r

Analisis sidik ragam (*Three-way ANOVA*) dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh suhu dan pengaruh RH terhadap WVTR, kekuatan tarik, dan perpanjangan kemasan serta pengaruh suhu dan lama penyimpanan terhadap produk dalam pengaplikasian penyimpanan menggunakan bioplastik dan HDPE. Hasil dari analisis sidik ragam (*Three-way ANOVA*) yaitu:

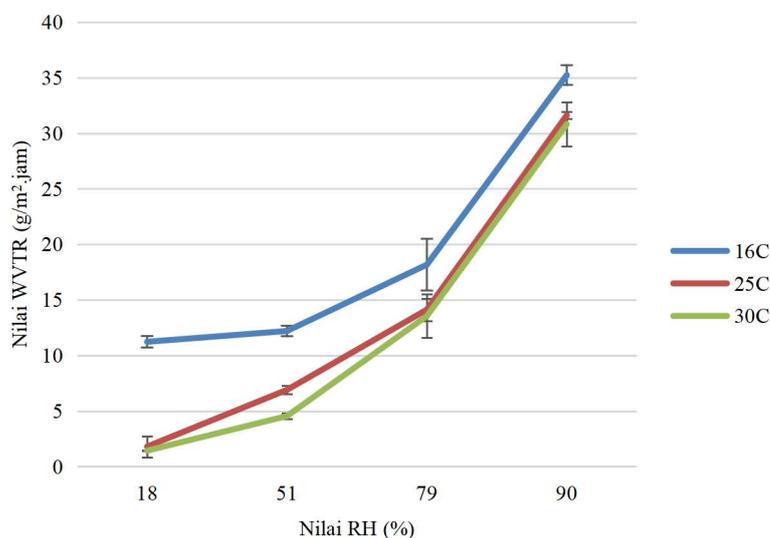
1. Jika $sig. \geq 5\%$ artinya perlakuan tidak berbeda nyata / tidak berpengaruh terhadap parameter yang diamati
2. Jika $sig. < 5\%$ artinya perlakuan berbeda nyata / berpengaruh terhadap parameter yang diamati

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

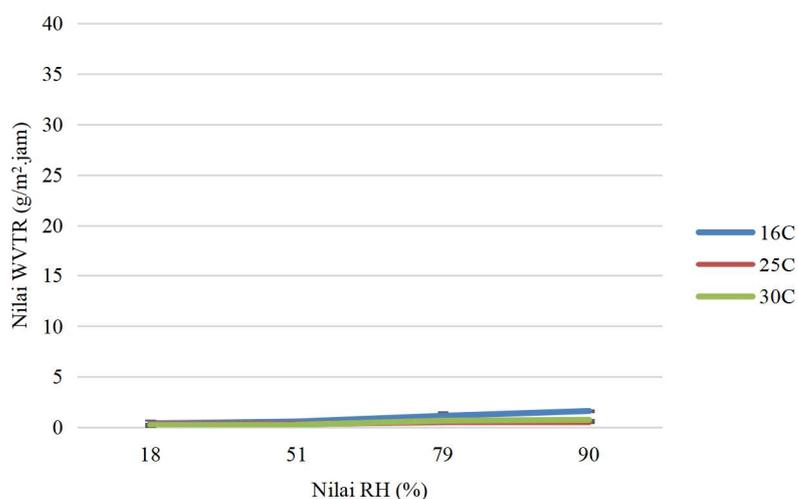
4.1 Pengamatan Karakteristik Plastik

4.1.1 Laju Transmisi Uap Air (WVTR)

Uji WVTR dilakukan untuk mengetahui besarnya transmisi uap air yang dapat melalui lapisan bioplastik dan HDPE serta mengetahui permeabilitas bahan bioplastik dan HDPE. Menurut Nurhabibah dan Kusumaningrum (2021) semakin tinggi nilai WVTR, nilai permeabilitas kemasan semakin tinggi ditandai dengan semakin banyak uap air yang berpindah dari dalam keluar kemasan maupun sebaliknya. Pada penelitian yang dilakukan terdapat satu pencilan dari tiga ulangan sehingga hanya digunakan dua ulangan. Nilai pencilan ini terjadi karena adanya kerusakan pada film yang menyebabkan nilai perubahan bobot pada sampel menjadi lebih besar.



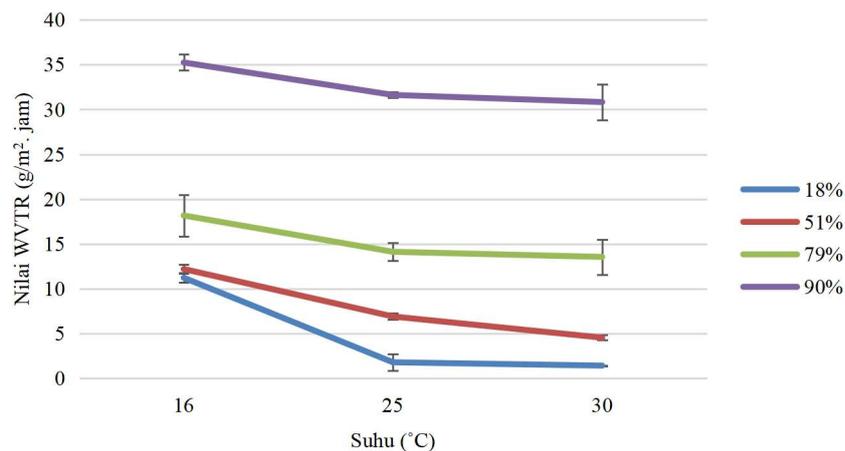
Gambar 14 Grafik nilai WVTR bioplastik terhadap perubahan RH



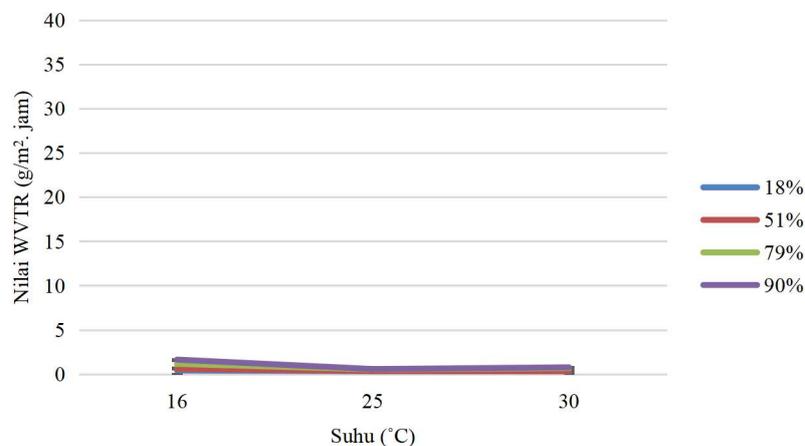
Gambar 15 Grafik nilai WVTR HDPE terhadap perubahan RH

Berdasarkan hasil ANOVA pada lampiran 14, faktor perlakuan jenis kemasan, nilai RH, dan suhu penyimpanan masing-masing berpengaruh terhadap nilai WVTR pada kemasan secara nyata ($sig < 5\%$). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai WVTR berubah secara signifikan seiring dengan perubahan RH. Nilai WVTR pada RH 18%, 51%, 79%, dan 90% memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15 bahwa semakin tinggi RH lingkungan penyimpanan maka semakin tinggi nilai WVTR yang terukur.

Penelitian yang dilakukan oleh Supeni dan Irawan (2014) dengan penyimpanan pada RH 92% menunjukkan nilai WVTR yang lebih tinggi ($480,12 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ jam}$) daripada penelitian yang dilakukan oleh Katili *et al.* (2013) dengan penyimpanan pada RH 75% (pada grafik diperlihatkan nilai WVTR $< 300 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ jam}$ untuk kandungan gliserol dan kitosan yang sama). Perbandingan nilai kedua kondisi penyimpanan ini menunjukkan bahwa penyimpanan pada RH yang lebih tinggi dapat meningkatkan nilai WVTR. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Suwarda *et al.* (2019), meningkatnya RH lingkungan penyimpanan dapat menyebabkan kondisi lingkungan menjadi lembap dan mendukung transmisi uap air.



Gambar 16 Grafik nilai WVTR bioplastik terhadap perubahan suhu



Gambar 17 Grafik nilai WVTR HDPE terhadap perubahan suhu

Hasil pengamatan menunjukkan adanya perubahan nilai WVTR terhadap perubahan suhu, namun perubahan yang terjadi sangat kecil terutama pada jenis kemasan HDPE. Pada Gambar 17 ditunjukkan bahwa terdapat nilai yang tidak konsisten untuk kemasan HDPE pada suhu 25°C untuk kondisi RH 79% dan 90% dimana nilai WVTR mengalami penurunan dibandingkan pada suhu 16°C dan 30°C.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Suwarda *et al.* (2019) ditunjukkan perbandingan nilai WVTR pada penyimpanan 3 jenis suhu yang berurutan dari rendah ke tinggi (5°C, 30°C, dan 40°C). Pada penelitian ini juga menunjukkan adanya nilai yang tidak konsisten, dimana pada suhu 30°C nilai WVTR meningkat lalu menurun pada suhu 40°C. Hasil penelitian ini dan hasil penelitian yang dilakukan Suwarda juga memberikan hasil serupa dari penelitian sebelumnya oleh Waryat dan Yuliasih (2018) yang menampilkan pada grafik bahwa suhu penyimpanan pada suhu beku (-5°C sampai -10°C), suhu ruang (20°C sampai 25°C), dan suhu dingin (5°C sampai 10°C), memiliki nilai WVTR yang tidak konsisten untuk kemasan HDPE pada setiap harinya, dimana pada hari ketiga nilai WVTR untuk suhu dingin meningkat jauh daripada hari lainnya dan kedua suhu lainnya. Dengan 3 hasil penelitian yang telah dilakukan dinyatakan bahwa nilai WVTR tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu penyimpanan.

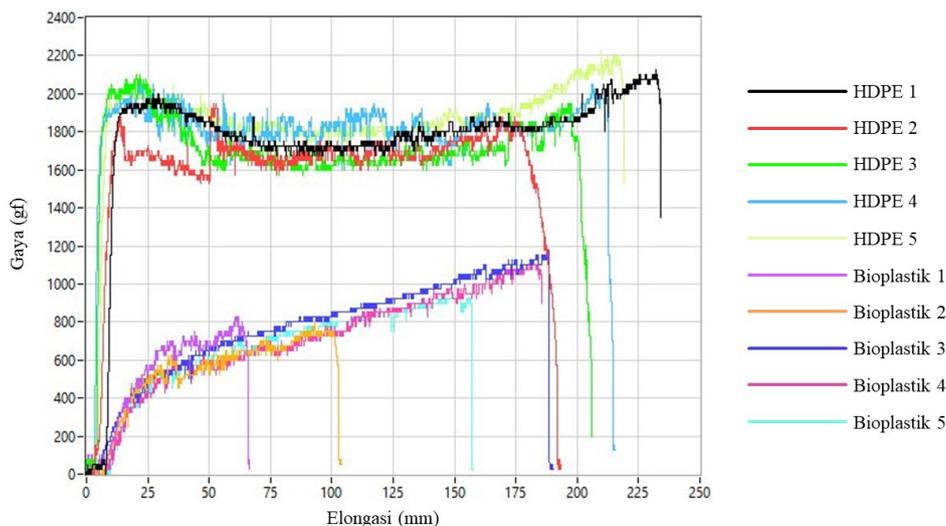
Nilai WVTR kemasan bioplastik dengan HDPE menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kemasan HDPE memiliki nilai WVTR yang lebih kecil daripada bioplastik dimana pada penyimpanan seluruh kondisi suhu dan RH nilai WVTR sebesar $0.624 \pm 0.432 \text{ g/m}^2 \cdot \text{jam}$ sedangkan kemasan bioplastik memiliki nilai WVTR sebesar $15.133 \pm 11.502 \text{ g/m}^2 \cdot \text{jam}$. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah uap air yang lewat melalui lapisan film pada kemasan bioplastik terhitung lebih tinggi daripada HDPE. Pada penelitian yang dilakukan oleh Supeni dan Irawan (2014) dinyatakan bahwa biasanya film yang terbuat dari bahan protein dan polisakarida mempunyai nilai transmisi uap air yang tinggi. Hal ini disebabkan karena bahan tersebut merupakan polimer polar dan mempunyai jumlah ikatan hidrogen yang besar. Menurut Dewi *et al.* (2021) semakin rendah nilai WVTR maka ketahanan *edible* film terhadap uap air semakin bagus. Berdasarkan JIS Z1707 dalam Rahmiatiningrum *et al.* (2019) *edible* film yang baik memiliki nilai WVTR kurang dari $0.2921 \text{ g/m}^2 \cdot \text{jam}$. Bioplastik merk "TR" memiliki nilai WVTR lebih dari $0.2921 \text{ g/m}^2 \cdot \text{jam}$ yang menunjukkan bahwa bioplastik komersial merk "TR" belum memenuhi standar nilai untuk WVTR plastik kemasan.

Pada hasil uji ANOVA ditunjukkan bahwa interaksi antara nilai RH dan jenis kemasan serta suhu penyimpanan dan jenis kemasan berpengaruh terhadap perubahan nilai WVTR, namun interaksi antara RH dan suhu tidak berpengaruh terhadap perubahan nilai WVTR. Pada Gambar 16 terlihat bahwa nilai WVTR pada kemasan HDPE suhu 25°C untuk RH 79% dan 90% menurun lalu meningkat kembali pada suhu 30°C. Hal tersebut tidak dialami oleh penyimpanan pada RH 51% dan 18% dimana pada kondisi kedua RH tersebut nilai WVTR konsisten menurun seiring dengan penurunan suhu seperti yang terjadi pada kemasan bioplastik. Hasil uji ANOVA menunjukkan

bahwa interaksi antara faktor perlakuan jenis kemasan, nilai RH, dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh terhadap nilai WVTR. Sehingga nilai WVTR hanya dipengaruhi oleh jenis kemasan dan nilai RH.

