



Pengaruh Bahan Aditif Polimer Slip terhadap Karakteristik Film Polietilen

Putri Intan Puspa Ningrum^a, Ani Mulyasuryani^{b*}, Rakhma Febriani^c

^aDepartemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia

^bDepartemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia

^c PT Lyondellbasell Advanced Polyolefins, Pasuruan 67155, Indonesia

*corresponding author : mulyasuryani@ub.ac.id

DOI : [10.20885/ijca.vol6.iss1.art8](https://doi.org/10.20885/ijca.vol6.iss1.art8)

ARTIKEL INFO

Diterima : 20 Februari 2023
Direvisi : 09 Maret 2023
Diterbitkan : 25 Maret 2023
Kata kunci : Aditif Slip, *Aging*,
Polietilen

ABSTRAK

Bahan aditif polimer berfungsi untuk meningkatkan kualitas film, antara lain adalah aditif slip yang berfungsi sebagai pelicin permukaan film. Aditif slip berpengaruh terhadap karakter fisik film yang ditunjukkan dari koefisien gesekan dan sifat optik. Pada penelitian ini telah dipelajari pengaruh senyawa aditif slip dan waktu *aging* koefisien gesekan dan sifat optik film *polyethylene* (PE). Sifat optik film diukur berdasarkan nilai kabut dan nilai kilau film. Aditif yang digunakan pada penelitian ini adalah *erucamide*, *stearyl erucamide* dan campuran keduanya. Pengamatan dilakukan selama 14 hari pada suhu 23 °C dan 50 °C. Pengukuran koefisien gesekan, nilai kabut, dan nilai kilau dilakukan pada hari ke-0,1,3,7,10, dan 14. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien gesekan terendah dihasilkan pada film dengan aditif *erucamide*. Film dengan aditif *erucamide* memiliki nilai koefisien gesekan terbaik yaitu sebesar 0,129 pada *aging* hari ke-3 pada suhu 50 °C, nilai kabut 4,63% dan nilai kilau 56,5 GU.

ARTICLE INFO

Received : 20 February 2023
Revised : 09 March 2023
Published : 25 March 2023
Keywords : Slip additives, *Aging*,
Polyethylene

ABSTRACT

Polymer additive's function is to improve film quality, including slip additives which function as film surface lubricants. Slip additives affect the physical characteristics of the film as indicated by the coefficient of friction and optical properties. In this research, the influence of slip additives and the aging time of the coefficient of friction (COF) and the optical properties of polyethylene (PE) films have been studied. The optical properties of the film are measured based on the haze value and the gloss value. The additives used in this study were erucamide, stearyl erucamide, and a mixture of the two. Observations were made for 14 days at 23 °C and 50 °C. Measurements of the COF, haze value, and gloss value were carried out on days 0, 1, 3, 7, 10, and 14. The results showed that the lowest COF was produced on films with erucamide additives. Films with erucamide additives had the best friction coefficient value of 0.129 on the 3rd day of aging at 50 °C, a haze value of 4.63% and a gloss value of 56.5 GU.

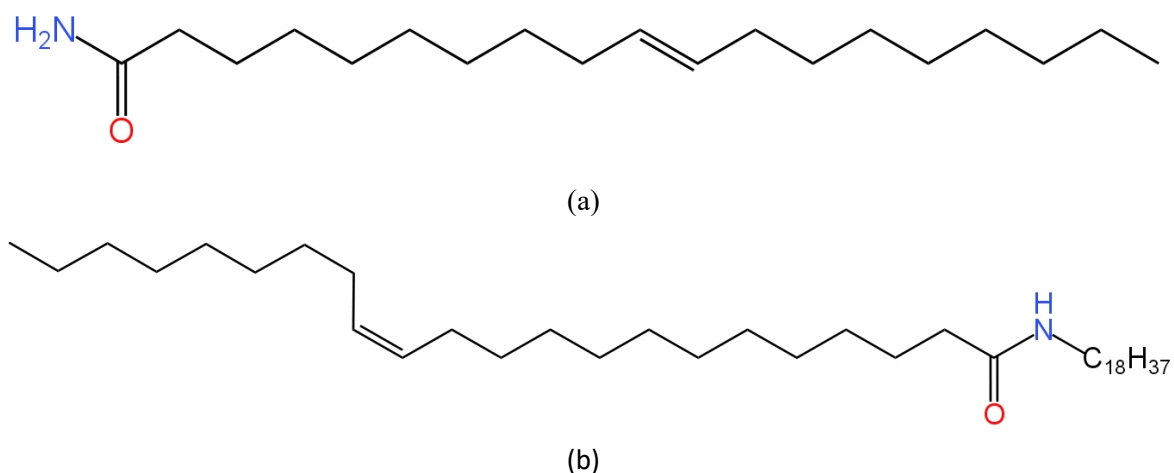


1. PENDAHULUAN

Pada pembuatan plastik, senyawa aditif ditambahkan pada resin polimer menghasilkan *masterbatch* [1]. *Polyethylene* (PE) merupakan salah satu jenis resin yang digunakan dalam industri plastik. PE memiliki sifat mudah dibentuk dan dicetak, daya tahan terhadap zat kimia, benturan yang baik, serta harganya yang lebih murah [2]. PE termasuk dalam polimer termoplastik dengan titik leleh berkisar antara 110-137 °C [3]. Aplikasi PE digunakan pada pembuatan kemasan film hingga wadah dan perpipaan. Selain itu, pemanfaatan PE banyak digunakan dalam bahan isolasi kabel listrik karena struktur molekulnya yang simetris dan tidak ada ikatan polar, sehingga memiliki sifat listrik dan mekanik yang sangat baik [4]. *Masterbatch* merupakan konsentrat aditif yaitu campuran antara resin dan zat aditif yang digunakan untuk meningkatkan kualitas dan penampilan film. Aditif ditambahkan melalui pembuatan *masterbatch* dengan tujuan untuk menyesuaikan tingkat aditif yang dibutuhkan secara spesifik dan memungkinkan dosis aditif yang akurat pada tingkat rendah [5]. Film plastik dibuat dari campuran *masterbatch* dengan resin polimer pada temperatur kisaran 170-270 °C tergantung pada jenis polimer yang digunakan [6].

