

AKUMULASI LISTRIK STATIS PADA GELAS PLASTIK PRODUKSI MESIN INJECTION MOLDING: PENGARUH KELEMBABAN UDARA, TEMPERATUR, DAN BAHAN ADITIF

Ratnawati^{*)}, Aprilina Purbasari, dan Yustina Linasari

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, Tembalang-Semarang, 50275, Telp/fax: (024)7460058/(024)76480675

^{*)}Penulis korespondensi: ratnawati_hartono@undip.ac.id

Abstract

ACCUMULATION OF STATIC ELECTRICITY ON PLASTIC CUPS PRODUCED BY INJECTION MOLDING MACHINE: EFFECT OF HUMIDITY, TEMPERATURE, AND ADDITIVES. *Static electricity accumulated on polypropylene cups produced by injection molding machine causes cup-to-cup adhesion. This problem hampers the application of cup in drinking water filling machine. This research was aimed to study the effect of relative humidity, temperature, and addition of TiO₂ on the electrostatic potential of cup surface. The results show that the electrostatic potential is affected by relative humidity, temperature, and addition of TiO₂. The electrostatic potential decreases as the relative humidity increases, but it tends to be constant as the humidity reaches 68%. However, the optimum relative humidity is 67-68%, as indicated by the lowest potential difference (ΔV) between two cups. Potential difference (ΔV) of ≤ 5.2 kV causes the cups to drop faster due to gravitational force, potential difference of 5.2 kV $< \Delta V \leq 6.7$ kV causes the cups to drop slowly, while $\Delta V > 6.7$ kV causes the cups to adhere to each other. The electrostatic potential decreases as the temperature increases. The electrostatic potential slightly decreases by adding 0.75% of TiO₂. The results show that cups with small electrostatic potential can speed up the filling machine to 220-250 rpm and 140-160 rpm for machines handling 180 ml and 225 ml cups, respectively.*

Keywords: *humidity; polypropylene; static electricity; tribocharging*

Abstrak

Akumulasi listrik statis pada gelas polipropilena hasil produksi mesin injection molding dapat menyebabkan gelas memiliki gaya elektrostatis dan tidak dapat turun secara gravitasi. Masalah ini menghambat aplikasi gelas pada mesin pengisian air minum dalam kemasan (AMDK). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kelembaban udara, temperatur, dan penambahan bahan aditif TiO₂ terhadap potensial listrik permukaan gelas polipropilena. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensial listrik permukaan dipengaruhi oleh kelembaban udara ruang produksi, temperatur, dan penambahan TiO₂. Potensial listrik permukaan semakin kecil dengan naiknya kelembaban udara. Setelah kelembaban mencapai 68% potensial listrik permukaan cenderung konstan. Ditinjau dari beda potensial (ΔV) antara permukaan dua gelas, kelembaban optimum adalah 67-68%, yang ditandai dengan beda potensial yang paling rendah. Beda potensial $\leq 5,2$ kV menyebabkan gelas cepat turun, beda potensial $5,2$ kV $< \Delta V \leq 6,7$ kV menyebabkan gelas turun dengan lambat, dan $\Delta V \geq 6,7$ kV menyebabkan gelas sangat lambat turun atau menempel. Potensial listrik turun dengan naiknya temperatur. Potensial listrik statis permukaan hanya sedikit turun akibat penambahan 0,75% berat TiO₂. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan gelas dengan potensial listrik permukaan rendah dapat menaikkan kecepatan mesin pengisian AMDK menjadi 220-250 rpm dan 140-160 rpm, masing-masing untuk mesin pengisian gelas 180 ml dan 225 ml.

Kata kunci: *kelembaban; polipropilena; listrik statis; tribocharging*

PENDAHULUAN

Industri AMDK di Indonesia dimulai pada tahun 1973 (Kurniati, 2007). Meskipun pada awalnya

perkembangannya kurang menjanjikan, tetapi seiring dengan tuntutan masyarakat akan kepraktisan dalam hal minuman, industri AMDK semakin berkembang

dengan pesat. Perkembangan ini tentu saja disertai dengan perkembangan industri kemasan tersebut. Kemasan yang paling banyak digunakan adalah yang terbuat dari plastik. Kemasan plastik memiliki beberapa kelebihan yaitu ringan, mudah dibentuk, dapat diberi warna, dan harganya yang relatif murah. Meskipun demikian, bahan kemasan plastik mempunyai kelemahan yang terkait dengan sifatnya sebagai isolator listrik. Sifat isolator tersebut menyebabkan plastik dapat menahan muatan listrik yang timbul pada berbagai tahap produksi polimer sebagai bahan baku maupun pada proses pembentukan kemasan (Taillet, 2003).

