

BAB IV. HASIL dan PEMBAHASAN

IV.1. Ekstrak Daun Salam (DS)

Penelitian ini mengkaji penambahan ekstrak Daun Salam (DS) ke dalam polivinil alkohol (PVA) untuk meningkatkan sifat anti-UV dan sifat mekanik seperti kekuatan tarik. Hasil dari analisis fitokimia mengkonfirmasi keberadaan senyawa bioaktif dalam ekstrak DS, seperti *quercetin* (salah satu jenis flavonoid), fenol, terpenoid, steroid, dan klorofil seperti yang dipaparkan pada Tabel 7. Sedangkan jumlah kandungan senyawa bioaktif DS tertera pada Tabel 8. Selain itu, DS memiliki aktivitas antioksidan yang kuat sebagaimana ditentukan oleh nilai konsentrasi penghambatan 50% (IC_{50}) kurang dari 50, yaitu sebesar 29.99 ± 0.27 ppm menggunakan radikal bebas *DPPH* (*1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl*) dengan konsentrasi 0.2 mM (miliMolar).

Tabel 7. Fitokimia DS

Flavonoid ⁽¹⁾	Fenol ⁽²⁾	Alkaloid ⁽³⁾	Terpenoid ⁽⁴⁾	Steroid ⁽⁴⁾	Saponin ⁽⁵⁾
+	+	-	+	+	-

Note: (+) terdeteksi.

(1). *Mg-hydrochloride reduction test*. (2). *Ferric chloride test*. (3). *Mayer's test* (4). *Liebermann-Bouchard test*. (5). *Foam test*.

Tabel 8. Senyawa bioaktif DS

Fenol ⁽¹⁾ (mgGAE/g)	Flavonoid ⁽²⁾ (mEQ/g)	Klorofil ⁽³⁾ (mg/g)
41.61 ± 0.02	3.87 ± 0.00	1.78 ± 0.01

(1). *Method of Folin-Ciocalteu (Gallic acid) with spectrophotometer Agilent Cary 8454 UV-Vis*. (2). *Method of calorimetry AlCl₃ (Quercetin)*

*with spectrophotometer Agilent Cary 8454 UV-Vis. (3).
Spectrophotometer Agilent Cary 8454 UV-Vis.*

Keberadaan *quercetin*, flavonoid yang dikenal karena sifat antioksidannya, bersama dengan senyawa fenolik lainnya, berkontribusi secara signifikan terhadap kemampuan pemblokiran sinar UV dari film PVA/DS. Senyawa-senyawa ini efektif dalam menyerap radiasi sinar UV, mencegahnya menembus film sehingga melindungi isi yang berada didalamnya. Sifat ini penting untuk aplikasi film sebagai kemasan makanan, dikarenakan perlindungan isi kemasan dari degradasi yang disebabkan oleh sinar UV menjadi hal utama. Sifat antioksidan *quercetin* juga membantu dalam menstabilkan matriks film, yang berpotensi meningkatkan daya tahan film PVA/DS. Selain itu, keberadaan terpenoid dalam ekstrak DS menambah dimensi lain pada fungsionalitas film. Terpenoid, sebagai golongan senyawa organic, dikenal karena sifat antimikroanya dapat memberikan fitur perlindungan tambahan, seperti menghambat pertumbuhan mikroorganisme, sehingga memperpanjang masa simpan produk. Aspek ini sangat bermanfaat dalam aplikasi pengemasan makanan, mempertimbangkan kebersihan dan pencegahan terhadap kontaminasi mikroba merupakan hal yang penting.

Hasil penelitian ini memiliki implikasi yang signifikan bagi pengembangan bahan kemasan yang berkelanjutan. Penggunaan ekstrak alami seperti DS dalam polimer seperti PVA tidak hanya mengurangi ketergantungan pada plastik berbasis minyak bumi tetapi juga menghadirkan manfaat fungsional, seperti peningkatan sifat mekanis, perlindungan UV, dan potensi sifat antimikroba. Penggabungan senyawa bioaktif dari sumber alami sejalan dengan tren yang berkembang menuju bahan yang ramah lingkungan dalam industri pengemasan. Seiring dengan semakin sadarnya konsumen terhadap lingkungan, permintaan akan bahan kemasan yang dapat terurai secara alami dan berbasis bio diperkirakan akan meningkat, sehingga inovasi seperti film campuran PVA/DS semakin relevan.

Selain itu, kemampuan PVA/DS dalam menghalangi cahaya tampak biru-ungu dan merah sambil mempertahankan visibilitas sangat penting untuk aplikasi praktis. Sifat ini memastikan bahwa produk yang membutuhkan transparansi, seperti makanan dan farmasi, dapat dikemas tanpa mengorbankan perlindungan dari cahaya yang berbahaya. Pemblokiran cahaya biru-ungu yang efektif juga menguntungkan untuk produk yang sensitif terhadap panjang gelombang ini, yang dapat menyebabkan degradasi dan

hilangnya potensi pada senyawa tertentu. Memahami interaksi antara matriks polimer dan senyawa bioaktif dapat mengarah pada pengembangan bahan pengemasan yang lebih terarah dan efektif. Selain itu, mengeksplorasi skalabilitas proses ekstraksi dan produksi film sangat penting untuk kelayakan komersial. Efektivitas biaya bahan ini, dibandingkan dengan plastik konvensional, akan memainkan peran penting dalam adopsi bahan-bahan ini oleh industri pengemasan.

IV.2. Transparansi dan Transmitansi Cahaya

Transparansi dan transmitansi cahaya dari PVA dan PVA/DS dengan beragam % berat dari DS ditunjukkan pada Gambar 21. Penambahan DS kedalam PVA dapat mengurangi transmitansi sinar UV. Hal ini disebabkan keberadaan senyawa *quercetin* yang berperan sebagai penyerap UV karena adanya gugus hidroksil yang terkonjugasi pada cincin aromatik (Nguyen *et al.*, 2021). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21 a dan dirangkum dalam Tabel 9, pengurangan transmisi akan bervariasi tergantung pada % berat DS. Menariknya, PVA/DS1 dapat sepenuhnya memblokir sinar UV, jenis radiasi yang paling berbahaya. Hasil serupa juga diamati oleh peniliti lain ketika senyawa polifenol dari ekstrak tanaman dikombinasikan dengan PVA yang berfungsi sebagai agen penyerap UV (Li *et al.*, 2019; Koopmann *et al.*, 2020).