Senyawa aditif pada film dapat berfungsi sebagai antioksidan, slip, antistatik, anti-uv, antiblok, antikabut, penguat, dan penjernih. Salah satu aditif yang ditambahkan adalah aditif slip yang berfungsi untuk menurunkan koefisien gesekan (*coefficient of friction/ COF*) film sehingga akan menghasilkan film yang licin. Sebuah film dengan tingkat kelicinan tertentu dibutuhkan untuk bergerak di sepanjang gulungan dan permukaan logam lainnya dalam proses pengemasan [7]. Parameter slip suatu film diukur berdasarkan nilai koefisien gesekannya. Nilai COF ini dijadikan sebagai tolak ukur efektivitas dari aditif slip dimana semakin kecil koefisien gesekan sampel film artinya film tersebut memiliki sifat semakin slip/ licin [8]. Film harus memiliki COF mendekati nilai 0,2 agar memiliki sifat slip yang tinggi [4].

Senyawa aditif slip yang paling umum digunakan yaitu senyawa yang mengandung amida asam lemak rantai panjang. Contoh aditif slip yaitu *erucamide* (ERU), *oleamide*, *behenamide*, *stearamide*, *palmitamide*, *lauramide*, *oleyl palmitamide* dan *stearyl erucamide* (SE) [9]. Struktur aditif slip yang berbeda dapat berpengaruh pada parameter slip suatu film yang dihasilkan [6]. Aditif slip dengan panjang rantai amida yang lebih pendek cenderung bermigrasi ke permukaan lebih cepat, tetapi kurang stabil secara termal [10]. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh jenis aditif slip *erucamide* dan *stearyl erucamide* serta campuran keduanya terhadap parameter slip suatu film. Kedua jenis aditif tersebut merupakan aditif slip yang umum digunakan pada industri plastik. Aditif slip ERU dan SE dibedakan dari panjang rantai dan gugus amidanya yang dapat dilihat pada Gambar 1. *Erucamide* merupakan salah satu jenis aditif slip yang memiliki gugus amida primer sedangkan *stearyl erucamide* memiliki gugus amida sekunder.



Gambar 1. Struktur aditif slip *erucamide* (atas) dan *stearyl erucamide* (bawah) (KingDraw)

Aditif slip dapat menurunkan COF film dalam kurun waktu 24-48 jam setelah film dibuat. Hal tersebut dikarenakan adanya migrasi aditif ke permukaan film yang disebabkan karena senyawa aditif tidak larut dalam daerah kristalin polimer. Selama pemrosesan, aditif slip akan larut dalam lelehan polimer, tetapi saat polimer mendingin dan mulai mengkristal, aditif slip akan dipaksa keluar ke permukaan film [11], [12]. Migrasi aditif slip memerlukan waktu tertentu dan nilai COF akhir tidak diperoleh sampai 7-10 hari setelah film dibuat (tergantung pada amida yang digunakan) [7]. Oleh karena itu perlu dilakukan proses *aging* atau penuaan pada film. *Aging* pada film ini akan memaksimalkan migrasi aditif slip sehingga kemampuan slipnya menjadi optimum. Proses *Aging* film ini dapat dipengaruhi oleh faktor suhu dimana suhu tinggi akan menurunkan jumlah aditif yang bermigrasi pada permukaan film [13]. Jumlah aditif slip yang sudah bermigrasi ke permukaan film ini dapat diukur menggunakan spektroskopi FTIR (*Fourier transform infrared*) berdasarkan absorbansi gugus amidanya [7].

Penelitian tentang aditif polimer pada film telah banyak dilakukan sebelumnya. Ramirez et al. (2005) menjelaskan pada penelitiannya bahwa jumlah aditif *erucamide* yang bermigrasi ke permukaan film PE berbanding terbalik dengan koefisien gesekan film (COF) [14]. Catarino-Centeno et al. (2020) telah meneliti tentang perubahan koefisien gesekan film dengan aditif *erucamide* dan *stearyl erucamide* serta campuran keduanya. Hasil menyimpulkan bahwa koefisien gesekan film akan menurun dan campuran antara aditif *erucamide* dengan *stearyl erucamide* dapat mengurangi COF ke nilai sekitar 0,22 atau kurang [15]. Aditif slip berpengaruh terhadap sifat optik film, secara umum diidentifikasi sebagai kejernihan film (*clarity*). Sifat optik film dapat diketahui dari nilai kabut (*haze*) dan nilai kilau (*gloss*) permukaan film. Aditif pada film diharapkan tidak berpengaruh terhadap sifat optik, kecuali aditif tersebut diatur untuk mengubah sifat optik pada film [7][3].