Ketika dua benda yang terbuat dari bahan yang sama dikontakkan kemudian dipisahkan, maka akan terjadi perpindahan muatan listrik dari satu benda ke benda lainnya. Fenomena tersebut dinamakan *tribo-charging* (Matsusaka dkk., 2010). *Tribo-charging* akan menyebabkan ketidakseimbangan muatan pada permukaan benda sehingga timbul listrik statis pada benda tersebut (Varis, 2001). Untuk bahan yang bersifat konduktor, ketidakseimbangan muatan di permukaan ini akan segera ditransfer ke dalam benda tersebut, ke benda konduktor lain yang dikontakkan, atau ke bumi jika benda tersebut di-ground-kan. Sementara itu, bahan yang bersifat isolator akan menahan muatan tersebut, sehingga benda tersebut akan menjadi bermuatan listrik statis. Bahan isolator tidak mampu mentransfer muatan pada permukaan ke dalam benda tersebut atau ke benda lain. Ketidakmampuan mentransfer muatan ini dinyatakan dengan resistivitas permukaan. Polimer memiliki resistivitas permukaan yang sangat tinggi, yaitu 10^{14} - 10^{18} Ω (Németh dkk., 2003).

Tribo-charging terhadap polimer merupakan fenomena kompleks yang sangat sensitif terhadap keadaan permukaan. *Tribo-charging* terjadi melalui mekanisme transfer pasangan elektron antara dua benda atau partikel yang kontak. Selama kontak, orbital elektron yang terisi dan/atau yang kosong dapat saling overlap, dan pasangan elektron tersebut menggunakan orbital baru hasil overlap. Setelah kedua partikel dipisahkan, ada kemungkinan pasangan elektron tersebut tetap tinggal di dalam orbital yang semula kosong. Sebagai akibatnya satu partikel menjadi bermuatan positif, dan lainnya negatif (Németh dkk., 2003). Transfer elektron tersebut hanya terjadi di permukaan sampai kedalaman maksimum 30 nm (Park dkk., 2007). Sementara itu, hasil penelitian Bailey menunjukkan bahwa densitas muatan pada permukaan akibat ionisasi seperti di atas adalah satu atom permukaan per 10^5 - 10^8 atom. Densitas muatan yang berbeda dapat diperoleh dengan menggunakan bahan, sifat kimia, topografi permukaan, dan kondisi percobaan yang berbeda. Ini menunjukkan bahwa *tribo-charging* terhadap polimer merupakan satu fenomena yang sangat kompleks. Kondisi lingkungan, dalam hal ini adalah kelembaban udara, sangat berpengaruh terhadap *tribo-charging* pada polimer (Németh dkk., 2003).

Dalam industri polimer, listrik statis ini akan menyebabkan produk saling menempel (Choi dkk., 2013). Muatan listrik statis ini dapat tertahan dalam bahan polimer sampai beberapa bulan, meskipun bahan tersebut dikontakkan dengan konduktor yang di-ground-kan (Taillet, 2003). Cara yang paling praktis untuk mengatasi masalah ini adalah dengan cara menurunkan resistivitas permukaan dari bahan polimer hingga di bawah 10^{14} Ω (Grob dan Minder, 1999). Berbagai metode telah dilakukan untuk menurunkan resistivitas bahan polimer, seperti dengan menggunakan bahan aditif anti statis (Grob dan Minder, 1999), *dc corona ionizer* (Chang dan Berezin, 2001), plasma (Chongqi dkk., 2010), teknologi injeksi supersonik (Taillet, 2003), dan radiasi sinar X (Mukherjee dan Mukherjee, 2008). Dalam mengatasi permasalahan terhadap akumulasi muatan listrik statis, perlu diperhatikan beberapa faktor yang berpengaruh. Kondisi terkontrolnya muatan listrik statis pada permukaan plastik dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban udara dimana material plastik tersebut berada (Grob dan Minder, 1999).

Peristiwa *tribo-charging* juga terjadi pada gelas plastik kemasan air, sebagai akibat gesekan antar butiran-butiran polimer bahan baku, antara butiran polimer dengan mesin ekstrusi, dan antara gelas plastik dengan mesin molding (Choi dkk., 2013). Akumulasi listrik statis pada permukaan gelas plastik memberikan masalah pada industri AMDK plastik bentuk gelas. Akumulasi listrik statis menyebabkan gelas plastik memiliki gaya elektrostatis antara satu dengan yang lainnya. Hal tersebut menyebabkan gelas saling menempel sehingga menghambat gelas untuk turun secara gravitasi. Hal ini mempengaruhi pengaplikasian gelas pada industri air minum karena kecepatan produksi mesin pengisian AMDK yang akan mengakibatkan menurunnya jumlah hasil produksi AMDK.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kelembaban udara optimum pada ruangan produksi gelas plastik agar gelas memiliki muatan listrik statis sekecil-kecilnya. Di samping itu akan diteliti pula pengaruh temperatur, dan bahan aditif pewarna putih TiO₂ dibandingkan dengan clarifying agent (CA) terhadap muatan listrik statis pada gelas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di industri pembuat gelas plastik PT Starindo Jaya Packaging di Pati dan industri AMDK PT Starfood Jaya Prima di Kudus Jawa Tengah. Bahan baku pembuat gelas adalah butiran polipropilena (PP) dan bahan tambahan *slip agent* (SA), CA, dan TiO₂. SA berfungsi untuk mengurangi lengketnya satu gelas dengan gelas lainnya dan permukaan benda lain, sedangkan CA berfungsi untuk membuat gelas lebih transparan. Sementara itu, TiO₂ berfungsi sebagai zat pewarna putih dan menambah opacity dari gelas (Morris, 2013). Terhadap semua bahan ini dilakukan pengukuran potensial listrik muatan dengan

menggunakan *electrostatic fieldmeter*. Selanjutnya ruang tempat mesin *injection molding* yang merupakan ruang produksi gelas di PT Starindo Jaya Packaging dikondisikan menjadi ruang tertutup dengan adanya pengaturan kelembaban udara. Kelembaban udara diatur dengan *humidifier* dan diukur dengan *humidity meter*.