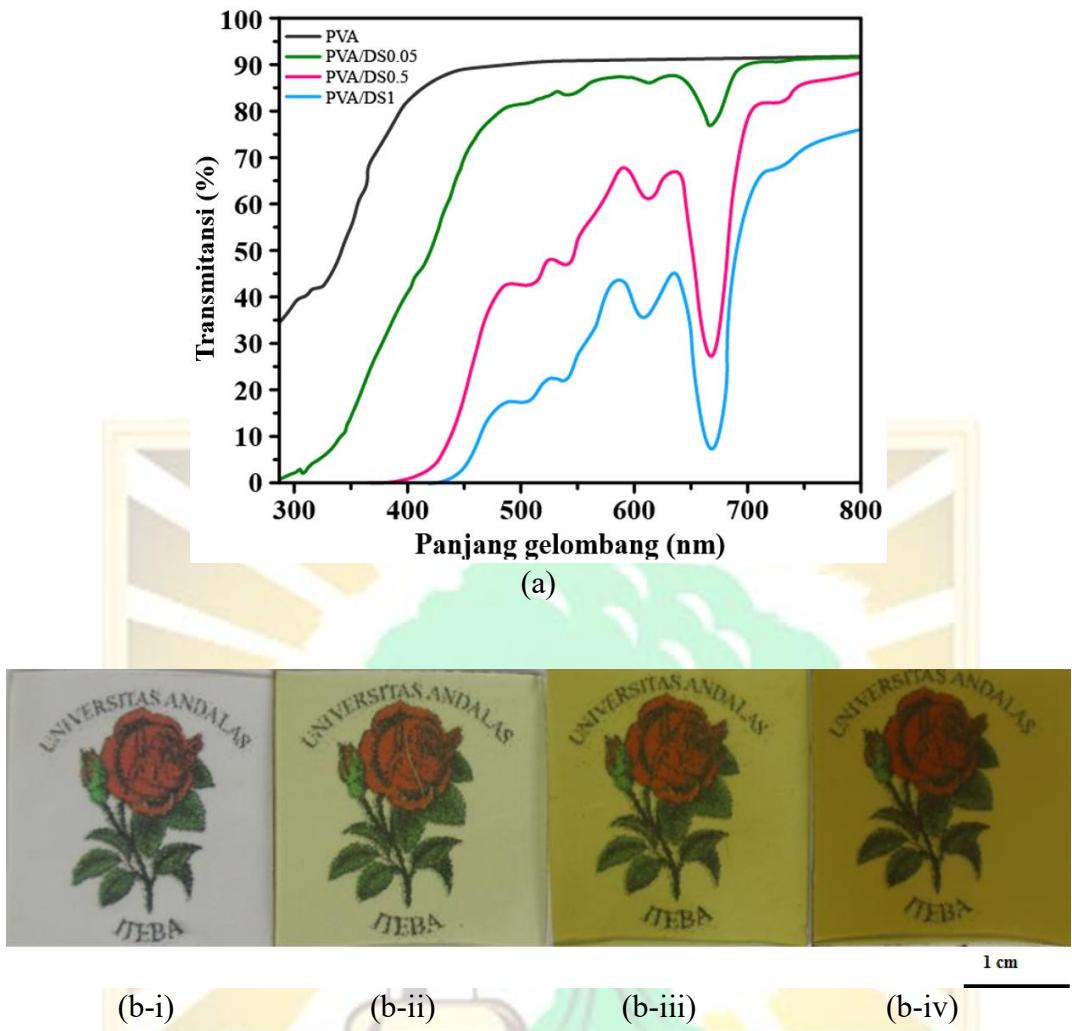
Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 21 b (i), PVA memiliki persentase transmitansi yang tinggi di spektrum cahaya tampak (600 nm). Ketika kandungan DS dalam PVA meningkat, transparansi film berkurang (Gambar 21 b (ii-iv)). Ketika kandungan DS mencapai 1 % berat, transparansi cahaya menjadi paling rendah, namun, gambar bunga masih terlihat jelas di bawah film. Dengan demikian nilai opasitas film akan meningkat seiring dengan penambahan % berat dari DS ke dalam PVA. Namun, semua nilai opasitas masih dibawah 2, yang menunjukkan bahwa semua sampel dapat dianggap sebagai film transparan (Haghghi *et al.*, 2021; Lei *et al.*, 2021) . Opasitas (indeks transparansi) digunakan sebagai parameter pengganti % transparansi karena memberikan evaluasi sifat optik film yang lebih kuantitatif dan mempertimbangkan pengaruh ketebalan sampel (Guzman-Puyol *et al.*, 2022).

Pada spektrum Gambar 21 a, transmitansi cahaya tampak memiliki penurunan yang lebih kecil dibandingkan dengan spektrum sinar UV. Hal ini menunjukkan bahwa

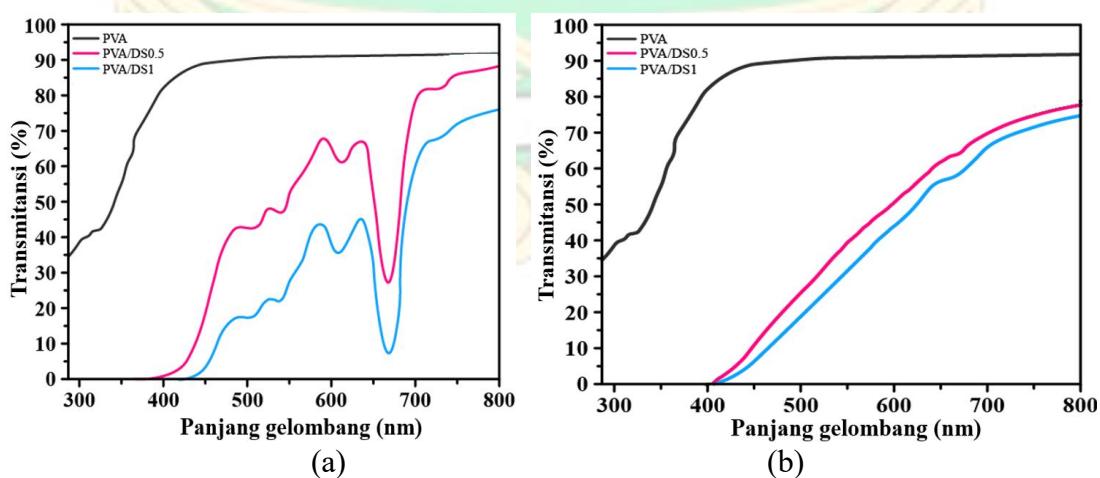
DS memiliki efek penghalang yang lebih kuat terhadap sinar UV daripada terhadap cahaya tampak. Sifat penghalang sinar UV merupakan salah satu persyaratan film PVA/DS sebagai bahan pengemas makanan. Karakteristik ini untuk memastikan kualitas produk tetap terjaga hingga tahap penggunaan oleh konsumen. Karena transmitansi sinar UV sebesar 3% sudah cukup untuk membuat perubahan kimia pada bahan di dalam kemasan (Chaudhary *et al.*, 2022a).

Menariknya, penghalang yang kuat terhadap cahaya merah dan ungu juga ada pada PVA/DS. Hal ini disebabkan keberadaan klorofil dalam ekstrak DS yang dibuktikan dengan kemunculan lembah baru pada panjang gelombang sekitar 668 nm yang mewakili warna merah, seperti ditunjukkan pada Gambar 21 a (Eghbali Babadi *et al.*, 2020; Rinawati *et al.*, 2020). Keberadaan klorofil ini hanya ditemukan pada sampel dimana proses ekstraksi menggunakan maserasi dilakukan pada serbuk DS secara langsung tanpa penyimpanan, seperti dipaparkan pada Gambar 21 a dan Gambar 22 a. Studi yang dilakukan penulis terhadap sampel dengan perlakuan serbuk DS disimpan sementara dalam botol kaca bening selama empat bulan telah merusak struktur dan fungsi klorofil, Gambar 22 b. Fenomena ini diperkuat oleh penelitian lain bahwa paparan sinar matahari, perubahan suhu ruangan, keberadaan oksigen yang dapat memicu proses oksidasi, dan kelembapan ruang penyimpanan akan menurunkan fungsi dan merusak struktur klorofil (Östbring *et al.*, 2020; Kwartiningsih *et al.*, 2021; Ebrahimi *et al.*, 2023).