Berdasarkan penelitian terdahulu dan uraian yang telah dijelaskan, pada penelitian ini diamati pengaruh dari waktu dan suhu *aging* terhadap karakteristik film polietilen (PE) yang mengandung aditif slip. Karakteristik film PE diukur berdasarkan nilai koefisien gesekan (COF), kabut dan kilau film.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian dilakukan di Laboratorium *Product & Application Department* (PAD), PT. Lyondellbasell Advanced Polyolefins Indonesia. Peralatan yang digunakan adalah neraca analitik BSA124S-CW (Sartorius), gelas arloji, erlenmeyer 250 mL, *magnetic stirrer*, *hotplate stirrer* (Cimarec), corong gelas kecil, corong gelas besar, labu ukur 5 mL, gelas ukur 100 mL, pipet tetes, *sonicator* 1510 (Branson), tabung evaporator 100 mL, oven (Heraeus Instrument), TurboVap II (Caliper), *Constant climate chamber* (Mettler), dan *Thicknessmeter*. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya FTIR-Frontier C99258 (Perkin Elmer), *friction/peel tester* FP-2260 (Thwing-Albert) dengan kereta luncur Thwing-Albert EZ-Sled, *haze-gard-i haze meter* (BYK Instrument), *micro-tri gloss meter* (BYK Instrument), dan *single layer cast film coextrusion line LCR-300 series* (Labtech Engineering CO., Ltd.). Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah masterbatch *erucamide* 5% (Lyondellbasell), *masterbatch stearyl erucamide* 5% (Lyondellbasell), resin polietilen (Lyondellbasell), kertas saring, dan diklorometana (Merck).

2.2 Pembuatan Film

Masterbatch erucamide atau *stearyl erucamide* ditimbang masing-masing 20 g dan dicampurkan dalam 980 g resin *polyethylene* (PE). Aditif campuran ditimbang masing-masing 10 g untuk setiap jenis *masterbatch* dan ditambah dengan 980 g resin *polyethylene* (PE). Campuran *masterbatch* dan resin dicampurkan hingga rata. Campuran dimasukkan ke dalam instrumen *single layer cast film coextrusion line LCR-300 series* melalui corong masuk (*feed hooper*). Kondisi instrumen diatur sesuai Tabel 1. Lembaran film akan keluar setelah 30 menit dengan lebar 20 cm dan ketebalan 50 mikron. Gulungan film dipotong dan disimpan pada suhu 23 °C (ruangan terbuka) dan suhu 50 °C (*humidity chamber*) selama 14 hari sebagai proses *aging*. Pada hari ke- 0,1,3,7,10, dan 14 dilakukan pengukuran koefisien gesekan, nilai kabut, nilai kilau, dan FTIR.

TABEL I. Kondisi instrumen *single layer cast film coextrusion line LCR-300 series*

Sistem	Nilai
Zona Pemanas Tabung Ekstruksi (1-5)	(190 -190-190-191)°C
Kecepatan Sekrup Ekstruder	30 rpm
Beban Motor	63%
Sistem Pendingin (<i>cooling system</i>)	28,7 °C
Penggulung Utama (<i>master</i>)	2,8 m/min
Penggulung Kedua	2,9 m/min
Penggulung Ketiga	7%

2.3 Pengukuran Koefisien Gesekan Film

Metode penelitian dilakukan sesuai ASTM D1894 tentang “Metode uji standar untuk koefisien gesek statis dan kinetik dari film plastik dan terpal” [16]. Film dipotong 25 cm pada arah mesin (*mesin direct*) dan 13 cm pada arah melintang lalu direkatkan pada bidang pengujian (*plane*). Film dipotong dengan ukuran 63,5mm x 139,7mm dan ditempatkan pada kereta luncur (*sled*). Kereta luncur (*sled*) ditempatkan di tengah bidang secara sejajar dan dihubungkan ke filamen nilon melalui sekrup penghubung. Program pengukuran selanjutnya diatur dengan kecepatan penarikan sebesar 150 ± 30 mm/menit. Sebelum pengukuran dimulai posisi dan beban dinolkan dengan cara menekan *zero position* dan *zero load* pada program. Program dijalankan dengan cara menekan tombol “*start*”. Koefisien gesekan film akan muncul pada layar komputer.

2.4 Pengukuran Nilai Kabut

Metode penelitian dilakukan sesuai ASTM D1003 tentang “Metode uji standar untuk kabut dan transmisi bercahaya dari plastik transparan” [17]. Film dipotong (15x15 cm) dan ditempatkan pada *sample holder* dengan cara dijepit. Film pada *sample holder* di arahkan di depan jendela masuk (*entrance window*) dan ditekan tombol “*operate*” pada instrumen haze-gard-i haze meter. Nilai kabut akan muncul pada layar instrumen.

2.5 Pengukuran Nilai Kilau Film

Metode penelitian dilakukan sesuai ASTM D 2457-03 tentang “Metode Uji Standar untuk Gloss Specular Film Plastik dan Plastik Padat” [18]. Film dipotong (15x15 cm) dan ditempatkan pada *sample holder* dengan cara ditekan. Instrumen *micro-tri gloss meter* ditempatkan di atas *sample holder* dan ditekan tombol “*operate*” di bagian samping instrumen. Nilai kilau akan muncul pada layar instrument.