Pada tahap pertama, gelas transparan yang dibuat dari polipropilena dengan bahan aditif SA dan CA, diproduksi pada berbagai kelembaban udara. Gelas hasil produksi tersebut disimpan selama 1 hari untuk menurunkan temperaturnya sebelum dilakukan pengukuran potensial listrik permukaan. Pengukuran dilakukan terhadap pasangan-pasangan gelas yang berada dalam 1 slop yang berisi 50 buah gelas. Gelas 1 yang berada di atas diukur potensial permukaan luarnya, sementara gelas 2 yang berada di bawah, diukur potensial permukaan bagian dalam. Kelembaban udara yang menyebabkan beda potensial listrik paling kecil merupakan kelembaban optimum, yang selanjutnya digunakan sebagai kondisi kelembaban untuk memproduksi gelas pada tahap berikutnya. Gelas yang keluar dari mesin *injection molding* memiliki temperatur yang relatif tinggi, yaitu sekitar 60°C. Satu slop gelas selanjutnya disimpan dan diamati perubahan temperatur serta potensial listriknya selama 24 jam. Pada tahap kedua, gelas putih diproduksi dengan menambahkan bahan aditif CA dan TiO₂. Pengaruh penambahan TiO₂ ini terhadap potensial listrik juga diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensial Listrik Statis Bahan Baku

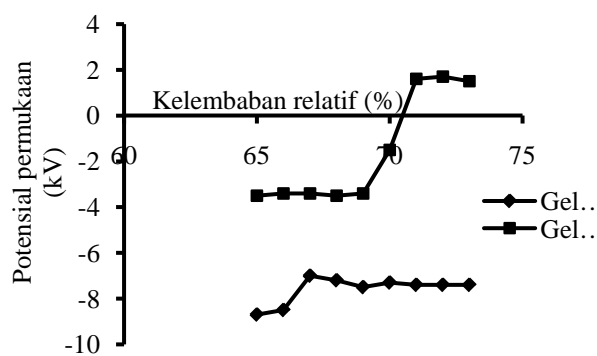
Pengukuran potensial listrik statis pada bahan baku di dalam gudang penyimpanan dilakukan pada temperatur 32,8±0,8°C dan kelembaban relatif 42,7±0,5%. Hasil pengukuran yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa polipropilena memiliki muatan negatif (-) sedangkan bahan lain bermuatan positif (+). Polipropilena mengalami *tribo-charging* selama proses pembuatannya akibat gesekan antar butiran polimer dan antara polimer dengan dinding logam dari reaktor maupun alat-alat lainnya (Matsuyama dan Yamamoto, 2010). Polipropilena merupakan bahan non polar yang cenderung akan bermuatan negatif jika mengalami *tribo-charging* (Diaz dan Felix-Navarro, 2004; Park dkk., 2011). Lee dalam Pierce (2011) juga menyatakan bahwa polipropilena merupakan bahan dengan afinitas muatan bernilai negatif.

Tabel 1. Potensial permukaan rata-rata bahan baku gelas

Jenis bahan	Potensial permukaan (kV)
PP	- 12,4 ± 3,4
TiO ₂	+ 8,3 ± 2,5
SA	+ 5,3 ± 1,3
CA	+ 4,9 ± 1,4

Pengaruh Kelembaban Udara Terhadap Potensial Permukaan

Hasil pengukuran potensial permukaan gelas yang diproduksi pada berbagai kelembaban udara ditampilkan pada Gambar 2. Gelas yang diproduksi adalah gelas transparan dengan ukuran 180 ml yang dibuat dengan bahan aditif SA dan CA. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa muatan negatif (-) pada gelas lebih besar dibandingkan muatan positif (+). Meskipun Nemeth dkk. (2003) menyatakan bahwa polipropilena termasuk polimer yang hanya sedikit polar, tetapi pada peristiwa *tribo-charging*, sebagian polipropilena menjadi bermuatan negatif dan sebagian bermuatan positif, tetapi muatan negatif lebih dominan (Diaz dan Felix-Navarro, 2004; Park dkk., 2011, Pierce, 2011). Atom-atom pada permukaan lebih banyak yang menerima elektron daripada yang kehilangan elektron. Keberadaan bahan aditif, yaitu SA dan CA, tidak begitu berpengaruh terhadap sifat *tribo-charging* gelas karena penambahan aditif tersebut sedikit sekali, kurang dari 1%.



