

# Stabilitas Gas Karbondioksida pada Minuman Berkarbonasi Selama Penyimpanan

## *Stability of Carbon dioxide in Carbonated Soft Drink during storage*

Berliana Simanjuntak<sup>1</sup>, Dede Adawiyah<sup>2,3</sup>, Eko Purnomo<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Profesional Teknologi Pangan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor

<sup>2</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

<sup>3</sup>Southeast Asia Food and Agricultural Science and Technology Center, Institut Pertanian Bogor

**Abstract.** *For carbonated soft drink, stability of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is one of the critical parameters as it is related to its sensory acceptance. The presence of this CO<sub>2</sub> creates a tingling sensation. The stability of CO<sub>2</sub> is related to the permeability of its packaging, different ingredients used in the formulation and the chemicals reaction happened during storage. The purpose of this research is to analyse the changes in volume and solubility of CO<sub>2</sub> stored at three different temperatures (6, 25, 55°C) in three different packaging (can, glass and bottle). Later on its half-life (t<sub>1/2</sub>) was calculated based on Arrhenius method. The result showed that CO<sub>2</sub> volume lost in plastic was about 0.002% per day at 6°C, 0.003% per day 25°C and 0.007% per day at 55°C. Solubility of CO<sub>2</sub> the decreased at 55°C. In plastic, it was 0.026% per day while glass and can stored at the same temperature was 0.019% per day. The half-life (t<sub>1/2</sub>) of this product packaged in can at 25°C was 206 days (7.0 months), 200 days (6.7 months) packaged in glass and 104 days (3.5 months) packaged in plastic. The initial volume of CO<sub>2</sub> of the products used in this research was varied.*

**Keywords:** *Carbonated drink, can, shelf-life, Arrhenius model*

**Abstrak.** Kestabilan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) pada minuman berkarbonasi merupakan faktor penting yang berhubungan dengan tingkat penerimaan konsumen terhadap produk tersebut. Keberadaan gas CO<sub>2</sub> ini menimbulkan sensasi rasa menggelitik ketika dikonsumsi. Kestabilan gas CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh permeabilitas dari kemasan yang dipakai, formulasi serta reaksi kimia yang terjadi selama penyimpanan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa laju perubahan volume dan kelarutan gas CO<sub>2</sub> yang disimpan pada suhu 6, 25 dan 55°C dalam kemasan kaleng, gelas dan botol. Waktu paruh produk dihitung dengan menggunakan persamaan Arrhenius. Produk yang dikemas dalam botol plastik mengalami kehilangan gas CO<sub>2</sub> sebesar 0.002% per hari pada suhu 6°C; 0.003% pada suhu 25°C dan 0.007 pada suhu 55°C. Kelarutan gas CO<sub>2</sub> dalam kemasan plastik juga mengalami penurunan sebesar 0.026% per hari pada suhu 55°C. Sementara kemasan kaleng dan gelas mengalami penurunan sebesar 0.019% per hari pada kondisi suhu yang sama. Waktu paruh produk dalam kemasan gelas jika disimpan pada 25°C adalah 206 hari (7 bulan), dalam kemasan plastik 200 hari (6.7 bulan) dan dalam kemasan plastik 104 hari (3.5 bulan). Volume gas awal produk minuman karbonasi dalam penelitian ini bervariasi.

**Kata kunci:** Minuman karbonasi, kaleng, umur simpan, model Arrhenius

**Aplikasi Praktis:** Hasil penelitian ini memberikan informasi mengenai presentase kehilangan gas CO<sub>2</sub> selama penyimpanan pada kemasan yang berbeda. Hal ini penting mengingat kestabilan suatu produk sangat penting dijaga, dan pada saat proses pengembangan produk baru, informasi ini bisa digunakan untuk mendukung penentuan umur simpan produk. Selain itu kegiatan pemilihan kemasan baru dalam rangka meningkatkan kualitas kemasan yang sudah ada, dapat menggunakan informasi dari penelitian ini.