2.6 Pengukuran dengan FTIR

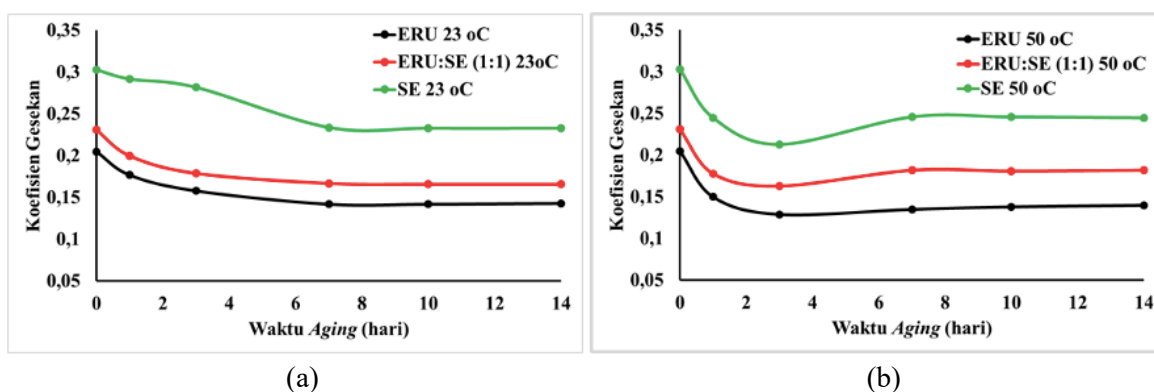
Film ditimbang sebanyak 2,5 gr (35,3 cm x 14,4 cm) lalu dipotong-potong kecil dan ditempatkan pada labu erlenmeyer 250 mL yang didalamnya terdapat *magnetic stirrer*. Ditambahkan diklorometana 80 mL dan ditempatkan diatas *hotplate stirrer* tanpa pemanasan (230 rpm) selama 3 menit. Dilakukan penyaringan dengan filtrat ditempatkan pada tabung evaporator. Tabung evaporator dimasukkan ke dalam alat TurboVap (T 60 °C, 10 psi) selama 15 menit untuk penguapan pelarut. Dilakukan pembilasan tabung dengan 5 mL diklorometana lalu dimasukkan ke dalam sonikator. Larutan disaring kembali pada labu ukur 5 mL hingga mencapai tanda batas. Larutan sampel dimasukkan dalam kuvet dan diukur dengan FTIR pada bilangan gelombang 4000-2200 cm^{-1} .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Koefisien Gesekan Film

Aditif slip ditambahkan ke dalam film dengan tujuan untuk menurunkan koefisien gesekan (COF) pada permukaan polimer [14]. Karakteristik gesekan film ini dapat diukur dari film yang meluncur di atasnya, atau biasanya disebut film-ke-film. Efektivitas aditif slip dalam menurunkan COF diklasifikasikan menjadi tiga yaitu: slip rendah (*low*) pada kisaran 0,410-0,700; slip sedang (*medium*) pada kisaran 0,210-0,400; dan terakhir adalah slip tinggi (*high*) pada kisaran 0,100-0,200 [11]. Hubungan antara koefisien gesekan film dan waktu *aging* (hari) ditampilkan pada Gambar 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa film dengan aditif *erucamide* (0,129-0,205) memiliki nilai COF terendah dibandingkan *stearyl erucamide* (0,213-0,303) dan campuran keduanya (0,163-0,231). Berdasarkan data tersebut *erucamide* dapat diklasifikasikan sebagai slip tinggi, *stearyl erucamide* sebagai slip sedang dan campuran sebagai slip tinggi-sedang.

Hasil penelitian pada suhu *aging* 23 °C menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya waktu *aging* nilai COF film akan mengalami penurunan. Waktu *aging* optimum diperoleh pada hari ke-7 saat nilai COF konstan. Hasil penelitian pada suhu *aging* 50 °C menunjukkan bahwa seiring waktu *aging* nilai COF akan turun hingga hari ke-3, dan kemudian akan mengalami kenaikan pada hari ke-7 hingga hari ke-14. Nilai COF pada suhu 50 °C lebih rendah dibandingkan dengan suhu 23 °C sehingga memiliki sifat slip yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pada suhu 50 °C memungkinkan aditif slip untuk lebih cepat bermigrasi ke permukaan polimer sehingga jumlah aditif di permukaan meningkat dan mampu menurunkan nilai COF [19]. Menurut Morris (2017), penambahan aditif slip mampu menurunkan nilai COF film pada kisaran 0,1-0,3 [11]. Nilai COF terendah diperoleh sebesar 0,129 pada film PE *erucamide* yang *diaging* selama 3 hari pada suhu 50 °C.



Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu *aging* yang dilakukan pada suhu 23 °C (a) dan 50 °C (b) terhadap koefisien gesekan film dengan aditif *erucamide* (ERU), *stearyl erucamide* (SE), dan campuran keduanya (ERU:SE)