Gambar 2. Pengaruh kelembaban udara ruang produksi terhadap potensial listrik permukaan gelas transparan

Pada Gambar 2 juga tampak bahwa kelembaban udara ruang produksi berpengaruh terhadap potensial permukaan. Sebagai contoh untuk gelas 2, potensial listrik permukaan turun dengan naiknya kelembaban udara, yaitu dari 8,7 kV menjadi 7 kV ketika kelembaban naik dari 65% menjadi 67%. Setelah itu potensial listrik permukaan relatif konstan. Fenomena ini berkaitan dengan keberadaan molekul air di permukaan gelas. Semakin lembab udara, maka semakin banyak molekul air yang akan masuk ke permukaan gelas membentuk *water-containing swollen layer* (lapisan polimer yang membengkak karena mengandung air). Hasil penelitian Nemeth dkk. (2003) menunjukkan bahwa pada kelembaban udara 95%, polipropilena mampu menyerap air sebanyak 0,05% (b/b) membentuk lapisan yang membengkak. Meskipun kemampuan menyerap air ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan polimer polar, seperti poli(metil metakrilat), tetapi keberadaan molekul air pada permukaan gelas polipropilena tetap membawa dampak yang tampak.

Air pada lapisan ini mengalami auto disosiasi membentuk ion hidronium (H_3O^+) dan ion hidroksil (OH^-) (Albrecht dkk., 2009). Ion-ion ini berperan sebagai pembawa muatan yang dapat mengalirkan arus listrik sehingga mengurangi resistivitas permukaan yang selanjutnya berpengaruh terhadap muatan permukaan (Németh dkk., 2003). Muatan yang terakumulasi pada permukaan akibat efek *tribo-charging* akan ditransfer ke molekul-molekul air yang banyak terdapat di udara lembab. Akibatnya semakin lembab udara maka semakin kecil muatan yang terakumulasi pada permukaan dan potensial permukaan juga menurun.

Jika dihitung beda potensial (ΔV) antara gelas 1 dan gelas 2 berdasarkan data pada Gambar 2, maka akan diperoleh beda potensial antar permukaan dua gelas yang diproduksi pada berbagai kelembaban udara sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 tampak bahwa beda potensial permukaan yang paling kecil terjadi pada gelas-gelas yang diproduksi pada kelembaban udara 67-68%, yaitu sebesar 3,6 dan 3,7 kV. Hasil pengujian kecepatan turun gelas pada mesin pengisian AMDK, menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut gelas dapat turun dengan cepat dalam waktu kurang dari 2 detik, dan bahkan untuk beda potensial hingga 5,8 kV gelas juga masih dapat turun dengan cepat. Gelas-gelas tersebut turun karena adanya gaya gravitasi. Untuk gelas-gelas yang diproduksi pada kelembaban 71, 72, dan 73%, salah satu gelas bermuatan positif sehingga beda potensial menjadi besar. Gelas-gelas yang diproduksi pada kelembaban $> 71\%$ menunjukkan kecepatan turun yang kecil. Gelas-gelas tersebut memerlukan waktu lebih lama dari 3 detik. Beda potensial yang besar, apalagi dengan jenis muatan yang berbeda akan menyebabkan kedua gelas akan saling tarik dengan lebih kuat, sehingga lebih lama turun.

Tabel 2. Beda potensial permukaan antara dua gelas yang diproduksi pada berbagai kelembaban udara dan kecepatan turun gelas

Kelembaban udara pada saat produksi (%)	ΔV antar 2 gelas (kV)	Waktu turun gelas (detik)	Keterangan
65	5,2	1	cepat
66	5,1	1	cepat
67	3,6	1	cepat
68	3,7	1	cepat
69	4,1	1	cepat
70	5,8	1	cepat
71	9,0	> 3	lambat
72	9,1	> 3	lambat
73	8,9	> 3	lambat

Tabel 3. Pengaruh beda potensial listrik statis permukaan terhadap waktu turun gelas transparan ukuran 180 ml pada temperatur 61°C

Nomor pengamatan	Potensial Listrik (kV)		ΔV (kV)	waktu turun gelas (detik)	Keterangan
	gelas 1	gelas 2			
1	- 1,6	- 0,2	1,4	1	cepat
2	- 2,2	- 0,3	1,9	1	cepat
3	- 0,5	+ 0,2	0,7	1	cepat
4	+ 2,3	- 0,6	2,9	1	cepat
5	- 1,1	+ 2,1	3,2	1	cepat
6	- 1,7	- 0,2	1,5	1	cepat

Berdasarkan hasil percobaan sebagaimana disajikan pada Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa kelembaban relatif udara yang optimum untuk memproduksi gelas adalah 67-68%. Untuk selanjutnya gelas diproduksi pada kondisi kelembaban relatif udara 67-68%.