## PENDAHULUAN

Minuman berkarbonasi merupakan sektor yang sangat penting pada pasar minuman global. Pada tahun 2015 konsumsinya tercatat bisa mencapai 226 triliun liter (Statista 2016). Di Indonesia sendiri meskipun kenaikan bahan bakar minyak menyebabkan berkurangnya daya

beli masyarakat, namun pertumbuhan volume semua produk termasuk minuman berkarbonasi tetap positif selama tahun 2015 (Euromonitor International, 2016).

Untuk memproduksi minuman berkarbonasi, gas CO<sub>2</sub> diinjeksikan kedalam suatu larutan pada wadah tertutup dan bertekanan (Barker, Jefferson dan Judd 2002a). Dengan adanya tekanan di dalam wadah memaksa gas

karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang diinjeksikan ke dalamnya bisa larut. Ghose dan Nair (2013) menyebutkan bahwa tekanan ini dibutuhkan untuk mempertahankan gas CO<sub>2</sub> tetap berada dalam larutan (yang biasanya disebut sebagai Volume Gas minuman berkarbonasi). Dan tekanan ini menurut Achour (2005) merupakan penentu kualitas sensori produk minuman berkarbonasi. Karena dengan adanya gas ini didalam larutan, sensasi rasa menggelitik dimulut bisa timbul (Liger-Belair *et al.*, 2015).

Gas CO<sub>2</sub> ini sangat larut dalam air dan tingkat kelarutannya bertambah seiring dengan menurunnya suhu (Ashurst 2010). Penurunan suhu dari 25<sup>o</sup> C ke 5<sup>o</sup> C dapat menaikkan jumlah kelarutan gas CO<sub>2</sub> sebesar 0.8 g/L (Barker, Jefferson dan Judd 2002). Pada produk minuman berkarbonasi tinggi seperti air tonik (*water tonic*) jumlah CO<sub>2</sub> yang terlarut didalamnya bisa mencapai 9 g/L (Descoins *et al.*, 2004).

Tiga faktor utama yang menandakan penurunan mutu pada minuman berkarbonasi menurut Ashurst (2010) adalah kehilangan gas CO<sub>2</sub> (*loss of carbonation*), oksidasi atau hidrolisis asama dari perisa dan pewarna yang terda-pat pada formulasi produk tersebut serta perubahan warna dan aroma yang disebabkan oleh cahaya.

Zahrati dan Aridinanti (2013) menemukan bahwa volume gas pada minuman berkarbonasi yang diproduksi di perusahaan tersebut sangatlah rendah yaitu sekitar 2125 – 2375 mg/L sementara BPOM dalam kategori pangan No. 14.1.4.1 tahun 2015 menyebutkan bahwa kadar CO<sub>2</sub> pada minuman kategori ini berkisar antara 3.000 – 5.890 mg/L. Artinya bahwa produk karbonasi yang ada di pasaran harus memiliki kadar gas CO<sub>2</sub> seperti yang sudah ditetapkan oleh BPOM tersebut.

Penelitian ini bertujuan menganalisa laju perubahan volume dan kelarutan gas CO<sub>2</sub> produk minuman berkarbonasi dalam kemasan kaleng, gelas dan plastik yang disimpan pada suhu 6, 25 dan 55<sup>o</sup> C serta menentukan waktu paruh produk dengan metode Arrhenius pada reaksi ordo nol.

**BAHAN DAN METODE**

**Bahan dan Alat**

Bahan utama yang digunakan adalah produk minuman berkarbonasi dengan varian yang tidak mengandung pewarna dalam kemasan kaleng (250 ml), gelas (200 ml) dan plastik (250 ml). Bahan kimianya meliputi NaOH, indikator fenoltalein serta peralatannya adalah alat pengukur tekanan gas CO<sub>2</sub> (*Digimano*), UC-10 (*Ultrasonic Cleaner*), thermometer serta peralatan gelas untuk analisis dan titrasi.