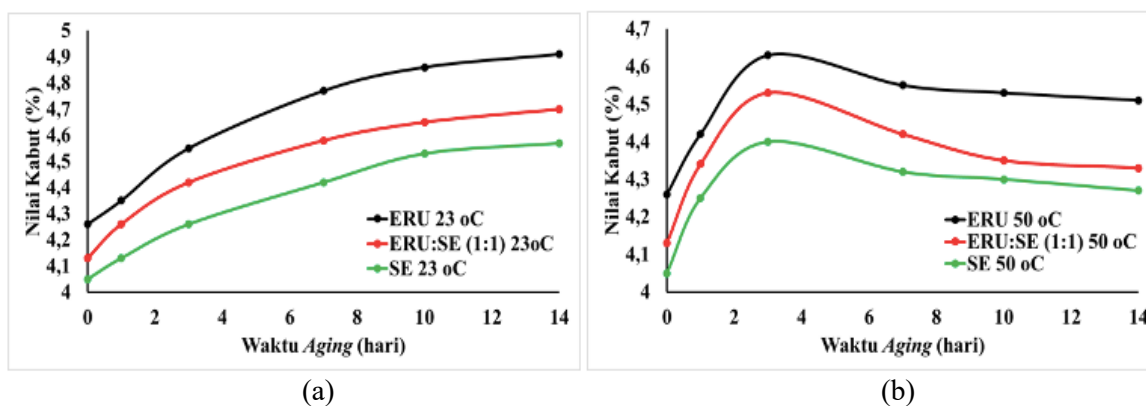
Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien gesekan terendah diperoleh pada film PE *erucamide*, dilanjutkan dengan film PE campuran dan *stearyl erucamide*. Hal ini dikarenakan aditif *erucamide* memiliki migrasi yang lebih cepat sehingga jumlah aditif di permukaan lebih banyak. Ditinjau dari rantai hidrokarbon yang mengikat gugus amida, aditif *erucamide* (MW=337,6 gram/mol) memiliki satu rantai hidrokarbon yang mengikat gugus amida, sedangkan *stearyl erucamide* (MW= 590,1 gram/mol) memiliki dua rantai hidrokarbon yang mengikat gugus amidanya. Hal tersebut menyebabkan gugus amida pada *erucamide* semakin mudah bermigrasi ke permukaan polimer film daripada gugus amida pada *stearyl erucamide*. Interaksi antara rantai hidrokarbon dengan polimer PE pada *erucamide* lebih kuat dibandingkan dengan *stearyl erucamide*. Ditinjau dari struktur gugus amidanya, aditif *erucamide* mengandung gugus amida primer, sedangkan *stearyl erucamide* mengandung gugus amida sekunder. Gugus amida primer cenderung lebih polar daripada amida sekunder sehingga memiliki interaksi yang lemah dengan polimer nonpolar PE. Hal ini menyebabkan aditif slip akan dipaksa untuk bermigrasi ke permukaan

film [11]. Selain itu, gugus amida yang lebih polar memiliki sifat yang lebih hidrofilik sehingga memiliki kecenderungan untuk bermigrasi lebih cepat dibandingkan dengan amida yang kurang polar (hidrofobik) [18].

3.2 Pengukuran Nilai Kabut Film

Kabut (*haze*) mengacu pada hamburan cahaya, yang diamati sebagai "*smokiness / kekaburan*" dalam film. Kabut didefinisikan sebagai persentase cahaya yang ketika ditransmisikan akan tersebar menyimpang dari jalur sinar datang sejauh lebih dari sudut 0,044 radian atau 2,5°. Nilai kabut yang semakin besar menunjukkan bahwa film memiliki kejernihan yang rendah [17], [20]. Hubungan antara nilai kabut film dan waktu *aging* (hari) ditampilkan pada Gambar 3. Nilai kabut terbesar diperoleh pada film PE *erucamide* yang berada pada kisaran 4,26-4,91%, film PE *sterayl erucamide* pada 4,05-4,57%, dan film PE campuran pada 4,13-4,70%. Hasil penelitian pada suhu *aging* 23 °C dan 50 °C menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu *aging* nilai kabut yang diperoleh terlihat memiliki nilai pada kisaran yang sama yaitu antara 4-5%. Namun dapat dilihat pada grafik bahwa pada suhu *aging* 23 °C, seiring dengan bertambahnya waktu *aging* nilai kabut mengalami kenaikan. Pada suhu *aging* 50 °C nilai kabut mengalami kenaikan hingga hari ke-3 dan kemudian mengalami penurunan pada hari ke-7 hingga hari ke-14.

Nilai kabut yang diperoleh pada film blanko dan yang mengandung aditif slip memiliki nilai dibawah 5%. Hal tersebut menandakan bahwa semua film yang diperoleh memiliki nilai kabut yang kecil sehingga film memiliki kejernihan yang baik. Kabut dalam film dapat disebabkan oleh efek interior atau massal (kabut internal) dan kekasaran permukaan (kabut permukaan). Kristalinitas, gel, rongga, pemisahan fase campuran, dan berbagai aditif atau pengisi akan meningkatkan kabut internal dengan menyediakan tempat bagi cahaya untuk dibiaskan dan dihamburkan. Kabut permukaan disebabkan oleh kekasaran permukaan. Kristalinitas dan adanya aditif tertentu diketahui berkontribusi terhadap kekasaran dan kabut permukaan [11].

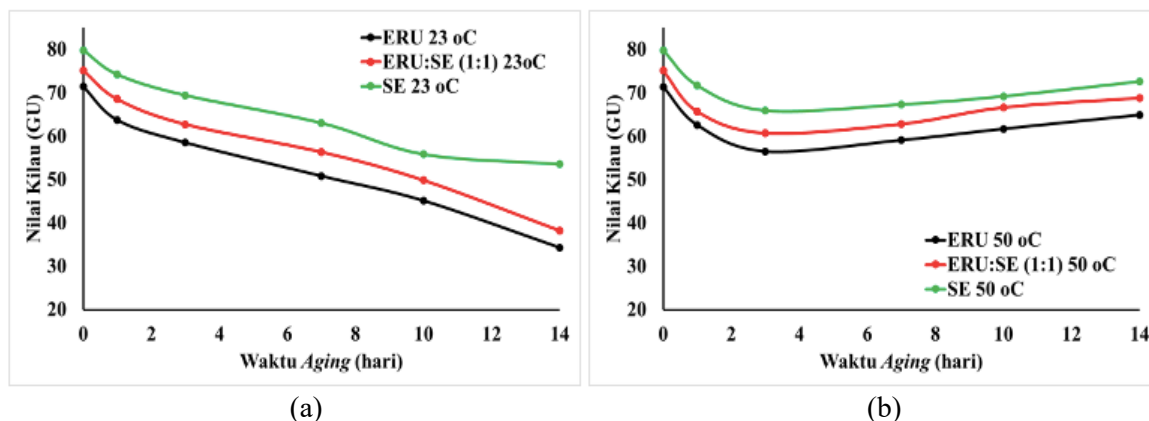


Gambar 3. Grafik hubungan antara waktu *aging* yang dilakukan pada suhu 23 °C (a) dan 50 °C (b) terhadap nilai kabut film dengan aditif *erucamide* (ERU), *sterayl erucamide* (SE), dan campuran keduanya (ERU:SE)