Potensial Listrik Permukaan Maksimal

Pengukuran waktu turun gelas pada beberapa jenis sampel gelas dilakukan dengan memperhatikan besarnya potensial listrik permukaan dan jenis muatan tiap gelas. Lamanya waktu penurunan gelas dapat mengindikasikan kinerja gelas pada pengaplikasiannya di mesin pengisian AMDK. Proses penurunan gelas dilakukan secara manual. Gelas 1 adalah gelas pada posisi di atas, sedangkan gelas 2 adalah gelas pada posisi di bawah. Gelas 2 diharapkan dapat jatuh dengan cepat akibat gaya gravitasi. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 3-5. Tabel 3 menyajikan hasil percobaan dengan menggunakan gelas transparan berukuran 180 ml pada temperatur 61°C. Pada tabel tersebut tampak bahwa beda potensial antara gelas 1 dengan gelas 2 untuk semua nomor pengamatan cukup kecil, yaitu berkisar 0,7-3,2 kV. Beda potensial yang cukup kecil ini menyebabkan gelas 2 dapat turun dengan cepat.

Tabel 4 menampilkan hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan gelas putih berukuran 240 ml pada temperatur 61°C. Pada setiap nomor pengamatan, jenis muatan pada gelas 1 dan gelas 2 bisa sama atau berbeda. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa beda potensial antara gelas 1 dengan gelas 2 dengan nilai $\leq 5,2$ kV akan menyebabkan gelas 2 turun dengan cepat dan beda potensial $\geq 6,7$ kV akan menyebabkan adanya gaya tarik yang cukup kuat sehingga gelas 2 turun dengan lambat.

Tabel 4. Pengaruh beda potensial listrik statis permukaan terhadap waktu turun gelas putih ukuran 240 ml pada temperatur 61°C

Nomor Sampel	Potensial Listrik (KV)		Beda Potensi Listrik (KV)	Waktu turun gelas (detik)	Keterangan
	gelas 1	gelas 2			
7	+ 7,7	+ 2,5	5,2	1	cepat
8	- 6,6	- 1,9	4,7	1	cepat
9	+ 2,8	+ 2,7	0,1	1	cepat
10	+ 2,9	- 4,8	7,7	3	lambat
11	+ 1,7	- 6,8	8,5	3	lambat
12	- 9,1	- 2,4	6,7	3	lambat

Tabel 5. Pengaruh beda potensial listrik statis permukaan terhadap waktu turun gelas putih ukuran 180 ml pada temperatur 30°C

Nomor pengamatan	Potensial listrik statis (kV)		ΔV (kV)	Waktu (detik)	Keterangan
	gelas 1	gelas 2			
13	+ 3,5	- 3,2	6,7	3	lambat
14	+ 4,7	- 2,7	7,4	> 4	sangat lambat
15	+ 2,0	- 4,8	6,8	> 4	sangat lambat
16	+ 5,8	- 2,9	8,7	> 4	sangat lambat
17	+ 3,3	- 3,0	6,3	3	lambat
18	+ 6,6	- 2,2	8,8	> 4	sangat lambat
19	+ 4,1	- 2,9	7,0	> 4	sangat lambat

Tabel 6. Pengaruh temperatur permukaan terhadap potensial listrik statis permukaan gelas

Waktu penyimpanan (jam)	Temperatur (°C)	Potensial listrik statis (kV)		ΔV (kV)
		gelas 1	gelas 2	
0	61	2,1 ± 0,6	- 2,6 ± 0,5	4,7 ± 0,9
4	48	2,3 ± 0,7	- 2,8 ± 0,5	5,1 ± 0,7
8	39	3,4 ± 0,5	- 2,7 ± 0,6	6,1 ± 0,3
24	30	5,2 ± 0,9	- 4,3 ± 0,7	9,5 ± 1,4

Hasil pengukuran terhadap gelas putih ukuran 180 ml pada temperatur 30°C disajikan pada Tabel 5. Pada semua nomor pengamatan, kedua gelas memiliki jenis muatan yang berbeda. Beda potensial $\leq 6,7$ kV menyebabkan gelas 2 turun dengan lambat, sedang $\Delta V > 6,7$ kV menyebabkan gelas 2 turun dengan sangat lambat atau bahkan menempel.

Jadi berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa beda potensial (ΔV) $\leq 5,2$ kV menyebabkan gaya tarik kecil sehingga gelas cepat turun, beda potensial $5,2$ kV $< \Delta V \leq 6,7$ kV menyebabkan gaya tarik sedang sehingga gelas turun dengan lambat, dan $\Delta V > 6,7$ kV menyebabkan gaya tarik besar sehingga gelas sangat lambat turun atau bahkan menempel.

Pengaruh Temperatur Terhadap Potensial Listrik Statis Permukaan

Temperatur dan potensial listrik permukaan gelas diamati mulai dari gelas keluar dari mesin *injection molding* sampai 24 jam. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 6. Pengamatan pada masing-masing temperatur dilakukan terhadap lima pasangan gelas. Hasil yang disajikan pada Tabel 6 adalah nilai rata-rata.

Pada Tabel 6 tampak potensial listrik permukaan baik gelas 1 maupun gelas 2 turun dengan

naiknya temperatur. Hal ini karena konduktifitas dari semi-konduktor maupun isolator cenderung turun dengan turunnya temperatur, sehingga menyebabkan elektron menjadi kurang berenergi untuk berpindah ke bagian atau benda lain yang bersifat lebih konduktif (Pontieck dan Wypych, 2007). Akibatnya benda akan memiliki potensial listrik statis yang lebih tinggi pada temperatur rendah. Hasil penelitian terhadap benang polyester oleh Suh dkk. (2008) juga menunjukkan bahwa potensial listrik permukaan juga naik dengan turunnya temperatur.