**Tahapan Penelitian**

Penelitian dimulai dengan mengukur volume dan kelarutan gas CO<sub>2</sub> pada masing-masing sampel sebelum seluruh produk dimasukkan pada ketiga suhu penyimpanan yang berbeda. Untuk mengevaluasi konsistensi nilai volume dan kelarutan gas CO<sub>2</sub>, produk dibeli dengan 2 jenis kode produksi yang berbeda dan masing-masing jenis kode produksi ditetapkan 2 sampel per kemasan untuk dianalisa. Selanjutnya dilakukan analisa pengu-

kurian volume dan kelarutan gas CO<sub>2</sub> dengan frekwensi analisa untuk produk di suhu 6<sup>o</sup> C setiap 30 hari selama 120 hari penyimpanan, suhu 25<sup>o</sup> C setiap 14 hari selama 126 hari penyimpanan dan suhu 55<sup>o</sup> C setiap 2 hari selama 18 hari penyimpanan. Sehingga total produk pada pengujian ini adalah 900 sampel.

**Metode Analisis**

**Volume gas CO<sub>2</sub>.** Untuk pengukuran volume gas CO<sub>2</sub>, produk dalam kemasan terlebih dahulu dikocok (sebanyak 10 – 15 kali) sehingga semua gas CO<sub>2</sub> yang ada pada produk naik ke permukaan larutan. Selanjutnya produk dalam kemasan diletakkan dibawah alat penusuk (*piercing device*) dan ditekan sedemikian rupa sehingga gas yang berada pada bagian permukaan larutan (*head-space*) kemasan bergerak keluar dan angka yang muncul pada alat dikalikan dengan 1,98 g/L dan dicatat sebagai besaran volume gas CO<sub>2</sub>. Liciardello, Coriolani dan Muratore (2010) menyebutkan bahwa 1 GV = 1.98 g/L. Angka ini dipakai sebagai acuan konversi tekanan ke volume gas CO<sub>2</sub>.

**Kelarutan gas CO<sub>2</sub>.** Pengujian ini dilakukan dengan metode titrasi asam basa dimana sampel diambil sebanyak 10ml dan ditetesi dengan indikator fenoltalein. Jika terjadi perubahan warna maka produk tersebut mengandung gas CO<sub>2</sub>. Selanjutnya larutan yang sudah ditetesi indikator dititrasi dengan menggunakan larutan NaOH 0.01N. Proses titrasi dihentikan jika terjadi perubahan warna menjadi merah muda. Jumlah titran yang dipakai kemudian dicatat dan dengan menggunakan persamaan (1) sehingga dapat dihitung kadar gas CO<sub>2</sub>nya.

$$CO_2 (mg/l) = \frac{ml \text{ titran} \times N \text{ titran} \times 44 \times 1000}{ml \text{ sampel}} \dots\dots\dots (1)$$

**Analisis Data**

Dengan menggunakan persamaan Arrhenius ordo nol, dengan memplotkan suhu dengan volume dan kelarutan gas CO<sub>2</sub> pada masing-masing kemasan selama penyimpanan dengan persamaan (2).

$$\ln k = \ln ko - \frac{Ea}{RT} \dots\dots\dots (2)$$

Grafik dari hubungan *ln k* (sebagai ordinat *y*) dengan *1/T* (sebagai absis *x*) memberikan persamaan garis lurus seperti *y = a+bx*. Dimana slope atau *b* sama dengan *Ea/RT* dan intersept atau *a* sama dengan *ln ko*. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung waktu paruh produk dengan menggunakan persamaan (3).