3.3 Pengukuran Nilai Kilau Film

Kilau (*gloss*) didefinisikan sebagai ukuran kilap permukaan suatu film yang diamati pada sudut tertentu. Tiga sudut pengukuran yaitu 20° (kilau tinggi), 60° (kilau menengah), 45° (kilau menengah dan rendah), dan 75° (direkomendasikan untuk pelapis dinding dan *soffit*) [18]. Hubungan antara nilai kilau dan waktu *aging* ditampilkan pada Gambar 4. Nilai kilau terendah diperoleh pada film PE *erucamide* pada kisaran 34,3 – 71,4 GU, film PE *stearyl erucamide* pada 53,5 79,8 GU, dan film PE campuran pada 38,2 -75,1 GU. Nilai kilau berbanding terbalik dengan nilai kabut film. Hasil penelitian pada suhu *aging* 23 °C menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu *aging* nilai kilau mengalami penurunan, sedangkan pada suhu *aging* 50 °C nilai kilau mengalami penurunan hingga hari ke-3 dan kemudian mengalami kenaikan pada hari ke 7-14. Nilai kilau diukur pada sudut 20° menunjukkan perbedaan nilai kilau yang dapat diamati sejara jelas. Hal

ini menandakan bahwa film yang diukur merupakan *high gloss film* atau film dengan nilai kilau yang tinggi.



Gambar 4. Grafik hubungan antara waktu *aging* yang dilakukan pada suhu 23 °C (a) dan 50 °C (b) terhadap nilai kilau film dengan aditif *erucamide* (ERU), sterayl *erucamide* (SE), dan campuran keduanya (ERU:SE)

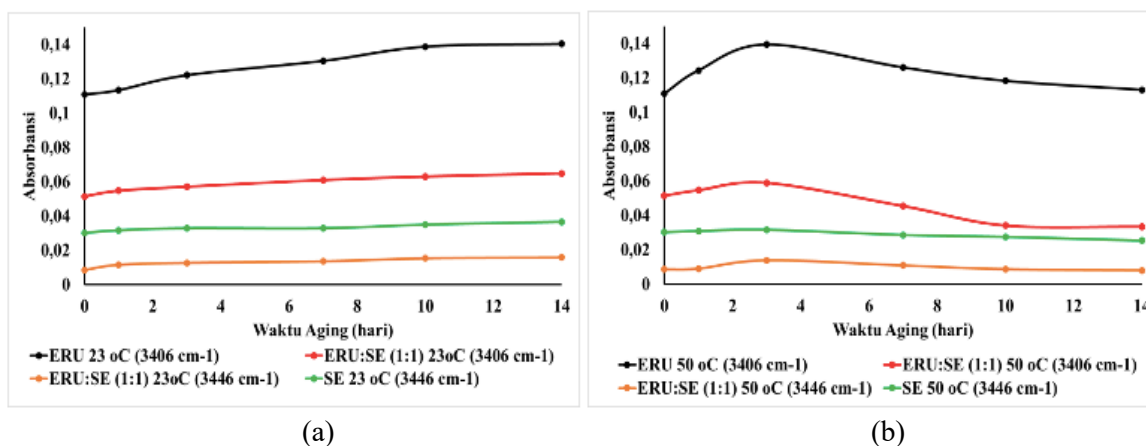
3.4 Pengukuran dengan FTIR

Koefisien gesekan, nilai kabut, dan nilai kilau film diukur berdasarkan migrasi aditif slip ke permukaan film. Migrasi ini disebabkan karena perbedaan struktur antara aditif slip dan polimer. Aditif slip amida lemak rantai panjang memiliki sifat ganda yaitu terdapat gugus amida hidrofilik pada salah satu ujung rantai panjang hidrokarbon hidrofobik [19]. Gugus amida pada aditif slip yang bersifat polar akan bermigrasi ke permukaan film membentuk lapisan pelumas, sedangkan rantai hidrokarbon yang bersifat nonpolar akan terdapat dalam polimer karena memiliki struktur yang serupa [7], [21]. Prinsip migrasi aditif slip yaitu, pada hari ke-0 saat dilakukan pembuatan film melalui proses pemanasan, aditif slip akan terdispersi secara homogen dalam film. Aditif slip selanjutnya akan mulai bermigrasi ke permukaan film saat proses pendinginan. Gugus amida pada aditif slip bersifat polar akan menghadap ke udara dan mulai menghasilkan lapisan pertama di permukaan film, sedangkan rantai hidrokarbon akan terdapat dalam polimer. Pada saat ini nilai COF film akan mulai menurun yang terjadi pada hari ke 0-3. Pada *aging* hari ke-7 hingga 14, terdapat lebih banyak molekul aditif slip tiba di permukaan dan akan membentuk lapisan kedua di permukaan, dimana gugus amida saling berhadapan. Oksigen dan hidrogen pada amida akan dengan mudah membentuk ikatan hidrogen yang lemah dan mudah putus. Lapisan pelumas kedua pada permukaan film menyebabkan nilai COF berkurang dan mencapai kesetimbangan [21], [22].