4.1.2 Sifat Mekanis Film

Sifat mekanis film yang diuji pada penelitian ini adalah kuat tarik dan elongasi. Setelah dilakukan uji tarik, akan didapatkan nilai kuat tarik dan elongasi. Pada mesin, setelah uji tarik dilakukan akan ditampilkan grafik hubungan antara tegangan dan regangan.

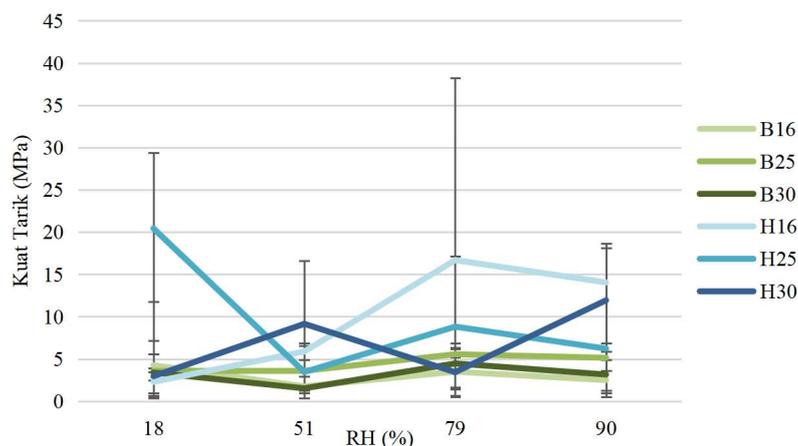


Gambar 18 Grafik tegangan-regangan pada bioplastik dan HDPE

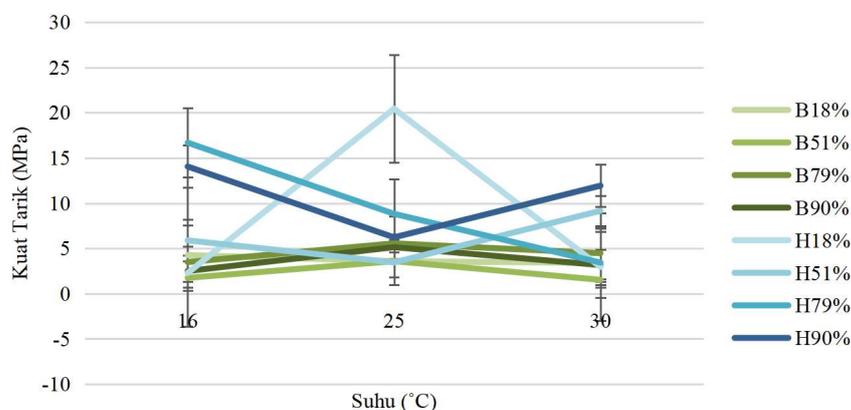
Pada Gambar 18 diperlihatkan bahwa kondisi plastis pada plastik HDPE (plot 1-5) lebih besar dibandingkan kondisi elastis, sedangkan pada bioplastik (plot 6-10) tidak terdapat kondisi plastis dengan kondisi elongasi yang lebih mendominasi. Titik putus pada HDPE berada pada nilai regangan yang lebih besar dibandingkan bioplastik. Nilai tegangan pada plastik HDPE lebih tinggi dibandingkan dengan bioplastik. Dari pembacaan grafik tegangan-regangan dapat disimpulkan bahwa bioplastik merk “TR” bersifat getas dan plastik HDPE bersifat ulet (Krisnamurti *et al.* 2022).

A. Kekuatan tarik

Pengujian kekuatan tarik (*tensile*) dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimum pada kemasan. Menurut Van (1991) dalam Yuliasih dan Raynasari (2014) kekuatan tarik terjadi karena adanya reaksi dari ikatan polimer antara atom-atom atau ikatan sekunder antara rantai polimer terhadap gaya yang diberikan dari luar.



Gambar 19 Grafik nilai kuat tarik terhadap perubahan RH



Gambar 20 Grafik nilai kuat tarik terhadap perubahan suhu

Hasil uji ANOVA (lampiran 14) menunjukkan bahwa perlakuan RH dan suhu penyimpanan tidak mempengaruhi nilai kuat tarik secara nyata ($sig.>5\%$), sedangkan perlakuan jenis kemasan mempengaruhi nilai kuat tarik secara nyata ($sig.<5\%$). Perbedaan penggunaan kemasan bioplastik dan HDPE dapat terlihat pada Gambar 19 dan Gambar 20. Kemasan bioplastik memiliki nilai kuat tarik yang lebih kecil daripada HDPE. Peningkatan RH dan suhu tidak memberikan perbedaan nilai kuat tarik yang konsisten pada kedua jenis kemasan.

Pada Gambar 18 terlihat bahwa untuk semua jenis kemasan dan suhu penyimpanan menunjukkan hasil yang tidak stabil pada setiap perubahan RH dimana pada RH 51% dan 90% untuk kemasan bioplastik, nilai kuat tarik mengalami penurunan dari RH sebelumnya. Hasil tersebut juga ditunjukkan pada Gambar 20 yaitu terdapat perbedaan perubahan pada suhu 25°C dimana pada kemasan bioplastik untuk semua RH menunjukkan peningkatan nilai kuat tarik, sedangkan pada kemasan HDPE menunjukkan hasil yang tidak konsisten. Pada penelitian yang dilakukan oleh Yuliasih dan Raynasari (2014) menunjukkan hasil yang serupa untuk perubahan suhu dimana nilai kuat tarik tidak menunjukkan

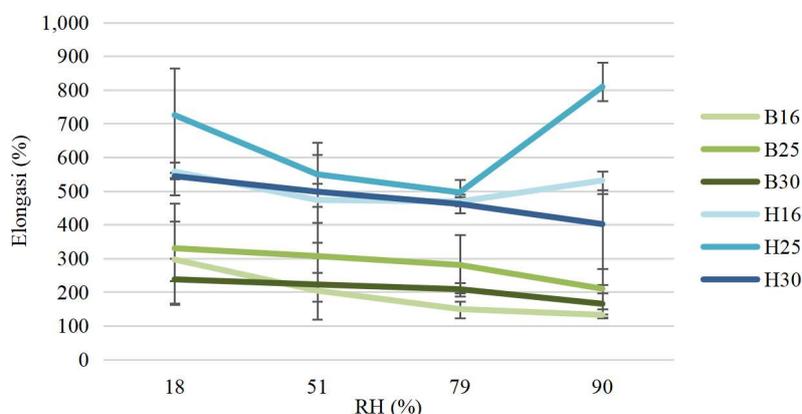
perbedaan yang konsisten terhadap peningkatan suhu penyimpanan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Waryat dan Yuliasih (2018) juga membahas perubahan nilai kuat tarik terhadap RH lingkungan, dimana pada setiap rentang suhu, RH lingkungannya berbeda. RH yang digunakan yaitu pada nilai RH 50%, 55%, dan 76%. Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan perubahan nilai kuat tarik yang tidak konsisten terdapat peningkatan RH.

Berbeda dengan suhu dan RH, perlakuan jenis kemasan memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tarik. Nilai rata-rata dari seluruh jenis suhu dan RH yang dimiliki oleh bioplastik lebih kecil daripada HDPE, yaitu sebesar 8.774 ± 8.956 MPa untuk HDPE sedangkan untuk bioplastik sebesar 3.532 ± 2.573 MPa. Nurhaliza *et al.* (2022) pada penelitiannya menyebutkan bahwa bioplastik memiliki campuran pati pada matriks polimernya. Keberadaan pati pada matriks polimer menyebabkan kekuatan ikatan antar polimernya menjadi lebih lemah (Yuliasih dan Raynasari 2014). Berdasarkan JIS Z1707 dalam Rahmiatiningrum *et al.* (2019) *edible* film yang baik memiliki nilai kuat tarik lebih besar dari 0.39 MPa. Bioplastik merk “TR” memiliki nilai kuat tarik lebih dari 0.39 MPa yang menunjukkan bahwa bioplastik komersil merk “TR” sudah memenuhi standar nilai untuk kuat tarik plastik kemasan.

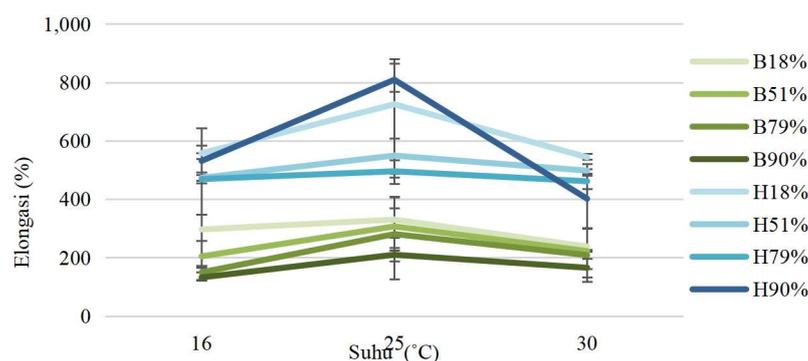
Hasil uji ANOVA (lampiran 14) menunjukkan bahwa interaksi antara RH dengan suhu penyimpanan, RH dengan jenis kemasan, serta suhu penyimpanan dengan jenis kemasan tidak berpengaruh terhadap nilai kuat tarik, namun interaksi antara ketiga faktor tersebut berpengaruh terhadap nilai kuat tarik. Sehingga nilai kuat tarik dipengaruhi oleh jenis kemasan saja. Interaksi yang terjadi antara ketiga faktor juga dikarenakan adanya faktor jenis kemasan yang mempengaruhi nilai kuat tarik.

B. Elongasi

Elongasi adalah persen perpanjangan yang menunjukkan panjang maksimum ketika bahan ditarik hingga putus. Pengujian elongasi dilakukan agar ketahanan suatu bahan terhadap pembebanan pada titik lentur dapat diketahui. Selain itu pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui keelastisan suatu bahan (Safitra dan Herlina 2020).



Gambar 21 Grafik nilai elongasi terhadap perubahan RH



Gambar 22 Grafik nilai elongasi terhadap perubahan suhu

Berdasarkan hasil ANOVA pada lampiran 14, faktor perlakuan jenis kemasan, nilai RH, dan suhu penyimpanan masing-masing berpengaruh terhadap elongasi pada kemasan secara nyata ($sig < 5\%$). Peningkatan nilai RH menyebabkan penurunan nilai elongasi pada film. Peningkatan suhu memberikan perubahan pada nilai elongasi namun tidak konsisten. Jenis kemasan bioplastik mendapatkan nilai elongasi yang lebih rendah daripada HDPE.

Pengaruh nilai RH terlihat pada gambar Gambar 21 yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai RH maka elongasinya semakin menurun. Penurunan elongasi terutama pada bioplastik disebabkan oleh peningkatan kristalinitas pati karena kelembaban relatif yang tinggi pada film pati (Van Soest *et al.* 1996). Begitu pula dengan suhu dimana pada setiap perubahan suhu nilai elongasi juga berubah, namun perubahan yang terjadi tidak konsisten dimana terdapat peningkatan elongasi pada perlakuan suhu 25°C. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Handayani dan Wijayanti (2015) menyatakan bahwa peningkatan suhu tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap nilai persentase elongasi, namun tetap terjadi perubahan terhadap nilai elongasi. Hasil yang serupa juga ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Waryat dan Yuliasih (2018) serta Yuliasih dan Raynasari (2014) dimana pada setiap harinya, nilai elongasi tidak menunjukkan perubahan yang konsisten terhadap peningkatan suhu.

Jenis kemasan juga mempengaruhi elongasi yang dapat dilihat pada kedua grafik pada Gambar 21 dan Gambar 22. Nilai elongasi pada bioplastik lebih rendah dibandingkan nilai elongasi pada HDPE. Bioplastik yang digunakan pada percobaan berbahan dasar pati singkong. Pada penelitian yang dilakukan oleh Mujahidin (2019) disebutkan bahwa pati termasuk kedalam polimer alami yang tersusun dari struktur bercabang yang disebut amilopektin dan struktur lurus yang disebut amilosa. Hariyanto *et al.* (2023) menyatakan bahwa polimer alam memiliki beberapa kelemahan salah satunya sifat mekanik yang rendah. Maka dari itu sifat mekanik elongasi pada bioplastik memiliki nilai yang lebih kecil daripada HDPE, dimana nilai rata-rata untuk elongasi bioplastik sebesar $228.581 \pm 89.053\%$ dan untuk HDPE sebesar $542.804 \pm 136.106\%$. Berdasarkan JIS Z1707 dalam Rahmiatiningrum *et al.* (2019) edible film yang baik memiliki nilai kuat tarik lebih besar dari 10%.

Bioplastik merk “TR” memiliki nilai kuat tarik lebih dari 10% yang menunjukkan bahwa bioplastik komersil merk “TR” sudah memenuhi standar nilai untuk kuat tarik plastik kemasan.

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa interaksi antara suhu dengan RH dan dengan jenis kemasan tidak mempengaruhi elongasi, hal tersebut dapat dilihat pada perubahan yang tidak konsisten pada nilai elongasi terhadap suhu (Gambar 22) yang terjadi di suhu 25°C dan nilai yang menurun pada RH 90% untuk suhu 30°C. Selain itu juga perubahan nilai elongasi meningkat pada RH 90% untuk suhu 25°C tidak seperti yang terjadi pada suhu lain yang konsisten mengalami penurunan seiring dengan peningkatan RH. Berbeda dengan kedua interaksi tersebut, interaksi antara RH dan kemasan mempengaruhi elongasi dimana rata-rata semua jenis kemasan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya RH. Interaksi antara ketiga faktor tidak berpengaruh terhadap nilai elongasi, yang berarti nilai elongasi hanya dipengaruhi oleh jenis kemasan dan perubahan RH saja.