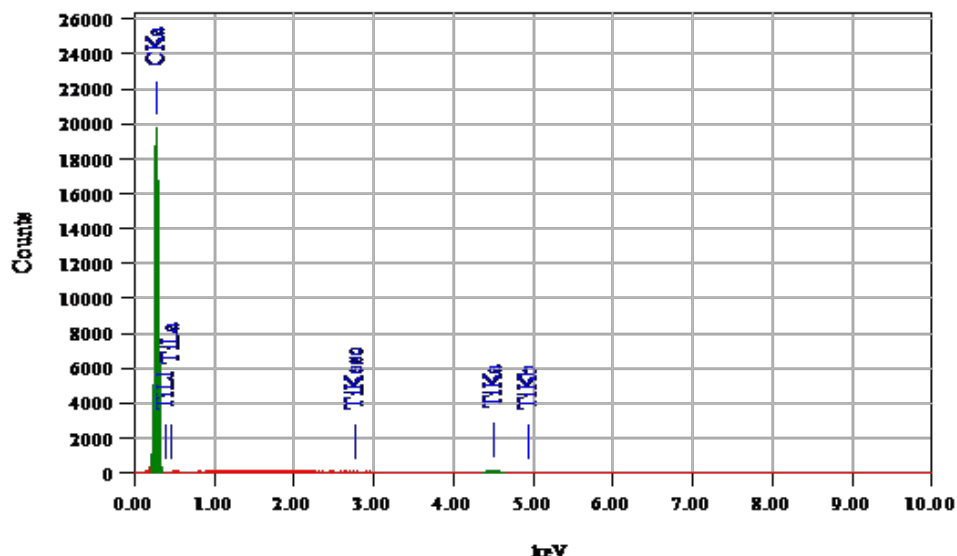
Pengaruh Aditif

Hasil analisis komposisi gelas putih dengan menggunakan SEM ditampilkan pada Gambar 3. Pada gambar tersebut yang ditampilkan hanya kandungan C dan Ti, yaitu masing-masing sebesar 99,5% dan 0,5%. Dengan mengingat bahwa unsur H sebagai penyusun molekul polipropilena dan O sebagai penyusun TiO₂ juga terdapat dalam gelas, maka kandungan TiO₂ dalam gelas dapat dihitung, yaitu sebesar 0,75%. Foto SEM dari permukaan dari gelas transparan dan putih masing-masing ditampilkan pada Gambar 4(a) dan (b). Pada kedua gambar tersebut, yang dibuat dengan perbesaran 200x, tidak tampak adanya perbedaan antara keduanya, kecuali adanya gelembung udara yang terjebak dalam gelas transparan.

Pengukuran potensial listrik statis permukaan

gelas transparan dan putih masing-masing dilakukan terhadap tiga pasang gelas. Hasil pengukuran yang disajikan pada Tabel 7 merupakan nilai rata-rata pengukuran. Pada tabel tersebut tampak bahwa potensial listrik statis permukaan pada gelas hanya sedikit dipengaruhi oleh keberadaan bahan aditif TiO_2 . Gelas putih yang mengandung 0,75% TiO_2 memiliki potensial listrik statis permukaan yang sedikit lebih kecil dibandingkan dengan gelas transparan. Hal tersebut karena TiO_2 memiliki potensial listrik statis yang lebih kecil daripada

polipropilena sebagaimana hasil pengukuran yang telah dilakukan dan disajikan pada Tabel 1. Disamping itu, TiO_2 memiliki resistivitas $4,1 \times 10^{-1} \Omega \text{ cm}$ (Nakajima dkk., 2009) sementara polipropilena $4,2 \times 10^{16} \Omega \text{ cm}$ (Nemeth dkk., 2003). Dengan nilai resistivitas yang lebih kecil berarti TiO_2 bersifat lebih konduktor dibandingkan polipropilena, sehingga keberadaan TiO_2 akan menyebabkan muatan lebih mudah ditransfer ke molekul air di udara sehingga muatan yang terakumulasi pada permukaan gelas menjadi lebih kecil.

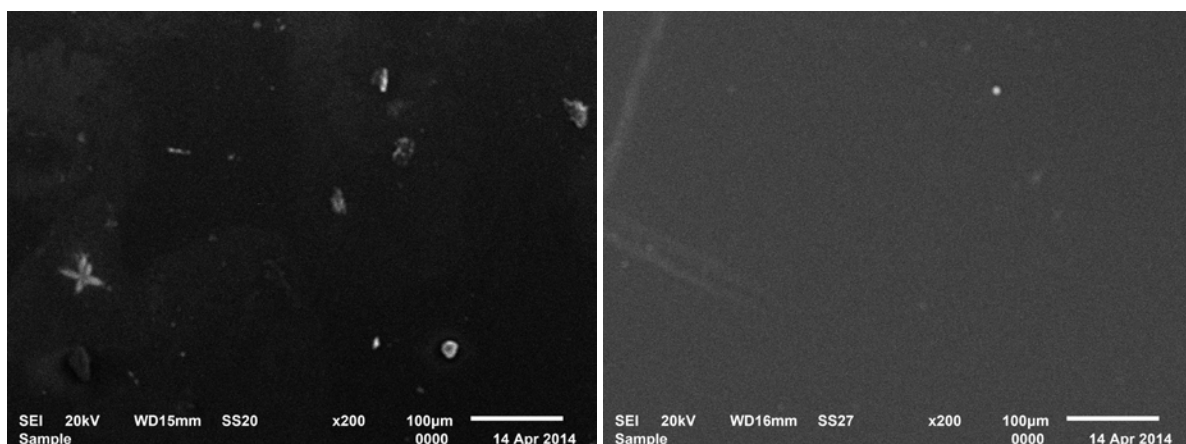


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient: 0.0131

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	99.50	0.18	99.87				99.5371
Ti K	4.508	0.50	0.02	0.13				0.4629
Total		100.00		100.00				

Gambar 3. Hasil analisis komposisi gelas putih dengan menggunakan SEM



(a)

(b)

Gambar 4. Foto SEM dari permukaan (a) gelas transparan dan (b) gelas putih

Tabel 7 Pengaruh bahan aditif terhadap potensial listrik statis permukaan gelas

Jenis gelas	Potensial listrik statis (KV)		ΔV (KV)
	gelas 1	gelas 2	
Transparan	$0,9 \pm 0,2$	$-1,1 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,2$
Putih (dengan TiO_2 0,75%)	$0,8 \pm 0,2$	$-1,1 \pm 0,1$	$1,9 \pm 0,2$



(a)



(b)

Gambar 5. Gelas dengan potensial elektrostatis besar yang mengakibatkan (a) gelas menempel, dan (b) dua gelas saling menempel dan turun sekaligus



(a)



(b)

Gambar 6. Gelas pada bucket mesin pengisian AMDK, (a) bucket kosong karena gelas tidak turun, (b) bucket terisi dua gelas



(a)



(b)

Gambar 7. Gelas dengan potensial elektrostatis (a) sedang (gelas turun lambat), (b) rendah (gelas turun cepat)

Pengamatan Gelas pada Mesin Pengisian AMDK

Pada mesin pengisian AMDK, penggunaan gelas yang memiliki potensial elektrostatis sangat mengganggu kinerja mesin akibat lambatnya gelas turun. Kinerja mesin pengisian AMDK dengan gelas bergaya elektrostatis dapat dilihat pada Gambar 5-7. Pada Gambar 5, gelas dengan potensial elektrostatis tinggi mengalami proses penurunan yang terhambat. Gelas yang seharusnya turun secara gravitasi ke dalam bucket-bucket mesin pengisian, mengalami hambatan untuk turun. Gelas tersebut menempel pada gelas di atasnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5(a), atau dapat turun tetapi dua gelas saling menempel dan turun sekaligus, seperti terlihat pada Gambar 5(b).

Akibatnya ada bucket yang tidak terisi gelas (Gambar 6(a)) atau terisi dua gelas (Gambar 6(b)). Akibat selanjutnya, diperlukan waktu dan tenaga untuk mengisi bucket-bucket yang kosong atau mengambil secara manual salah satu dari 2 gelas yang menumpuk. Gelas dengan potensial elektrostatis sedang dapat turun dengan lambat, seperti yang tampak pada Gambar 7(a). Untuk kondisi seperti ini, bucket dapat terisi gelas namun untuk mencapai hal tersebut, kecepatan mesin harus dikurangi. Pada Gambar 7(b), gelas dengan potensial elektrostatis rendah, yaitu gelas yang diproduksi pada kelembaban udara optimal, dapat turun dengan normal, sehingga bucket dapat terisi gelas dengan kecepatan mesin normal.

Tabel 8. Kinerja mesin pengisian AMDK dengan gelas putih dengan potensial elektrostatik kecil, sedang, dan kuat

Mesin	Ukuran gelas (ml)	Penurunan gelas	Kecepatan mesin (rpm)
A	180	cepat	220 - 250
		lambat	200 - 220
		sangat lambat	180 - 200
B	225	cepat	140 - 160
		sangat lambat	80 - 100

Pengaturan kelembaban udara optimal pada proses pembuatan gelas dapat menaikkan kecepatan mesin pengisian AMDK. Hasil pengamatan penggunaan gelas tersebut dapat dilihat pada Tabel 8. Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa penggunaan gelas yang diproduksi dengan kelembaban optimal dapat menaikkan kecepatan mesin pengisian gelas 180 ml (mesin A) menjadi 220-250 rpm dan mesin pengisian gelas 225 ml (mesin B) menjadi 140-160 rpm. Kecepatan mesin tersebut adalah kecepatan normal penggunaan mesin pengisian AMDK.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa potensial listrik permukaan gelas yang terbuat dari polipropilena dipengaruhi oleh kelembaban udara ruang produksi. Potensial listrik permukaan semakin kecil dengan naiknya kelembaban udara, dan konstan untuk kelembaban $\geq 68\%$. Beda potensial antara permukaan dua gelas terkecil dicapai pada kelembaban 67-68%. Beda potensial (ΔV) $\leq 5,2$ kV menyebabkan gaya tarik kecil sehingga gelas cepat turun, beda potensial $5,2$ kV $< \Delta V \leq 6,7$ kV menyebabkan gaya tarik sedang sehingga gelas turun dengan lambat, dan beda potensial $> 6,7$ kV menyebabkan gaya tarik besar sehingga gelas sangat lambat turun atau bahkan menempel. Potensial listrik permukaan juga dipengaruhi oleh temperatur. Potensial listrik naik dengan turunnya temperatur. Potensial listrik statis permukaan pada gelas hanya sedikit dipengaruhi oleh keberadaan bahan aditif TiO₂ karena jumlah TiO₂ yang ditambahkan hanya 0,75%. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan gelas dengan potensial listrik permukaan rendah, dapat menaikkan kecepatan mesin pengisian AMDK gelas 180 ml dan 225 ml masing-masing menjadi 220-250 rpm dan 140-160 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

Albrecht, V., Janke, A., Németh, E., Spange, S., Schubert, G., and Simon, F., (2009), Some aspects of the polymers' electrostatic charging effects, *J. Electrostat.*, 67, pp. 7-11

Chang, J.S. and Berezin, A.A., (2001), Neutralisation of Static Surface Charges by a Flow Stabilized Corona Discharge Ionizer in a Nitrogen Environment, *J. Electrostat.*, 51-52, pp. 64-70.

Choi, K.S., Mogami, T., Suzuki, T., Kim, S.C., and Yamaguma, M., (2013), Charge reduction on

polypropylene granules and suppression of incendiary electrostatic discharges by using a novel AC electrostatic ionizer, *J. Loss Prevent. Proc.*, 26, pp. 255-260.

Chongqi, M., Shulin, Z., and Gu, H., (2010), Anti-Static Charge Character of the Plasma Treated Polyester Filter Fabric, *J. Electrostat.*, 68, pp. 111-115.

Diaz, A.F. and Felix-Navarro, R.M., (2004), Semi-quantitative tribo-electric series for polymeric materials: the influence of chemical structure and properties, *J. Electrostat.*, 62, pp. 277-290.

Grob, M.C. and Minder, E., (1999). Permanent Antistatic Additives: New Development, *Plastics, Additives and Compounding*, 1(3), pp. 20-26.

Kurniati, D., (2007), Implikasi Akuisisi terhadap Kinerja Perusahaan Industri Air Minum dalam Kemasan di Indonesia: Panel Aqua dan Ades, *Skripsi*, Departemen Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia.

Matsusaka, S., Maruyama, H., Matsuyama, T., and Ghadiri, M., (2010). Triboelectric Charging of Powders: A Review, *Chem. Eng. Sci.*, 65, pp. 5781-5807.

Matsuyama, T. and Yamamoto, H., (2010). Maximum electrostatic charge of powder in pipe flow, *Adv. Powder Technol.*, 21, pp. 350-355.

Morris, B.A., (2013), *Polymer Blending for Packaging Applications*, dalam *Plastic Films in Food Packaging: Materials, Technology and Applications*, Ebnesajjad, S. (Ed.), Elsevier, Amsterdam, pp. 311-343.

Mukherjee, S. and Mukherjee, M., (2008), Neutralization Kinetics of Charged Polymer Surface, *J. Electron Spectrosc.*, 163, pp. 51-58.

Nakajima, T., Tsuchiya, T., and Kumagai, T., (2009), *J. Solid State Chem.*, 182, pp. 2560-2565.

Nemeth, E., Albrecht, V., Schubert, G., and Simon, F., (2003), Polimer Triboelectric Charging: Dependence on Thermodynamic Surface Properties and Relative Humidity, *J. Electrostat.*, 58, pp. 3-16.

Park, C.H., Jeon, H.S., Cho, B.G., and Park, J.K., (2007), Triboelectrostatic separation of covering

plastics in chopped waste electric wire, *Polym. Eng. Sci.*, 47, pp. 1975-1982.

Park, C.H., Park, J.K., Jeon, H.S., and Chun, B.C., (2011), Triboelectric series and charging properties of plastics using the designed vertical-reciprocation charger, *J. Electrostat.*, 66, pp. 578-583.

Pierce, D.S., (2011), *Mechanics of Impression Evidence*, CRC Press, Boca Raton, pp. 193-194.

Pontieck, J. and Wypych, G., (2007), *Handbook of antistatics*, ChemTec Publishing.

Suh, M., Seyam, A.M., Oxenham, W., and Theyson, T., (2008), *Static Generation and Dissipation of*

Polyester Continuous Filament Yarn, Poster yang dipresentasikan di Futurotextiel 2008, November 13-15, 2008, Kortrijk, Belgia.

Taillet, J., (2003), Static Charge Elimination on Polymer Particulates During Their Industrial Production: Supersonic Injection Technology, *Powder Technol.*, 135-136, pp. 201-208.

Varis, J., (2001), Static Dissipative Compounds: Solutions for Static Control, *Plastics, Additives and Compounding*, 3(9), pp. 16-19.