Jumlah aditif slip yang telah bermigrasi dapat diketahui berdasarkan spektra FTIR yang dilihat dari absorbansi gugus amida pada rentang pita serapan 3100-3500 cm^{-1} [23]. Serapan gugus amida (N-H) pada aditif *erucamide* muncul pada bilangan gelombang 3406 cm^{-1} dan aditif *stearyl erucamide* muncul pada bilangan gelombang 3446 cm^{-1} . Data absorbansi FTIR senyawa aditif slip ditampilkan pada Gambar 5. Hasil menunjukkan bahwa absorbansi terbesar ditunjukkan oleh aditif *erucamide* sehingga migrasi aditif ke permukaan film lebih besar daripada aditif *stearyl erucamide*. Hal tersebut mengakibatkan film PE *erucamide* memiliki nilai koefisien gesekan dan kilau terendah serta nilai kabut tertinggi. Gugus amida yang bermigrasi menyebabkan terbentuknya lapisan minyak/ aditif yang menutupi area permukaan film [20]. Diketahui bahwa jumlah aditif slip mengalami kenaikan pada hari ke-7 dengan suhu *aging* 50 °C. Beberapa studi telah dilakukan untuk menyelidiki pengaruh suhu *aging* terhadap jumlah migrasi aditif slip ini.

Penelitian oleh Rawls et al. (2022), dimana film *polyethylene* dengan aditif *erucamide* disimpan pada suhu 22 °C dan pada suhu 60 °C selama tujuh hari. Hasil menunjukkan terjadinya penurunan aditif pada suhu 60°C sekitar 8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Suhu tinggi dapat digunakan untuk meningkatkan migrasi aditif slip, akan tetapi suhu yang lebih tinggi dapat mendorong penguapan yang tidak diinginkan dalam kerangka waktu yang diinginkan (7 hari atau 168 jam) [19]. Shuler et

al. (2004), juga meneliti tentang pengaruh kenaikan suhu terhadap migrasi slip *erucamide* ke permukaan multilayer film polyolefin. Film disimpan selama 14 hari dalam suhu 23 °C lalu disimpan kembali selama tujuh hari pada suhu 55 °C. Data menunjukkan bahwa nilai COF film tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan yaitu dalam kisaran 0,5-0,6. Nilai COF ini lebih tinggi dari nilai yang diharapkan yaitu 0,3. Sedangkan untuk konsentrasi aditif *erucamide* pada permukaan diketahui mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan ini dapat disebabkan karena adanya kemungkinan penguapan *erucamide* dari permukaan film ke sekelilingnya [13].



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu *aging* yang dilakukan pada suhu 23 °C (a) dan 50 °C (b) terhadap absorbansi gugus amida pada film dengan aditif *erucamide* (ERU), sterayl *erucamide* (SE), dan campuran keduanya (ERU:SE)

Berdasarkan kedua penelitian tersebut dijelaskan adanya kemungkinan penguapan aditif *erucamide*. Namun, adanya kemungkinan penguapan *erucamide* pada suhu 50 °C ini sangat tidak mungkin. Hal tersebut dikarenakan titik leleh *erucamide* berada pada kisaran 75-80 °C dan titik didihnya bahkan lebih tinggi (470-475 °C). Sangat sulit untuk mengukur potensi kehilangan *erucamide* karena penguapan, dikarenakan muatan *erucamide* yang rendah ditambah dengan potensi hilangnya rantai polimer dari film. Potensi hilangnya aditif ini dapat dilakukan dengan percobaan untuk mengetahui penurunan berat pada potongan besar film yang rapi dan mengandung *erucamide*. Penyebab lain yang diasumsikan yaitu karena migrasi kembali *erucamide* ke bagian dalam film dan terjadinya perubahan kimia pada *erucamide* [24]. Perubahan kimia yang terjadi yaitu adanya degradasi pada *erucamide* oleh atom karbon tak jenuh pada senyawa *erucamide*. Terdapat dua mekanisme untuk memprediksi produk degradasi *erucamide* yang diusulkan oleh Shuler et al. (2004). Mekanisme pertama melibatkan oksidasi pada salah satu atom karbon tak jenuh (yaitu, karbon nomor 13 dari ujung amida, C13). Dilanjutkan dengan pemutusan ikatan O-O yang mengarah ke pembentukan turunan tersubstitusi -OH dari *erucamide*. Mekanisme kedua melibatkan oksidasi pada rantai hidrokarbon tak jenuh C13 dan diikuti dengan abstraksi hidrogen., yang mengarah ke pembentukan turunan hidroperoksida. Hiperoksida selanjutnya dapat mengalami penataan ulang Hock dan terdegradasi menjadi dua senyawa aldehida, yaitu nonanal dan amida asam 13-okso-tridekanoat [13]. Penataulangan Hock merupakan penataan ulang hidroperoksida yang dipicu oleh asam protik atau Lewis yang memiliki unit tak jenuh yang melekat pada karbon yang membawa gugus hidroperoksida. Penataulangan Hock menyebabkan pembelahan ikatan C-C dan pembentukan dua senyawa karbonil. Reaksi ini cukup sering terjadi pada lipid dan asam lemak [25].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aditif slip dapat menurunkan koefisien

