



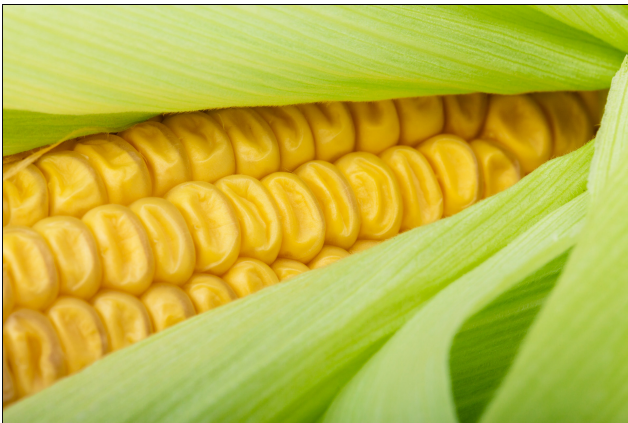
ARTIKEL PENELITIAN

Optimasi kondisi operasi pembuatan plastik biodegradable dari selulosa tongkol jagung dan pati kulit singkong dengan penambahan PVa dan TiO₂ sebagai smart packaging

Dian Nirmala Wening¹ and Rizka Amalia^{1,*}

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275, Indonesia

Disubmit 07 September 2022; direvisi 19 Januari 2023; diterima 31 Januari 2023



OBJECTIVES Biodegradable plastic is plastic that is easily decomposed and can be made from materials containing starch, cellulose and other carbohydrates. Several agricultural wastes such as corn cobs with 41% cellulose content and cassava peels with 22-59% starch content have the potential to be used as materials for making environmentally friendly biodegradable plastic films. **METHODS** In this study, optimization of the operating conditions for the manufacture of biodegradable plastic from corncob cellulose and cassava peel starch was carried out with the addition of PVa and TiO₂ as smart packaging using factorial design 2³. Biodegradable plastic products were tested for water resistance, biodegradability, tensile strength, elongation and application properties. as antioxidant cut apple packaging, to then be analyzed for its ability to inhibit oxidation reactions. **RESULTS** The best absorption results were obtained in the 7th sample, namely 17.02%. The highest biodegradation value was in the second sample of 60.19% for 1 week. Then the highest tensile strength value is in the 6th sample with a percentage of 2.99% (based on JIS 2-1707 standard for minimum tensile strength of bioplastic films 4 KgF/cm² or 0.392 Mpa). The highest elongation value was obtained in the 5th experiment of 2.99%. **CONCLUSIONS** Apples wrapped in biodegradable plastic with high TiO₂ content and corncob cellulose have a longer shelf

KEYWORDS biodegradable plastic; cassava peel starch; corn-

cob cellulose; PVa; TiO₂

TUJUAN Plastik *biodegradable* merupakan plastik yang mudah terurai serta dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung pati, selulosa dan karbohidrat lainnya. Beberapa limbah pertanian seperti tongkol jagung dengan kandungan selulosa 41% dan kulit singkong dengan kandungan pati 22-59% memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan pembuatan film plastik biodegradasi yang ramah lingkungan. **METODE** Pada penelitian ini telah dilakukan optimasi kondisi operasi pembuatan plastik *biodegradable* dari selulosa tongkol jagung dan pati kulit singkong dengan penambahan PVa dan TiO₂ sebagai smart packaging menggunakan *factorial design* 2³. Produk plastik *biodegradable* dilakukan pengujian terhadap sifat ketahanan air, biodegradabilitas, kuat tarik, elongasi serta diaplikasikan sebagai kemasan buah apel potong antioksidan, untuk kemudian dianalisis kemampuannya dalam menghambat reaksi oksidasi. **HASIL** Hasil daya serap terbaik didapatkan pada sampel ke-7 yaitu 17,02%. Nilai biodegradasi tertinggi pada sampel ke-2 sebesar 60,19% selama 1 minggu. Kemudian nilai kuat tarik tertinggi pada sampel ke-6 dengan presentase sebesar 2,99% (berdasarkan JIS 2-1707 standar kuat tarik film bioplastik minimal 4 KgF/cm² atau 0,392 Mpa). Nilai elongasi tertinggi diperoleh pada percobaan ke-5 sebesar 2,99%. **KESIMPULAN** Apel yang dibungkus plastik *biodegradable* dengan kandungan TiO₂ dan selulosa tongkol jagung yang tinggi memiliki daya simpan lebih lama.

KATA KUNCI pati kulit singkong, plastik *biodegradable*, PVa, selulosa tongkol jagung, TiO₂

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan material yang banyak digunakan dalam kehidupan masyarakat. Saat ini lebih dari 30 juta ton plastik digunakan untuk bahan kemasan dikarenakan mempunyai sifat ringan, mudah digunakan dan harganya terjangkau (Asni dkk. 2015). Penguraian sampah plastik berdampak *negative* bagi lingkungan karena pembakaran akan menghasilkan senyawa dioksin yang berbahaya bagi kesehatan (Agustin dan Padmawijaya 2016). Upaya yang dapat dilakukan untuk

*Korespondensi: diannirmala39@gmail.com

mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan potensi alam yang dikembangkan menjadi plastik *biodegradable*.

Plastik *biodegradable* merupakan plastik yang terbuat dari bahan yang mudah diuraikan, seperti pati, selulosa dan karbohidrat lainnya (Handayani dan Wijayanti 2015). Ketersediaan bahan dasarnya di alam sangat melimpah dengan keragaman struktur tidak beracun. Bahan yang dapat diperbarui ini memiliki biodegradabilitas yang tinggi sehingga sangat berpotensi untuk dijadikan bahan pembuat bioplastik (Stevens 2003). Tongkol jagung merupakan salah satu limbah pertanian sumber selulosa yang dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan plastik *biodegradable* pengganti sintesis yang lebih ramah lingkungan.

Tongkol jagung merupakan limbah lignoselulosik, yakni limbah pertanian yang mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin. Menurut Shofiyanto (2008) kadar selulosa pada tongkol jagung cukup sebesar yaitu 41%, sehingga sangat berpotensi untuk bahan pembuatan plastik *biodegradable*. Selain selulosa, bahan lain yang sering digunakan yaitu pati, pati dapat dihasilkan dari berbagai jenis bahan alami di sekitar kita contohnya seperti singkong, kentang, pisang dan lain sebagainya.

Kulit umbi singkong merupakan limbah yang tidak dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat setempat, dimana limbah kulit umbi singkong merupakan limbah utama pangan di negara-negara berkembang. Setiap kilogram singkong biasanya dapat menghasilkan 15- 20% kulit umbi (Dewi dan Nurwaida 2020). Kulit singkong mengandung pati, enzim peroksida, glukosa, kalsium oksalat, serat dan HCN. Kandungan pati yang berasal dari kulit singkong cukup tinggi, maka dari itu limbah kulit singkong juga berpotensi besar untuk dijadikan bahan pembuatan film plastik biodegradasi yang ramah lingkungan (Dewi dan Nurwaida 2020).

Pada penelitian Dermawan dkk. (2020), dalam pembuatan plastik *biodegradable* menggunakan sorbitol dan PVa hasil pengujian yang didapatkan yaitu penambahan jumlah PVa berpengaruh pada meningkatnya nilai *tensile strength* (kuat tarik). Sedangkan penelitian Reshmy dkk. (2021) pembuatan plastik *biodegradable* dengan penambahan berbagai jenis *plasticizer* seperti gliserol, polietilen glikol, triethyl citrate (TEC) dan PVa. Hasil penelitian yang terbaik pada PVa yaitu ketebalan $0,06 \pm 0,005$ mm, kadar air 8,10%, kuat tarik 193,14 MPa, dan nilai elongasi 9,42%. maka dari itu penggunaan PVa ditemukan lebih cocok sebagai *plasticizer* dalam plastik *biodegradable* untuk meningkatkan fisik, mekanik dan karakteristik termal.

Proses ekstraksi selulosa dapat dilakukan dengan metode ekstraksi asam, basa, maupun kombinasi. Peneliti Wira-dipta (2017), menggunakan ekstraksi basa pada proses ekstraksi tongkol jagung menghasilkan kadar selulosa yang cukup tinggi yaitu 68,15% dari berat kering serbuk tongkol jagung. Penelitian Tarigan dkk. (2019), menggunakan ekstraksi asam yaitu dengan melibatkan HCl dengan variasi konsentrasi menghasilkan kadar selulosa tertinggi pada konsentrasi HCl 7% sebesar 49,39 % dari berat kering serbuk tongkol jagung. Sedangkan pada penelitian Kanani dkk. (2018), menggunakan metode asam-basa dengan penambahan Asam Lewis berupa $FeCl_3 + NaOH$ dan $Al_2O_3 + NaOH$ menghasilkan kadar selulosa tertinggi pada variable $Al_2O_3 + NaOH$ dengan perbandingan 2:1 yaitu sebesar 52,5%. Sehingga peneliti-

an ini menggunakan ekstraksi selulosa dengan metode basa yang melibatkan proses delignifikasi untuk menghilangkan lignin.

Pembuatan plastik *biodegradable* dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti *solvent casting* (pencampuran sederhana), *compression molding*, dan *injection molding*. Menurut Dwi Hartatik dan Nuriyah (2014), pembuatan bioplastik sederhana, mudah, murah dan hasilnya berkualitas yaitu dilakukan menggunakan metode *solvent casting* yaitu dengan mencampurkan semua bahan menjadi satu dan dipanaskan hingga suhu (90 ± 2) °C. dengan demikian penelitian ini menggunakan metode *solvent casting* agar plastik yang dihasilkan maksimal, murah, dan efisien.

Pada industri berkaitan dengan polimer, sifat mekanik merupakan suatu hal penting sehingga umumnya pada material polimer. TiO_2 merupakan salah satu fotokatalis oksida logam yang bersifat foto aktif sehingga dapat menyerap sinar UV, mempunyai sifat antibakteri, tidak beracun, dan murah (Ainun 2019). Pada penelitian (Goudarzi dkk. 2017), menggunakan variasi TiO_2 pada hasil optimal didapatkan pada kandungan 5% TiO_2 yaitu kuat tarik $5,27 \pm 0,49$ %, nilai elongasi $50,94 \pm 3,56$ %, nilai modulus young $86,91 \pm 3,12$ MPa.

Berdasarkan uraian diatas, maka kebaruan dalam penelitian ini adalah kajian kondisi operasi optimal pembuatan plastik *biodegradable* dengan bahan baku selulosa tongkol jagung dan pati kulit singkong dengan penambahan PVa dan TiO_2 sebagai smart packaging menggunakan factorial design 2^3 . Karakteristik plastik *biodegradable* yang dihasilkan diantaranya ketahanan air, biodegradabilitas, daya kekuatan, dan persen elongasi. Uji organoleptik terhadap apel potong yang dibungkus dengan produk plastik biodegradabel juga dilakukan dalam penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan penelitian

Bahan penelitian yaitu tongkol jagung (selulosa), NaOH, NaOCl, Akuadestilata, kulit singkong (pati), PVa, dan TiO_2 .

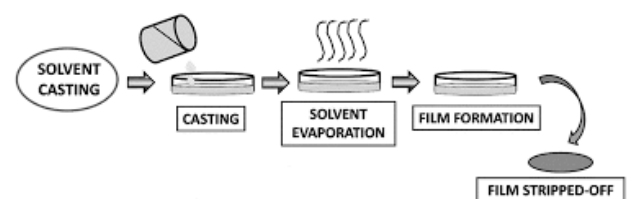
2.2 Alat penelitian

Pada penelitian ini pembuatan plastik *biodegradable* menggunakan oven dan rangkaian rangkaian alat yang terdiri *hot plate magnetic stirrer*, gelas beker, *thermometer*, *statif* dan *clamp*, dan juga kaca seperti pada gambar 1.

2.3 Prosedur penelitian

2.3.1 Delignifikasi selulosa

Tongkol jagung dijemur dibawah sinar matahari selama 3 hari. Tongkol jagung dihaluskan dengan grinder menjadi ser-

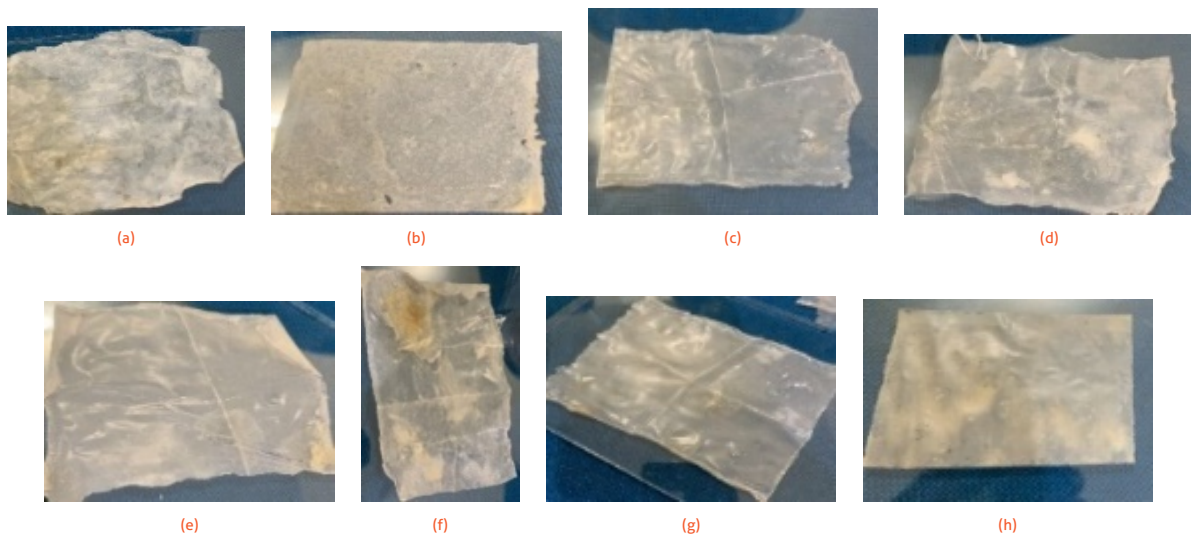


GAMBAR 1. Rancangan alat pembuatan plastik biodegradable dengan solvent casting.

TABEL 1. Example double-column table.

Sampel	Selulosa: Pati (g/g)	TiO ₂ (%)	PVa (%)	Hasil Bioplastik	Uji Daya Serap (%)	Uji Biodegradable (%)	Uji Kuat Tarik (MPa)	Uji Elongasi (%)
1	1:2	5	10	2a	26,75	59,22	1,75	12,4
2	1:2	5	30	2b	26,9	60,19	1,79	11,5
3	1:2	7	10	2c	25,64	40,08	1,32	12,7
4	1:2	7	30	2d	26,25	40,83	1,54	12,1
5	2:1	5	10	2e	20,76	18,91	2,10	17,0
6	2:1	5	30	2f	21,73	19,71	2,99	10,9
7	2:1	7	10	2g	17,02	16,92	2,27	11,7
8	2:1	7	30	2h	19,82	17,39	2,52	11,2

Catatan: Hasil bioplastik dapat dilihat pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Keterangan gambar hasil bioplastik dari tabel 1.

buk dan di saring dengan saringan 100 mesh. akuadestilata ditambahkan dengan rasio (1: 20) gr/ml setelah itu dipanaskan pada suhu 100 °C selama 3 jam dengan *magnetic stirrer*. Refluk disaring dan dikeringkan hingga kering. Pemisahan selulosa dilakukan dengan penambahan NaOH 25% berat yang dipanaskan pada suhu 200 °C selama 60 menit. Proses filtrasi dilakukan untuk mendapatkan padatan ditambahkan NaOCl 3,5% berat dan akuadestilata (perbandingan aquades dan larutan NaOCl 3,5% berat adalah 1:1) gr/ml. Larutan di didihkan 10 menit lalu proses penyaringan, pencucian, dan pengeringan dengan suhu 50 °C (Wiradipita 2017).

2.3.2 Ekstraksi pati

Kulit ari singkong 100gr dicuci bersih kemudian dipotong kecil. kulit singkong di blender dengan menambahkan air 100 ml dan saring lalu didiamkan selama 30 menit hingga terbentuk endapan. Larutan dipisahkan antara lapisan atas dan endapan. Endapan yang diperoleh ditambahkan lagi dengan air dan diam kan kembali 24 jam. Larutan dipisahkan kembali dengan membuang lapisan atas yang bening dan meniriskan lapisan bawah (pati basah). Pati basah dioven 50 °C selama 6 jam sampai terbentuk pati kulit singkong. Pati kulit singkong dihaluskan menggunakan mortar alu dan diayak dengan ukuran 100 mesh (Wahyuningtyas 2015).

2.3.3 Pembuatan plastik *biodegradable*

Selulosa tongkol jagung dan pati kulit singkong sesuai variable (1: 2 dan 2:1) dilarutkan dengan larutan PVa sesuai variable (PVa 10% dan PVa 30% dalam 100ml) dan juga larutan

TiO₂ sesuai variable (TiO₂ 5% dan TiO₂ 7% dalam 100ml) pada temperatur 65 °C selama 30 menit dalam 300rpm. Larutan bioplastic di cetak di atas cetakan kaca yang sudah dibersihkan. Cetakan kaca dimasukan ke dalam oven dengan temperatur 70 °C selama 4-5 jam. Cetakan kaca dikeluarkan dari oven dan mendinginkannya pada temperatur kamar (Risty dan Syaifullah 2017).

2.4 Analisis

2.4.1 Uji Daya serap terhadap ketahanan air (ASTM D570-98(2018))(ASTM International 2022)

Analisa daya serap plastik biodegradable terhadap ketahanan air dilakukan sesuai standar (ASTM International 2022). Daya serap air dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \frac{m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}}{m_{\text{akhir}}} \times 100\% \quad (1)$$

2.4.2 Uji biodegradasi (SNI 7188.7 : 2016) (Badan Standardisasi Nasional 2016)

Analisa biodegradasi plastik biodegradable dilakukan sesuai standar (Badan Standardisasi Nasional 2016). Biodegradasi dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\%m = \frac{m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}}{m_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana : %m = persentase pengurangan massa

TABEL 2. Perhitungan efek variabel terhadap hasil analisa daya serap.

No	P	T	R	Daya Serap (%)	-1	-2	-3	Pembagi	Efek	Hasil
1	-	-	-	26.75	53.65	105.54	184.87	8	Rata-rata	23.1088
2	+	-	-	26.9	51.89	79.33	4.53	4	T	1.1325
3	-	+	-	25.64	42.49	0.76	-7.41	4	t	-1.8525
4	+	+	-	26.25	36.84	3.77	2.29	4	R	0.5725
5	-	-	+	20.76	0.15	-1.76	-26.21	4	Tt	-6.5525
6	+	-	+	21.73	0.61	-5.65	3.01	4	TR	0.7525
7	-	+	+	17.02	0.97	0.46	-3.89	4	tR	-0.9725
8	+	+	+	19.82	2.8	1.83	1.37	4	TtR	0.3425

Catatan: Keterangan : P = PVa : -10%, +30% T =TiO2 : -5%, 7% R = Selulosa : Pati : -1:2,+2:1

2.4.3 Uji kuat dan elongasi (ASTM D882-18) (ASTM International 2018)

Analisa kuat dan elongasi plastik biodegradable dilakukan sesuai standar (ASTM International 2018). Kuat dan elongasi dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{3}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \tag{4}$$

2.4.4 Uji organoleptik plastik biodegradable sebagai kemasan bahan pangan

Analisa dilakukan dengan mengamati terjadinya proses *browning* selama 8 hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

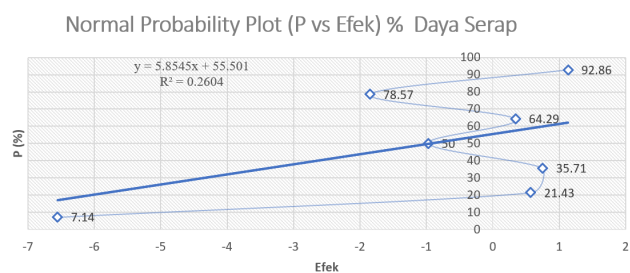
3.1 Hasil karakterisasi film plastik biodegradable

Plastik *biodegradable* pada penelitian ini dibuat dengan metode *solvent casting* dengan bahan baku selulosa tongkol ja-

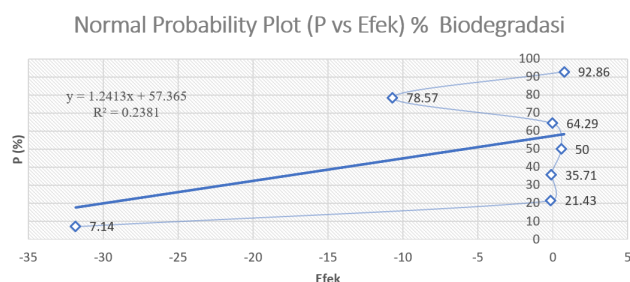
gung dan pati kulit singkong. Penentuan variabel berpengaruh pada penelitian ini menggunakan *Factorial design* 2 level dengan tiga variabel berubah, karakterisasi produk yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 1.

Uji daya serap air dilakukan untuk mengetahui terjadinya ikatan dalam polimer serta tingkatan atau keteraturan ikatan dalam polimer yang ditentukan melalui penambahan berat polimer setelah mengalami pengembangan (Syura 2020). Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat bahwa pada plastik *biodegradable* pada percobaan ke-2 dengan variabel rasio selulosa dan pati 1:2, TiO₂ 5%, dan PVa 30% memiliki nilai daya serap tertinggi yaitu sebesar 26,9%, sedangkan daya serap air paling rendah berada pada percobaan ke-7 dengan rasio selulosa dan pati 2:1, TiO₂ 7%, dan PVa 10% yaitu sebesar 17,02%.

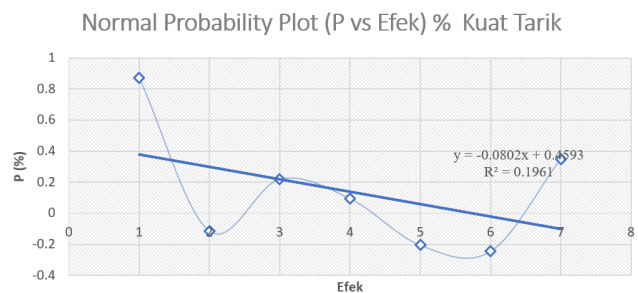
Pada plastik *biodegradable* dengan variabel rasio antara selulosa dan pati 1:2, TiO₂ 5%, dan PVa 30% menghasilkan nilai uji biodegradasi tertinggi yaitu 60,19% selama 1 minggu sedangkan nilai biodegradasi paling rendah ada pada rasio selulosa dan pati 2:1, TiO₂ 7%, dan PVa 10% yaitu 16,92% selama 1 minggu. Berdasarkan SNI 7188.7 : 2016, degradabilitas adalah fungsi dari kerentanan terhadap perubahan dalam struktur kimia sebagai akibat dari perubahan sifat-sifat secara fi-



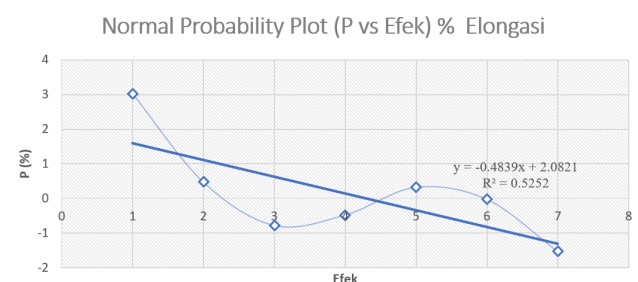
GAMBAR 3. Grafik hubungan normal probability dengan efek (hasil nilai daya serap).



GAMBAR 4. Grafik hubungan normal probability dengan efek (hasil nilai biodegradasi).



GAMBAR 5. Grafik hubungan normal probability dengan efek (hasil nilai Kuat Tarik).



GAMBAR 6. Grafik hubungan normal probability dengan efek (hasil nilai elongasi).

TABEL 3. Perhitungan efek variabel terhadap Hasil analisa biodegradasi.

No	P	T	R	Biodegradasi	-1	-2	-3	Pembagi	Efek	Hasil
1	-	-	-	59.22	119.41	200.32	273.25	8	Rata-rata	34.1563
2	+	-	-	60.19	80.91	72.93	2.99	4	T	0.7475
3	-	+	-	40.08	38.62	1.72	-42.81	4	t	-10.7025
4	+	+	-	40.83	34.31	1.27	-0.55	4	R	-0.1375
5	-	-	+	18.91	0.97	-38.5	-127.39	4	Tt	-31.8475
6	+	-	+	19.71	0.75	-4.31	-0.45	4	TR	-0.1125
7	-	+	+	16.92	0.8	-0.22	2.19	4	tR	0.5475
8	+	+	+	17.39	0.47	-0.33	-0.11	4	TtR	-0.0275

Catatan: Keterangan : P = PVa : -10%, +30% T = TiO₂ : -5%, 7% R = Selulosa : Pati : -1:2,+2:1

sika dan mekanika yang mengarah pada kemudahan terurainya produk atau bahan. Berdasarkan standar SNI biodegradasi dari plastik *biodegradable* yaitu sebesar 60 % selama 1 minggu (Badan Standardisasi Nasional 2016). Dengan demikian sampel running ke 2 sudah sesuai SNI dimana diperoleh nilai uji biodegradasi sebesar 60,19 % selama 1 minggu.

Pada uji kuat tarik mendapatkan nilai kuat tarik tertinggi pada percobaan ke-6 sebesar 2.99 MPa pada perlakuan kadar PVa 30%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 2:1. Sedangkan nilai kuat tarik terendah pada percobaan ke-3 yaitu dengan nilai 1,31 MPa dengan perlakuan kadar PVa 10%, TiO₂ 7% dan rasio selulosa : pati sebesar 1:2. Nilai kuat tarik menunjukkan kekuatan tarik plastik yang dihasilkan ketika mendapat beban. Nilai tersebut untuk mengetahui kekuatan tegangan maksimum bahan untuk menahan gaya yang diberikan (Pratiwi dkk. 2016). Kekuatan tarik dipengaruhi oleh bahan pemplastis yang ditambahkan dalam proses pembuatan film (Risty dan Syaifullah 2017). Pada tabel 1 dapat dilihat nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) terbaik yaitu senilai 2,99 Mpa. Nilai standar kuat tarik film bioplastik minimal 4 KgF/cm² atau 0,392 Mpa (JIS 2-1707). Berdasarkan standar ini maka kuat tarik film bioplastic sample 1 – 8 tersebut telah memenuhi standart (Syura 2020).

Pada uji elongasi mendapatkan nilai elongasi tertinggi pada percobaan ke-5 yaitu sebesar 17% pada perlakuan kadar PVa 10%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 2:1, sedangkan nilai elongasi terendah pada percobaan ke-2 yaitu sebesar 11,5% pada perlakuan kadar PVa 30%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 1:2. Elongasi atau persen pemanjangan saat putus merupakan perubahan panjang maksimum film sebelum terputus. Berlawanan dengan itu, elastisitas akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya jumlah bahan pemplastis dalam film. Elastisitas merupakan ukuran dari kekuatan film yang dihasilkan (Risty dan Syaifullah 2017).

TABEL 4. Perhitungan efek variabel terhadap hasil analisa kuat tarik.

No	P	T	R	Kuat Tarik	-1	-2	-3	Pembagi	Efek	Hasil
1	-	-	-	1.75	3.54	6.4	16.28	8	Rata-rata	2.035
2	+	-	-	1.79	2.86	9.88	1.4	4	T	0.35
3	-	+	-	1.32	5.09	0.26	-0.98	4	t	-0.245
4	+	+	-	1.54	4.79	1.14	-0.46	4	R	-0.115
5	-	-	+	2.1	0.04	-0.68	3.48	4	Tt	0.22
6	+	-	+	2.99	0.22	-0.3	0.88	4	TR	0.87
7	-	+	+	2.27	0.89	0.18	0.38	4	tR	0.395
8	+	+	+	2.52	0.25	-0.64	-0.82	4	TtR	-0.205

Catatan: Keterangan : P = PVa : -10%, +30% T = TiO₂ : -5%, 7% R = Selulosa : Pati : -1:2,+2:1

3.2 Perhitungan efek variabel terhadap hasil analisa daya serap

Efek utama dan efek interaksi pada proses pembuatan plastik *biodegradable* terhadap hasil daya serap dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa variable kadar TiO₂ merupakan variable yang paling berpengaruh terhadap daya serap plastik *biodegradable*. Dengan hasil efek utama sebesar -1,8525 dimana semakin tinggi kadar TiO₂ maka semakin rendah daya serap yang di hasilkan. Sedangkan hasil efek interaksi sebesar -6,5525 dimana semakin tinggi PVa maka semakin tinggi pula daya serap yang didapatkan.

Pada Gambar 2 menampilkan grafik Normal Probability Plot antara nilai P dengan efek yang diperoleh regresi (R²) sebesar 0,2604 dengan mengaktifkan fitur trendline pada Microsoft excel. Hal ini berarti 26,04% dari total variasi model bias diwakilkan dengan persamaan regresi. Adapun persamaan yang menunjukkan korelasi antara nilai daya serap air dan parameter proses penelitian (kadar PVa, kadar TiO₂ dan selulosa: pati) adalah $y = 5,8545x + 55,501$ Dahlan dan S. Pranita (2013), melaporkan bahwa TiO₂ merupakan senyawa hidrofilik dan hidrofobik karena ukuran sudut kontak air dengan lapisan TiO₂ mengalami penurunan apabila TiO₂ mendapat penyinaran matahari sehingga lapisan bersifat hidrofilik dan ukuran sudut kontak tersebut meningkat ketika tidak mendapat penyinaran lagi maka lapisan bersifathidrofobik yang mana tidak suka air atau tidak menyerap air.

Berdasarkan uji daya serap air, plastik *biodegradable* terbaik diperoleh pada perlakuan PVa 10%, TiO₂ 7%, dan rasio selulosa : pati sebesar 2:1 di dapatkan hasil terendah yaitu 17.02%. Ariadi Lusiana dkk. (2021) menyatakan bahwa penambahan zat aditif PVa yang kaya oleh gugus -OH membuat membran mampu menyerap air lebih banyak dari pada bioplastik lain.

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa variable kadar TiO₂ me-

TABEL 5. Perhitungan efek variabel terhadap hasil analisa elongasi.

No	P	T	R	Elongasi	-1	-2	-3	Pembagi	Efek	Hasil
1	-	-	-	12.4	23.9	48.7	109.5	8	Rata-rata	13.6875
2	+	-	-	11.5	24.8	60.8	-6.1	4	T	-1.525
3	-	+	-	12.7	30.9	-1.5	-0.1	4	t	-0.025
4	+	+	-	12.1	29.9	-4.6	1.9	4	R	0.475
5	-	-	+	17	-0.9	0.9	12.1	4	Tt	-0.775
6	+	-	+	10.9	-0.6	-1	-3.1	4	TR	3.025
7	-	+	+	11.7	-3.1	0.3	-1.9	4	tR	-0.475
8	+	+	+	11.2	-1.5	1.6	1.3	4	TtR	0.325

Catatan: Keterangan : P = PVa : -10%, +30% T =TiO₂ : -5%, 7% R = Selulosa : Pati : -1:2,+2:1

rupakan variable yang paling berpengaruh terhadap biodegradasi plastik *biodegradable*. Dengan hasil efek utama sebesar -10.7025 dimana semakin tinggi kadar TiO₂ maka semakin rendah nilai biodegradasi yang di hasilkan. Sedangkan hasil efek interaksi sebesar -31.8475 dimana semakin tinggi PVa maka semakin tinggi pula nilai biodegradasi yang didapatkan.

Pada Gambar 4 menampilkan grafik Normal Probability Plot antara nilai P dengan efek yang diperoleh regresi (R²) sebesar 0,2381 dengan mengaktifkan fitur trendline pada Microsoft excel. Hal ini berarti 23,11% dari total variasi model bias diwakilkan dengan persamaan regresi. Adapun persamaan yang menunjukkan korelasi antara nilai biodegradasi dan parameter proses penelitian (kadar PVa, kadar TiO₂ dan selulosa: pati) adalah $y = 1.2413x + 57.365$ Maka dari itu, pada Analisa biodegradasi bioplastik dapat disimpulkan bahwa kadar TiO₂ merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap biodegradasi plastik *biodegradable*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hastuti (2020) bahwa semakin banyak TiO₂ yang ditambahkan maka film biopolymer sulit terdegradasi karena TiO₂ memiliki sifat anti mikroba sedangkan film biopolymer tanpa penambahan TiO₂ yang hanya mengandung pati akan lebih cepat terdegradasi tanah, dikarenakan memiliki gugus hidroksil O-H yang menyisip ke dalam film biopolimer setelah terjadi penyerapan air dari tanah. Film biopolimer akan mengalami proses penurunan karena putusnya ikatan rantai pada polimer.

Dalam penelitian ini didapatkan nilai biodegradasi tertinggi pada percobaan ke-2 dengan presentase sebesar 60,19 pada perlakuan kadar PVa 30%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 1:2. Kadar PVa mempengaruhi biodegradasi plastik. Maladi (2019) menyatakan bahwa PVa merupakan polimer sintetik yang mudah terdegradasi oleh mikroorganisme. Pada proses degradasi dalam tanah mikroorganisme memutuskan rantai ikatan polimer PVa menjadi asam asetat dan ikatan polimer pati menjadi glukosa

3.3 Perhitungan efek variabel terhadap hasil analisa kuat tarik

Efek utama dan efek interaksi pada proses pembuatan plastik *biodegradable* terhadap hasil Analisa Kuat Tarik dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa variable kadar PVa merupakan variable yang paling berpengaruh terhadap kuat tarik plastik *biodegradable*. Dengan hasil efek utama sebesar 0.35 dimana semakin tinggi PVa maka semakin tinggi pula nilai kuat tarik yang didapatkan. Sedangkan hasil efek interaksi sebesar 0.87 dimana semakin tinggi selulosa maka semakin

tinggi pula nilai kuat tarik yang didapatkan.

Pada Gambar 5 menampilkan grafik Normal Probability Plot antara nilai P dengan efek yang diperoleh regresi (R²) sebesar 0,1961 dengan mengaktifkan fitur trendline pada Microsoft excel. Hal ini berarti 19,61% dari total variasi model bias diwakilkan dengan persamaan regresi. Adapun persamaan yang menunjukkan korelasi antara nilai kuat tarik dan parameter proses penelitian (kadar PVa, kadar TiO₂ dan selulosa: pati) $y = -0.0802x + 0.4593$ Maka dari itu, pada Analisa kuat tarik bioplastik dapat disimpulkan bahwa kadar PVa merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap kuat tarik plastik *biodegradable*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Dermawan dkk. (2020) semakin banyaknya penambahan PVa yang ditambahkan maka semakin tinggi pula *tensile strength* yang dimiliki oleh bioplastik. Hal ini dikarenakan PVa dapat membentuk lapisan film (film forming) dari bioplastik, dan memperkuat ikatan hidrogen yang terbentuk diantara rantai-rantai polimer bioplastik.

Dalam penelitian ini didapatkan nilai kuat tarik tertinggi pada percobaan ke-6 dengan presentase sebesar 2.99 pada perlakuan kadar PVa 30%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 2:1. Intandiana dkk. (2019) menyatakan bahwa penambahan selulosa cenderung menaikkan nilai kuat tarik pada bioplastik. Peningkatan kuat tarik ini terjadi karena selulosa memiliki rantai polimer yang lurus dan panjang sehingga dapat membuat bioplastik menjadi lebih kuat (Sulityo dan Ismiyati 2013).

3.4 Perhitungan efek variabel terhadap hasil analisa elongasi

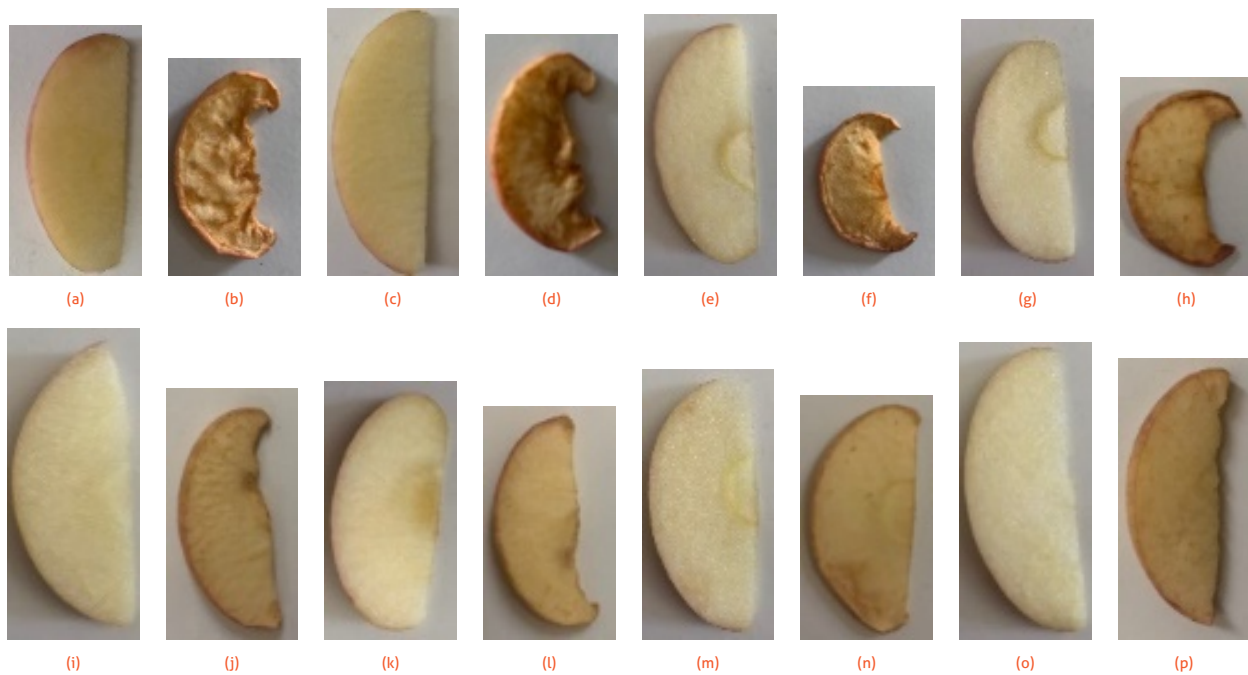
Efek utama dan efek interaksi pada proses pembuatan plastik *biodegradable* terhadap hasil Analisa Elongasi dapat dilihat pada Tabel 5. Dari Tabel 5 dapat dilihat variable kadar PVa merupakan variable yang paling berpengaruh terhadap kuat tarik plastik *biodegradable*. Dengan hasil efek utama sebesar 1.525 dimana semakin tinggi PVa maka semakin tinggi pula nilai elongasi yang didapatkan. Sedangkan hasil efek interaksi sebesar 3.025 dimana semakin tinggi selulosa maka semakin tinggi pula nilai elongasi yang didapatkan.

Pada Gambar 6 menampilkan grafik Normal Probability Plot antara nilai P dengan efek yang diperoleh regresi (R²) sebesar 0,5252 dengan mengaktifkan fitur trendline pada Microsoft excel. Hal ini berarti 52,52% dari total variasi model bias diwakilkan dengan persamaan regresi. Adapun persamaan yang menunjukkan korelasi antara nilai elongasi dan parameter proses penelitian (kadar PVa, kadar TiO₂ dan selulosa: pati) $y = -0.4839x + 2.0821$ Maka dari itu, pada Analisa elongasi bioplastik dapat disimpulkan bahwa kadar PVa meru-

TABEL 6. Uji antioksidasi.

Run	Selulosa: Pati (%)	TiO ₂ (%)	PVa (%)	Pengamatan Uji Antioksidasi (hari)	
				Ke - 0	Ke - 8
1	1:2	5	10	7a	7b
2	1:2	5	30	7c	7d
3	1:2	7	10	7e	7f
4	1:2	7	30	7g	7h
5	2:1	5	10	7i	7j
6	2:1	5	30	7k	7l
7	2:1	7	10	7m	7n
8	2:1	7	30	7o	7p

Catatan: Hasil pengamatan uji antioksidasi hari ke-0 dan ke-8 dapat dilihat pada Gambar 7.



GAMBAR 7. Hasil pengamatan uji antioksidasi hari ke-0 dan ke-8 dari tabel 6.

pakan variabel yang paling berpengaruh terhadap elongasi plastik *biodegradable*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Dermawan dkk. (2020) terhadap elongasi bioplastik penambahan PVa akan semakin rendah nilai elongation yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan PVa dapat mengurangi sifat keplastisan atau kelenturan dari plastik tersebut akibat dari menguatnya ikatan-ikatan hidrogen pada polimer yang terbentuk.

Dalam penelitian ini didapatkan nilai elongasi tertinggi pada percobaan ke-5 dengan presentase sebesar 2.99 pada perlakuan kadar PVa 10%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 2:1. Intandiana dkk. (2019) menyatakan semakin banyak komposisi selulosa yang terkandung di dalamnya maka % elongasi semakin berkurang. Hal ini dikarenakan fleksibilitas yang tinggi pada selulosa sehingga dapat memberikan pengaruh terhadap perpanjangan elongasi pada sampel bioplastik (Panjaitan dkk. 2017). Hal ini dapat diartikan bahwa nilai kuat tarik berbanding terbalik dengan nilai perpanjangan elongasi.

3.5 Uji antioksidasi

Uji Antioksidan pada penelitian ini untuk mengetahui kemampuan bioplastik menghambat reaksi oksidasi pada produk yang di bungkus. Hal ini terlihat dari perbedaan penampakan buah apel yang dibungkus dengan bioplastik.

Uji antioksidan dilakukan dengan cara membungkus se-

jenis buah - buahan yang bersifat mudah rusak atau mengalami perubahan secara mekanis. Apel merupakan salah satu buah yang cepat mengalami perubahan saat penyimpanan yaitu terjadinya reaksi browning atau pencoklatan. Data hasil pengujian antioksidasi yang dilakukan pada pembungkusan apel menggunakan plastik *biodegradable* pada berbagai variable selama 8 hari dapat dilihat pada Tabel 6

Hasil uji antioksidan terlihat bahwa pada percobaan ke-1 dengan kadar PVa 10%, TiO₂ 5%, rasio selulosa : pati sebesar 1:2 mengalami *browning* yang sangat pesat di bandingkan dengan pada percobaan ke 7 dengan kadar PVa 10%, TiO₂ 7%, rasio selulosa : pati sebesar 2:1 yang mengalami *browning* yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa TiO₂ dan selulosa yang berpengaruh pada sifat antioksidan. Apel mengalami perubahan warna dikarenakan apel mengalami kontak langsung dengan oksigen sehingga mengalami oksidasi yang dapat menyebabkan *browning* oleh enzim polifenol oksidase (Arsa 2016). Hal ini sesuai dengan pernyataan Azizaturrohmah (2019) yaitu jenis dan konsentrasi *plasticizer* yang digunakan tidak mempengaruhi kemampuan antioksidan bioplastik melainkan dipengaruhi oleh bahan yang mengandung antioksidan. Menurut Fadilla (2018), nanopartikel titanium dioksida (TiO₂) merupakan senyawa antioksidan dan memiliki sifat antibakteri yang telah dibuktikan dalam berbagai biomaterial. Lumempouw dkk. (2012) menyatakan tongkol ja-

gung yang termasuk biomassa mengandung fenolik, flavonoid dan tanin yang mana kandungan flavonoid merupakan salah satu senyawa polifenol yang mempunyai sifat antioksidan.

4. KESIMPULAN

1. Nilai daya serap yang didapatkan dari pengujian terbaik diperoleh pada perlakuan PVa 10%, TiO₂ 7%, dan rasio selulosa : pati sebesar 2:1 di dapatkan hasil terendah yaitu 17.02%.
2. Nilai biodegradasi tertinggi pada percobaan ke-2 dengan presentase sebesar 60,19 pada perlakuan kadar PVa 30%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 1:2. Sudah sesuai dengan SNI degradasi dari plastik biodegradable yaitu sebesar > 60 % selama 1 minggu.
3. Nilai kuat tarik tertinggi pada percobaan ke-6 dengan presentase sebesar 2.99 pada perlakuan kadar PVa 30%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 2:1. Sudah sesuai dengan nilai standar kuat tarik film bioplastik minimal 4 KgF/cm² atau 0,392 Mpa (JIS 2-1707).
4. Nilai elongasi tertinggi pada percobaan ke-5 dengan presentase sebesar 2.99 pada perlakuan kadar PVa 10%, TiO₂ 5% dan rasio selulosa : pati sebesar 2:1.
5. Pada uji antioksidan apel yang dibungkus dengan plastik biodegradable dengan kandungan TiO₂ dan selulosa tongkol jagung yang tinggi mempengaruhi apel yang di dibungkus lebih tahan lama di dibandingkan dengan apel yang dibungkus dengan plastik biodegradable dengan kandungan TiO₂ dan selulosa tongkol yang lebih rendah.
6. Plastik biodegradable dari selulosa tongkol jagung dan pati kulit singkong dengan penambahan PVa dan TiO₂ ini layak untuk dijadikan sebagai plastik *biodegradable* yang ramah lingkungan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium TRKI Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro atas kemudahan akses fasilitas laboratorium yang dapat mendukung kelancaran jalannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin YE, Padmawijaya KS. 2016. Sintesis bioplastik dari kitosan-pati kulit pisang kepok dengan penambahan zat aditif. *Jurnal Teknik Kimia*. 10(2):40–48. <https://core.ac.uk/download/pdf/43007111.pdf>.
- Ainun N. 2019. Karakterisasi komposit kitosan-alginat-pva dengan penambahan zat aditif TiO₂ dan ZnO sebagai bioplastik. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/31593>.
- Ariadi Lusiana R, Suseno A, Haris A, Iftinan Sari N. 2021. Karakterisasi fisikokimia bioplastik berbahan dasar kitosan tertaut silang asam suksinat / pati / poly vinyl alcohol. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 6(02):145–155. doi:10.23960/aec.v6.i2.2021.p145-155.
- Arsa M. 2016. Proses pencoklatan (browning process) pada bahan pangan. Technical report.
- Asni N, Saleh D, Rahmawati N. 2015. Plastik Biodegradable Berbahan Ampas Singkong dan Polivinil Asetat. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. 4:57–62. <https://journal.unj.ac.id/unj/index.php/prosidingsnf/article/view/5149/3808>.

- ASTM International. 2018. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Technical report. ASTM International. United States.
- ASTM International. 2022. Standard test method for water absorption of plastics. Technical report. ASTM International. United States.
- Azizaturrohmah. 2019. Perbandingan plasticizer gliserol dan sorbitol pada bioplastik pati sugu (*Metroxylon* sp.) dengan penambahan minyak kulit jeruk manis (*citrus sinensis* L.) sebagai antioksidan. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel. <https://www.semanticscholar.org/paper/Perbandingan-plasticizer-glisierol-dan-sorbitol-pada-Azizaturrohmah/4807fdd99c0820e841f8388e3ab9efe96ab32194>.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. SNI 7188.7:2016: Standar mutu kategori produk tas belanja plastik dan bioplastik mudah terurai. Technical report.
- Dahlan D, S Pravita A. 2013. Analisis sifat hidrofobik dan sifat optik lapisan tipis TiO₂. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*:163–166. <https://jurnal.fmipa.unila.ac.id/semirata/article/download/665/485>.
- Dermawan K, Ambarwati R, Mega Kasmiyatun M. 2020. Pembuatan plastik biodegradable dari pati biji nangka dengan penambahan polyvinyl alcohol. 1:1–6. <http://jurnal.untagsmg.ac.id/index.php/chemtag/article/view/1388>.
- Dewi R, Nurwaida C. 2020. Optimasi proses pembuatan bioplastik dari pati limbah kulit singkong. Technical report. Universitas Malikussaleh. Lhokseumawe, Aceh.
- Dwi Hartatik Y, Nuriyah L. 2014. Effect of Chitosan Composition on Mechanical Properties and Biodegradable Bioplastics. *Brawijaya Physics Student Journal*:1–4.
- Fadilla A. 2018. Pengaruh penambahan titanium dioksida pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap jumlah *Staphylococcus aureus* dan *Candida albicans*:14. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/5747>.
- Goudarzi V, Shahabi-Ghahfarrokhi I, Babaei-Ghazvini A. 2017. Preparation of ecofriendly UV-protective food packaging material by starch/TiO₂ bio-nanocomposite: Characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*. 95:306–313. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.11.065.
- Handayani PA, Wijayanti H. 2015. Pembuatan film plastik biodegradable dari limbah biji durian (*Durio zibethinus murr*). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 4(1):21–26. doi:10.15294/jbat.v4i1.3770.
- Hastuti ESP. 2020. Pengaruh penambahan TiO₂ terhadap perlindungan sinar ultraviolet pada smart packaging dengan bahan pati biji durian. <http://etheses.uin-malang.ac.id/24358/>.
- Intandiana S, Dawam AH, Denny YR, Septiyanto RF, Affifah I. 2019. Pengaruh karakteristik bioplastik pati singkong dan selulosa mikrokristalin terhadap sifat mekanik dan hidrofobisitas. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*. 4(2):185. doi:10.30870/educhemia.v4i2.5953.
- Kanani N, Rahmayetty R, Wardhono EY. 2018. Pengaruh penambahan FeCl₃ dan Al₂O₃ terhadap kadar lignin pada delignifikasi tongkol jagung dengan pelarut NaOH menggunakan bantuan gelombang ultrasonik. *Prosi-*

- ding Semnastek:1–9. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3586>.
- Lumempouw LI, Paendong J, Momuat LI, Suryanto E. 2012. Potensi antioksidan dari ekstrak etanol tongkol jagung (*Zea mays* l.). *Chemistry Progress*. 5(1):49–56. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/chemprog/article/view/654>.
- Maladi I. 2019. Pembuatan bioplastik berbahan dasar pati kulit singkong (*Manihot utilissima*) dengan penguat selulosa jerami padi, polivinil alkohol dan bio-compatible zink oksida.
- Panjaitan RM, Irdoni, Bahruddin. 2017. Pengaruh kadar dan ukuran selulosa berbasis batang pisang terhadap sifat dan morfologi bioplastik berbahan pati umbi talas. *Universitas Riau*. 4(1):3. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/14746>.
- Pratiwi R, Rahayu D, Barliana MI. 2016. Pemanfaatan selulosa dari limbah jerami padi (*Oryza sativa*) sebagai bahan bioplastik utilization of rice straw cellulose (*Oryza sativa*) as bioplastics. 3. <https://jurnal.unpad.ac.id/ijpst/article/view/9406>.
- Reshmy R, Philip E, Vaisakh P, Raj S, Paul SA, Madhavan A, Sindhu R, Binod P, Sirohi R, Pugazhendhi A, Pandey A. 2021. Development of an eco-friendly biodegradable plastic from jack fruit peel cellulose with different plasticizers and *Boswellia serrata* as filler. *Science of The Total Environment*. 767:144285. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144285.
- Risty AE, Syaifullah RD. 2017. Pembuatan dan karakterisasi bioplastik dari pati umbi benguang (*Pachyrhizus erosus*). <https://repository.its.ac.id/47113/>.
- Shofiyanto ME. 2008. Hidrolisis Tongkol Jagung oleh Bakteri Selulolitik Untuk Produksi Bioetanol dalam Kultur Campuran. <https://www.semanticscholar.org/paper/Hidrolisis-Tongkol-Jagung-oleh-Bakteri-Selulolitik-Shofiyanto/f55f8d5ca13e8d66ff9f8d67ac9dc0e6c139e07b>.
- Stevens ES. 2003. What makes green plastics green? *BioCycle*. 44(3):24–27. https://bpiworld.wildapricot.org/resources/Documents/BioCycle_Green_Plastics.pdf.
- Sulityo HW, Ismiyati. 2013. Pengaruh formulasi pati singkong-selulosa terhadap sifat mekanik dan hidrofobisitas pada pembuatan bioplastik. *Konversi*. 1:23–30. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konversi/article/view/1126>.
- Syura I. 2020. Pembuatan dan karakterisasi film bioplastik pati porang (*Amorphophallus*, sp) dan kitosan dengan plasticizer sorbitol. <https://repository.usu.ac.id/handle/123456789/29478>.
- Tarigan AM, Panjaitan RM, Tampubolon A. 2019. Isolasi selulosa dari tongkol jagung sebagai bahan pengisi pembuatan tablet klorfeniramin maleat cetak langsung. *Jurnal Ilmiah PANNMED (Pharmacist, Analyst, Nurse, Nutrition, Midwifery, Environment, Dentist)*. 10(1):1–10. doi:10.36911/pannmed.v10i1.190.
- Wahyuningtyas M. 2015. Pembuatan dan karakterisasi film pati kulit ari singkong/kitosan dengan plasticizer asam oleat. <https://repository.its.ac.id/41732/1/1411100071-Undergraduate-Thesis.pdf>.
- Wiradipta IDGA. 2017. Pembuatan Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Selulosa Dari Tongkol Jagung. <https://repository.its.ac.id/46898/7/1112100054-Undergraduate-Theses.pdf>.