4.2 Pengamatan Mutu Produk dalam Pengaplikasian kemasan untuk Produk Hortikultura

4.2.1 Laju Respirasi

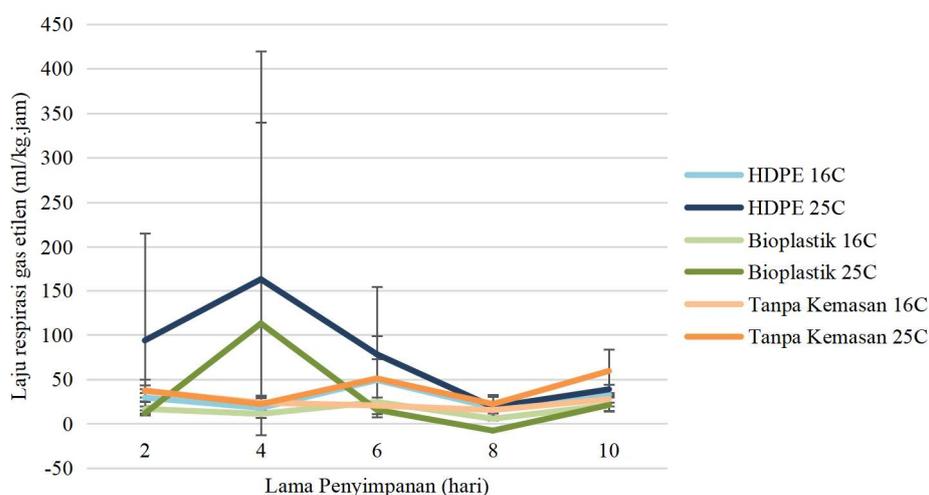
Pisang merupakan buah golongan klimakterik yang masih mengalami mengalami respirasi setelah dipanen. Pengukuran laju respirasi pada produk hortikultura, seperti buah-buahan dan sayuran segar, penting untuk mengetahui tingkat aktivitas respirasi mereka selama penyimpanan dan distribusi. Pengukuran laju respirasi dilakukan untuk menentukan tingkat kematangan, umur simpan pisang, serta mengamati perubahan mutu pada pisang yang terjadi selama penyimpanan. Dalam pengukuran laju respirasi dibutuhkan data Produksi Gas Etilen, konsumsi O₂, dan produksi CO₂.

Laju respirasi pisang berpola klimakterik yang dapat dilihat pada Gambar 23 untuk laju produksi etilen, Gambar 24 untuk laju konsumsi O₂, dan Gambar 25 untuk laju produksi CO₂. Pola klimakterik ditunjukkan dengan adanya kenaikan jumlah CO₂ yang kemudian menurun sampai mendekati proses kelayuan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Arista *et al.* (2017) dan Praja *et al.* (2021) dinyatakan bahwa pisang biasanya mencapai puncak klimakteriknya pada hari ke 8 dan 9. Namun pada penelitian ini ditunjukkan bahwa puncak klimakterik pada pisang terjadi pada H4 karena terdapat peningkatan yang drastis pada laju produksi etilen, laju konsumsi O₂, dan laju produksi CO₂. Hal tersebut diduga karena pisang yang digunakan pada penelitian ini memiliki umur petik setelah waktu anthesis yang lebih tua daripada pisang pada penelitian sebelumnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Widodo *et al.* 2019) ditunjukkan bahwa pada pisang dengan umur petik sejak waktu anthesis yang lebih muda memiliki waktu simpan yang lebih lama.

Penggunaan kemasan seharusnya dapat menahan laju respirasi dibandingkan tanpa kemasan sehingga dapat memperpanjang umur simpan pada pisang seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Deglas (2023).

Pada penelitian ini, untuk penyimpanan tanpa kemasan diperlihatkan bahwa laju respirasi yang diamati cenderung konstan sejak H2 dan terlihat adanya penurunan pada H6 untuk laju konsumsi oksigen. Berbeda dengan penyimpanan dengan perlakuan kemasan bioplastik dan HDPE yang mulai menurun dan konstan pada nilai yang rendah sejak H6. Diduga, penyimpanan dengan perlakuan tanpa kemasan mencapai puncak klimakteriknya sebelum H2 atau terjadi kerusakan mekanis pada pisang sebelum diberikan perlakuan. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Nurjanah (2002) dimana pada pisang yang masih berwarna hijau tidak menunjukkan peningkatan laju respirasi yang disebabkan oleh pisang yang mengalami kerusakan mekanis.

A. Laju Produksi Gas Etilen



Gambar 23 Grafik perubahan laju produksi gas etilen pada kemasan selama penyimpanan

Gas etilen (C_2H_4) adalah gas alami yang dihasilkan oleh tumbuhan dan buah-buahan sebagai bagian dari proses pematangan. Gas etilen sangat berperan terhadap proses kematangan (*maturation*) dan pemasakan (*ripening*) pada buah klimakterik (Arti dan Manurung 2018). Gas etilen juga dapat digunakan dalam teknologi pascapanen untuk mempercepat atau memperlambat pematangan buah-buahan.

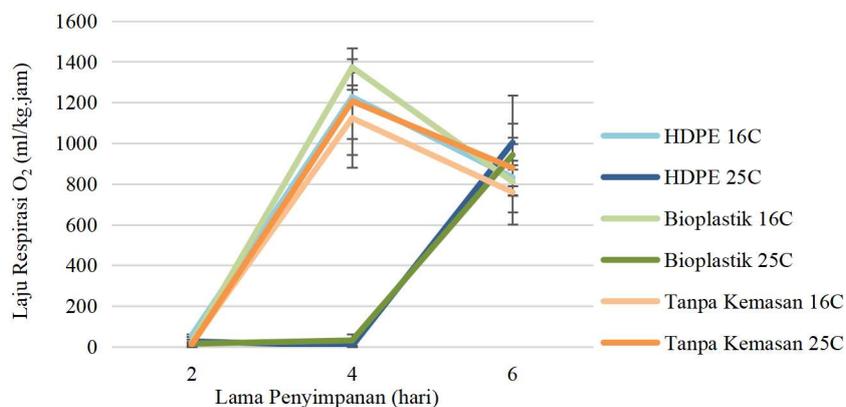
Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa suhu penyimpanan berpengaruh secara nyata ($sig.<5\%$), sedangkan lama penyimpanan dan jenis kemasan tidak berpengaruh ($sig.>5\%$) terhadap laju produksi etilen. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perbedaan antara suhu $16^\circ C$ dan $25^\circ C$ memberikan hasil yang berbeda nyata. Pada suhu $16^\circ C$ laju produksi etilen ternilai lebih rendah dengan nilai rata-rata untuk seluruh kemasan sebesar 27.185 ± 9.082 ml/kg.jam dibandingkan pada suhu $25^\circ C$ dengan nilai rata-rata untuk seluruh kemasan sebesar 39.723 ± 20.197 ml/kg.jam pada penyimpanan H10. Pada penelitian yang dilakukan oleh Pangaribuan dan Irving (2006), dinyatakan bahwa laju produksi etilen dipengaruhi oleh

perubahan suhu. Semakin tinggi suhu maka semakin meningkat produksi etilen yang terjadi pada buah.

Berbeda dengan pengaruh perubahan suhu, hasil pengamatan memperlihatkan bahwa jenis kemasan tidak memberikan pengaruh terhadap laju produksi etilen. Pada pengamatan H4 untuk suhu yang sama yaitu suhu ruang (25°C) dapat terlihat bahwa laju produksi etilen pada kemasan HDPE dan bioplastik lebih tinggi daripada perlakuan tanpa kemasan, namun pada pengamatan H8 laju produksi etilen pada perlakuan tanpa kemasan lebih tinggi daripada kemasan HDPE dan Bioplastik. Hal yang sama juga terjadi pada suhu rendah yang dimana pada perlakuan kemasan HDPE dan Bioplastik menunjukkan hasil yang tidak konsisten selama penyimpanan. Seharusnya semakin kecil permeabilitas kemasan maka laju produksi etilennya juga semakin kecil (Johansyah *et al.* 2014). Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa lama penyimpanan tidak berpengaruh terhadap laju produksi gas etilen. Kedua faktor ini memiliki persamaan yaitu terjadi peningkatan laju produksi etilen pada penyimpanan H4 dan H10 baik untuk perlakuan jenis kemasan bioplastik dan HDPE. Hal ini diduga terjadi karena tumbuhnya cendawan yang juga memproduksi etilen sehingga nilai etilen pada kedua hari dan kedua jenis kemasan tersebut dapat meningkat. Cendawan mampu menghasilkan etilen, namun produksinya tidak sebanyak organisme lain seperti tanaman dan buah-buahan. Menurut Chagué (2010), beberapa cendawa mampu menghasilkan etilen, yang dikenal sebagai fitohormon pada *kingdom plantae*.

Dari hasil pengujian ANOVA menunjukkan bahwa interaksi antara jenis kemasan dan suhu, antara jenis kemasan dan lama penyimpanan, serta antara suhu dan lama penyimpanan tidak memberikan pengaruh terhadap laju produksi etilen. Interaksi antara ketiga faktor pun tidak memberikan pengaruh terhadap laju produksi etilen. Maka dari itu yang mempengaruhi laju produksi etilen hanya perbedaan suhu penyimpanan saja. Untuk menekan laju pematangan pada pisang cavendish maka laju produksi etilen harus bernilai rendah, maka dari itu untuk mendapatkan laju produksi etilen yang rendah dengan jenis kemasan dan lama penyimpanan yang berbeda dapat dilakukan pada suhu 16°C .

B. Laju Konsumsi O_2



Gambar 24 Grafik perubahan laju konsumsi O₂ pada kemasan selama penyimpanan

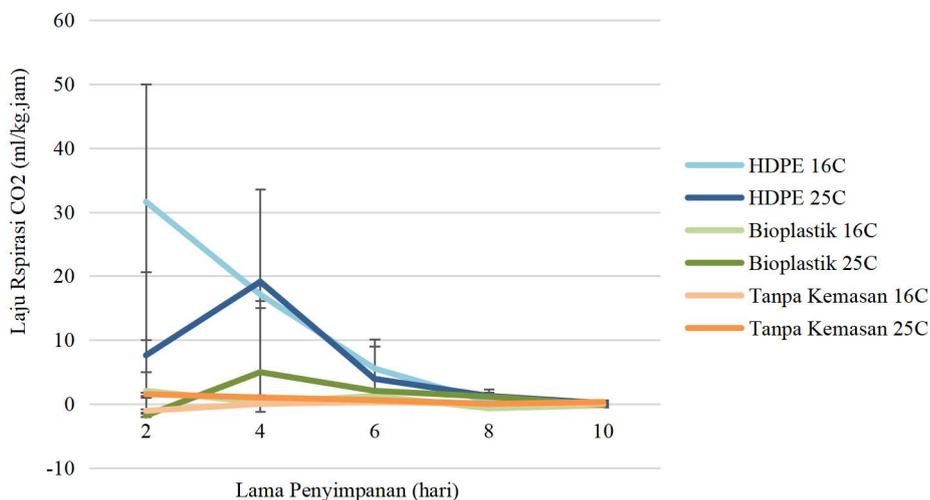
Data laju konsumsi oksigen hanya didapatkan sampai H6. Hal ini disebabkan karena sejak hari ke 8, respon alat terhadap laju konsumsi oksigen dalam kemasan sangat tidak stabil, sehingga pengukuran laju konsumsi O₂ sejak H8 dihentikan. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa jenis kemasan, suhu penyimpanan dan lama penyimpanan memberikan pengaruh yang berbeda nyata (*sig.*<5%) pada pisang terhadap laju konsumsi O₂. Pada hasil pengamatan diperlihatkan bahwa laju konsumsi O₂ pada kemasan bioplastik dan HDPE tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Namun jika dibandingkan dengan perlakuan tanpa kemasan sebagai kontrol, terdapat perubahan yang signifikan dan lebih besar dibandingkan dengan perlakuan kemasan baik bioplastik maupun HDPE. Perlakuan tanpa kemasan memiliki nilai rata-rata laju konsumsi O₂ untuk semua suhu penyimpanan dan lama hari penyimpanan sebesar 665.508±511.382 ml/kg.jam sedangkan pada perlakuan dengan kemasan HDPE sebesar 524.627±532.385 ml/kg.jam dan pada kemasan bioplastik sebesar 532.189±564.769 ml/kg.jam. Tentu saja perbedaan yang besar ini disebabkan oleh metabolisme respirasi yang lancar selama perlakuan tanpa kemasan, dimana tidak ada penghalang antara buah pisang dengan O₂ yang berada di lingkungan. Pada kemasan HDPE nilai laju konsumsi O₂ lebih kecil daripada kemasan bioplastik, yang dikarenakan pada hasil uji menunjukkan bahwa O₂TR pada HDPE lebih kecil sehingga buah di dalam kemasan HDPE banyak mengkonsumsi O₂ hanya pada awal pengemasan. Berbeda dengan bioplastik yang memiliki nilai O₂TR yang lebih tinggi sehingga oksigen di lingkungan dapat terserap sedikit demi sedikit ke dalam kemasan. Kemasan dengan nilai permeabilitas yang tinggi akan menghasilkan laju respirasi yang lebih tinggi (Fatharani *et al.* 2020). Sebagai data pendukung, dilakukan uji O₂TR pada bioplastik dan HDPE. Dari hasil pengujian O₂TR, didapatkan hasil pada bioplastik yang lebih tinggi yaitu sebesar 24.0047 cm³/m².24 jam dibandingkan dengan hasil pada HDPE sebesar 0.0040 cm³/m².24 jam

Lama penyimpanan berpengaruh terhadap laju konsumsi O₂ pada buah. Terjadi kenaikan laju konsumsi O₂ pada H4 untuk seluruh perlakuan tanpa kemasan dan untuk seluruh perlakuan suhu penyimpanan 16°C serta pada H6 untuk seluruh perlakuan suhu penyimpanan 25°C. Hal ini terjadi karena pisang sudah mulai ditumbuhi cendawan pada hari kenaikan laju konsumsi O₂ tersebut. Aktifitas cendawan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju konsumsi O₂ pada buah (Nurjanah 2002). Selanjutnya hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu memberikan pengaruh terhadap laju konsumsi O₂. Laju konsumsi O₂ pada suhu rendah lebih tinggi daripada pada suhu ruang. Pada penelitian yang dilakukan oleh Plasquy *et al.* (2021) ditunjukkan bahwa seharusnya semakin tinggi suhu, maka nilai laju respirasi semakin tinggi baik untuk O₂ dan CO₂. Perbedaan hasil ini diduga terjadi karena adanya interaksi antara suhu dengan jenis kemasan dan dengan lama penyimpanan yang mempengaruhi laju konsumsi O₂.

Interaksi antara suhu dengan jenis kemasan dan dengan lama penyimpanan memberikan pengaruh terhadap laju konsumsi O_2 . Pada penyimpanan dengan menggunakan HDPE dan bioplastik, untuk suhu ruang ($25^\circ C$) terlihat bahwa laju konsumsi O_2 baru meningkat pada penyimpanan H6, sedangkan pada penyimpanan dengan menggunakan HDPE dan bioplastik, untuk suhu rendah ($16^\circ C$) terlihat bahwa laju konsumsi O_2 sudah meningkat sejak penyimpanan H4. Hal ini dikarenakan untuk suhu $25^\circ C$ konsentrasi O_2 pada penyimpanan H2 dan H4 sudah menipis karena tingginya proses konsumsi O_2 pada awal penyimpanan sebelum H2, namun terjadi peningkatan pada penyimpanan H6. Peningkatan pada penyimpanan H6 untuk suhu ruang disebabkan oleh keberadaan cendawan pada pisang. Menurut Herly (2002) dalam Tursiska (2007), keberadaan cendawan pada buah pisang akan memberikan penambahan konsumsi O_2 . Pada suhu rendah ($16^\circ C$) laju konsumsi O_2 sudah meningkat sejak penyimpanan H4 karena konsentrasi O_2 dalam kemasan masih mencukupi untuk diserap oleh buah. Interaksi antara jenis kemasan dan lama penyimpanan juga berpengaruh terhadap laju konsumsi O_2 , dimana laju konsumsi O_2 menunjukkan adanya perbedaan pada setiap hari pengamatan.

Interaksi antara ketiga faktor memberikan pengaruh terhadap laju konsumsi O_2 . Maka dari itu untuk menekan proses pematangan buah maka laju konsumsi O_2 harus bernilai rendah. Untuk mendapatkan laju konsumsi O_2 yang rendah selama 6 hari penyimpanan maka dapat digunakan kemasan HDPE dengan penyimpanan suhu $16^\circ C$.

C. Laju Produksi CO_2



Gambar 25 Grafik perubahan laju respirasi CO_2 pada kemasan selama penyimpanan

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa jenis kemasan dan lama penyimpanan memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($sig.<5\%$) terhadap laju produksi CO_2 . Namun tidak dengan suhu penyimpanan yang tidak memberikan pengaruh secara nyata ($sig.>5\%$). Hasil pengamatan

menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan pada perlakuan tanpa kemasan dan perlakuan kemasan bioplastik, namun berbeda nyata dengan perlakuan kemasan HDPE. Plastik HDPE memiliki nilai O_2TR rendah dimana menurut Burg (2004) dalam Johansyah *et al.* (2014), dengan permeabilitas O_2 yang rendah pada plastik HDPE, jumlah CO_2 dapat mengalami peningkatan. Hasil produksi CO_2 dari buah terperangkap di dalam kemasan HDPE sehingga konsentrasi CO_2 di dalam kemasan menjadi tinggi. Konsentrasi yang tinggi menyebabkan nilai laju produksi CO_2 yang dihitung menjadi besar dengan nilai rata-rata laju produksi CO_2 pada seluruh suhu dan lama penyimpanan sebesar 8.676 ± 12.772 ml/kg.jam sedangkan untuk bioplastik sebesar 0.869 ± 3.289 ml/kg.jam.

Selain jenis kemasan, lama penyimpanan juga berpengaruh terhadap laju konsentrasi CO_2 . Pada grafik dapat terlihat bahwa tidak ada perbedaan nyata antara penyimpanan H2 sampai H4 dan antara penyimpanan H6 sampai H10. Perbedaan nyata hanya terjadi diantara H4 dan H6 yang menunjukkan bahwa nilai laju produksi CO_2 menurun pada penyimpanan H6 dilihat dari nilai rata-rata laju produksi CO_2 pada seluruh kondisi suhu dan jenis kemasan. Nilai tersebut menurun dari 7.062 ± 10.511 ml/kg.jam pada penyimpanan H4 menjadi 2.265 ± 3.106 ml/kg.jam pada penyimpanan H6. Penelitian yang dilakukan oleh Bhande *et al.* (2008) menunjukkan hasil yang serupa yaitu setelah melewati fase klimakterik, laju produksi CO_2 pada buah akan menurun.

Suhu penyimpanan tidak berpengaruh terhadap laju produksi CO_2 . Hal tersebut dapat dilihat dari laju produksi pada setiap kemasan. Pada kemasan bioplastik dan perlakuan tanpa kemasan menunjukkan bahwa pada suhu rendah nilai laju produksi CO_2 lebih kecil daripada penyimpanan pada suhu ruang, sedangkan pada kemasan HDPE suhu rendah menampilkan hasil yang lebih tinggi daripada suhu ruang. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada suhu rendah laju produksi tidak selalu lebih kecil dari suhu ruang.

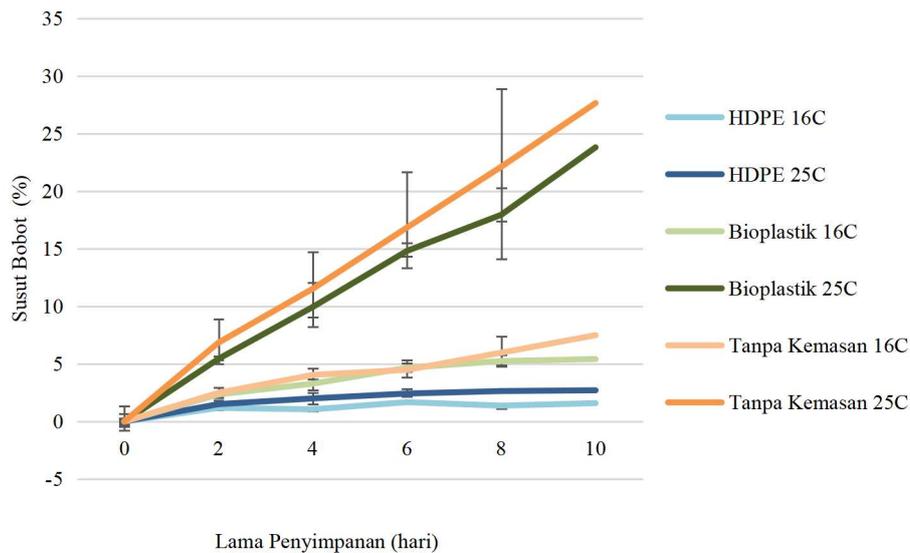
Karena pengaruh terhadap suhu pada ketiga jenis kemasan tidak konsisten, maka dapat dikatakan bahwa interaksi antara jenis kemasan dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh terhadap laju produksi CO_2 seperti yang ditampilkan pada hasil uji ANOVA (lampiran 14). Interaksi antara lama penyimpanan dengan jenis kemasan dan dengan suhu berpengaruh terhadap laju produksi CO_2 dimana pada seluruh perlakuan jenis kemasan dan perlakuan suhu menunjukkan bahwa selama penyimpanan 10 hari laju produksi CO_2 cenderung menurun sejak penyimpanan H4. Interaksi antara ketiga faktor tidak berpengaruh terhadap laju produksi CO_2 . Maka dari itu yang mempengaruhi laju produksi CO_2 hanya perbedaan jenis kemasan dan lama penyimpanan saja. Laju produksi CO_2 harus bernilai rendah untuk menekan proses pematangan pada pisang cavendish. Agar nilai laju CO_2 menjadi rendah untuk penyimpanan selama 10 hari dapat dilakukan penyimpanan dengan kemasan bioplastik pada suhu yang berapapun.

4.2.2 Susut Bobot

Susut bobot dapat menjadi acuan dalam menentukan kualitas dan mutu pisang selama penyimpanan. Susut bobot dapat mengindikasikan penurunan

mutu pada buah dan juga menunjukkan tingkat kesegaran buah. Pada Gambar 26 diperlihatkan bahwa pisang yang tidak diberi perlakuan kemasan dan disimpan pada suhu ruang (25°C) memiliki perubahan susut bobot yang paling tinggi yaitu sebesar $27.629 \pm 6.001\%$ pada H10. Untuk pisang yang diberikan perlakuan kemasan, perubahan susut bobot tertinggi dimiliki oleh pisang yang dikemas dengan bioplastik pada suhu ruang (25°C) sebesar 14.380 ± 6.735 pada H10 dan perubahan susut bobot terendah dimiliki oleh pisang yang dikemas dengan HDPE pada suhu rendah yaitu sebesar $2.253 \pm 0.539\%$ pada H10 (16°C).

Hasil pengamatan pada Gambar 26 memperlihatkan pola grafik persentase susut bobot pada pisang berbanding lurus dengan waktu penyimpanan, yang berarti semakin lama pisang disimpan maka bobot yang dimiliki oleh pisang pun semakin menurun karena berkurangnya kandungan air dalam buah. Penyusutan bobot pada buah klimakterik memang menunjukkan peningkatan yang konsisten pada setiap hari pengamatannya. Respirasi pada buah klimakterik akan terus meningkat seiring tingkat kematangan buah tersebut sehingga mengakibatkan terjadinya susut bobot pada buah terutama ketika buah tersebut telah mencapai puncak klimakteriknya (Rudito 2005). Beberapa penelitian sebelumnya juga memberikan hasil yang serupa dengan penelitian ini. Pada Arti dan Manurung (2018) menunjukkan susut bobot yang terus meningkat pada penyimpanan suhu ruang untuk buah klimakterik. Pada Pega *et al.* (2021) juga menunjukkan susut bobot yang terus meningkat pada penyimpanan 3 variasi suhu untuk buah klimakterik. Pada Arti dan Manurung (2018) dan Salingkat *et al.* (2020) memperlihatkan nilai susut bobot yang rendah untuk buah klimakterik di dalam kemasan, dibandingkan dengan penelitian Pega *et al.* (2021) dengan perlakuan tanpa kemasan yang memperlihatkan bahwa susut bobot yang terjadi lebih tinggi. Susut bobot pada buah-buahan disebabkan oleh berkurangnya kandungan air karena adanya proses transpirasi dan respirasi (Pah *et al.* 2020).



Gambar 26 Grafik susut bobot pisang selama penyimpanan

Hasil uji ANOVA menyatakan bahwa faktor jenis kemasan, suhu penyimpanan dan lama penyimpanan serta interaksi antar faktornya berpengaruh nyata ($sig.<5\%$) terhadap perubahan susut bobot pada pisang. Faktor suhu dapat mempengaruhi nilai susut bobot yang terjadi pada buah dimana pada hasil pengamatan menunjukkan bahwa perubahan susut bobot pada penyimpanan suhu ruang lebih tinggi dibandingkan pada suhu rendah. Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Kusumiyati *et al.* (2018), buah yang disimpan dalam suhu kamar mengalami penurunan susut bobot yang lebih cepat apabila dibandingkan dengan yang disimpan dalam suhu dingin. Penurunan susut bobot ada hubungannya dengan proses penguapan. Semakin tinggi suhu penyimpanan susut bobot semakin besar karena adanya penguapan yang terjadi pada pisang. Hal ini disebabkan karena laju penguapan dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban udara (Hasbi *et al.* 2005).

Jenis kemasan juga mempengaruhi perubahan susut bobot pada pisang. Kemasan bioplastik memiliki perubahan susut bobot yang lebih tinggi daripada kemasan HDPE yaitu sebesar $9.283\pm 7.039\%$. Mengacu pada hasil uji WVTR, kemasan bioplastik memiliki nilai WVTR yang tinggi dibandingkan dengan HDPE baik pada suhu dan RH yang tinggi maupun pada suhu dan RH yang rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemasan bioplastik dapat memindahkan uap air dari dalam kemasan ke lingkungan lebih besar daripada kemasan HDPE. Maka dari itu, pada pisang yang dikemas dengan menggunakan HDPE memiliki susut bobot yang paling kecil karena perpindahan uap air dari buah ke lingkungan tidak begitu baik. Kemasan yang memiliki WVTR rendah dapat menghambat keluarnya gas, uap air dan kontak dengan oksigen (Syaputra *et al.* 2020).

Persentase susut bobot yang terjadi pada H2, H4, H6, H8, dan H10 penyimpanan menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Perbedaan lama penyimpanan memiliki nilai persentase susut bobot yang berbeda secara signifikan yang berarti lama penyimpanan berpengaruh terhadap persentase susut bobot buah pisang. Menurut Yuliati (2018), semakin lama penyimpanan maka susut bobot akan semakin bertambah.

Interaksi antara suhu dan jenis kemasan mempengaruhi perubahan susut bobot pada pisang. Dapat terlihat jelas bahwa pisang pada suhu 16°C maupun 25°C yang dikemas menggunakan HDPE memiliki nilai yang paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penyimpanan buah pada suhu berapapun akan lebih baik jika menggunakan HDPE daripada bioplastik untuk menekan terjadinya susut bobot. Interaksi antara jenis kemasan dan lama penyimpanan serta interaksi antara suhu dan lama penyimpanan semuanya menunjukkan hasil yang berbanding lurus hingga penyimpanan H10 dimana nilai susut bobot tertinggi berada pada penyimpanan H10. Dari hasil uji ANOVA (lampiran 14) menunjukkan bahwa interaksi antara ketiga faktor yaitu jenis kemasan, suhu penyimpanan, serta lama penyimpanan berpengaruh terhadap persentase susut bobot pisang. Sehingga untuk mendapatkan nilai susut bobot terkecil pada pisang cavendish pada penyimpanan selama 10 hari dapat digunakan kemasan HDPE dengan suhu penyimpanan 16°C .