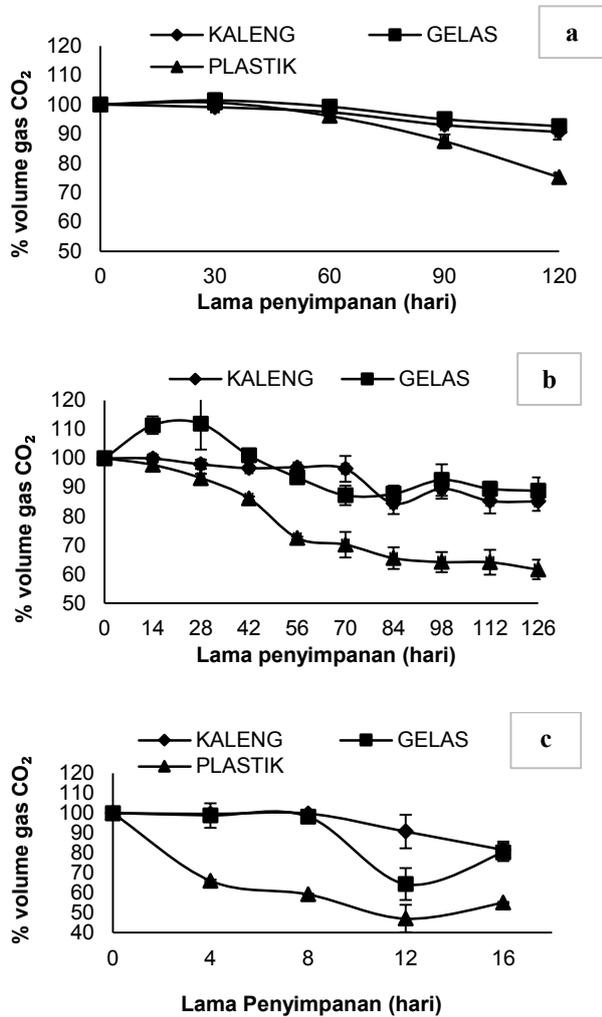
$$t_{1/2} = [A_0] / 2k \dots\dots\dots (3)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perubahan Volume dan Kelarutan Gas CO<sub>2</sub>**

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa parameter volume gas CO<sub>2</sub> pada kemasan kaleng, gelas dan plastik mengalami penurunan pada ketiga suhu penyimpanan. Sampai akhir masa penyimpanan selama 120 hari produk mengalami penurunan sebesar 9% (kemasan kaleng), 7% (kemasan gelas) dan 22% (kemasan plastik) pada suhu 6<sup>o</sup> C.

Begitu juga dengan produk yang disimpan pada suhu 25<sup>o</sup> C. Sampai 126 hari penyimpanan turun sebesar 15% (kemasan kaleng), 11% (kemasan gelas) dan 38% (kemasan plastik). Pada suhu 55<sup>o</sup> C sampai 18 hari penyimpanan juga turun sebesar 16% (kemasan kaleng), 35% (kemasan gelas) dan 47% (kemasan plastik). Kehilangan gas CO<sub>2</sub> yang paling besar terjadi pada kemasan plastik.



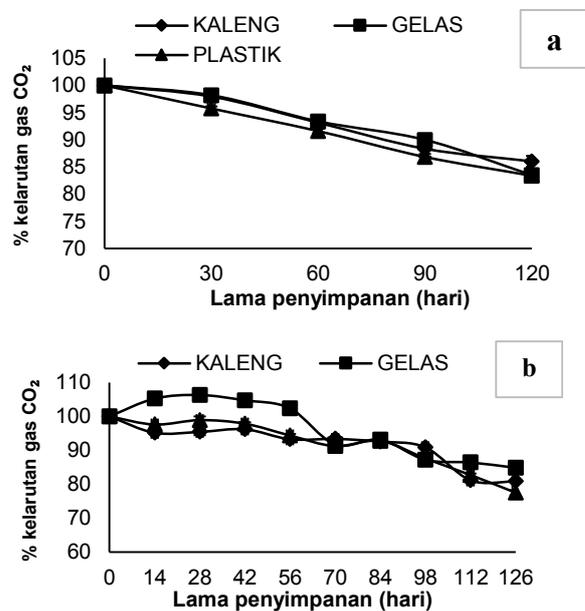
**Gambar 1.** Penurunan volume gas CO pada suhu 6<sup>o</sup>C (a), 25<sup>o</sup>C (b) dan 55<sup>o</sup>C (c) pada kemasan kaleng, gelas dan plastic selama penyimpanan.

Steen dan Ashurst (2006) menyebutkan bahwa kemasan plastik mempunyai barrier yang kurang bagus terhadap gas maupun uap air sehingga CO<sub>2</sub> bisa keluar yang mengakibatkan level karbonasi menjadi berkurang dan oksigen bisa masuk seiring dengan waktu. Difusi gas juga pada produk ini sangat tergantung pada keefektifan proses penutupannya (Robertson 2010) dan Coles, McDowell dan Kirwan (2003) menekankan perlunya kontrol terhadap tekanan selama proses pengisian. Glevitzky, Bruturean dan Perju (2005) menyebutkan bahwa 30% kehilangan gas CO<sub>2</sub> pada plastik (PET) terdistribusi melalui tutup botol (erat tidaknya penutup – capping – pada saat proses pengisian) dan 60% melalui dinding botol (tergantung dari ketebalan kemasan yang dipakai). Zeman dan Kubik (2007) juga menyebutkan bahwa koefisien permeabilitas pengemas dipengaruhi oleh struktur

kimia kemasan serta metode persiapan dan kondisi proses pembuatan kemasan tersebut.

Dari Gambar 1 juga terlihat bahwa semakin tinggi suhu penyimpanan maka semakin besar presentase penurunan volume gas CO<sub>2</sub>. Trend yang sama juga didapatkan oleh Carrieri, De Bonis dan Ruocco (2012) yang menyimpulkan kenaikan suhu sebanyak 4 kali lipat dari 10<sup>o</sup> C akan menyebabkan kehilangan gas CO<sub>2</sub> sebesar 83%. Kilcast dan Subramaniam (2011) adanya kebocoran (*leakage*) pada jarak antara tutup botol (*cap*) dengan tubuh botolnya (*body*). CocaCola Company melakukan inovasi untuk mempertahankan gas CO<sub>2</sub> pada saat proses pengisian dan penyegelan dengan menggunakan karbonator. Alat ini dapat memastikan lamanya waktu kemasan dibiarkan terbuka tidak lebih dari satu detik. Sehingga jumlah gas CO<sub>2</sub> yang masuk pada setiap kemasan sama (Coca-Cola Amatil Indonesia 2015).

Untuk parameter kelarutan gas CO<sub>2</sub> pada Gambar 2 terjadi kecenderungan penurunan yang hampir sama dengan parameter volume gas CO<sub>2</sub>. Kelarutan gas CO<sub>2</sub> pada kemasan kaleng yang disimpan selama 120 hari pada suhu 6<sup>o</sup> C turun sebesar 14%, kemasan gelas dan plastik turun sebesar 17%. Pada suhu 25<sup>o</sup> C selama 126 hari, kemasan kaleng turun sebesar 19%, gelas 15% dan plastik 22%. Dan suhu 55<sup>o</sup> C selama 18 hari, kemasan kaleng turun paling banyak yaitu 46% dan gelas serta plastik turun 35%.



**Gambar 2.** Penurunan kelarutan gas CO pada suhu 6<sup>o</sup>C (a), 25<sup>o</sup>C (b) dan 55<sup>o</sup>C (c) pada Kemasan kaleng, gelas dan plastic selama penyimpanan.

Penurunan kelarutan gas CO<sub>2</sub> memiliki kecenderungan yang berbeda dimana pada suhu 6<sup>o</sup> C penurunannya mirip pada semua kemasan. Pada suhu 25<sup>o</sup> C kemasan gelas terlihat mampu mempertahankan kelarutan gas CO<sub>2</sub> sampai hari ke 56, namun selanjutnya mengalami penurunan sehingga konsentrasi CO<sub>2</sub> terlarutnya sama dengan kemasan lain. Dan pada suhu 55<sup>o</sup> C terlihat

fenomena yang berlawanan dengan volume gas CO<sub>2</sub> dimana penurunan kelarutan gas CO<sub>2</sub> paling besar terjadi pada kemasan kaleng. Dengan melakukan analisa ulang pada parameter kelarutan gas CO<sub>2</sub> awal (dengan dan tanpa perlakuan pengocokan) didapatkan hasil dimana nilai kelarutan gas CO<sub>2</sub> tanpa perlakuan pengocokan lebih tinggi sedikit dibandingkan dengan perlakuan pengocokan seperti pada Tabel 1. Nilai kelarutan gas CO<sub>2</sub> ini bisa dianggap sebagai nilai kelarutan yang diproduksi langsung oleh produsen. Perbedaan nilai ini sendiri dapat disimpulkan bahwa fluktuasi produk sangat mempengaruhi penurunan selama penyimpanan. Kemungkinan *seaming* yang tidak erat pada bagian atas kaleng selama penyimpanan (pada suhu 55<sup>0</sup> C) juga bisa mengakibatkan kebocoran yang halus, sehingga mempengaruhi hasil yang berbeda pada akhirnya.