gesekan dan nilai kilau, serta dapat meningkatkan nilai kabut film PE. Aditif slip memiliki gugus amida yang bersifat polar, sedangkan polimer PE memiliki struktur non-polar, perbedaan kepolaran tersebut mengakibatkan adanya migrasi aditif slip ke permukaan film dan dapat berpengaruh pada karakter PE. Nilai koefisien gesekan terendah diperoleh pada film dengan aditif *erucamide* yang *diaging* selama 3 hari pada suhu 50 °C dengan nilai COF sebesar 0,129, nilai kabut 4,63%, dan nilai kilau 56,5 GU. Penelitian pada film dengan kandungan aditif slip campuran dengan berbagai perbandingan komposisi aditif perlu dipelajari lebih lanjut agar dapat diketahui komposisi yang menghasilkan koefisien gesekan terendah, serta nilai kabut dan nilai kilau terbaik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Product Application and Development (PAD) PT. Lyondellbasell Advanced Polyolefins yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] M. Tolinski, *Additives for polyolefins: getting the most out of polypropylene, polyethylene and TPO*, Second edition. Oxford : Elsevier, 2015.
- [2] I. Rahayu, *Pengantar Polimer dan Modifikasinya*. Bandung: Alqaprint Jatinangor, 2020.
- [3] A. Rahmawati, "Pengaruh Penggunaan Plastik Polyethylene (PE) dan High Density Polyethylene (HDPE) pada Campuran Lataston-Wc Terhadap Karakteristik Marshall", *J. Ilmiah Semesta Teknika*, vol. 18 (2), pp. 147–159, 2015.
- [4] J. P. Greene, *Automotive plastics and composites: materials and processing*. Oxford : William Andrew, 2021.
- [5] J. Markarian, "Slip And Antiblock Additives: Surface Medication For Film And Sheet", *Plast. Addit. and Compd.*, vol. 9 (6), pp. 32–35, 2007.
- [6] C. Shivasharana and S. S. Kesti, "Physical and Chemical Characterization of Low Density Polyethylene and High Density Polyethylene," *J. Adv. Sci. Res.*, vol. 10 (3), pp. 30–34, 2019.
- [7] G. Wypych, Ed., *Handbook of Antiblocking, Release, and Slip Additives*, Oxford: Elsevier, 2014.
- [8] J. Chen, J. Li, T. Hu, and B. Walther, "Fundamental Study of Erucamide Used as a Slip Agent", *J. Vac. Sci. Technol. A: Vacuum, Surfaces, and Films*, vol. 25 (4), pp. 886–892, 2007.
- [9] F. Coelho *et al.*, "Synthesis and Evaluation of Amides as Slip Additives in Polypropylene", *Int. Polym. Process.*, vol. 30 (5), pp. 574–584, 2015.
- [10] A. R. Zahedi, A. Ranji, and S. Asiaban, "Optimizing COF, Blocking Force, and Printability of Low Density Polyethylene," *J. Plast. Film Sheeting*, vol. 22 (3), pp. 163–176, 2006.
- [11] B. A. Morris, *The Science and Technology of Flexible Packaging*, Oxford : Elsevier, 2017.
- [12] H. Zweifel, Ed., *Plastics Additive Handbook*, 5th ed. Ohio: Hanser Gardner Publications, 2001.
- [13] C. A. Shuler, A. V. Janorkar, and D. E. Hirt, "Fate of Erucamide in Polyolefin Films at Elevated Temperature", *Polym. Eng. Sci.*, vol. 44 (12), pp. 2247–2253, 2004.
- [14] M. X. Ramirez, K. B. Walters, and D. E. Hirt, "Relationship between erucamide surface concentration and coefficient of friction of LLDPE film", *J Vinyl Addit. Technol.*, vol. 11 (1), pp. 9–12, 2005.
- [15] R. Catarino-Centeno, M. A. Waldo-Mendoza, E. García-Hernández, and J. E. Pérez-López, "Relationship Between The Coefficient of Friction of Additive In The Bulk and Chain Graft Surface Density Through A Diffusion Process: Erucamide–Stearyl Erucamide Mixtures In Polypropylene Films," *J. Vinyl Addit. Technol.*, vol. 27, pp. 259–266, 2021.
- [16] ASTM International, "Standard Test Method For Static And Kinetic Coefficients Of Friction Of Plastic film And Sheeting (D1894-14)." West Conshohocken (PA): ASTM International., 2014.
- [17] ASTM International, "Standard Test Method For Haze And Luminous Transmittance Of Transparence Plastics (D1003-00)." West Conshohocken (PA): ASTM International., 2000.
- [18] ASTM International, "Standard Test Method For Specular Gloss Of Plastic Films And Solid Plastics (D 2457-03)." West Conshohocken (PA): ASTM International., 2003.

- [19] A. S. Rawls, D. E. Hirt, M. R. Havens, and W. P. Roberts, "Evaluation of Surface Concentration of Erucamide in LLDPE Films," *J. Vinyl Addit. Technol.*, vol. 8, (2), pp. 130–138, 2002.
- [20] B. Scharfe, S. Lehmann, T. Gerdes, and D. Brüggemann, "Optical and Mechanical Properties of Highly Transparent Glass-Flake Composites", *J. Compos. Sci.*, 3 (101), p. 17, 2019.
- [21] K. Keck-Antoine, E. Lievens, J. Bayer, J. Mara, D.-S. Jung, and S.-L. Jung, *Multilayer Flexible Packaging*, Oxford : Elsevier, 2010.
- [22] S. Crabtree, C. Pavlicek, and M. Spalding, "Single Screw Extruder Zone Temperature Selection For Optimized Performance", *ANTEC*, pp 1410–1415.
- [23] N. P. Awasthi, S. K. Upadhyay, and R. P. Singh, "Kinetic Investigation of Erucamide Synthesis Using Fatty Acid and Urea," *J. Oleo Sci.*, vol. 57, (9), pp. 471–475, 2008.
- [24] J. Murphy, *Additives for plastics handbooks*, 2nd ed. Oxford : Elsevier Science Ltd., 2001.
- [25] Z. Wang, *Comprehensive organic name reactions and reagents*. Hoboken : John Wiley, 2009.