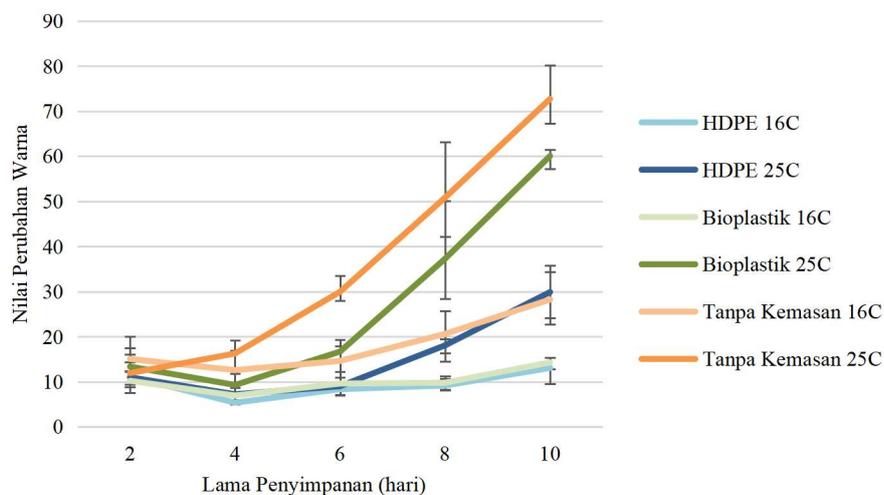
4.2.3 Perubahan Warna dan *Browning Index*

Warna merupakan salah satu parameter visual yang dapat mempengaruhi keputusan konsumen dalam membeli produk segar seperti pisang. Perubahan warna pada kulit pisang merupakan parameter yang paling menonjol untuk menunjukkan tingkat kematangan pada pisang. Perubahan warna pada kulit pisang dapat terjadi karena adanya degradasi pigmen klorofil yang menyebabkan warna hijau menghilang seiring dengan proses pematangan (Isyuniarto dan Purwadi 2007). Selain itu, nilai *browning index* untuk mengindikasikan terjadinya *browning* (pencoklatan) pada kulit pisang juga menjadi salah satu penilaian mutu visual pada pisang.

A. Perubahan Warna (*Color Change*)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai perubahan warna pada kulit pisang baik pada perlakuan suhu maupun perlakuan jenis kemasan (Lampiran 13). Grafik perubahan warna (Gambar 27) menunjukkan bahwa perubahan warna terbesar terjadi pada pisang tanpa perlakuan kemasan untuk suhu ruang (25°C). Sedangkan untuk pisang yang diberikan perlakuan menggunakan kemasan, nilai perubahan warna tertinggi terjadi pada kemasan Bioplastik untuk suhu ruang (25°C) dan perubahan terendah terjadi pada kemasan HDPE dengan suhu rendah (16°C).

Hasil pengamatan menunjukkan pola perubahan warna yang terjadi konsisten meningkat selama penyimpanan. Perubahan warna ini disebabkan karena adanya degradasi klorofil pada pisang. Degradasi klorofil pada buah merupakan peralihan dari fungsi kloroplas ke kromoplas yang mengandung pigmen karotenoid. Pigmen karotenoid yang sebelumnya sudah ada dalam jaringan akan mendominasi membentuk warna kuning yang disebabkan karena adanya degradasi klorofil (Nekstaria dan Muflihati 2020). Pada beberapa literatur diperlihatkan hasil yang serupa dimana perubahan warna mulai terjadi sejak pengamatan pertama (Arti dan Manurung 2018; Supannaklang dan Shiesh 2018; Arti dan Miska 2020; Al-Baarri *et al.* 2021).



Gambar 27 Grafik perubahan warna pisang selama penyimpanan

Hasil uji ANOVA (lampiran 14) menunjukkan bahwa faktor perlakuan jenis kemasan, suhu penyimpanan, serta lama penyimpanan berpengaruh terhadap perubahan warna. Nilai perubahan warna pada perlakuan kemasan HDPE memiliki nilai yang paling kecil dibandingkan dengan kemasan bioplastik dan perlakuan tanpa kemasan baik pada suhu ruang maupun pada suhu rendah. Perubahan warna dimulai ketika pisang berada dalam proses pematangan yaitu setelah panen. Pada tahap ini pisang memproduksi etilen dan CO₂ dalam jumlah yang banyak (Luthfiana 2014). Dengan mengacu pada uji O₂TR, ditunjukkan bahwa nilai O₂TR untuk kemasan HDPE lebih kecil daripada bioplastik sehingga metabolisme respirasi yang terjadi pada saat proses pematangan dapat menurun. Penurunan metabolisme respirasi dapat menyebabkan terhambatnya proses pematangan karena tidak adanya oksigen yang diserap oleh buah, salah satunya juga menghambat proses degradasi klorofil. Penurunan metabolisme respirasi menahan produksi CO₂ dan etilen pada pisang sehingga proses pematangan pisang dapat diperlambat dan pisang lebih tahan lama untuk disimpan. Etilen memiliki fungsi mengatur perubahan warna dan reduksi kadar klorofil (Iqbal *et al.* 2017). Terhambatnya produksi etilen juga menghambat proses degradasi klorofil yang menyebabkan warna hijau pada pisang tetap bertahan.

Suhu penyimpanan juga berpengaruh terhadap perubahan warna pada kulit pisang. Pada Gambar 27 terlihat bahwa kulit pisang yang disimpan pada suhu rendah memiliki nilai perubahan warna yang lebih kecil dibandingkan dengan suhu ruang. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Tursiska (2007), laju degradasi klorofil pada pisang mengikuti reaksi dengan suhu. Pada penyimpanan suhu rendah, terdapat penghambatan metabolisme pada pisang dan klorofil yang terkandung pada pisang yang masih mentah sulit terurai.

Lama penyimpanan berpengaruh terhadap perubahan warna pada kulit pisang. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perubahan warna pada penyimpanan H2, H4, dan H6 tidak terlalu signifikan. Peningkatan nilai perubahan warna terjadi mulai pada penyimpanan H8. Selain itu dari grafik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa pada perlakuan suhu rendah (16°C), lama penyimpanan baik dari H2 sampai H10 tidak terlalu mempengaruhi nilai perubahan warna yang ditunjukkan dengan garis yang landai. Penelitian yang telah dilakukan oleh Arti dan Miska (2020) juga menunjukkan bahwa nilai perubahan warna meningkat bersamaan dengan lamanya penyimpanan yang dilakukan.

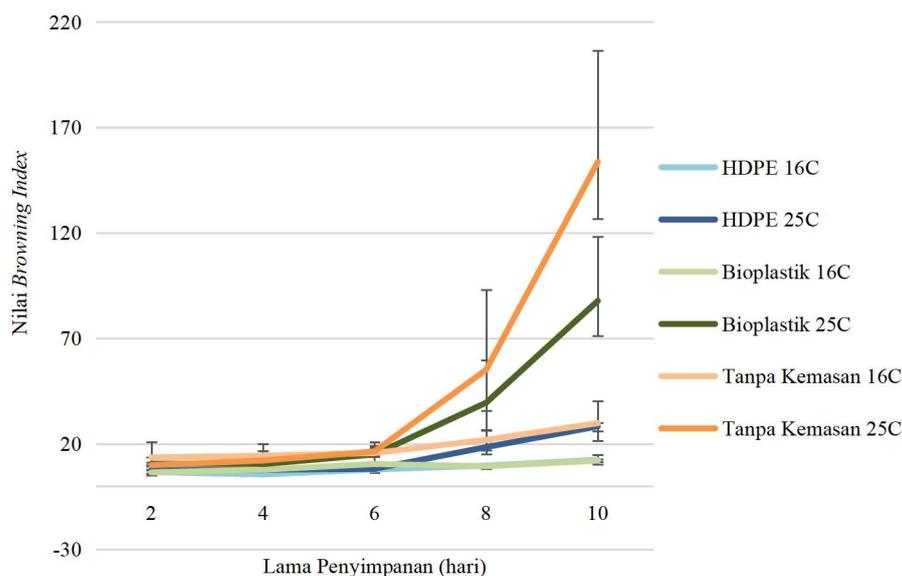
Interaksi antara faktor jenis kemasan dengan suhu berpengaruh terhadap perubahan warna pada kulit pisang. Nilai perubahan warna pada kulit pisang yang disimpan tanpa kemasan pada suhu 25°C lebih tinggi daripada yang disimpan dengan HDPE pada suhu 16°C, secara keseluruhan untuk segala macam jenis kemasan penyimpanan pada suhu 25°C menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada suhu 16°C. Interaksi antara faktor jenis kemasan dan lama penyimpanan serta suhu penyimpanan dan lama penyimpanan juga berpengaruh terhadap nilai perubahan warna pada pisang. Pada suhu dan jenis kemasan apapun menunjukkan bahwa selalu terdapat perbedaan nilai perubahan warna pada

setiap hari pengamatannya, walaupun pada jenis kemasan HDPE dan Bioplastik yang disimpan pada suhu 16°C tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Interaksi antara ketiga faktor perlakuan memiliki pengaruh terhadap nilai perubahan warna pada kulit pisang, yang berarti untuk menekan laju perubahan warna pada kulit pisang cavendish selama penyimpanan 10 hari dapat digunakan jenis kemasan HDPE atau Bioplastik pada suhu 16°C. Namun jika untuk penyimpanan kondisi suhu 16°C tidak memungkinkan maka dapat dilakukan penyimpanan pada suhu ruang menggunakan kemasan HDPE

B. Browning Index

Perubahan warna pada kulit pisang berdampingan dengan perubahan nilai *browning index*. Menurut Walker dan Ferrar (1998), reaksi *browning* pada buah dan sayuran disebabkan karena adanya proses oksidasi substrat fenol oleh enzim polifenol oksidase (PPO) yang menghasilkan pigmen warna coklat (melanin). Proses ini membutuhkan adanya kandungan oksigen yang diserap oleh buah.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pola grafik perubahan nilai *browning index* menunjukkan peningkatan selama penyimpanan namun peningkatan yang drastis terjadi sejak H6. Hal tersebut dikarenakan pisang sudah melewati masa klimakteriknya pada H4 yang berarti oksigen sudah tidak dikonsumsi pisang untuk pematangan melainkan untuk oksidasi substrat fenol dalam menghasilkan pigmen coklat pada reaksi *browning*. Hasil serupa juga diperlihatkan pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Supannaklang dan Shiesh (2018) yang menunjukkan bahwa peningkatan nilai *browning index* terjadi ketika pisang sudah melewati puncak klimakteriknya. Penggunaan kemasan juga dapat mengurangi peningkatan *browning index* karena penggunaan kemasan dapat mengurangi kontak produk dengan oksigen di udara bebas, sehingga dapat menahan reaksi *browning*. He dan Luo (2007) pada penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan kemasan dapat mengontrol pelepasan senyawa anti-pencoklatan pada permukaan jaringan yang dipotong.



Gambar 28 Grafik perubahan nilai *browning index* selama penyimpanan

Hasil dari uji ANOVA (lampiran14) telah menunjukkan bahwa jenis kemasan, suhu penyimpanan, dan lama penyimpanan berpengaruh secara nyata ($sig.>5\%$) terhadap nilai *browning index*. Seperti pada perubahan warna, pengaruh jenis kemasan terhadap nilai *browning index* juga dipengaruhi oleh hasil dari uji O_2TR . Semakin tinggi nilai O_2TR maka proses pertukaran O_2 juga semakin tinggi sehingga O_2 di dalam kemasan akan semakin kaya. Semakin kaya oksigen di dalam kemasan maka proses oksidasi substrat fenol akan semakin lancar dan mempercepat terjadinya *browning* pada kulit buah. Sehingga kemasan dengan nilai O_2TR yang rendah akan menghasilkan nilai *browning index* yang kecil pula. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kemasan HDPE memiliki nilai *browning index* yang paling kecil. Hal ini disebabkan karena nilai O_2TR yang dimiliki juga kecil yang berarti pertukaran oksigen di dalam kemasan ke lingkungan terhitung kecil. Sama seperti pada perubahan warna, oksigen dibutuhkan untuk oksidasi substrat fenol pada proses *browning* (Syarif 2021).

Suhu penyimpanan memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap nilai *browning index*. Pada suhu rendah, reaksi enzimatik yang memicu *browning* pada pisang menurun. Hal ini dikarenakan temperatur dapat mempengaruhi aktivitas enzim. Pada temperatur rendah, reaksi enzimatik berlangsung lebih lambat dibandingkan pada suhu tinggi, kenaikan temperatur akan mempercepat reaksi, hingga suhu optimum tercapai dan reaksi enzimatik mencapai maksimum (Noviyanti dan Ardiningsih 2013). Perbedaan yang terjadi cukup signifikan pada seluruh penyimpanan dimana rata-rata nilai *browning index* pada suhu rendah sebesar 18.178 ± 10.085 sedangkan pada suhu ruang sebesar 89.946 ± 60.355 pada pengamatan H10.

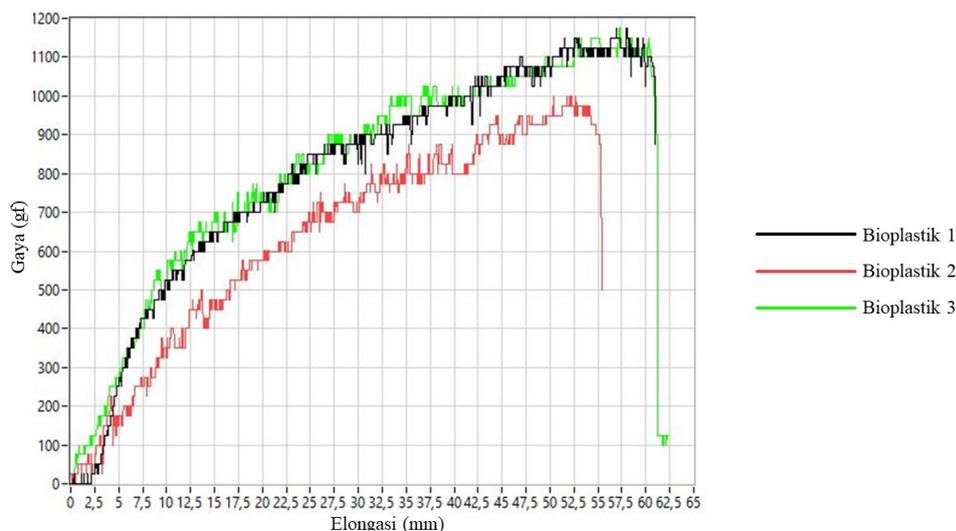
Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa lama penyimpanan berpengaruh terhadap perubahan nilai *browning index* pada pisang hanya

pada penyimpanan H8 dan H10. Sama seperti pada perubahan warna, hasil pengamatan menunjukkan bahwa penyimpanan pada H2, H4, dan H6 tidak menghasilkan nilai *browning index* yang berbeda secara signifikan. Peningkatan nilai *browning index* pun mulai terlihat pada penyimpanan H8. Selain itu hasil yang ditunjukkan pada grafik (Gambar 28) juga memiliki kesamaan dengan perubahan warna yaitu nilai *browning index* yang stabil pada suhu rendah (16°C). Penelitian yang dilakukan oleh Mukhtarom (2016) juga menunjukkan hasil yang serupa dimana nilai *browning index* mengalami peningkatan seiring dengan lama penyimpanan.

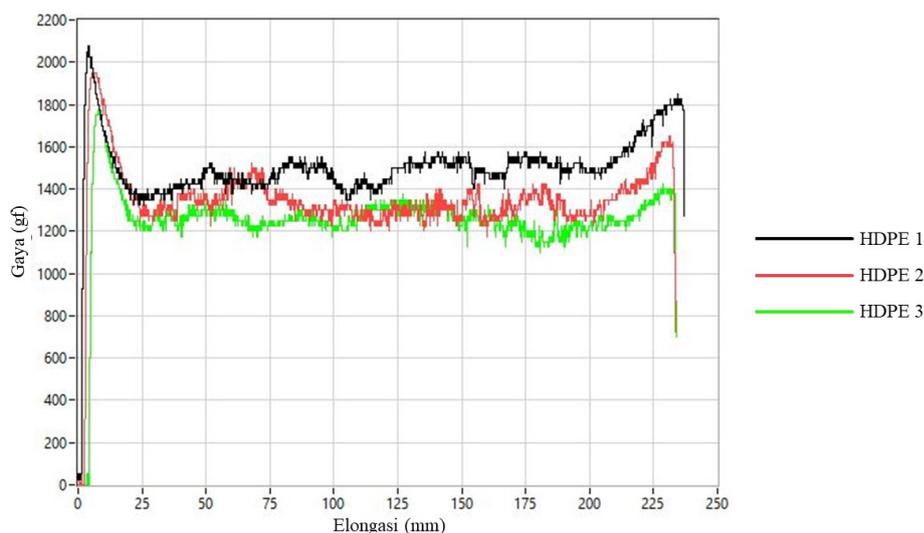
Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa interaksi antara faktor jenis kemasan dan suhu penyimpanan berpengaruh terhadap nilai *browning index* pada kulit pisang. Pada penyimpanan tanpa perlakuan kemasan nilai *browning index* menunjukkan hasil yang lebih tinggi untuk masing-masing suhunya, sedangkan pada penyimpanan dengan perlakuan kemasan terutama pada suhu rendah (16°C) menunjukkan bahwa perbedaan nilai *browning index* tidak signifikan. Interaksi antara jenis kemasan dan lama penyimpanan, serta suhu penyimpanan dan lama penyimpanan juga berpengaruh terhadap nilai *browning index* dimana baik pada suhu berapapun dan jenis kemasan apapun menunjukkan adanya perbedaan nilai *browning index* walaupun pada pengemasan pada suhu 16°C untuk kemasan HDPE dan Bioplastik tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Interaksi antara 3 faktor perlakuan memberikan pengaruh terhadap perubahan nilai *browning index*. Maka dari itu untuk menekan terjadinya *browning* pada kulit pisang canvendish selama penyimpanan 10 hari, dapat digunakan kemasan HDPE atau Bioplastik pada suhu 16°C. Penyimpanan pada suhu ruang dapat dilakukan jika penyimpanan pada suhu 16°C tidak memungkinkan, namun dengan menggunakan jenis kemasan HDPE.

4.2.4 Sifat Mekanis Film Pasca Pengaplikasian

Sifat mekanik pada kemasan setelah dilakukan pengaplikasian pada produk selama 10 hari diuji kembali untuk mengetahui apakah pengaplikasian pada produk dapat mempengaruhi sifat mekanik dari kemasan.



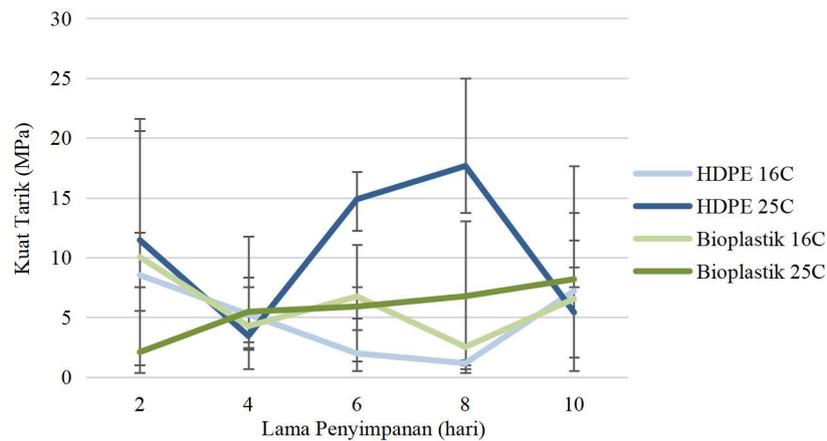
Gambar 29 Kurva tegangan-regangan pada bioplastik



Gambar 30 Kurva tegangan-regangan pada HDPE

Pada Gambar 29 diperlihatkan bahwa pada bioplastik tidak terdapat kondisi plastis dengan kondisi elongasi yang lebih mendominasi, sedangkan pada Gambar 30 kondisi plastis pada plastik HDPE lebih besar dibandingkan kondisi elastis. Titik putus pada HDPE berada pada nilai regangan yang lebih besar dibandingkan bioplastik. Nilai tegangan pada plastik HDPE lebih tinggi dibandingkan dengan bioplastik. Hasil pembacaan grafik tegangan-regangan masih sama seperti pada pengamatan sifat mekanis sebelum pengaplikasian dimana bioplastik merk “TR” bersifat getas dan plastik HDPE bersifat ulet (Krisnamurti *et al.* 2022).

A. Kekuatan Tarik



Gambar 31 Grafik nilai kuat tarik pada kemasan selama penyimpanan

Hasil uji ANOVA (lampiran 14) menunjukkan bahwa perlakuan jenis kemasan, suhu penyimpanan, dan lama penyimpanan tidak berpengaruh terhadap nilai kuat tarik. Interaksi antara jenis kemasan dengan lama penyimpanan tidak mempengaruhi nilai kuat tarik dari kemasan, namun interaksi antara suhu penyimpanan dengan lama penyimpanan berpengaruh terhadap nilai kuat tarik kemasan. Dapat terlihat pada Gambar 31 bahwa pada masing-masing suhu terlihat adanya perubahan pada setiap harinya. Nilai rata-rata kuat tarik pada suhu 25°C jauh lebih besar daripada suhu 16°C pada penyimpanan H6 dan H8. Sebaliknya, pada H2, H4, dan H10 nilai rata-rata kuat tarik pada suhu 16°C lebih besar daripada 25°C.

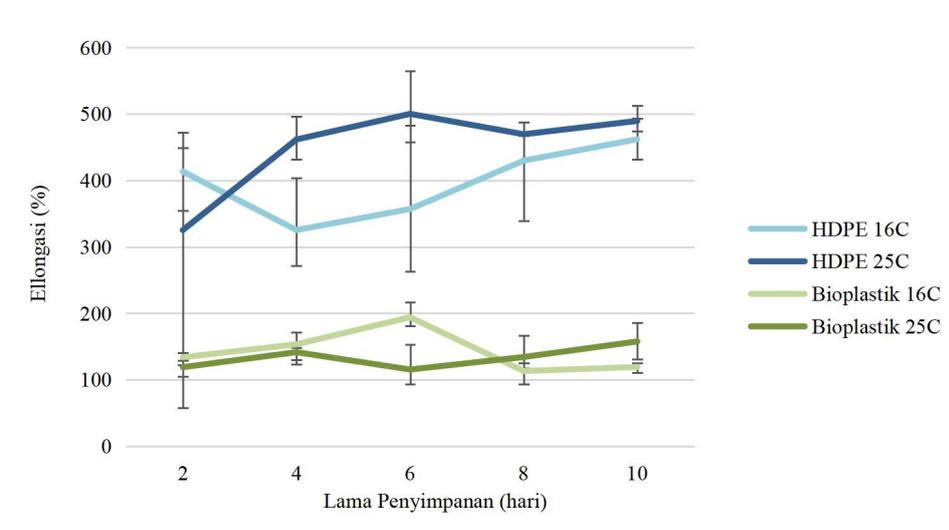
Interaksi antara suhu penyimpanan dengan jenis kemasan berpengaruh terhadap kuat tarik dari kemasan. Pada jenis kemasan bioplastik nilai rata-rata kuat tarik saat suhu 16°C lebih besar daripada 25°C, namun pada kemasan HDPE nilai rata-rata kuat tarik saat suhu 25°C jauh lebih besar daripada suhu 16°C. Pada penelitian yang dilakukan oleh Afif *et al.* (2018) menunjukkan bahwa pada bioplastik mengandung pati yang dapat menyerap air. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan semakin besar daya serap air maka kuat tariknya juga semakin bertambah. Maka dari itu diduga pada suhu rendah, bioplastik menyerap air sehingga kekuatan tariknya meningkat pula.

Pada penelitian mengenai perubahan sifat mekanik bioplastik setelah penyimpanan yang dilakukan oleh Purwanti (2010) dan Akbar *et al.* (2013) ditunjukkan bahwa nilai kuat tarik tidak mengalami perubahan selama penyimpanan pada 24 hari dan 35 hari pada suhu konstan untuk setiap penelitiannya. Maka dari itu hasil dari penelitian ini didukung oleh perbandingan antara kedua penelitian sebelumnya, dimana lama penyimpanan tidak mempengaruhi kuat tarik. Pada faktor suhu terdapat perbedaan pada kedua penelitian sebelumnya, dimana pada penelitian yang dilakukan oleh Purwanti (2010) menetapkan suhu penyimpanan pada 30°C dan pada Akbar *et al.* (2013) menetapkan suhu penyimpanan pada 25°C. Pada suhu 30°C ditunjukkan bahwa nilai kuat tarik lebih besar daripada saat penyimpanan suhu 25°C. Dari perbandingan kedua penelitian dapat dinyatakan bahwa peningkatan suhu mempengaruhi peningkatan nilai kuat

tarik. Namun, pernyataan tersebut dipatahkan oleh hasil penelitian yang dilakukan Waryat dan Yuliasih (2018) pada suhu rendah (5°C - 10°C) yaitu nilai kuat tarik lebih tinggi daripada 2 penelitian sebelumnya. Dengan begitu hasil dari penelitian ini didukung oleh perbandingan antara ketiga penelitian sebelumnya, dimana perubahan suhu tidak mempengaruhi nilai kuat tarik.

Interaksi antara ketiga faktor tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan nilai kuat tarik dari kemasan. Maka dari itu baik suhu dan lama penyimpanan tidak mempengaruhi nilai kuat tarik dari kedua kemasan. Perbedaan hasil antara kedua kemasan disebabkan oleh perbedaan dari karakter kedua kemasan saja, bukan dari kondisi lingkungan penyimpanan.

B. Elongasi



Gambar 32 Grafik elongasi pada kemasan selama penyimpanan

Hasil uji ANOVA (lampiran 14) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata ($sig.<5\%$) antara elongasi pada kemasan bioplastik dan pada kemasan HDPE. Dapat dilihat pada Gambar 32 bahwa elongasi pada bioplastik jauh lebih kecil dengan nilai-rata-rata untuk seluruh suhu pada penyimpanan H10 sebesar $138.420 \pm 2.650\%$ daripada elongasi pada HDPE dengan nilai rata-rata $475.829 \pm 27.879\%$. Suhu dan lama penyimpanan tidak mempengaruhi secara nyata ($sig.>5\%$) terhadap nilai elongasi pada setiap kemasan. Pada grafik dapat terlihat bahwa nilai elongasi antar suhu tidak menunjukkan hasil yang konsisten. Selama penyimpanan pula hasil yang ditunjukkan cenderung landai dan tidak ada perubahan.

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Yuliasih dan Raynasari (2014) menyatakan bahwa nilai elongasi selama penyimpanan dinyatakan konstan pada berbagai suhu penyimpanan. Tidak seperti hasil yang didapatkan pada penelitian yang dilakukan oleh Akbar *et al.* (2013) dimana persen elongasi yang menurun selama penyimpanan, pada penelitian ini tidak dilakukan penambahan gliserol pada film. Diduga penambahan gliserol pada film menyebabkan penurunan nilai elongasi pada hasil penelitian Akbar *et al.* (2013) dan hasil penelitian Purwanti

(2010) untuk film yang ditambahkan gliserol. Selanjutnya untuk faktor suhu, pada beberapa penelitian terkait dengan nilai suhu yang berbeda-beda, tidak didapatkan perubahan nilai elongasi yang konsisten terhadap peningkatan atau penurunan suhu. (Purwanti 2010; Akbar *et al.* 2013; Yuliasih dan Raynasari 2014; Waryat dan Handayani 2020)

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa interaksi antara jenis kemasan dengan suhu, antara jenis kemasan dengan lama penyimpanan, dan antara suhu dengan lama penyimpanan tidak berpengaruh terhadap elongasi yang terjadi pada kemasan. Interaksi antara ketiga faktor pun tidak mempengaruhi nilai elongasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan nilai elongasi selama penyimpanan tidak dipengaruhi oleh suhu penyimpanan maupun lama penyimpanan. Hasil yang berbeda antara penggunaan kemasan HDPE dan bioplastik hanya menunjukkan perbedaan karakter pada kemasan yang digunakan saja, seperti yang dijelaskan oleh Hariyanto *et al.* (2023) pada penelitiannya yang menyebutkan bahwa polimer alam (pada penelitian ini yang dimaksud adalah penyusun bioplastik) memiliki sifat mekanik yang rendah, bukan pengaruh dari kondisi penyimpanan.

4.2.5 Pengamatan Visual

Hasil pengamatan visual menunjukkan pada masing-masing perlakuan terdapat pisang yang mengalami kerusakan berupa tumbuhnya cendawan dan kelainan fisiologis. Cendawan tumbuh pada seluruh jenis perlakuan yang diberikan terhadap pisang, baik perlakuan suhu maupun jenis kemasan. Cendawan cenderung ditemukan sejak penyimpanan hari ke-empat dan tumbuh pada bagian ujung pisang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 33.

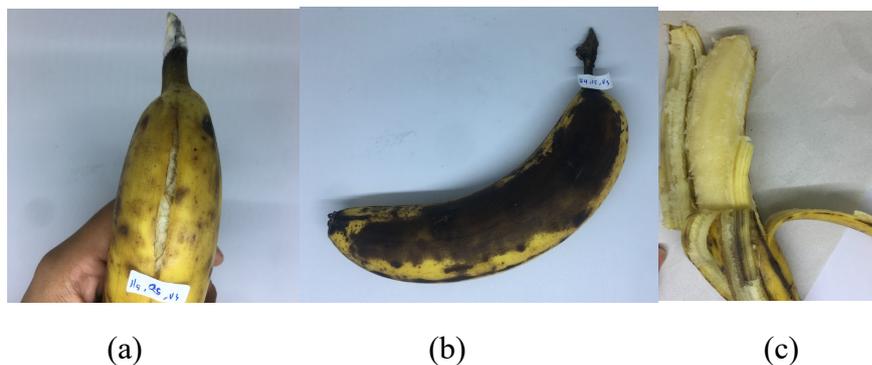


Gambar 33 Tumbuhnya cendawan pada ujung buah

Pada kemasan HDPE, ditemukan adanya kelainan fisiologis berupa keluarnya cairan dan buah yang membengkak sehingga terbentuk sobekan (Gambar 34a) pada bagian kulit pisang. Pada kemasan bioplastik kerusakan yang banyak ditemukan berupa pencoklatan kulit (*browning*). Dari hasil pengamatan, jika dibandingkan antara pisang yang dikemas menggunakan bioplastik dan HDPE dapat dilihat bahwa mutu visual dari segi pengamatan warna kulit lebih baik menggunakan kemasan HDPE untuk penyimpanan dibandingkan dengan bioplastik karena pada bioplastik *browning* yang terjadi

hampir merata (Gambar 34b). Namun kelainan fisiologis yang terjadi pada pengemasan menggunakan plastik HDPE cukup buruk seperti pisang yang mengeluarkan bau tidak sedap serta daging pisang yang sudah berair (Gambar 34c) hingga keluar di dalam kemasan. Menurut (Turner 1997), laju pematangan kulit dan daging buah terhadap suhu berbeda, warna kulit tidak menggambarkan keadaan daging buah.

Pada pengemasan menggunakan bioplastik, bagian dalam pisang masih kokoh dan tidak berair. Kelainan fisiologis yang terjadi pada pengemasan menggunakan HDPE ini diduga terjadi karena adanya fermentasi anaerob. Menurut Ifmalinda dan Windasari (2018), ketersediaan oksigen yang terlalu sedikit dan karena nilai WVTR yang rendah pada kemasan HDPE dapat menyebabkan pisang mengalami respirasi anaerob akibat kerapatan udara yang tinggi sehingga pisang lebih cepat membusuk. Pada Aziz *et al.* (2018) juga disebutkan bahwa produk yang mengonsumsi oksigen dalam kemasan lebih cepat dibandingkan ketersediaan oksigen baru dari luar kemasan dapat menimbulkan kerusakan pada produk dan kondisi aerobik dalam kemasan sehingga memudahkan mikroorganisme an-aerobik tumbuh dengan baik.



Gambar 34 (a) Kulit pisang yang sobek karena buah membengkak (b) browning yang hampir merata (c) daging pisang yang berair

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Karakteristik kemasan dipengaruhi oleh perubahan nilai RH selama penyimpanan. Nilai WVTR meningkat seiring dengan peningkatan nilai RH karena pada kondisi kelembaban yang tinggi, transmisi uap air yang terjadi akan lebih besar dikarenakan banyaknya kandungan uap air pada lingkungan. Nilai kuat tarik kemasan tidak dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan, melainkan dipengaruhi oleh bahan penyusun kemasan. Nilai elongasi dipengaruhi oleh kondisi RH lingkungan penyimpanan karena RH lingkungan dapat mengubah sifat dari bahan penyusun kemasan terutama pada bioplastik. Produk yang dikemas menggunakan bioplastik memiliki susut bobot yang lebih besar daripada HDPE, namun dengan laju respirasi yang rendah. Perubahan warna dan *browning index* yang terjadi pada pengemasan menggunakan bioplastik lebih tinggi daripada HDPE. Pada suhu rendah, nilai seluruh parameter pengamatan perubahan mutu produk cenderung stabil dan tidak berbeda secara signifikan yang berarti pada penyimpanan suhu rendah, pengemasan pada pisang cavendish dapat menggunakan bioplastik merk "TR" maupun plastik HDPE komersil. Pada pengemasan suhu ruang, dari segi pengamatan visual penggunaan bioplastik merk "TR" masih belum optimal karena hasil pengamatan visualnya kurang baik untuk dikomersialisasikan, walaupun kualitas daging buah dapat dipertahankan selama penyimpanan. Sifat mekanik dari kemasan setelah digunakan untuk mengemas pisang cavendish selama 10 hari tidak menunjukkan perubahan yang signifikan yang berarti sifat mekanik dari kemasan tidak dipengaruhi oleh suhu penyimpanan maupun lama penyimpanan.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengukuran CO₂TR untuk mengetahui perpindahan CO₂ yang terjadi pada kemasan serta pengukuran permeabilitas kemasan terhadap etilen karena pisang merupakan buah penghasil etilen yang cukup tinggi. Pengukuran WVTR dapat dilakukan dengan menghitung perubahan bobot pada sampel dengan menggunakan timbangan dari dalam desikator yang dihubungkan dengan layar yang berada di luar desikator sehingga pengukuran perubahan bobot sampel dapat lebih presisi. Selanjutnya, dapat juga dilakukan pengamatan struktur mikroplastik menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati perubahan struktur kemasan pada variasi kondisi penyimpanan. Selain itu, sebaiknya dilakukan pengamatan laju respirasi O₂ pada produk selama 10 hari penyimpanan untuk mendapatkan data yang lebih kontinyu. Karena adanya perbedaan kualitas daging buah yang bertentangan dengan kualitas visual pada pisang maka diperlukan adanya pengukuran tingkat kekerasan pada pisang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif M, Wijayati N, Mursiti S. 2018. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol. *Indones J Chem Sci.* 7(2):103–109.
- Akbar F, Anita Z, Harahap H. 2013. Pengaruh waktu simpan film plastik biodegradasi dari pati kulit singkong terhadap sifat mekanikalnya. *J Tek Kim USU.* 2(2):11–15.
- Al-Baarri A, Legowo A, Widayat, Rizqiati H, Hintono A, Pramono Y, Somantri M, Broto W, Hadipernata M, Santosa V, *et al.* 2021. Inhibition on color changes of raja banana (*Musa sapientum*) peel using specific acid. Di dalam: *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* hlm 733.
- Albar A, Rahmaniah R, Ihsan I. 2021. Pembuatan dan karakterisasi bioplastik berbahan dasar pati umbi uwi ungu, plasticizer gliserol dan kitosan. *Teknosains Media Inf Sains Dan Teknol.* 15(3):253.
- Anggraini R. 2020. Penilaian organoleptik cabai rawit dengan kemasan ramah lingkungan berbahan daun. *Agrofood.* 2(2):9–16.
- Arista ML, Widodo WD, Suketi K. 2017. Penggunaan kalium permanganat sebagai oksidan etilen untuk memperpanjang daya simpan pisang raja bulu. *Bul. Agrohorti.* 5(3):334–341.
- Arti I dan Manurung A. 2018. Pengaruh etilen apel dan daun mangga pada pematangan buah pisang kepok (*Musa paradisiaca formatypica*). *J Pertan Presisi V.* 2(2): 77-88
- Arti IM dan Miska MEE. 2020. Perubahan mutu fisik pisang cavendish selama penyimpanan dingin pada kemasan plastik perforasi dan non-forasi. *J Univ Gunadarma.* 14(11):33–44.
- Aziz A, Sutrisno, Warsiki E, Maisaroh, Nidausoleha O, Muryeti, Wibawa H, Ariana, Abdulqodir A. 2018. *Pengemasan Produk Hortikultura Segar.* Ruhimat M, editor. Jakarta: Direktorat Pengolahan dan Pemasaran Holtikultura, Kementerian Pertanian.
- Badan Pusat Statistik. 2022. Produksi Tanaman Buah-buahan. *Badan Pus Stat.,* siap terbit. [diakses 2023 Agu 10]. <https://www.bps.go.id/indicator/55/62/1/produksi-tanaman-buah-buahan.html>.
- Bhande SD, Ravindra MR, Goswami TK. 2008. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. *J Food Eng.* 87(1):116–123.
- Cengristitama, Insan VDN. 2020. Pemanfaatan limbah sekam padi dan minyak jelantah untuk pembuatan bioplastik. *J TEDC.* 14(1):15–23.
- Chagué V. 2010. Ethylene Production by Fungi: Biological Questions and Future Developments Towards a Sustainable Polymers Industry. Di dalam: *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology.* hlm 3011–3020.
- Ismaya F, Fithriyah NH, Hendrawati TY. 2021. Pembuatan dan karakterisasi edible film dari nata de coco dan gliserol. *J Teknol.* 13(1):81–88.
- Deglas W. 2023. Pengaruh jenis plastik polyethylene (PE), polypropylene (PP), high density polyethylene (HDPE), dan overheated polypropylene (OPP) terhadap kualitas buah pisang mas. *J Pertan dan Pangan.* 5(1):33–42.

- Dewi R, Rahmi R, Nasrun N. 2021. Perbaikan sifat mekanik dan laju transmisi uap air edible film bioplastik menggunakan minyak sawit dan plasticizer gliserol berbasis pati sagu. *J Teknol Kim Unimal*. 8(1):61.
- Ding P, Ling YS. 2014. Browning assessment methods and polyphenol oxidase in UV-C irradiated berangan banana fruit. *Int Food Res J*. 21(4):1667–1674.
- Fatharani A, Bintoro N, Saputro AD. 2020. Pemodelan Laju Respirasi Buah Kolang-kaling (*Arenga pinnata*) pada penyimpanan modified atmospheric packaging (MAP). *agriTECH*. 40(2):124.
- Febriati NL. 2018. Optimasi Sifat Fisik Edible Film Berbasis Karagenan Murni dengan Metode Permukaan Respon (Response Surface Methodology) [Tesis]. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Gozali T, Wijaya WP. 2020. Pengaruh konsentrasi cmc dan konsentrasi gliserol terhadap karakteristik edible packaging kopi instan dari pati kacang hijau (*Vigna radiata L.*). *Pas Food Technol J*. 7(1):1–9.
- Handayani PA, Wijayanti H. 2015. Pembuatan film plastik biodegradable dari limbah biji durian (*Durio Zibethinus Murr.*). *J Bahan Alam Terbarukan*. 4(1):21–26.
- Hariyanto A, Yuswanto, Kuncoro PS. 2023. Analisis SEM (Scanning Electron Microscope) dan foto mikro pada material komposit serat tangkai jagung dengan matriks plastik polipropilen. *J AutoMech*. 3(1):15–22.
- Hasbi, Saputra D, Juniar. 2005. Masa simpan buah manggis (*Garcinia mangostana L.*) pada berbagai tingkat kematangan, suhu, dan jenis kemasan. *J Teknol dan Ind Pangan*. XVI(3):199–205.
- He Q, Luo Y. 2007. Enzymatic browning and its control in fresh-cut produce. *Stewart Postharvest Rev*. 6(3):1–7.
- Herudiansyah G, Candra M, Pahlevi R. 2019. Penyuluhan pentingnya label pada kemasan produk dan pajak pada usaha kecil menengah (ukm) desa tebedak ii kecamatan payaraman ogan ilir. *Suluh Abdi*. 1(2):84–89.
- Ifmalinda I, Windasari RW. 2018. Kajian jenis media simpan terhadap mutu pisang cavendish (*Musa parasidiaca 'Cavendish'*). *Rona Tek Pertan*. 11(2):1–14.
- Indarto, Murinto. 2017. Deteksi kematangan buah pisang berdasarkan fitur warna citra kulit pisang menggunakan metode transformasi ruang warna HIS. *J Ilm Inform*. V November:15–21.
- Iqbal N, Khan NA, Ferrante A, Trivellini A, Francini A, Khan MIR. 2017. Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. *Front Plant Sci*. 8 April:1–19.
- Isyuniarto I, Purwadi A. 2007. Pengaruh penggunaan oksidan ozon dalam pengemas plastik polietilen untuk menyimpan buah apel manalagi (*malus sylvestris M.*). *GANENDRA Maj IPTEK Nukl*. 10(1):13–18.
- Johansyah A, Prihastanti E, Kusdiyantini E, Biologi J, Sains F, Diponegoro U, Anatomi B. 2014. Pengaruh plastik pengemas low density polyethylene (LDPE), high density polyethylene (HDPE) dan polipropilen (PP) terhadap penundaan kematangan buah tomat (*Lycopersicon esculentum . Mill.*). *Bul Anat dan Fisiol*. 22(1):46–57.
- Jumadewi A. 2019. Gambaran perilaku mahasiswa tentang bahaya penggunaan plastik sebagai wadah makanan dan minuman prodi diiii keperawatan tapaktuan. *Maj Kesehat Masy Aceh*. 2(2):69–79.

- Jumiati E, Husnah M, Lestari SA. 2023. Analisis Sifat Mekanik Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Raja dengan Variasi Selulosa Jerami Padi. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*. 20(1):23–30.
- Karamina H, Indawan E, Agustina FIK. 2022. Efektifitas perbedaan konsentrasi BAP terhadap pertumbuhan planlet pisang cavendish dengan teknik thin cells layer. *Kultivasi*. 21(2):135–140.
- Katili S, Harsunu BT, Irawan S. 2013. Pengaruh konsentrasi plasticizer gliserol dan komposisi khitosan dalam zat pelarut terhadap sifat fisik edible film dari khitosan. *J Teknol*. 6(1):29–38.
- Kim HA. 2021. Moisture vapor resistance of coated and laminated breathable fabrics using evaporative wet heat transfer method. *Coatings*. 11(10):1-18
- Krisnamurti WD, Maryanti B, Arifin K. 2022. Comparative analysis of tensile strength result of 3D printing with abs and nylon-based filament. *J Rekayasa Mesin Dan Inov Teknol*. 3(2):208–213.
- Kusumiyati, Farida, Sutari W, Hamdani JS, Mubarak S. 2018. The effect of storage time on the value of total dissolved solids, hardness and weight loss of arumanis mangoes. *J Cultiv*. 17(3):766–711.
- Luthfiana I. 2014. Pengaruh Konsentrasi dan Lama Perendaman dalam Kalsium Klorida (CaCl₂) Terhadap Kematangan dan Kualitas Buah Pisang Ambon Kuning (*Mussa Paradisiaca Var Sapientum*) [Skripsi]. Malang : Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Making Ocean Plastic Free. 2017. The Hidden Cost of Plastic Bag Use and Pollution in Indonesia. [diakses 2023 Agu 10]. <https://makingoceansplasticfree.com/hidden-cost-plastic-bag-use-pollution-indonesia/>.
- Mokrzycki W, Tatol M. 2011. Color difference delta e - a survey colour difference Δe - a survey faculty of mathematics and informatics. *Mach Graph Vis*. 20(4):383–411.
- Mujahidin F. 2019. Pengembangan Biopolimer Berbahan dasar Pati Alami dengan Penambahan Beeswax Sebagai Plastik Ramah Lingkungan [Skripsi]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Mumtazah NQ, Setiawati E, Fajar HM, Kartika L. 2023. Analisis minat masyarakat banten terhadap potensi pisang cavendish sunpride sebagai bentuk usaha ketahanan pangan. *JASc (Journal Agribus Sci)*. 7(1):82–89.
- Murtiwulandari M, Archery DTM, Haloho M, Kinasih R, Tanggara LHS, Hulu YH, Agaperesa K, Khristanti NW, Kristiyanto Y, Pamungkas SS, *et al*. 2020. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap kualitas hasil panen komoditas *Brassicaceae*. *Teknol Pangan Media Inf dan Komun Ilm Teknol Pertan*. 11(2):136–143.
- Nekstaria A, Muflihati I. 2020. Efektivitas iradiasi sinar uv-c dalam mempertahankan kualitas pisang rajabulu. *SENS 5*. 5(1):608–614.
- Noviyanti T, Ardiningsih P. 2013. Pengaruh temperatur terhadap aktivitas enzim protease dari daun sansakng (*Pycnarrhena cauliflora Diels*). *J Kim Khatulistiwa*. 1(1):1–6.
- Nugroho E, Budiyanto E, Firdaus AD. 2021. Pengaruh penambahan Silikon pada remelting piston motor bekas menggunakan tungku induksi terhadap kekuatan tarik dan kekerasan. *Turbo J Progr Stud Tek Mesin*. 10(2):304–309.

- Nurhabibah SA, Kusumaningrum WB. 2021. Karakterisasi bioplastik dari karagenan *eucheuma cottonii* terplastisasi berpenguat nanoselulosa. *J Kim dan Kemasan*. 43(2):82.
- Nurhaliza AS, Alfiah D, Rahman TF, Putri TAS, Maulana FI, Sihombing RP. 2022. Pengaruh Variasi Konsentrasi Kaolin Clay Terhadap Daya Serap Air Pada Bioplastik Dengan Penambahan PvoH Bp-05. Di dalam: *Prosiding Snast*. Yogyakarta. hlm D114-125.
- Nurjanah S. 2002. Study on respiration rate and ethylene production of fruit and vegetables to predict their storage time. *Bionatura*. 4(3):148–156.
- Pah YI, Mardjan SS, Darmawati E. 2020. Aplikasi coating gel lidah buaya pada karakteristik kualitas buah alpukat dalam penyimpanan suhu ruang. *J Keteknikan Pertan*. 8(3):105–112.
- Pangaribuan, Irving. 2006. The physiology and nutrition of tomato slices as affected by fruit maturity and storage temperature. *Agrista*. Vol. 10 No.
- Pangestu A. 2022. Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok Dan Rumput Gajah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioplastik [Skripsi]. Lampung: Universitas Islam Negeri Raden Intan.
- Pega EP, Bintoro N, Saputro AD, Teknik D, Pertanian FT, Mada UG, No JF. 2021. Rekayasa teknologi penyimpanan dengan atmosfer termodifikasi untuk memperpanjang umur simpan dalam penanganan pascapanen tomat modified atmospheric storage technology engineering to extend shelf life in tomato postharvest handling. *agriTECH*. 41(3):246–256.
- Perdana LPR, Djoyowasito G, Musyarofatunnisa E, Sandra S. 2019. Pengaruh jenis kemasan dan frekuensi penggetaran terhadap kerusakan mekanis buah apel manalagi (*Malus sylvestris*). *J Ilm Rekayasa Pertan dan Biosist*. 7(1):8–16.
- Plasquy E, Florido MC, Sola-Guirado RR, García Martos JM, García Martín JF. 2021. Effect of temperature and time on oxygen consumption by olive fruit: Empirical study and simulation in a non-ventilated container. *Fermentation*. 7(4):1-14
- Praja KJN, Kencana PKD, Arthawan IGKA. 2021. Pengaruh konsentrasi asap cair bambu tabah (*Gigantochloa nigrociliata* Buse-Kurz) dan lama perendaman terhadap kesegaran pisang cavendish (*Musa Acuminata*). *J BETA*. 9(1):45–55.
- Purwanti A. 2010. Analisis kuat tarik dan elongasi plastik kitosan terplastisasi sorbitol. *J Teknol*. 3(2):99–106.
- Qomariah N. 2020. Sosialisasi pengurangan bahan plastik di masyarakat. *J Pengabdian Masy*. 1(1):43–55.
- Rahman MT. 2021. Perancangan dan Implementasi Data Akuisisi dan Kendali Pada Mesin Uji Tarik Skala Kecil [Skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Rahmayani CA, Aminah A. 2021. Efektivitas pengendalian sampah plastik untuk mendukung kelestarian lingkungan hidup di kota semarang. *J Pembang Huk Indones*. 3(1):18–33.
- Rahmiatiningrum N, Sukardi S, Warkoyo W. 2019. Study of physical characteristic, water vapor transmission rate and inhibition zones of edible films from aloe vera (*Aloe barbadensis*) incorporated with yellow sweet potato starch and glycerol. *Food Technol Halal Sci J*. 2(2):195.
- Rudito. 2005. Perlakuan komposisi gelatin dan asam sitrat dalam edible coating yang mengandung gliserol pada penyimpnsn tomat. Program studi teknologi

- pengolahan hasil perkebunan. *J Teknol Pertanian*, 6(1):1–6.
- Safitra ER, Herlina I. 2020. Pembuatan film plastik biodegradable dari limbah kulit kopi dengan penambahan kitosan/glisierol. *J Sci Appl Technol*. 4(1):38.
- Salingkat CA, Noviyanty A, Syamsiar. 2020. Pengaruh jenis bahan pengemas, suhu, dan lama penyimpanan terhadap karakteristik mutu buah. *Agrol J ILMU-ILMU Pertan*. 27(3):274–286.
- Saputri AE. 2018. Sintesis Bioplastik Berbasis Pati Limbah Tapioka Menggunakan Filler Nano Serat Limbah Tapioka dan ZnO [Skripsi]. Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Schirinzi GF, Pérez-Pomeda I, Sanchís J, Rossini C, Farré M, Barceló D. 2017. Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environ Res*. 159:579–587.
- Setianingsih L, Purnomo BS, Rianto RA, Ahyar AN. 2023. Tinjauan yuridis pengelolaan sampah dengan metode 3R di sidoarjo. *J Yurisprudensi, Huk dan Peradil*. 1(1):39–49.
- Shintia B. 2019. Analisis Keputusan Konsumen terhadap Pembelian Pisang Cavendish (*Musa cavendishii*) di Brastagi Supermarkert Medan [Skripsi]. Medan: Univerisas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Sinaga AS. 2019. Segmentasi ruang warna L^*a^*b . *J Mantik Penusa*. 3(1):43–46.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. 2022. Grafik Komposisi Sampah berdasarkan Jenis Sampah. [diakses 2023 Agu 12]. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>.
- Van Soest JGG, Hulleman SHD, De Wit D, Vliegenthart JFG. 1996. Crystallinity in starch bioplastics. *Ind Crops Prod*. 5(1):11–22.
- Sulistyono. 2019. Penggunaan produk plastik dari petrokimia dengan bahan dasar minyak dan gas bumi memanfaatkan dan bahayanya bagi kesehatan dan lingkungan. *Swara Patra Maj Ilm PPSDM Migas*. 6(2):90–101.
- Supannaklang K, Shiesh C. 2018. Effect of storage temperature on shelf-life of banana (*Musa spp.*, AAA Group, Cavendish Subgroup) at ripened stage. *Hortic NCHU*. 43(3):1–13.
- Supeni G, Irawan S. 2014. Pengaruh penggunaan kitosan terhadap sifat barrier edible film tapioka termodifikasi. *J Kim dan Kemasan*. 34(1):199.
- Suwarda R, Irawadi TT, Prayoga S, Indah Y. 2019. Stabilitas edible film pati sagu (*Metroxylon Sagu Rottb.*) asetat selama penyimpanan pada berbagai suhu. *J Teknol Ind Pertan*. 29(2):278–289.
- Syaputra MD, Sedyadi E, Fajriati I, Sudarlin. 2020. Aplikasi edible film pati singkong dengan penambahan ekstrak lidah buaya (Aloe Vera) pada cabai rawit (*Capisum Frutascens L.*). *Integr Lab J*. 01(01):1–16.
- Syarif I. 2021. Aplikasi edible coating dari pati bengkoang (*Pachyrhizus erosus*) dengan penambahan sari jahe (*Zingiber officinale var. amarum*) pada apel (*Malus pumila*) fresh-cut [Skripsi]. Padang : Universitas Andalas.
- Turner D. 1997. Bananas and plantains. Di dalam: Mitra S, editor. *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits*. Oxon (GBR): CABI. hlm 47–83.
- Tursiska S. 2007. Pengaruh Suhu Dan Lama Simpan Terhadap Mutu Buah Pisang Raja Bulu (*Musa paradisiaca*) Setelah Pemeraman [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Walker JRL, Ferrar PH. 1998. Diphenol oxidases, enzyme-catalysed browning

- and plant disease resistance. *Biotechnol Genet Eng Rev.* 15(1):457–498.
- Warsiki E, Setiawan I, Hoerudin H. 2020. Sintesa komposit bioplastik pati kulit singkong-partikel nanosilika dan karakterisasinya. *J Kim dan Kemasan.* 42(2):37.
- Waryat W, Handayani Y. 2020. Implementasi jenis kemasan untuk memperpanjang umur simpan sayuran pakcoy. *J Ilm Respati.* 11(1):33–45.
- Waryat W, Nurawan A. 2022. Keragaan penanganan pasca panen mangga di kabupaten cirebon. *J Ilm Respati.* 13(1):64–74.
- Waryat, Yuliasih. 2018. Stabilitas bioplastik berbahan baku pati tapioka pada berbagai suhu penyimpanan. *J Ilm Respati.* 9(2):1–11.
- Wati RY. 2021. Bioplastik Ddari Bagasse dan Tongkol Jagung dengan Penambahan Dimethyl Phthalate [Skripsi]. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Wibowo AS. 2022. Efektifitas Berbagai Jenis Kemasan Terhadap Mutu Fisik Buah Naga Merah (*Hlyocereus polyrhizus*) [Skripsi]. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Wicaksono ADP, Hermawan A. 2021. Pengaruh cahaya dan kualitas citra dalam klasifikasi kematangan pisang cavendish berdasarkan ciri warna menggunakan artificial neural network. *MATRIK J Manajemen, Tek Inform dan Rekayasa Komput.* 21(1):215–228.
- Widiati A. 2020. Peranan kemasan (packaging) dalam meningkatkan pemasaran produk usaha mikro kecil menengah (UMKM) di “Mas Pack” terminal kemasan pontianak. *JAAKFE UNTAN (Jurnal Audit dan Akunt Fak Ekon Univ Tanjungpura).* 8(2):67–76.
- Widodo WD, Suketi K, Rahardjo R. 2019. Evaluasi kematangan pascapanen pisang barangan untuk menentukan waktu panen terbaik berdasarkan akumulasi satuan panas. *Bul Agrhorti.* 7(2):162–171.
- Yulianto D, Whidhiasih RN, Maimunah M. 2018. Klasifikasi tahap kematangan pisang ambon berdasarkan warna menggunakan naive bayes. *PIKSEL Penelit Ilmu Komput Sist Embed Log.* 5(2):60–67.
- Yuliasih I, Raynasari B. 2014. Pengaruh Suhu Penyimpanan Terhadap Sifat Fisik Mekanik Kemasan Plastik Ritel. *Prosdlng Semin Naslonal Kullt, Karet, dan Plastlk ke-3 Yogyakarta.*, siap terbit.
- Zaky MA, Pramesti R, Ridlo A. 2021. Pengolahan bioplastik dari campuran gliserol, cmc dan karagenan. *J Mar Res.* 10(3):321–326.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Diagram alir prosedur penelitian