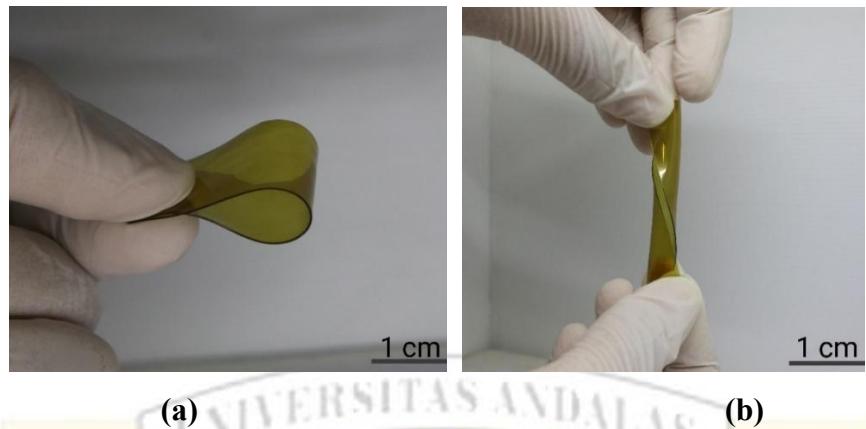
Selain itu, film campuran PVA/DS masih memiliki fleksibilitas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23 a dan 23 b pada saat dilakukan penekukan dan pemuntiran. Fleksibilitasnya dapat dikaitkan juga dengan adanya molekul minyak atsiri tanaman dari metabolisme sekunder DS, yang memiliki sifat plastisisasi. Pentingnya minyak atsiri dalam menjaga kinerja elastisitas dan karakteristik fisik lainnya dari film polimer telah divalidasi oleh penelitian yang dilakukan oleh Rojas *et al.* (2007) dan Rech *et al.* (2021). Film yang didapat juga mudah dilepaskan dari cawan Petri selama persiapan sampel tanpa kerusakan permukaan dan tidak menunjukkan pembengkakan ataupun gelembung. Dengan demikian, PVA/DS memiliki sifat transparansi, dapat dibentuk menjadi lembaran tipis serta karakteristik visual yang baik untuk menarik pelanggan sebagai bahan kemasan makanan. Film PVA/DS juga mampu menghalangi sinar UV, sinar merah dan ungu sehingga dapat menjaga kualitas makanan agar tetap segar yang pada akhirnya memperpanjang masa pakainya.



Gambar 21. Transmitansi: (a). Seluruh sampel (b). Opasitas: (b-i) PVA.
 (b-ii) PVA/DS0.05. (b-iii) PVA/DS0.5. (b-iv) PVA/DS1.



Gambar 22. Transmitansi bubuk DS: (a). Tanpa penyimpanan (b). Dengan penyimpanan.



Gambar 23. Fleksibilitas sampel PVA/DS1: (a). Penekukan (b). Puntiran

Tabel 9. Transmitansi cahaya dan opasitas

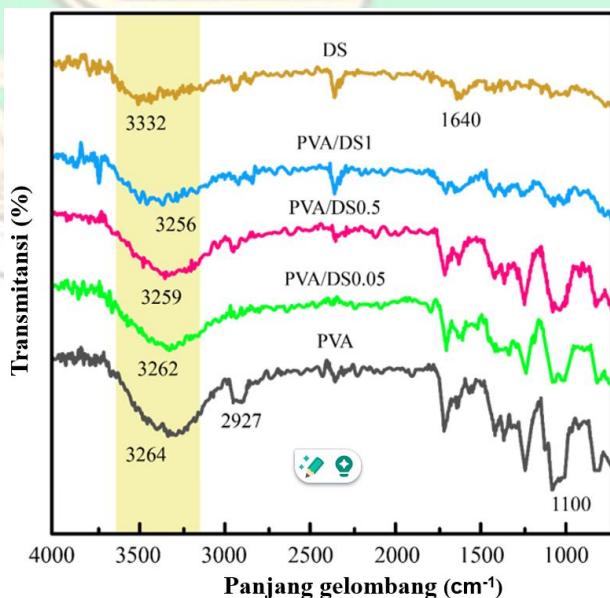
Kode Sampel	DS (% berat)	Ketebalan (mm)	Transmitansi, nm (%)			Opasitas, 600 nm
			400	600	668	
PVA	0.00	0.29	84.0	91.7	92.0	0.13
PVA/DS0.05	0.05	0.36	42.5	87.2	77.3	0.17
VA/DS0.5	0.50	0.32	2.5	64.5	27.3	0.60
PVA/DS1	1.00	0.30	0.0	39.8	7.9	1.30

IV.3. Spektrum FTIR

Spektrum *FTIR* pada Gambar 24 menggambarkan bagaimana penambahan ekstrak DS dapat berinteraksi dengan gugus fungsi rantai PVA. Spektrum puncak PVA dan PVA/DS yang didapat sesuai dengan hasil spektrum dari PVA/ekstrak tanaman pada penelitian sebelumnya. Panjang gelombang yang terkait dengan peregangan O-H dan C-H diidentifikasi masing-masing sekitar 3300 dan 2927 cm^{-1} (Abra et al., 2019; Posoknistakul et al., 2020). Peregangan O-H mengkonfirmasi keberadaan gugus -OH dari fenolik, dan peregangan C-H merupakan vibrasi dari gugus alkil (Abra et al., 2022; Chaudhary et al., 2022a). Vibrasi peregangan *quercetin* dikaitkan dengan peregangan C=O yang terdeteksi pada 1640 cm^{-1} . Sementara itu, adanya puncak pada 1100 cm^{-1} sesuai dengan vibrasi peregangan C-O dari asam karboksilat (Ismayati et al., 2024). Pola spektrum yang sama untuk semua sampel menunjukkan bahwa tidak ada perubahan dalam komposisi kimia PVA/DS.

Perubahan kedalaman (lembah) pada panjang gelombang sekitar 3300 cm^{-1} menunjukkan karakteristik kelembapan (penyerapan air) yang berbeda. Seperti yang ditunjukkan pada area yang diperbesar pada Gambar 24, lembah dangkal muncul dalam pola spektrum PVA/DS dan PVA karena penyerapan air. Hal ini disebabkan karena pemutusan dan pembentukan ikatan hidroksil baru yang dihasilkan oleh interaksi ikatan saling silang senyawa quercetin dalam DS (Yen *et al.*, 2008a). Interaksi ini telah dibuktikan dengan pergeseran spektrum -OH ke panjang gelombang yang lebih rendah dari frekuensi getarannya dari PVA (3264 cm^{-1}) ke PVA/DS0,05 (3262 cm^{-1}), PVA/DS0,5 (3259 cm^{-1}), dan PVA/DS1 (3256 cm^{-1}).

Dengan meningkatnya % berat DS, nilai regangan O-H dari transmitansi posisi puncak (T) PVA/DS menjadi lebih tinggi. T untuk PVA/DS0,05 (65,09%), PVA/DS0,5 (67,87%), PVA/DS1 (70,78%) pada panjang gelombang sekitar 3262 cm^{-1} , 3259 cm^{-1} dan 3256 cm^{-1} . Nilai-nilai ini lebih rendah daripada PVA (72,53%) pada 3264 cm^{-1} (Mahardika *et al.*, 2019). Modifikasi struktural ini sejalan dengan Gambar 25 mengenai pola XRD, yang menunjukkan bahwa puncak spektrum PVA/DS lebih rendah daripada PVA. Temuan ini juga sejalan dengan hasil Gambar 26 (kurva tegangan-regangan), penambahan DS secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik dan modulus PVA/DS. Hasil ini juga telah dikonfirmasi oleh penyerapan air (Gambar 27) bahwa kadar air dalam delapan jam PVA/DS1 kurang dari setengah PVA.

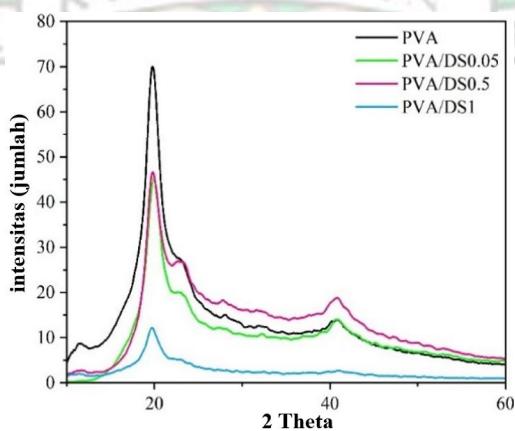


Gambar 24. Spektrum FTIR: DS, PVA dan PVA/DS

III.4. Difraksi Sinar-X

Pola *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk PVA dengan dan tanpa penambahan % berat DS ditunjukkan pada Gambar 25. Semua sampel menunjukkan tiga puncak difraksi yang sesuai dengan bidang kisi (101), (102), dan (200) dari kristal PVA (Chen *et al.*, 2018). Kesamaan puncak difraksi, sekitar $19,6^\circ$, $22,9^\circ$, dan $40,8^\circ$ menunjukkan bahwa keberadaan DS terdistribusi secara merata dalam PVA. Tabel 10 menunjukkan bahwa PVA memiliki nilai indeks kristalinitas (CI) yang lebih tinggi daripada PVA/DS. Penambahan DS, yang dianggap amorf menyebabkan penurunan kristalinitas PVA/DS (Chen *et al.*, 2018; Koopmann *et al.*, 2020). Namun, CI sedikit meningkat dengan 1% berat DS meskipun masih lebih rendah daripada PVA. Peningkatan CI ini disebabkan oleh kelebihan DS yang mengganggu kemampuan rantai PVA untuk mengkristal menjadi struktur yang teratur (Rahmadiawan *et al.*, 2024). Dengan demikian, PVA/DS1 memiliki CI tertinggi dalam PVA/DS. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya, penambahan ekstrak gambir kedalam PVA (Rahmadiawan *et al.*, 2022).

Pada puncak difraksi pada bidang kisi (200), penambahan DS menyebabkan sedikit perubahan dalam puncak difraksi (sekitar 40.8°). Hal ini menunjukkan bahwa jarak bidang (200) dari PVA/DS lebih besar daripada PVA. *Quercetin* dapat membuat ikatan hidrogen antar dan intramolekul dengan rantai PVA. Rantai PVA menjadi lemah sebagai hasil dari susunan rantai yang lebih rapat (Chen *et al.*, 2018; Xiao *et al.*, 2020; Kopka *et al.*, 2023). Hasil ini konsisten dengan analisis *FTIR* (Gambar 24) bahwa peningkatan % berat DS menyebabkan ikatan silang yang lebih aktif sehingga mengurangi gugus -OH bebas.



Gambar 25. Pola XRD

Tabel 10. Indek kristal (%)

PVA	PVA/DS0.05	PVA/DS0.5	PVA/DS1
37.61	23.30	22.40	31.30

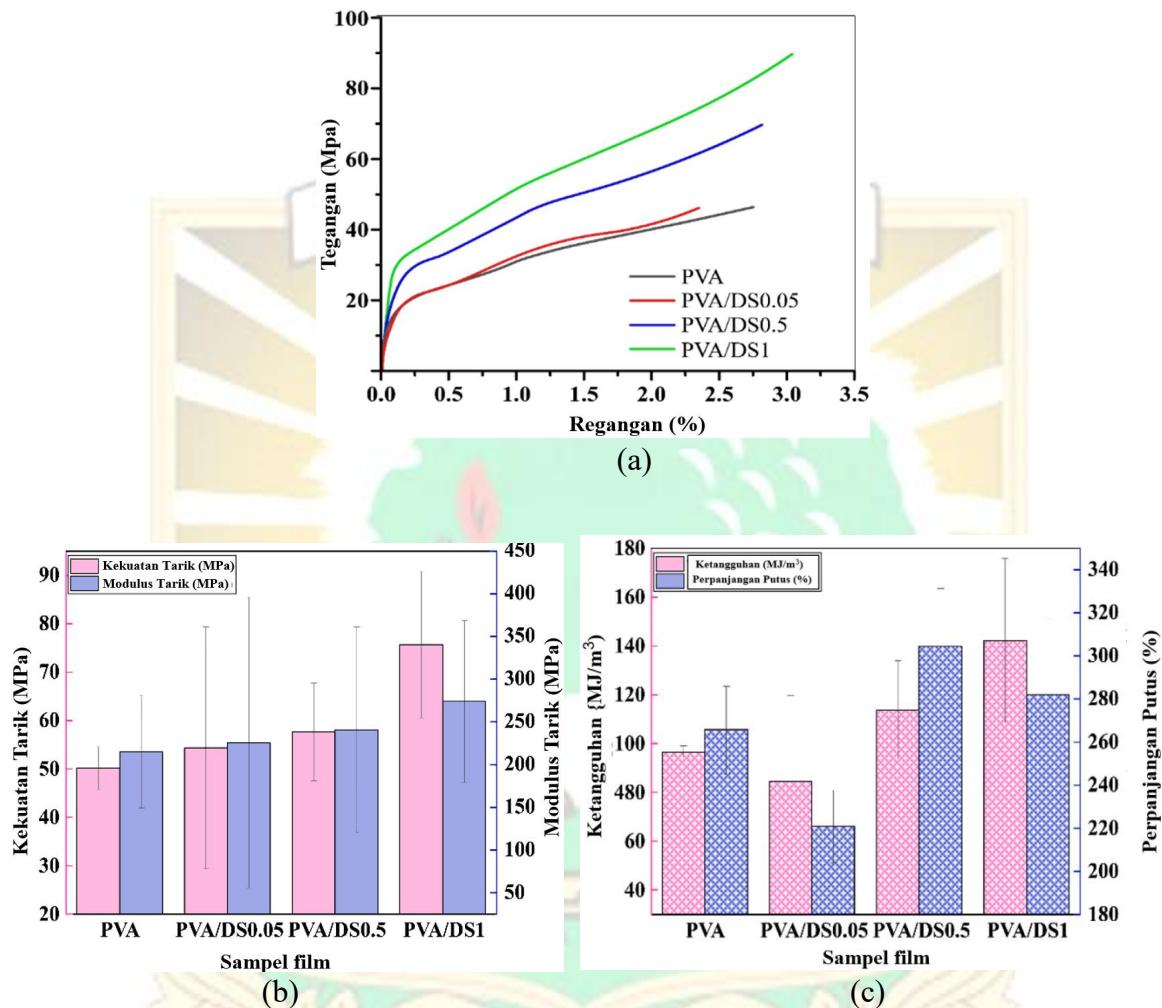
IV.5. Sifat Mekanik

Gambar 26 a menggambarkan deformasi elastis dan plastik (kurva tegangan-regangan) untuk seluruh sampel. Sedangkan nilai rata-rata ketangguhan (TN), perpanjangan putus (EB), modulus elastis (TM), dan kekuatan tarik (TS) ditunjukkan pada Tabel 11 dan Gambar 26 b-c. Sebagai catatan bahwa deviasi standar TS dan TM pada sampel PVA/DS0.05 lebih tinggi dibandingkan sampel lain dikarenakan adanya kegagalan pada saat menyiapkan spesimen sehingga data uji pada sampel tersebut tidak *valid*.

PVA memiliki TS dan TM terendah dari seluruh sampel. Peningkatan kekuatan tarik dan modulus terjadi ketika konsentrasi DS meningkat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan ikatan hidrogen antarmuka karena keberadaan *quercetin* DS, yang mencegah mobilitas dengan mengikat rantai PVA (Yen *et al.*, 2008b; Liao *et al.*, 2019). Dengan demikian, seperti yang dipaparkan pada Tabel 11, PVA/DS memenuhi sifat mekanik yang aman untuk aplikasi kemasan makanan.

Hasil ini selaras dengan kurva *FTIR* (Gambar 24) dan pola *XRD* (Gambar 25), yang menunjukkan bahwa ikatan -OH bergeser saat % berat DS meningkat. Selain itu, dispersi DS yang sangat baik dalam PVA yang dihasilkan oleh perlakuan sonikasi meningkatkan ikatan hidrogen. Hasil *FESEM* (Gambar 29) memvalidasi DS yang terdispersi dengan baik, yang menunjukkan patahan (*beach markings*) yang seragam di seluruh permukaan. Menariknya bahwa nilai TN dan EB tidak menurun saat nilai TS meningkat. Selain itu, PVA/DS1 menunjukkan kemampuan torsi dan fleksibilitas yang luar biasa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23. Hal ini disebabkan oleh hambatan perambatan yang semakin besar, yang menyebabkan titik retak memiliki jalur berliku yang lebih panjang (ditunjukkan oleh panah merah pada Gambar 29 d) dan karenanya meningkatkan

perpanjangan pada titik putus (Chen *et al.*, 2018; Abral *et al.*, 2022) . Hasil ini sejalan dengan Gambar 29 b-d, yang menggambarkan permukaan patahan yang lebih kasar daripada PVA (Gambar 29 a).



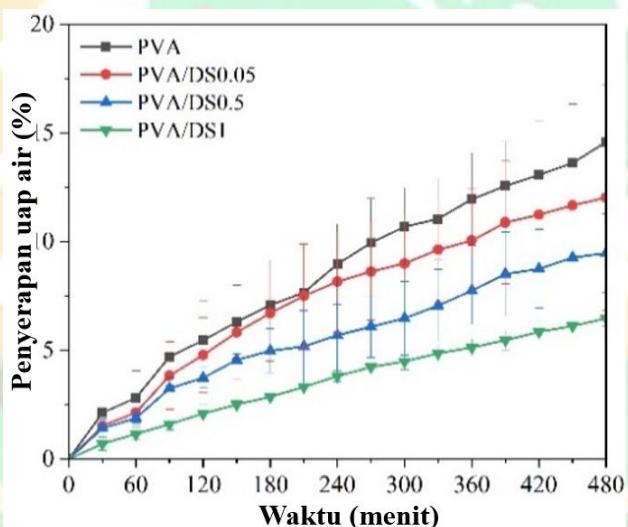
Gambar 26. Karakteristik mekanik: (a). Tegangan-regangan (b). Kekuatan tarik dan modulus elastis (c). Perpanjangan putus dan ketangguhan

Tabel 11. Kekuatan tarik, modulus elastis, perpanjangan putus dan ketangguhan

Kode sampel	Kekuatan tarik (MPa)	Modulus elastis (MPa)	Ketangguhan (MJ/m ³)	Perpanjangan putus (%)
PVA	50.13	215.27	96.52	265.40
PVA/DS0.05	54.35	225.53	84.54	220.80
PVA/DS0.5	57.64	240.80	113.73	304.43
PVA/DS1	75.67	274.50	142.25	281.94

IV.6. Penyerapan Kelembapan/Uap Air

Gambar 27 menunjukkan nilai penyerapan kelembapan/uap air (*MA*) untuk semua sampel selama delapan jam. Seperti yang dirangkum dalam Tabel 12, PVA memiliki nilai *MA* yang lebih tinggi daripada PVA/DS. Nilai *MA* PVA/DS berkurang seiring dengan kenaikan % berat DS ($p < 0,05$). Bahkan nilai *MA* PVA/DS1 kurang dari setengah nilai PVA selama delapan jam. Interaksi yang kuat atau ikatan silang antara PVA dan molekul *quercetin* DS berkontribusi pada performansi ini (Chaudhary *et al.*, 2022a). Keberadaan DS menurunkan kemampuan gugus hidroksil bebas dalam rantai PVA untuk menarik atom hidrogen, akibatnya mengurangi kapasitas untuk menyerap air dari lingkungan (Nyflött *et al.*, 2017).

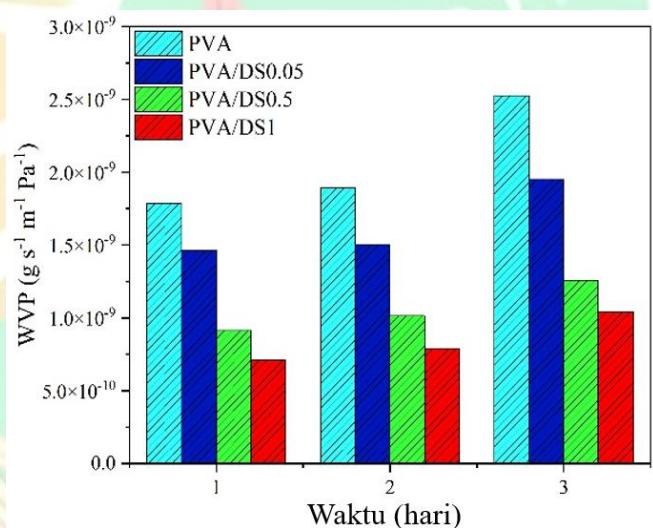


Gambar 27. Penyerapan uap air/kelembapan

IV.7. Permeabilitas Uap Air

Kualitas makanan dapat menurun jika kemasan yang digunakan tidak dapat menahan kelembapan yang ada di sekitarnya. Untuk itu diperlukan analisis permeabilitas uap air/*water vapour permeability* (*WVP*) untuk mengetahui permeabilitas dari film PVA/DS, seperti diilustrasikan pada Gambar 28. Dengan penambahan % berat DS maka laju perpindahan uap air akan menurun. Penurunan ini dapat disebabkan karena ikatan

hidrogen antara senyawa *quercetin* daun salam dan polimer PVA dalam ikatan saling silang. Selain itu kepekaan gugus -OH dalam PVA yang bertanggung jawab atas penyerapan kelembapan dapat dikurangi dengan keberadaan quercetin daun salam yang bersifat hidropobik (Chaudhary *et al.*, 2022a; Nyflött *et al.*, 2017). Seiring berjalannya waktu, nilai *WVP* akan naik dimana laju peningkatan per hari untuk PVA lebih tinggi dibandingkan PVA/DS. Gradien peningkatan *WVP* selama hari kedua dan ketiga untuk PVA (33%) lebih tinggi daripada untuk PVA/DS0,5 (24%). Hal ini menunjukkan bahwa PVA/DS memiliki stabilitas yang baik pada *WVP*. Hasil ini sesuai dengan analisis *FTIR* (Gambar 24), bahwa peningkatan % DS akan mengurangi gugus -OH bebas sehingga meminimalkan penyerapan air. Hasil serupa juga dikonfirmasi dalam artikel lain ketika senyawa polifenol dari ekstrak kulit bawang putih dimasukkan kedalam PVA (Chaudhary *et al.*, 2022a).



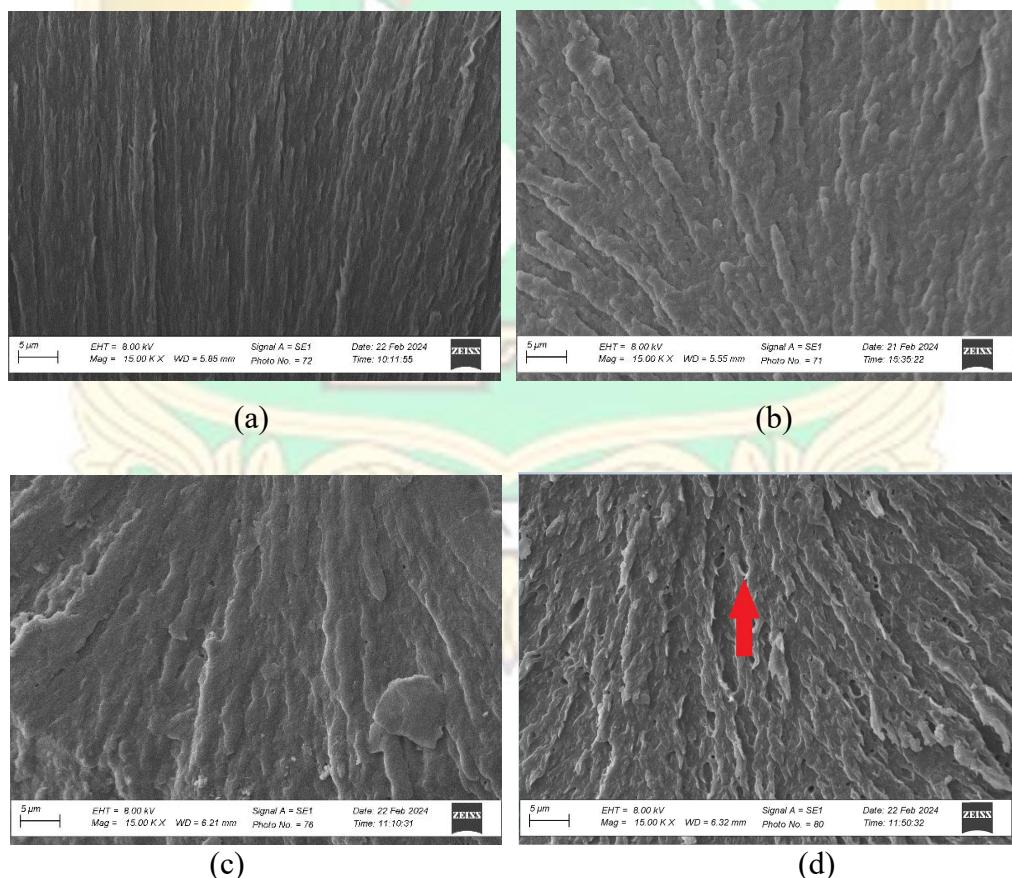
Gambar 28. Permeabilitas uap air

Tabel 12. Penyerapan kelembapan dan permeabilitas uap air

Kode sampel	% MA (setelah 8 jam)	<i>WVP (ng.s⁻¹.m⁻¹.Pa⁻¹)</i>		
		Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3
PVA	14.59	0.91	1.01	1.26
PVA/DS0.05	12.03	0.71	0.79	1.04
PVA/DS0.5	9.47	0.91	1.01	1.26
PVA/DS1	6.48	0.71	0.79	1.04

IV.8. Morfologi Permukaan Patahan

Gambar 29 merupakan hasil *FESEM* permukaan patahan (*fractured Surface*) pada seluruh sampel uji tarik. PVA memiliki permukaan patahan (*shear bands*) yang homogen (Gambar 29 a), sedangkan PVA/DS1 lebih kasar. Interaksi ikatan silang yang kuat karena adanya senyawa *quercetin* telah menghasilkan penghalang perambatan retakan (Chen *et al.*, 2018). Saat konsentrasi DS meningkat, lebih banyak ikatan terbentuk, menghasilkan permukaan yang lebih kasar (Gambar 29 b-d). Hasil serupa konsisten dengan penelitian sebelumnya (Abrial *et al.*, 2022). Bentuk patahan yang berkelok-kelok (*tortuous fracture*) yang menunjukkan bagaimana rambatan retakan dapat dihambat memunculkan struktur mikroskopis yang disebut *beach marks* (ditunjukkan oleh panah merah pada Gambar 29 d) (Abrial *et al.*, 2020). Dapat disimpulkan bahwa perambatan ujung retakan yang panjang dan berbelok belok berkorelasi dengan kekasaran permukaan tertinggi.



Gambar 29. Morfologi permukaan patahan: (a) PVA (b) PVA/DS0.05
c) PVA/DS0.5 (d) PVA/DS1.

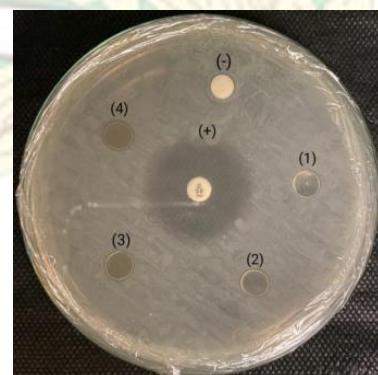
IV.9. Antimikroba (Antibakteri)

Adanya aktivitas antibakteri dari DS telah dikonfirmasi oleh uji 5% DS murni (tanpa PVA) terhadap bakteri gram negatif, *Staphylococcus aureus* (SA) dengan diameter penghambatan bakteri rata-rata $8,45 \pm 0,34$ mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 30 a (panah oranye). Namun, penambahan DS ke dalam PVA tidak menunjukkan aktivitas antibakteri dari semua sampel terhadap bakteri gram negative SA, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 30 b. Kemungkinan karena kandungan DS yang rendah (konsentrasi efektif tidak tercapai) atau difusivitas rendah pada matriks PVA, sehingga sampel film tidak menunjukkan aktivitas antimikroba yang terlihat untuk SA (Chaudhary *et al.*, 2022b).

Meskipun tidak terbentuk zona hambat, pengamatan visual menunjukkan adanya perbedaan intensitas warna medium agar di sekitar sampel, terlihat sampel dengan kadar ekstrak lebih tinggi PVA/DS1 (no. 4) menghasilkan warna yang lebih gelap dibandingkan sampel dengan kadar ekstrak lebih rendah. Fenomena ini mengindikasikan adanya difusi pigmen atau pelepasan senyawa fenolik dari DS dari matriks PVA ke dalam medium agar. Namun demikian, perubahan warna tersebut tidak dapat diinterpretasikan sebagai aktivitas antibakteri, karena tidak disertai dengan terbentuknya zona bening sebagai indikator penghambatan pertumbuhan bakteri. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa aktif yang terlepas ke medium kemungkinan belum mencapai konsentrasi hambat minimum, atau difusivitas senyawa aktif terhambat oleh matriks polimer PVA (Wu *et al.*, 2017; Olmos and González-benito, 2021).



(a)



(b)

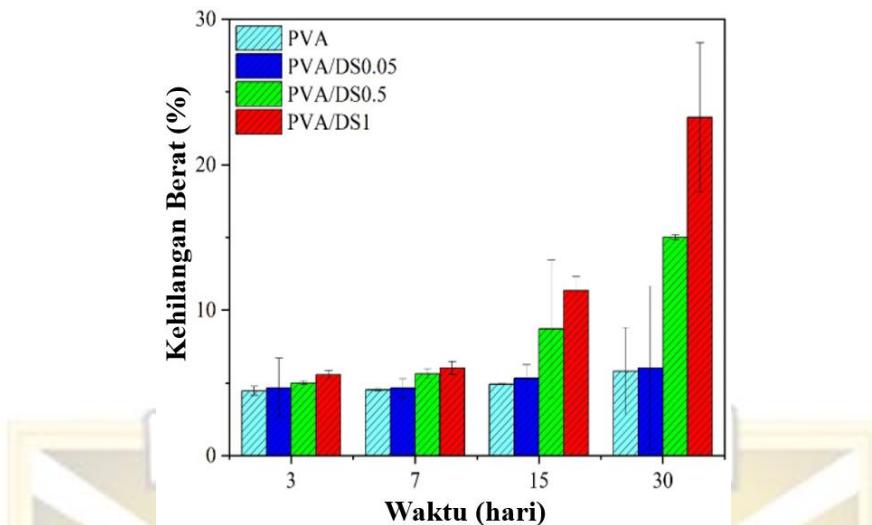
Gambar 30. Antibakteri: (a) 5% DS. (b) (1) PVA. (2) PVA/DS0.05. (3) PVA/DS0.5. (4) PVA/DS1. (-) kontrol negatif (*DMSO*). (+) kontrol positif (kloramfenikol)

IV.10. Biodegradabilitas

Penurunan massa sampel selama penguburan dalam tanah menunjukkan tingkat biodegradabilitas. PVA/DS1 memiliki tingkat pembusukan terbesar jika dibandingkan dengan sampel lain, seperti yang terlihat pada Tabel 13 dan Gambar 31. Alasannya adalah interaksi ikatan silang fisik quercetin DS, senyawa fenolik, yang memutus ikatan hidroksil yang ada dan menciptakan ikatan baru (Koopmann *et al.*, 2020). Film PVA/DS memiliki lebih sedikit gugus ikatan hidrogen O-H bebas, dan film menyerap lebih sedikit air, sehingga kehilangan massa meningkat seiring waktu.

Hasilnya selaras dengan penelitian lain bahwa flavanoid (polifenol) dapat mengurangi kristalinitas PVA, membuat film lebih amorf (Abra *et al.*, 2022), seperti yang dikonfirmasi oleh hasil *XRD* (Gambar 25). Material amorf cenderung lebih mudah terdegradasi karena lebih mudah diakses oleh enzim dan mikroorganisme. Hasil *FTIR* (Gambar 24) yang mengonfirmasi penurunan kadar air, yang ditunjukkan oleh pergeseran kedalaman puncak. Alasannya adalah interaksi ikatan silang *quercetin* DS, komponen fenolik, yang memutus ikatan hidroksil yang ada dan menciptakan ikatan baru (Yen *et al.*, 2008a).

Hasilnya juga sejalan dengan penelitian lain, karena PVA memiliki laju biodegradasi yang lambat, para peneliti telah berkonsentrasi untuk meningkatkan kualitasnya dengan mencampurnya dengan berbagai jenis dan jumlah sumber bio-alami yang ramah lingkungan (Elgharbawy *et al.*, 2024). Secara keseluruhan, penggabungan DS ke dalam PVA telah meningkatkan kehilangan massa PVA/DS, sehingga meningkatkan biodegradabilitas material. Sinergisme antara kemampuan bercampur dan biodegradabilitas alami dalam film campuran polimer dengan menggabungkan zat tambahan metabolisme tanaman, seperti flavanoid, dapat menawarkan aplikasi potensial yang lebih besar (Yen *et al.*, 2008a).



Gambar 31. Penurunan massa

Tabel 13. Penurunan massa dan suhu desintegrasi maksimal

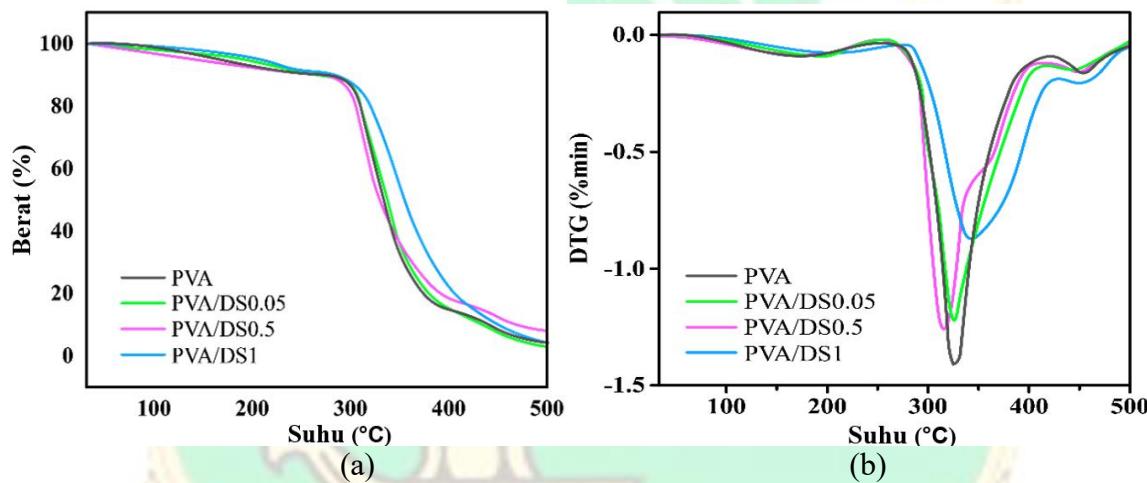
Kode sampel	DS (% berat)	T_{max} (°C)	Penurunan massa (%)			
			Hari ke-3	Hari ke-7	Hari ke-15	Hari ke-30
PVA	0.00	394.55	4.45	4.52	4.91	5.81
PVA/DS0.05	0.05	396.17	4.67	4.64	5.31	6.02
PVA/DS0.5	0.50	392.59	4.99	5.64	8.70	15.00
PVA/DS1	1.00	405.07	5.57	6.02	11.35	23.25

IV.11. Termogravimetri

Kurva *Thermogravimetry Analysis (TGA)* and *Derivative (DTG)* untuk film PVA dan PVA/DS ditunjukkan pada Gambar 32 a dan 32 b. Semua sampel mengikuti tiga tahap degradasi termal. Tahap pertama adalah tahap kehilangan massa, mulai dari 80°C sampai dengan 300°C yang merupakan pelepasan kadar air (kelembapan) karena sifat hidrofilik yang tinggi (Liu *et al.*, 2022). Pada tahap kedua dari 300°C ($\sim T_{onset}$) hingga 465°C, terjadi penurunan massa secara drastis karena kerusakan area kristal dan depolimerisasi PVA (Chaudhary *et al.*, 2022a). Menambahkan ekstrak tanaman DS ke dalam PVA akan memberikan stabilitas termal yang baik pada tahap ini. Kehadiran *quercetin* akan memberikan ikatan hidrogen antarmuka (*interfacial hydrogen*) yang kuat, yang akhirnya mengurangi pergerakan rantai PVA pada saat menyerap panas. Sehingga diperlukan energi yang besar untuk memecah PVA/DS karena kepadatan ikatan silang

(crosslinking) dari rantai polimer (Abra et al., 2020; Quideau et al., 2011; Liao et al., 2019).

Data yang diperoleh sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya (Abra et al., 2022), yang meneliti pengaruh polifenol pada *Uncaria Gambir* (UG) terhadap film PVA/UG. Suhu sampel pada laju disintegrasi maksimum (T_{\max}) selama tahap kedua dirangkum dalam Tabel 13. T_{\max} meningkat setelah DS ditambahkan ke PVA, dengan nilai T_{\max} film PVA/DS lebih besar daripada PVA. Kehilangan massa pada tahap ketiga terjadi dengan pemanasan tambahan hingga suhu di atas 465°C dimana terjadi pelepasan semua zat yang mudah menguap serta terjadi kerusakan menyeluruh untuk membentuk abu (Abra et al., 2020).



Gambar 32. Termogravimetri (a) TGA dan (b) DTG

Nilai awal degradasi (di atas 200°C) menunjukkan bahwa material berada dalam rentang operasi yang aman pada suhu penggunaan dan pemrosesan sebagai plastik kemasan makanan. Kondisi ini menandakan bahwa material tidak mengalami degradasi termal dini yang dapat menghasilkan senyawa volatil berbahaya atau menurunkan sifat mekanik secara signifikan. Dengan demikian, material dinilai aman digunakan pada aplikasi suhu rendah hingga menengah, karena stabilitas termalnya mampu mencegah perubahan struktur kimia yang tidak diinginkan selama penyimpanan, penggunaan, maupun proses fabrikasi. T_{onset} yang tinggi juga mencerminkan margin keamanan termal yang memadai terhadap risiko kerusakan material akibat paparan panas tidak terkontrol (Azeredo, 2009; Chen et al., 2023).

BAB V. KESIMPULAN dan SARAN

Ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum* Wight)/DS berwarna coklat kehijauan didapat dari proses maserasi dan evaporasi (rotary evaporator). Efisiensi ekstraksi (yield) sebesar $8\pm0,5\%$ diperoleh dari setiap 10 g daun salam. Hasil dari analisis fitokimia mengkonfirmasi keberadaan senyawa bioaktif dalam DS, seperti quercetin (senyawa flavonoid), fenol, terpenoid, steroid dan klorofil. DS juga memiliki aktivitas antioksidan yang kuat dengan nilai konsentrasi penghambatan 50% (IC_{50}) kurang dari 50, yaitu sebesar 29.99 ± 0.27 ppm. Sifat antioksidannya berkontribusi secara signifikan terhadap kemampuan pemblokiran sinar-UV serta membantu dalam menstabilkan matriks polimer sehingga meningkatkan daya tahan film PVA/DS.

Hasil dari karakterisasi menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam fungsional film PVS/DS. Kemampuan film PVA/DS1 dalam menyerap 100% radiasi UV yang berbahaya merupakan suatu persyaratan sebagai bahan pelindung terhadap degradasi yang disebabkan oleh sinar-UV. Selain itu, kemampuan penyerapan cahaya tampak, seperti warna biru-ungu dan merah merupakan suatu potensi yang perlu dikaji lebih lanjut. Yang menarik bahwa PVA/DS tetap mempertahankan transparansi yang diperlukan, suatu karakteristik yang sangat penting untuk aplikasi dalam kemasan makanan,

Nilai kekuatan tarik (TS), modulus elastis (TM), ketangguhan (TN) dan kepanjangan putus (EB) PVA/DS masing masing sebesar 75,67 MPa, 274,50 MPa, 142,25 MJ/m³ dan 281,94%, meningkat sebesar 50,95%, 27,51%, 47,38% dan 6,23% dibandingkan dengan PVA murni. Hasil analisis termogravimetri menunjukkan peningkatan T_{onset} dan T_{max} setelah DS ditambahkan kedalam PVA. Penyerapan air PVA/DS1 menurun lebih dari setengahnya setelah 8 jam, dan elastisitasnya meningkat karena peran quercetin sebagai *plasticizer*. Namun, film PVA/DS tidak menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*, kemungkinan karena kandungan DS yang rendah, meskipun ekstrak DS murni sudah dikonfirmasi memiliki sifat antibakteri. Dalam uji biodegradabilitas,

penurunan massa PVA/DS1 mencapai 23.25% dibandingkan dengan PVA (5,81%) selama 30 hari.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 7188.7) tentang kriteria ecolabel kemasan plastik bahwa polimer baru PVA/DS telah memenuhi standar yang ditetapkan. Dimana kekuatan tarik, perpanjangan putus serta modulus elastis/Young melebihi kriteria dengan batas minimum masing masing 10 MPa, 20% dan 100 MPa). Hal ini diperlukan untuk mencegah sobek saat pengemasan, ketahanan terhadap deformasi serta untuk memastikan keseimbangan antara kekakuan dan kelenturan. Dengan demikian, PVA/DS memenuhi sifat fisik, mekanik serta termal yang aman untuk aplikasi kemasan makanan. Hasil studi ini merupakan pondasi penting, mengingat meningkatnya permintaan akan alternatif kemasan yang berkelanjutan dan dapat terurai secara alami. Film PVA/DS menawarkan sebagai pengganti yang ramah lingkungan dari plastik berbasis minyak bumi, sejalan dengan upaya global untuk mengurangi dampak lingkungan. Penelitian di masa mendatang perlu kajian lanjut dalam aspek:

- metoda ekstrak untuk meningkatkan % *yield* (rendemen);
- penggunaan bakteri lain dan jamur dalam uji antimikroba;
- peningkatan % DS dalam uji antimikroba;
- melakukan uji *oxygen permeability*;
- memvariasikan waktu dan power sonikasi;
- membuat variasi kondisi penyimpanan dalam persiapan DS.

Peningkatan skala produksi dan penilaian efektivitas biaya akan menjadi penting untuk komersialisasi. Dengan penyempurnaan, film PVA/DS memiliki potensi signifikan untuk mengurangi jejak lingkungan dari bahan kemasan plastik dan berkontribusi pada pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan.