Seminar Teknik Kimia
Soehadi Reksowardojo
ISSN 0854-7769
© 2007
http://www.che.itb.ac.id/stksr

Optimasi Karbonatasi Untuk Pemucatan *Raw Sugar* Dengan Menggunakan Reaktor Venturi Bersirkulasi

Prayoga Suryadarma[1,*] dan Agung Ardiansah[1]

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Kampus IPB Darmaga P.O. Box 220 Bogor 16002 .

Tel : (0251) 621974: E-mail : prayoga@ipb.ac.id

Abstract: Raw sugar is a sugar which comes from defecation and still contains impurities and colorants. The use of loop venturi reactor will increase carbonatation performance for raw sugar bleaching, so that sugar which resulted can be consumed and is has high quality. The objectives of this research were to determined factor influence and optimum condition of carbonatation process for raw sugar bleaching with loop venturi reactor. Used method in this research was two level factorial with four factors, which were temperature, flow fluid of liquid, pressure, and time reaction. Meanwhile, response surface methodology was used to found optimum conditions of response surface. From statistical analysis, temperature and flow fluid of liquid were having influence significantly with reducing color level of raw sugar liquid in level significance 95.79% and 92.18% respectively, with influence 1.515% and 0.119% respectively. From response surface method analysis, found the best conditions of color level was minimum. It was 393.78 IU with factor value of temperature reaction was 51.51°C, flow fluid of liquid was 465.57 l/h, pressure was 0.3 kg/cm^2, and reaction time was 5 minutes.

Keywords: Raw sugar, carbonatation, loop venturi reactor, optimum, color level

1. Pendahuluan

Raw sugar atau gula kasar merupakan gula yang dihasilkan dari proses pengolahan nira secara defekasi. Gula ini masih mengandung berbagai pengotor sehingga penggunaannya untuk dikonsumsi manusia telah dilarang oleh FDA (*Food and Drug Administration*). Oleh karena itu, gula kasar tersebut harus melalui tahapan pemurnian agar dapat dikonsumsi oleh manusia atau digunakan sebagai gula berkualitas tinggi untuk industri.

Warna pada kristal gula merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam pengawasan mutu. Terbentuknya warna yang disebabkan oleh pigmen tanaman, reaksi enzimatik, dan reaksi non-enzimatik dapat menurunkan kualitas gula. Pada proses pembuatan gula kasar dengan defekasi, penghilangan warna belum berlangsung efektif karena hanya sebagian kecil zat pembentuk warna yang dapat dihilangkan. Selain itu, masih terdapat bahan pengotor, seperti asam amino dan gula pereduksi yang dapat membentuk warna dengan mekanisme reaksi pencoklatan non-enzimatik pada proses penguapan dan pemasakan sehingga zat warna tersebut terkristalkan dalam gula kasar. Oleh karena itu, proses pemucatan gula kasar menjadi sangat penting dalam meningkatkan kualitas gula kristal [1, 2, 3].

Proses penghilangan bahan pengotor, termasuk zat warna dari larutan gula kasar dengan karbonatasi lebih baik dibandingkan dengan defekasi dan sulfitasi. Dalam karbonatasi, terjadi reaksi pembentukan endapan senyawa kalsium karbonat ($CaCO_3$) oleh kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) dan gas karbondioksida (CO_2). Senyawa kalsium karbonat akan mengadsorpsi dan mengendapkan bahan-bahan pengotor termasuk zat warna. Penggunaan Reaktor Venturi Bersirkulasi (RVB) dapat meningkatkan efisiensi pencampuran sampai 85-95%, sedangkan penggunaan reaktor karbonatasi dengan pengaduk dan tanpa pengaduk hanya memiliki efisiensi 75-85%. Selain itu, penggunaan RVB dapat meningkatkan luas kontak permukaan 40000 – 70000 m^2/m^3, dimana penggunaan reaktor karbonatasi dengan pengaduk dan tanpa pengaduk hanya memiliki luas kontak permukaan 500-2500 m^2/m^3 [4].

Faktor suhu reaksi mempengaruhi terbentuknya senyawa kalsium karbonat, penghilangan bahan pengotor, dan pemucatan larutan gula kasar. Namun, meningkatnya suhu akan menyebabkan terjadinya karamelisasi gula pereduksi dan meningkatnya reaksi *Maillard* [5].

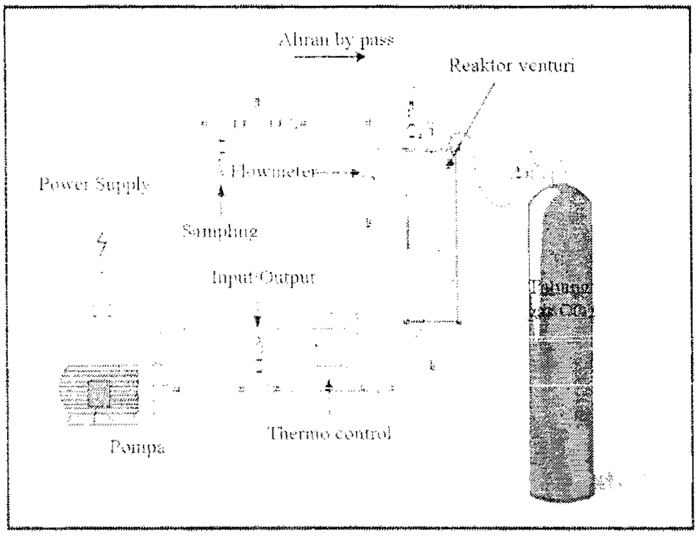
Selain itu, faktor efisiensi pencampuran susu kapur dan gas CO_2 juga merupakan faktor yang berpengaruh. Selama ini, gas CO_2 diabsorpsikan dalam bentuk gelembung dan ada pula yang menggunakan pengaduk. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan gas *hold up*, sehingga gas CO_2 lebih banyak berada dalam larutan gula dan kontak antara gas CO_2 dengan larutan gula yang mengandung susu kapur akan semakin meningkat. Namun, tangki karbonatasi yang ada saat ini masih kurang efisien karena masih banyak gas CO_2 yang tidak terabsorpsi ke dalam larutan gula dan terbuang sehingga proses pencampuran kurang baik serta kurang menghemat energi, terutama untuk menggerakkan pengaduk dan mengalirkan gas CO_2. Aliran keluar *nozzle* pada venturi yang sangat cepat menyebabkan penurunan tekanan dan meningkatkan difusi gas CO_2 sehingga akan meningkatkan fraksi gas dalam cairan atau gas *hold up*. Namun, semakin banyak gas CO_2 yang terabsorpsi dapat menyebabkan kalsium karbonat yang telah terbentuk akan kembali membentuk senyawa kalsium bikarbonat ($Ca(HCO_3)_2$) yang larut dan hal tersebut akan menghambat karbonatasi [6, 7, 8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penurunan warna larutan gula kasar proses karbonatasi. Selain itu, juga untuk mengetahui kondisi optimum dalam proses karbonatasi untuk pemucatan *raw sugar* dengan RVB.

2. Bahan dan Metoda

2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku utama yang digunakan pada penelitian ini adalah gula kasar (*raw sugar*) yang diimpor dari Australia. Di lain pihak, peralatan yang digunakan adalah Reaktor Venturi Bersirkulasi (RVB) yang dilengkapi dengan saluran gas, sistem pengaturan suhu, dan sistem sirkulasi cairan (Gambar 1).



Gambar 1. Rangkaian peralatan proses karbonatasi dengan menggunakan RVB

2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian dibagi atas beberapa tahap yang terdiri dari karakterisasi gula kasar dan penentuan pengaruh faktor reaksi. Tahapan selanjutnya adalah penentuan kondisi optimum faktor yang berpengaruh dalam karbonatasi untuk pemucatan gula kasar dengan menggunakan RVB.

2.2.1. Karakterisasi Gula Kasar (Raw Sugar)

Karakterisasi gula kasar dilakukan untuk mengetahui karakteristik gula kasar yang akan digunakan dalam karbonatasi dengan menggunakan RVB. Parameter karakteristik gula kasar yang digunakan adalah kadar air, kadar abu, kadar protein, tingkat kemurnian (polarisasi), tingkat warna, gula pereduksi, dan kejernihan.

2.2.2. Penentuan Pengaruh Faktor Reaksi

Pada tahap ini dilakukan penentuan faktor-faktor yang berpengaruh dalam karbonatasi dengan menggunakan RVB untuk pemucatan gula kasar. Faktor yang digunakan adalah suhu, laju alir cairan, tekanan, dan waktu reaksi. Adapun rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan faktorial dua taraf (*two level factorial design*) dengan nilai tinggi dan rendah untuk masing-masing faktor disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rendah dan tinggi perlakuan

Jenis Perlakuan	Kode	Nilai rendah (-1)	Nilai tinggi (+1)
Suhu (°C)	x_1	30	60
Laju alir cairan (l/jam)	x_2	300	600
Tekanan (kg/cm^2)	x_3	0.3	0.5
Waktu reaksi (menit)	x_4	5	15

Model rancangan percobaan untuk mengetahui pengaruh faktor terhadap respon yang diinginkan dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^{4} a_i x_i + \sum_{i<j}^{4} a_{ij} x_i x_j \quad \text{.......} \quad (1)$$

Dimana Y merupakan respon dari masing-masing perlakuan. a_0;a_i;a_{ij} menunjukkan parameter regresi, xi menunjukkan pengaruh linier faktor utama. dan xixj menunjukkan pengaruh linier dua faktor. Nilai hasil interaksi antar faktor kemudian dianalisis untuk digunakan sebagai seleksi faktor dengan mengetahui koefisien parameter regresi, persen signifikansi (selang kepercayaan) dan pola interaksi faktor yang berpengaruh signifikan terhadap respon. Nilai tersebut digunakan untuk mengetahui persen pengaruh faktor, dimana persen pengaruh menggambarkan pengaruh perubahan faktor terhadap perubahan respon [9] seperti terlihat pada Persamaan (2).

$$\text{Persen pengaruh} = \frac{F}{\alpha_0 (x_h - x_l)} 100\% \quad \text{.......} \quad (2)$$

Dimana F menunjukkan pendugaan parameter. α_0 menunjukkan intersep, x_h menunjukkan nilai tinggi faktor, dan x_l menunjukkan nilai rendah faktor.

2.2.3. Penentuan Kondisi Optimum

Faktor-faktor yang telah terseleksi sebagai faktor yang berpengaruh signifikan dengan respon utama, yaitu tingkat warna, selanjutnya digunakan untuk menentukan kondisi optimum dengan Metode Permukaan Respon (*Response Surface Methodology*) [10]. Model rancangan percobaan untuk mengetahui permukaan respon pengaruh faktor dalam karbonatasi gula kasar dapat dilihat Persamaan (3).

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i x_i + \sum_{i<j}^{n} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1} a_{ii} x_i^2 \quad \text{.......} \quad (3)$$

Dimana Y menunjukkan respon dari masing-masing perlakuan, a_0; a_i; a_{ij}; a_{ii} menunjukkan parameter regresi, x_i menunjukan pengaruh linier faktor utama. $x_i x_j$ menunjukkan pengaruh linier dua faktor dan x_i^2 menunjukkan pengaruh kuadratik faktor utama.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Karakteristik Gula Kasar

Parameter gula kasar yang diuji adalah kadar air, kadar abu, kadar protein, tingkat kemurnian, warna dan konsentrasi gula pereduksi. Hasil analisis karakteristik gula kasar disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik gula kasar

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	SNI[a]	Standar Sekretariat Dewan Gula Indonesia (1996)[b]
Kadar Air (kristal)	% b/b	0.03	-	0.3
Kadar Abu	% b/b	0.03	Maks 0.5	0.3
Kadar Protein	% b/b	0.01	-	-
Tingkat kemurnian	°Z	96	95	98
Warna	IU	1652	Min 600	s/d 4000
Konsentrasi gula pereduksi	% b/b	0.198	-	s/d 0.4
Kejernihan	%T	89.88	-	-

[a]SNI 01-3140.1-2001
[b]Sekretariat Dewan Gula Indonesia, 1996.

Berdasarkan Tabel 2, kadar protein gula kasar sebesar 0.01%. Adanya senyawa bernitrogen dalam kristal gula kasar diidentifikasi merupakan senyawa asam amino dan senyawa hasil reaksi Maillard yang memberikan warna kuning hingga coklat. Di lain pihak, senyawa hasil reaksi Maillard yaitu polimer melanoidin bersifat karsinogenik dan merugikan kesehatan. Oleh karena itu, gula kasar belum layak dikonsumsi manusia sehingga senyawa bernitrogen dalam gula kasar harus dihilangkan [11, 12].

Berdasarkan Tabel 2, gula kasar memiliki kadar gula pereduksi sebesar 0.198%. Nilai tersebut menunjukkan kadar gula pereduksi telah memenuhi standar Sekretariat Dewan Gula Indonesia, yaitu 0.4%. Adanya gula pereduksi diduga bahwa gula pereduksi terperangkap dalam proses pembentukan kristal gula kasar selama kristalisasi. Gula pereduksi akan mengganggu karbonatasi dikarenakan proses pencoklatan non-enzimatik secara karamelisasi dan reaksi *Maillard* dengan asam amino.

3.2 Pengaruh Faktor Reaksi

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa faktor-faktor reaksi yang diberikan yaitu suhu (x_1) dan laju alir cairan (x_2) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap proses pemucatan warna larutan gula kasar. Kedua faktor tersebut mempunyai pengaruh untuk menurunkan tingkat warna larutan gula. Pengaruh faktor utama dan interaksi faktor terhadap tingkat warna larutan gula hasil karbonatasi dengan menggunakan RVB disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh faktor utama dan interaksi faktor terhadap tingkat warna larutan gula hasil karbonatasi dengan menggunakan RVB

Parameter	Koefisien	Signifikansi (%)
Intersep	1677.438	99.81
Suhu (x_1)	-762.563	95.79
Laju alir cairan (x_2)	-596.688	91.28
Tekanan (x_3)	501.437	86.55
Waktu (x_4)	81.1875	21.57
Interaksi suhu dan laju alir cairan	448.062	82.82
Interaksi suhu dan tekanan	-648.313	93.08
Interaksi suhu dan waktu	-167.063	42.18
Interaksi laju alir cairan dan tekanan	-209.688	51.07
Interaksi laju alir cairan dan waktu	-336.938	71.56
Interaksi tekanan dan waktu	154.937	39.47
r^2	0.8363	

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa faktor yang berpengaruh signifikan terhadap pemucatan warna larutan gula kasar adalah suhu, laju alir cairan, dan tekanan. Faktor yang paling berpengaruh adalah suhu dengan persen pengaruh 1.515% pada selang kepercayaan 95.79%. Semakin tinggi suhu pada proses reaksi menyebabkan tingkat warna larutan gula hasil karbonatasi semakin menurun yang ditunjukkan oleh tanda negatif pada nilai koefisien parameter.

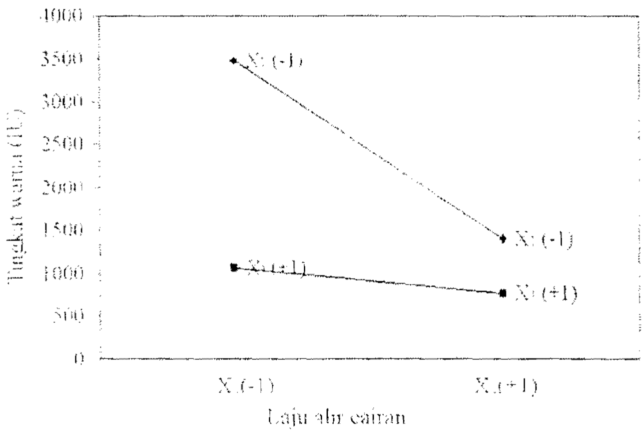
Peningkatan suhu akan mempercepat reaksi *Maillard* antara asam amino dengan gula pereduksi dan memicu terjadinya karamelisasi yang akan meningkatkan warna larutan gula. Selain itu, peningkatan suhu dapat pula mempercepat terjadinya reaksi ionik antara ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion karbonat (CO_3^{2-}) membentuk endapan kalsium karbonat ($CaCO_3$). Adanya senyawa kalsium karbonat menyebabkan terjadinya pengikatan dan pengendapan senyawa yang dapat menimbulkan warna. Mekanisme pengikatan dapat terjadi dengan cara menjerat bahan pengotor dalam kristal karbonat, mengadsorpsi bahan pengotor pada permukaan kristal dalam bentuk ikatan van der waals atau mempresipitasi bahan pengotor tersebut sebagai senyawa yang tidak larut [6, 13].

Selain itu, faktor laju alir cairan memberikan pengaruh yang signifikan pada selang kepercayaan 91.28% dengan persen pengaruh 0.119% terhadap proses pemucatan warna larutan gula kasar. Semakin tinggi laju alir cairan menyebabkan tingkat warna larutan gula kasar yang dihasilkan semakin menurun.

Peningkatan laju alir cairan yang melalui *nozzle* pipa venturi pada RVB menyebabkan aliran keluar *nozzle* memiliki kecepatan yang sangat tinggi. Peningkatan kecepatan aliran cairan keluar *nozzle* mengakibatkan turunnya tekanan bahkan menjadi vakum, kondisi ini akan meningkatkan absorpsi gas karbondioksida ke dalam larutan gula. Di lain pihak, kecepatan aliran cairan melalui *nozzle* berada pada rejim *atomization*, yaitu lebih besar dari 1800 m/detik, dimana aliran cairan selain berupa kecepatan jet dan akan terpecah menjadi butiran-butiran cairan yang sangat kecil. Semakin kecil butiran cairan larutan gula, maka akan meningkatkan luas kontak permukaan reaksi gas karbondioksida dan larutan gula yang telah ditambahkan susu kapur. Selain itu, leher pipa venturi yang membentuk sudut akan menyebabkan terjadinya tumbukan antara aliran keluar *nozzle* yang berakibat aliran menjadi turbulen, sehingga meningkatkan proses pencampuran reaksi antara gas karbondioksida dan susu kapur dalam larutan gula. Hal tersebut dapat meningkatkan reaksi pembentukan endapan kalsium karbonat, pengikatan, dan pengendapan bahan penyebab warna, sehingga peningkatan laju alir cairan dapat meningkatkan proses pemucatan larutan gula kasar.

Hasil interaksi suhu dengan laju alir cairan pada Tabel 3 berpengaruh positif terhadap proses pemucatan warna larutan gula kasar. Interaksi kedua faktor berpengaruh pada tingkat kepercayaan 82.82%. Interaksi kedua faktor terhadap proses pemucatan larutan gula kasar disajikan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2. dapat diketahui bahwa peningkatan laju alir cairan pada suhu yang rendah menyebabkan penurunan tingkat warna yang lebih curam dibandingkan dengan suhu tinggi. Laju yang tinggi dan suhu yang tinggi menyebabkan terjadinya proses pencampuran cairan dan gas yang semakin intens sehingga larutan akan menjadi jenuh dan endapan kalsium karbonat yang telah terbentuk akan kembali terurai dan reaksi pengikatan warna berlangsung lambat.



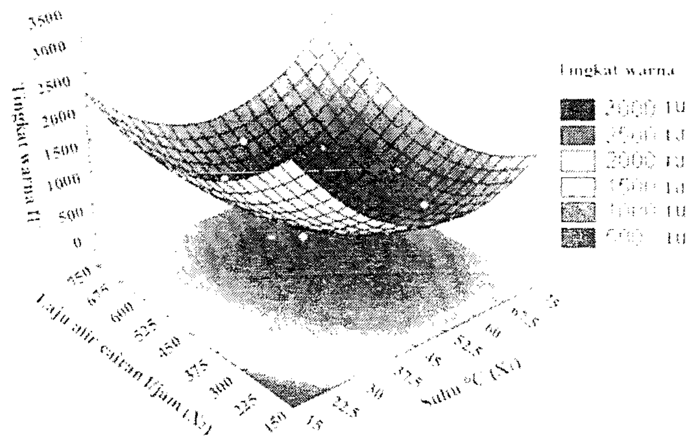
Gambar 2. Pola interaksi antara suhu dan laju alir cairan terhadap tingkat warna. [x_1(-1) : suhu rendah; x_1(+1) : suhu tinggi; x_2(-1): laju alir cairan rendah: x_2(+1) : laju alir cairan tinggi]

3.3 Analisa Permukaan Respon

Bentuk permukaan respon dari tingkat warna larutan gula sebagai fungsi dari suhu (x_1) dan laju alir cairan (x_2) dapat dilihat pada Gambar 3. Adapun model persamaan kuadratik diperoleh dari hasil analisis statistik permukaan respon yang dapat dilihat pada Persamaan (4).

$$Y=449.001-235.987x_1-76.713x_2+89x_1x_2+261.062x_{12}+183.312x_{22},\ r^2 = 0.7165 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Hasil analisis kanonik terhadap permukaan respon diketahui bahwa model permukaan respon adalah minimum. Hal tersebut menyebabkan nilai optimum dapat ditentukan dari model permukaan respon. Perkiraan nilai terbaik diperoleh dari estimasi nilai minimum respon. Tingkat warna larutan gula minimum adalah 393.78 IU dengan kondisi suhu reaksi 51.51°C dan laju alir cairan 465.57 l/jam, tekanan 0.3 kg/cm^2, dan waktu reaksi 5 menit.



Gambar 3. Permukaan respon dari tingkat warna larutan gula sebagai fungsi dari suhu (x_1) dan laju alir cairan (x_2)

Verifikasi kondisi optimum dilakukan untuk mengetahui kesesuaian model permukaan respon terhadap tingkat warna eksperimen karbonatasi dengan menggunakan RVB. Perbandingan tingkat warna pada kondisi optimum dan hasil verifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Verifikasi optimum model

Parameter	Kondisi optimum model[a]	Verifikasi kondisi optimum[a]
Tingkat warna gula kasar sebelum karbonatasi	1652 IU	1652 IU
Tingkat warna setelah karbonatasi	393.78 IU	531 IU

[a]Suhu reaksi 51.51°C; Laju alir cairan 465.57 l/jam; Tekanan 0.3 kg/cm^2; Waktu reaksi 5 menit

Selain tingkat warna, dilakukan pula analisa terhadap parameter kualitas perbedaan larutan gula untuk mengetahui karakteristik larutan gula kasar setelah karbonatasi dengan menggunakan RVB. Parameter yang dianalisa adalah kadar abu, kadar protein, tingkat kemurnian (polarisasi), gula pereduksi, dan kejernihan. Hasil analisis yang diperoleh disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik larutan gula pada kondisi optimum dan karakteristik awal gula kasar

Parameter	Satuan	Karakteristik awal gula kasar	Hasil analisa kondisi optimum
Kadar protein	% b/b	0.01	0.003
Tingkat kemurnian	°Z	96	99.8
Konsentrasi gula pereduksi	% b/b	0.198	Tidak terdeteksi
Kejernihan	%T	89.88	98.21

Berdasarkan Tabel 5, kadar protein larutan gula pada kondisi optimum sebesar 0.003%. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan kadar protein sebelum karbonatasi dengan menggunakan RVB, yaitu 0.01%. Tingkat kemurnian (polarisasi) larutan gula pada kondisi optimum sebesar 99.8°Z. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat kemurnian (polarisasi) sebelum karbonatasi dengan menggunakan RVB, yaitu 96°Z. Kadar gula pereduksi pada kondisi optimum adalah tidak terdeteksi. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan kadar gula pereduksi sebelum karbonatasi dengan menggunakan RVB, yaitu 0.198%. Larutan gula pada kondisi optimum memiliki kejernihan 98.21%T. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan kejernihan sebelum karbonatasi dengan menggunakan RVB, yaitu 89.88%T.

Acknowledgements

Terima kasih kepada Program B, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor yang telah memberikan Hibah Penelitiannya kepada kami.

Daftar Pustaka

1. Namiki, M. Chemistry of Maillard Reaction: Recent Studies on Browning Reaction Mechanism and Development of Antioxidant and Mutagens. *Advances in Food Research*. **1988**, 32, 116-170.
2. Moerdokusumo, A. *Pengawasan Kualitas dan Teknologi Pembuatan Gula di Indonesia*; Penerbit Institut Teknologi Bandung (ITB): Bandung, 1993.
3. Achyadi, N.S.; I. Maulidah. Pengaruh Banyaknya Air Pencuci Dan Ketebalan Masakan Pada Proses Sentrifugal Terhadap Kualitas Gula. *J. Informasi dan Teknologi*. **2004**, 6, No 4.
4. Meinert. *Carbonation*. www.khulrich.privat.t-online.de/carboe.html. Diakses tanggal 23 Agustus 2007, 2007.
5. Whitfield, F.B. *Volatile From Interaction of Maillard Reaction and Lipids*. Crit.Rev.Food Sci.Nut, 1992; pp 31:2.
6. Mathur, R.B.A. *Handbook of Cane Sugar Technology*; Oxford and Publishing Co: New Delhi, 1978.
7. Mandal, A.; G. Kundu; D. Mukherjee. Comparative Study of Two-Phase Gas-Liquid Flow in the Ejector Induced Upflow and Downflow Bubble Column. *International J. Of Che. Reac. Eng.* **2005,** 3:A13.
8. Shirsat, S.; A. Mandal, G.; Kundu; D. Mukherjee. Hydrodynamic Studies on Gas-liquid Downflow Bubble Column with Non-Newtonian Liquids. *J. of Dept of Che. Eng., Indian Insitute of Technology*. **2003**, 84, 38-43.
9. Cowan. Isomerization Reaction of Drying Oils. *J. Ind. Eng. Chem.* **1949**, 41, 294-304.
10. Box, G.E.P.; W.G. Hunter.; J.S. Hunter. *Statistics for Experimenters*; John Willey dan Sons, Inc: New York, 1978.
11. Apriyantono, A. *Pengaruh Pengolahan Terhadap Nilai Gizi dan Keamanan Pangan*. http://kharisma.de/files/home/makalah_anton.pdf. Diakses tanggal 28 Agustus 2007, 2002.
12. Anonim. *Raw Sugar*. http://www.fda.gov/ora/compliance_ref/cpg/cpgfod/cpg515-400.html. Diakses Tanggal 27 Agustus 2007, 2007.
13. Chen, J.C.P.; C.C. Chou. *The Cane Sugar Handbook, twelfth edition: a manual for cane sugar manufacturers and their chemists*; John Wiley : New York, 1993.