**Tabel 1.** Data kelarutan gas CO<sub>2</sub> tanpa dan dengan pengocokan pada hari ke-0

Kemasan	Tanpa pengocokan	Dengan pengocokan
Kaleng	1483.95	1370.48
Gelas	1281.59	1166.96
Plastik	1389.52	1292.27

**Kinetika Laju Perubahan Volume dan Kelarutan Gas CO<sub>2</sub>**

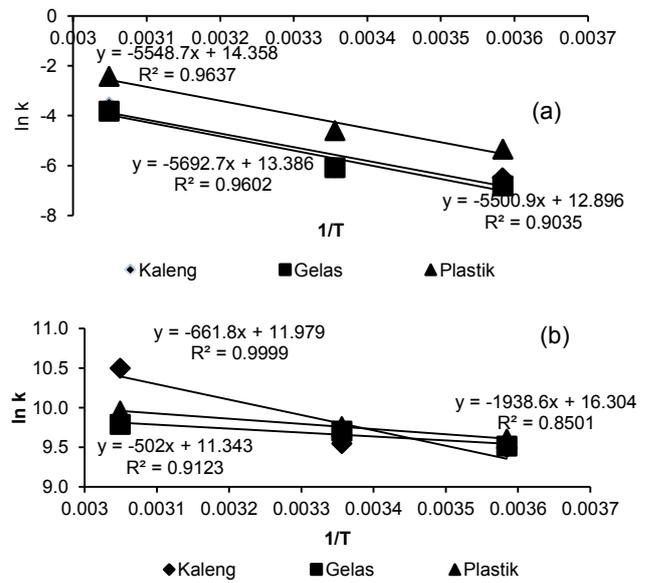
Reaksi kimia pada umumnya dipengaruhi oleh suhu dan model Arrhenius mensimulasikan percepatan kerusakan produk pada kondisi penyimpanan suhu atau kelembaban ruang penyimpanan yang lebih tinggi. Biasanya produk pangan dengan kemasan akhir disimpan pada minimal tiga suhu penyimpanan ekstrim. Melalui metode ini dapat ditentukan konstanta laju reaksinya (k) pada suhu penyimpanan yang diinginkan (Kusnandar 2012).

Plot model Arrhenius untuk masing-masing kemasan disajikan pada Gambar 3. Untuk parameter volume gas CO<sub>2</sub>, kemasan kaleng memiliki energi aktivasi sebesar 45.735 kJ/mol, kemasan gelas 47.323 kJ/mol dan kemasan plastik 46.133 kJ/mol seperti pada Tabel 2. Energi aktivasi yang didapatkan di sini lebih tepatnya disebut sebagai stabilitas gas CO<sub>2</sub>. Pada parameter kelarutan gas CO<sub>2</sub> kemasan kaleng menghasilkan energi aktivasi sebesar 16.117 kJ/mol, kemasan gelas 4.174 kJ/mol dan kemasan plastik 5.502 kJ/mol. Dari data energi aktivasi yang didapatkan dan hasil kontradiktif penurunan kelarutan gas CO<sub>2</sub> pada kemasan kaleng di suhu 55<sup>0</sup> C maka diputuskan bahwa parameter kelarutan gas CO<sub>2</sub> tidak dipakai dalam penentuan waktu paruh produk minuman berkarbonasi.

**Pendugaan Waktu Paruh Produk**

Waktu paruh (t<sub>1/2</sub>) adalah waktu yang dibutuhkan agar konsentrasi gas CO<sub>2</sub> pada produk berkurang menjadi setengah (1/2) dari konsentrasi semula. Dari pengertian waktu paruh dan dari persamaan 3 dapat dijelaskan bahwa kemasan kaleng jika disimpan pada suhu 5<sup>0</sup> C akan mengalami penurunan volume gas CO<sub>2</sub> sebesar 50% dari jumlah awalnya setelah 778 hari. Begitu juga dengan kemasan gelas, volume gas CO<sub>2</sub> berkurang sebanyak 50% setelah 792 hari. Kemasan plastik mengalami penurunan

volume gas CO<sub>2</sub> sebanyak 50% setelah 399 hari. Tabel 3 menunjukkan waktu paruh produk di masing-masing kemasan pada suhu yang berbeda-beda.



**Gambar 3.** Hubungan antara nilai konstanta volume (a) dan kelarutan (b) gas CO<sub>2</sub> dengan suhu penyimpanan pada masing-masing kemasan.

**Tabel 2.** Umur simpan minuman berkarbonasi pada ketiga kemasan diberbagai suhu

Kemasan	Volume gas CO <sub>2</sub> (kJ/mol)	Kelarutan gas CO <sub>2</sub> (kJ/mol)
Kaleng	45.735	16.117
Gelas	47.329	4.174
Plastik	46.133	5.502

**Tabel 3.** Waktu paruth (t<sub>1/2</sub>) produk pada ketiga kemasan berdasarkan parameter volume gas CO<sub>2</sub>

SUHU °C	KALENG			GELAS			PLASTIK		
	A <sub>0</sub>	ko	t <sub>1/2</sub> (hari)	A <sub>0</sub>	ko	t <sub>1/2</sub> (hari)	A <sub>0</sub>	ko	t <sub>1/2</sub> (hari)
5	158	0.001	778	1319	0.0008	792	2.946	0.0037	399
10	158	0.0014	548	1319	0.0012	552	2.946	0.0053	280
15	158	0.002	391	1319	0.0017	389	2.946	0.0074	199
20	158	0.0028	282	1319	0.0024	278	2.946	0.0103	144
25	158	0.0038	206	1319	0.0033	200	2.946	0.0141	104
30	158	0.0052	152	1319	0.0045	146	2.946	0.0192	77
35	158	0.007	113	1319	0.0061	108	2.946	0.0258	57

**KESIMPULAN**

Dari data awal pengukuran volume gas CO<sub>2</sub> didapat bahwa kemasan plastik memiliki penurunan volume gas CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan dengan kemasan gelas dan kaleng. Selama penyimpanan, penurunan volume dan kelarutan gas CO<sub>2</sub> terjadi pada semua kemasan baik pada kemasan yang disimpan di suhu 6, 25 dan 55<sup>0</sup> C. Semakin tinggi suhu penyimpanan maka semakin besar dan cepat gas CO<sub>2</sub> yang hilang dari kemasan yang diujikan. Berdasarkan volume gas CO<sub>2</sub>, pendugaan

waktu paruh ( $t_{1/2}$ ) produk yang dikemas pada kemasan kaleng dan disimpan pada suhu ruang ( $25^{\circ}\text{C}$ ) adalah 206 hari (7 bulan). Sedangkan untuk kemasan gelas dan plastik pada suhu yang sama berturut-turut adalah 200 hari (6.7 bulan) dan 104 hari (3.5 bulan). Untuk parameter kelarutan gas  $\text{CO}_2$  dengan atau tanpa perlakuan pada hari ke-0 tidak ditemukan perbedaan yang jelas yang dialami di setiap kemasan yang diukur. Fluktuasi nilai awal didapatkan dari produsen yang mengakibatkan sulit menentukan apakah penurunan selalu terjadi selama penyimpanan atau tidak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Achour M. 2005. A new method to assess the quality of food products during storage. *J. Food Eng.* 75:500-564. Alain Savry, Tunisia.
- Ashurst PR. 2016. Carbonated Beverages. Elsevier Inc. Reference Module in Food Science. DOI:10.1016/B978-0-08-100596-5.03240-6.
- Barker GS, Jefferson B, Judd SJ. 2002. Domestic carbonation process optimization. *J Food Eng.* 52:405-412.
- Barker GS, Jefferson B, Judd SJ. 2002a. The control of bubble size in carbonated beverages. *Chem. Eng. Sci.* 57:565-573.
- [BPOM] Badan Pengawasan Obat dan Makanan. 2015. Peraturan Kepala BPOM tentang Kategori Pangan [internet].
- Carrieri G, De-Bonis MV, Ruocco G. 2012. Modelling and experimental validation of mass transfer from carbonated beverages in polyethylene terephthalate bottles. *J. Food Eng.* 108(4): 570-578.
- [CCA] Coca-Cola Amatil Indonesia. 2015. A – Z tentang produk kami. [internet]. [diacu 2015 Juni 16]. Tersedia dari: <http://coca-colaamatil.co.id/>
- Coles R, McDowel D, Kirwan MJ. 2013. Food packaging technology. Blackwell Publishing Ltd.
- Descoins S, Mathlouthi M, Moual ML, Hennequin J. 2004. Carbonation monitoring of beverage in a laboratory scale unit with online measurement of dissolved  $\text{CO}_2$ . *Food Chem.* 95(4): 544-553.
- Euromonitor International. 2016. Soft Drinks in Indonesia. [internet]. [diacu 2016 Juli 8]. <http://euromonitor.com/soft-drinks-in-indonesia/report>.
- Ghose P, Nair P. 2013. Packaging of carbonated beverages. *Int. J. Agric. & Food Sci. Tech.* ISSN 2249-3050, 421-430. Research India Publication.
- Glevitzky M, Brutorean GA, Perju D. 2005. Studies regarding the variation of carbon dioxide in certain carbonated beverages stored in polyethylene terephthalate bottles. Politehnica University of Timisoara, Dept Chem. Eng. Romania. *Scientific Bulletin* 50(64):1-2.
- Kilcast D, Subramaniam P. 2011. Food and beverage stability and shelflife. Woodhead Publishing Ltd.
- Liciardello F, Coriolani C, Muratore G. 2010. Improvement of  $\text{CO}_2$  retention of PET bottles for carbonated soft drinks. Special issue in *Italian J. Food Science*.
- Liger-Belair G, Sternenberg G, Brunner S, Robillard B, Cilindre C. 2015. Bubble dynamics in various commercial sparkling bottled waters. *J. Food Eng.* 163:60-70.
- Profaizer M. 2007. Shelflife of PET bottles estimated via a finite elements. Method simulation of carbon dioxide and oxygen permeability. *J Italian Food & Beverage Tech.* XLVII April edition.
- Robertson GL. 2005. Food Packaging. Chapter 16. Shelf life of Packaged Food: Its measurement and estimation. Marcel Dekker, New York.
- Robertson GL. 2013. Food Packaging. *Principle and practice*. Ed ke-3. CRC Press Taylor and Francis group, New York.
- Statista. 2016. The Statistics Portal – global consumption of packed beverages by beverage type 2015 [internet]. [diacu Juni 14 2016]. Tersedia dari: <http://www.statista.com>.
- Steen D, Ashurst PR. 2006. Carbonated Soft Drinks: Formulation and Manufacture. Blackwell publ.
- Wujie, Zhufei, Xujing. 2011. The influence of Water Quality on Food Quality and the Treatment of Water for Food Processing. *3<sup>rd</sup> International Conference on Environmental Science and Information Application Technology* (ESIAT 2011). Procedia Environmental Sciences 10 (2011) 2671-2676.
- Zahrati Z, Aridinanti L. 2013. Penerapan Metode DMAIC di PT Coca-Cola Bottling Indonesia – Jawa Timur (an internal paper).
- Zeman S, Kubik L. 2007. Permeability of Polymeric Packaging Materials Department of Animal Husbandry and Food Production Mechanization. Department of Physics of Slovak University of Agriculture in Nitra. Technical Sciences. Techn, Sc, No. 10. DOI 10.2478/v10022-007-0004-6.

JMP-11-15-001- Naskah diterima untuk ditelaah pada 12 November 2015. Revisi makalah disetujui untuk dipublikasi pada 9 Februari 2016. Versi Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmp>