

ANALISIS LAMA TINGGAL BAHAN PANGAN CAIR DAN PASTA DALAM PIPA PADA BERBAGAI VARIASI DENSITAS DAN VISKOSITAS

(Residence time of liquid food on the holding tube at any densities and viscosities)

Gani Supriyanto ¹

¹ Staf Pengajar Jurusan THP, Fak Tekn Pertanian INSTIPER

ABSTRAK

Salah satu proses pengolahan pangan adalah sterilisasi. Di dalam sterilisasi digunakan suhu di atas suhu yang dapat mematikan bakteri atau jasad renik. Ada dua cara yang dipakai dalam sterilisasi makanan yaitu metode pengalengan konvensional dan metode Pengolahan aseptik. Banyak faktor yang mempengaruhi lama tinggal bahan pangan dalam tabung penahan, antara lain sifat cairan tersebut, viskositas dan densitas cairan, ukuran pipa dan tekanan pompa. Kenaikan viskositas cairan cenderung menaikkan lama tinggal bahan dalam pipa penahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lama tinggal bahan pangan cair dan pasta dalam pipa pada berbagai variasi dan viskositas. Sebagai model bahan pangan cair atau pasta digunakan air yang dicampur CMC (Carboxymethyl Cellulose) dengan berbagai konsentrasi untuk memvariasi viskositas cairan. Sedangkan untuk memvariasi densitas cairan dicampur dengan garam dapur dengan berbagai konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Hubungan antara densitas dan konsentrasi garam serta hubungan antara viskositas dan konsentrasi CMC ditunjukkan dengan regresi linier masing - masing $\rho = 3,9897C + 997,2$ ($R^2 = 0,9885$), dan $\nu = 71,714C - 73,619$ ($R^2 = 0,8993$). Hubungan antara debit aliran maupun laju aliran bahan pangan cair dalam pipa terhadap densitas adalah berbanding terbalik, masing - masing dapat dinyatakan dengan regresi power berpangkat negatif, yaitu $Q = a\rho^{-c}$ dan $v = b\rho^{-c}$ Sedangkan terhadap viskositasnya debit aliran maupun laju aliran bahan pangan cair dalam pipa berbanding terbalik dengan viskositasnya, yang dapat dinyatakan dengan regresi power berpangkat negatif masing - masing adalah $Q = x\nu^{-z}$ $v = y\nu^{-z}$. Regresi - regresi yang terbentuk cukup valid untuk memprediksi laju aliran bahan pangan cair dalam pipa, berdasarkan densitas dan viskositasnya. Lama tinggal bahan pangan cair dalam pipa dapat diprediksi dengan menghitung laju alirannya

Keywords: lama tinggal, bahan cair, pasta, densitas dan viskositas

PENDAHULUAN

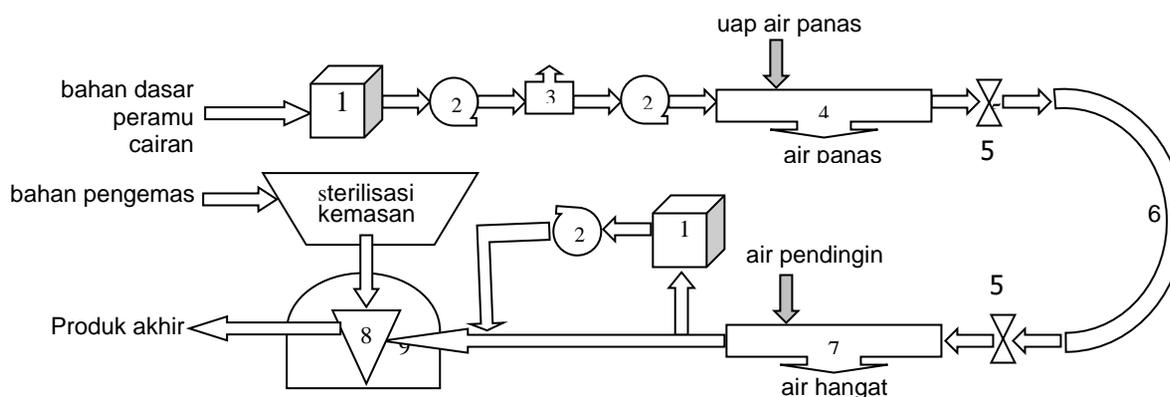
Salah satu proses pengolahan pangan adalah sterilisasi, yang merupakan usaha untuk menyingkirkan bakteri atau jasad renik yang dapat merusak bahan makanan dan membahayakan konsumen. Di dalam sterilisasi digunakan suhu di atas suhu yang dapat mematikan bakteri atau jasad renik. Ada dua cara yang dipakai dalam sterilisasi makanan dengan pengolahan panas, yaitu bahan

makanan dimasukkan ke dalam suatu tempat (dapat berupa tempat sementara atau langsung pengemas) dan selanjutnya ditutup, kemudian dipanaskan sehingga diperoleh kesterilan komersial makanan yang kemudian ditempatkan ke dalam wadah yang steril dan ditutup. Metode ini biasa dikenal dengan pengalengan konvensional. Metode yang kedua adalah yang dikenal dengan *aseptic processing*, yang dilakukan dengan melewati bahan makanan melalui media

yang dilewatkan dalam pipa penahan hingga diperoleh kesterilan komersial. Pemanasan suhu tinggi ternyata lebih cepat memusnahkan jasad renik dibandingkan dengan kecepatan kerusakan nutrisi dalam makanan. Dengan suhu tinggi pada saat sterilisasi komersial tercapai, kandungan gizi yang tertinggal akan lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional.

Pengolahan aseptik merupakan teknologi pengolahan pangan dimana sterilisasi produk dan sterilisasi pengemas dilakukan secara terpisah. Bahan pangan disterilkan di luar kemasan secara kontinyu dengan sistem Suhu Tinggi Singkat Waktu (HTST : *High Temperature Short Time*) di dalam tabung

penahan hingga dicapai steril komersial, yaitu pada suhu kira – kira 145°C dalam waktu 5 detik (Lewis, M.J., 1987). Produk steril ini kemudian dimasukkan ke dalam pengemas yang sudah disterilkan. Keunggulan teknologi ini yakni kualitas gizi yang lebih baik, hemat energi, kerusakan produk rendah, memungkinkan digunakan bahan kemasan plastik dan kemasan fleksibel. Selain itu proses kontinyu memungkinkan penggunaan kontrol proses, sehingga dihasilkan produk makanan yang seragam dan memenuhi standar kualitas. Digunakannya pengolahan aseptik dapat menghemat 40 – 45 % dibandingkan dengan pengalengan.



Gambar 1. Skema sistem pengolahan aseptis kontinyu makanan cair. Sterilisasi bahan makanan dan kemasan dilakukan secara terpisah, kemudian pengisian ke dalam pengemas dilangsungkan di ruang aseptis tertutup

Keterangan :

- | | |
|------------------|------------------------------------|
| 1. bak penampung | 6. pipa penahan |
| 2. pompa | 7. pendingin |
| 3. pemanas awal | 8. pengisi |
| 4. penukar kalor | 9. ruang pengemas aseptis / steril |
| 5. katup penahan | |

pompa dan katup penahan berfungsi untuk mengatur tekanan dalam penukar kalor dan tabung penahan agar tetap di atas tekanan uap titik didih cairan pembawa sehingga suhu dapat mencapai 145°C tanpa terjadi pendidihan cairan pembawa

Apabila sterilisasi dilakukan dengan waktu yang lama, akan mengakibatkan kerusakan bahan, sedangkan jika dilakukan terlalu singkat, belum tercapai sterilisasi komersial. Dengan demikian perlu perhitungan

waktu yang cermat untuk menentukan waktu yang sesuai. Proses pengolahan aseptik hanya akan diterima bila pemanasan selama dalam tabung penahan dapat menjamin tercapainya kesterilan komersial bahan pangan. Untuk itu

perlu diketahui dan diperhitungkan lama tinggal bahan dalam tabung penahan.

Banyak faktor yang mempengaruhi lama tinggal bahan pangan dalam tabung penahan, antara lain sifat cairan tersebut, viskositas dan densitas cairan, ukuran pipa dan tekanan pompa. Kenaikan viskositas cairan cenderung menaikkan lama tinggal bahan dalam pipa penahan. Namun demikian sampai seberapa jauh pengaruh viskositas bahan pangan cair terhadap lama tinggal penahan masih belum diketahui secara pasti. Demikian pula halnya dengan pengaruh densitas bahan pangan cairnya. Hubungan empiris antara lama tinggal dengan viskositas dan densitas bahan pangan cair diperlukan untuk menentukan berapa lama tinggal bahan pangan cair dalam pipa penahan dengan densitas dan viskositas tertentu, sehingga dalam proses pengolahan aseptik dapat dengan tepat dapat dicapai kesterilan komersial.

Jenis Aliran

Jenis aliran dalam pengolahan bahan pangan cair melalui pipa dapat berupa aliran laminar atau aliran turbulen. Aliran laminar terjadi jika laju aliran fluida lambat. Jika laju aliran laminar ditingkatkan terus dapat terjadi aliran berubah menjadi aliran turbulen. Perubahan aliran dari laminar ke turbulen ditentukan selain oleh kecepatan aliran bahan pangan cair, juga oleh viskositas bahan cair dan densitas bahan serta diameter pipa penahan. Hal ini ditemukan oleh Reynold yang dikenal dengan bilangan Reynold.

Bilangan Reynold merupakan suatu bilangan tak berdimensi yang merupakan rasio antara laju aliran fluida, densitas fluida dan diameter pipa terhadap viskositasnya.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{\text{ gaya inersial }}{\text{ gaya visko us }}$$

Bilangan Reynold mencirikan jenis aliran, apakah aliran laminar atau turbulen. Selain dicirikan oleh bilangan Reynold, aliran laminar juga ditandai dengan tidak adanya olakan, aliran tenang. Profil melintang kecepatan aliran laminar berupa parabolik. Gerakan aliran laminar sejajar masing – masing

elemen, arah gerakan tiap – tiap elemen sejajar. Kecepatan maksimum dalam aliran laminar berada di tengah – tengah pipa. Pada aliran laminar kecepatan rata – rata sedikit dibawah kecepatan maksimumnya

Aliran turbulen dapat terjadi antara lain jika aliran laminar ditambah kecepatannya dengan menambah tekanan pompa terhadap cairan. Aliran turbulen ditandai dengan adanya olakan (turbulensi) dalam aliran bahan cair. Selain itu pada gerakan cairan terjadi secara acak, arah dan kecepatan tiap – tiap elemen berubah setiap saat. Kecepatan rata – rata aliran turbulen jauh lebih kecil daripada kecepatan maksimumnya. Perbandingan kecepatan maksimum dengan kecepatan rata – ratanya pada jenis aliran ini dapat mencapai 1,2 kalinya

Dengan demikian dalam proses pengolahan aseptik, jika digunakan jenis aliran turbulen, lama tinggal bahan pangan dalam pipa penahan akan lebih lama dan distribusi lama tinggal bahan lebih kecil. Dalam pengolahan pangan aliran turbulen akan lebih cocok jika digunakan dalam proses transfer massa. Proses transfer massa memerlukan pencampuran secara merata, sehingga dengan semakin besarnya turbulensi, maka pencampuran akan semakin merata dan semakin cepat pencampurannya.

Pada proses pengolahan dengan aliran turbulen, sulit untuk dinyatakan secara matematis dibandingkan dengan aliran laminar. Jika proses pengolahan menggunakan jenis aliran turbulen, maka kerugian tekanan akibat gesekan akan lebih besar dibandingkan dengan pada aliran laminar. Semakin besar bilangan Reynold, akan semakin besar turbulensi dan kehilangan tekanan akibat gesekan semakin tinggi.

Lama Tinggal Bahan dalam Pipa Penahan

Dalam proses pasteurisasi atau sterilisasi yang kontinyu untuk mendapatkan waktu minimum 15 detik, diperlukan lama tinggal rata – rata dalam pipa penahan selama 30 detik jika aliran laminar atau 18 detik jika aliran turbulen (Lewis, 1987). Pada pengolahan aseptik perlu adanya kontrol waktu. Dalam proses batch kontrol waktu

lebih sederhana, sedangkan dalam proses kontinyu kontrol waktu lebih rumit. Pengolahan HTST pada pasteurisasi susu diperlukan suhu 72°C dengan waktu kurang dari 15 detik. Dengan waktu dan suhu tersebut sudah cukup menonaktifkan mikroorganisme dalam susu. Dengan semikian diperlukan analisis yang cermat dalam kontrol waktu terutama dalam proses kontinyu.

Sterilisasi partikel kecil lebih ditentukan oleh proses perpindahan panas dalam penukar panas, namun untuk sterilisasi partikel besar sangat ditentukan oleh perilaku lama tinggal partikel dalam tabung penahan. Proses pengolahan aseptis hanya akan dapat diterima bila pemanasan selama di tabung penahan dapat menjamin tercapainya kesterilan yang dikehendaki pada partikel. Dengan suhu tinggi setiap penyimpangan suhu yang kecil akan dapat menyebabkan perbedaan tingkat pencapaian kesterilan yang cukup besar. Akibatnya proses HTST memerlukan kontrol suhu yang ketat. Umumnya bahan padat atau viskus mempunyai difusitas panas yang rendah sehingga penyesuaian suhu akan selalu mengalami keterlambatan. Pada proses pemanasan dengan suhu tinggi keterlambatan dalam pemanasan atau pendinginan dapat menyebabkan over heating di permukaan partikel yang berakibat kehilangan kualitas. Pemodelan matematis adalah cara yang paling terbaik dalam memperkirakan suhu dalam partikel dan sterilitas produk. *Food and Drug Administration* (FDA, USA) sendiri merekomendasikan untuk menggunakan model matematik sebagai cara untuk mengevaluasi proses sterilisasi pengolahan aseptis disamping perlu adanya klarifikasi model dengan cara inokulasi bakteri atau cara lainnya. Simulasi berdasarkan model matematik memungkinkan untuk melakukan analisis secara menyeluruh dalam sistem. Dengan simulasi maka dimungkinkan untuk mengevaluasi kestabilan yang dapat dicapai, kandungan nutrisi yang tertinggal dan kualitas sensory yang dihasilkan secara menyeluruh dan bersamaan dengan mudah dan lebih murah dibandingkan dengan

penelitian observasi murni (Paine, 1987; Sastry, 1992a, 1992b; Singh dan Nelson, 1992; Thorne, 1992).

Rata – rata lama tinggal bahan dalam tabung penahan dapat dinyatakan sebagai :

$$t_{av} = \frac{L}{v}$$

dengan L adalah panjang pipa dan v kecepatan aliran bahan atau jika dinyatakan dalam bentuk lain :

$$t_{av} = \frac{\text{volume tabung}}{\text{laju aliran volumetri k}} = \frac{V}{Q}$$

Distribusi lama tinggal dalam tabung penahan tidak seragam pada setiap titik. Pada proses batch atau bahan tidak mengalir, distribusi lama tinggal akan sama di setiap titik. Proses ini dalam analisa digambarkan sebagai aliran tersumbat. Distribusi lama tinggal dalam pipa penahan dengan aliran laminar dan aliran turbulen tidak seragam

Viskositas

Merupakan sifat fluida yang didefinisikan sebagai gaya gesek internal yang bekerja pada fluida. Fluida yang ada di dalam gelas, jika dituangkan ada yang dengan mudah mengalir, ada yang sulit mengalir bahkan ada yang tidak mau mengalir. Dalam kasus lain misalnya dalam mengalirkan fluida dengan pompa, dipengaruhi oleh laju aliran volumetrik, viskositas fluida dan gaya geseknya. Semakin tinggi viskositas fluida, akan semakin besar daya pompa yang dibutuhkan untuk memompa fluida.

Viskositas fluida merupakan ukuran kekentalan fluida tersebut. Semakin tinggi viskositas fluida, berarti semakin kental fluida tersebut. Semakin kental fluida akan sulit fluida tersebut mengalir. Dengan demikian jika fluida tersebut dipompa, juga akan semakin besar kebutuhan daya pompanya.

Pada kinetika aliran fluida ada hubungan antara jarak dengan kecepatan, yang berupa garis lurus. Gradien garis hubungan antara kecepatan (v) dengan jarak (y) yaitu

sebesar $\frac{dv}{dy}$ merupakan *shear rate*. Jika

tegangan geser (*shear stress* = τ) $\tau = \frac{F}{A}$ atau

merupakan gaya geser (F) yang bekerja tiap satuan luas, maka rasio antara tegangan geser (*shear stress*) dengan *shear rate* adalah :

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \frac{F}{\frac{A}{dy}}$$

μ ini disebut dengan viskositas dinamis

Hubungan antara tegangan geser dengan (*shear stress*) dengan *shear rate*

dapat dinyatakan dengan : $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$.

Hubungan ini hanya berlaku khusus untuk fluida Newtonian. Untuk fluida Newtonian hubungan antara tegangan geser dengan (*shear stress*) dengan *shear rate* merupakan hubungan linier. Hubungan atau persamaan yang lebih umum dinyatakan sebagai :

$$\tau = k \left(\frac{dv}{dy} \right)^n$$

Jika nilai $n > 1$, maka semakin besar shear rate kenaikan shear rate akan menaikkan shear stress yang lebih besar. Pada kondisi ini fluida termasuk fluida ***pseudoplastis***. Dan jika nilai $n < 1$, semakin besar shear rate, kenaikan shear rate akan menaikkan shear stress yang semakin kecil. Fluida yang mempunyai sifat seperti ini disebut fluida ***dilatan***. Sedangkan jika nilai $n = 1$ maka semakin tinggi shear rate, shear stress akan semakin tinggi dengan kenaikan yang tetap. Fluida yang mempunyai sifat seperti ini disebut dengan Fluida ***Newtonian***. Fluida Newtonian merupakan fluida ideal, sedangkan fluida yang nyata adalah fluida ***Bingham***.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Pasca Panen Program Studi Teknik Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Stiper Yogyakarta. Sebagai model bahan pangan cair atau pasta digunakan air yang dicampur CMC (Carboxymethyl Cellulose) dengan berbagai konsentrasi untuk memvariasi viskositas cairan. Sedangkan untuk memvariasi densitas cairan dicampur dengan garam dapur dengan berbagai konsentrasi.

Model fisik sistem rangkaian peralatan terdiri dari tangki penampung sebagai tempat penampungan cairan, pompa desak untuk mengendalikan aliran bahan, manometer untuk mengukur tekanan pompa desak, katup pengatur untuk mengendalikan laju aliran bahan cair, alat pengukur waktu untuk mengukur laju aliran bahan cair dan alat – alat ukur yang lain meliputi viskosimeter dan timbangan densitas untuk mengukur densitas dan viskositas cairan yang diteliti

Dalam penelitian ini akan didapatkan data kuantitatif dan terukur yang nantinya digunakan untuk menggambarkan lama tinggal bahan pangan cair dalam pipa penahan. Data yang terkumpul merupakan hasil pengamatan disaat percobaan dilangsungkan disertai dengan ulangan.

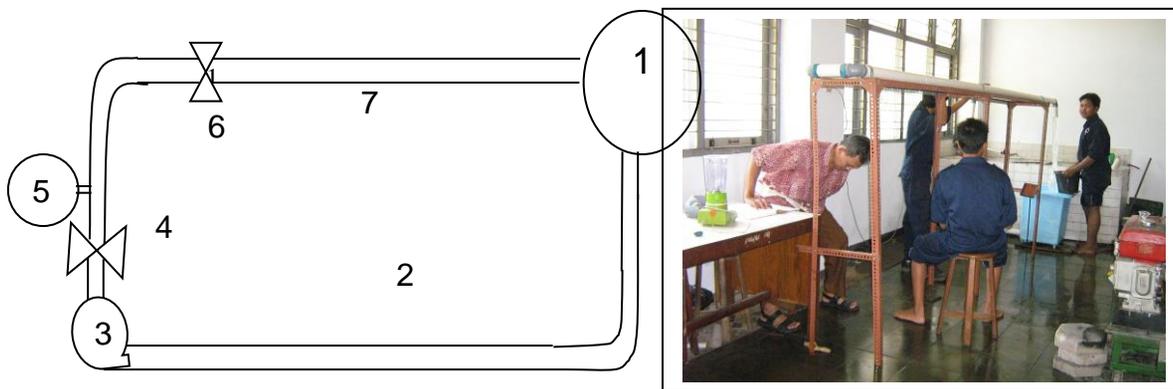
Lama tinggal bahan dalam pipa penahan diukur dengan mengukur laju aliran bahan dalam tabung. Peubah bebas dalam analisa lama tinggal bahan pangan cair dalam pipa adalah berupa densitas bahan pangan cair (ρ), viskositas bahan pangan cair (η), tekanan pompa (P) dan dimensi pipa. Dimensi pipa dalam penelitian dibuat sama konstan yaitu menggunakan pipa plastic diameter 2 inchi. Sedangkan peubah bebas tekanan pompa diatur konstan pada tekanan agar aliran dalam pipa berupa aliran laminar.

Data peubah bebas berupa densitas bahan dan viskositas bahan divariasasi masing – masing ke dalam 5 sampai 9 aras. Dalam setiap aras peubah bebas diamati laju aliran cairan di dalam pipa penahan. Sehingga akan terjadi sekitar 25 sampai 81 kali pengamatan. Setiap pengamatan dilakukan dengan beberapa ulangan.

Data hasil pengamatan dianalisa hubungan empiris antara lama tinggal dalam pipa penahan dengan peubah bebasnya,

dengan regresi linier. Analisis regresi dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel secara grafis, yang memuat regresi dan nilai R^2 dari regresi yang terbentuk.

Sebagai alat yang digunakan dalam penelitian ini akan dibuat model fisik berupa rangkaian sistem peralatan yang terdiri dari tangki penampung sebagai tempat penampungan bahan cair, pompa desak untuk mengatur aliran cairan, manometer untuk mengukur tekanan pompa, katup untuk mengatur aliran, tabung penahan dan bak penampung. Secara skematis model fisik rangkaian seperti Gambar 2.



Gambar 2. Skema model fisik rangkaian peralatan uji

Keterangan :

- | | |
|--------------------------|------------------|
| 1. bak penampung | 5. manometer |
| 2. pipa hisap | 6. katup penahan |
| 3. pompa | 7. pipa penahan |
| 4. katup pengatur aliran | |

HASIL DAN PEMBAHASAN

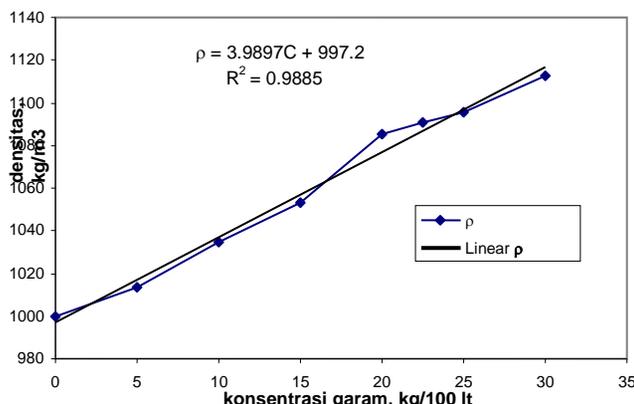
Hubungan antara Konsentrasi Garam dengan Densitas

Pencampuran garam dapur ke dalam air akan menaikkan densitas larutan. Semakin tinggi konsentrasi garam akan semakin besar densitas larutan yang dihasilkan. Dari hasil analisis seperti terlihat pada gambar 3,

hubungan antara kenaikan densitas akibat kenaikan konsentrasi garam akan naik secara linier dengan persamaan : $\rho = 3,9897C + 997,2$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak garam yang dicampurkan ke dalam cairan, maka densitasnya akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena densitas garam lebih besar. Garam menurut Lewis (1987) mempunyai densitas padatan sebesar 2160 kg/m^3 . Densitas minimum larutan terjadi pada air murni tanpa campuran garam, sedangkan

densitas maksimum terjadi apabila larutan jenuh dengan garam dapur.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Konsentrasi Garam dengan Densitas Cairan

Persamaan untuk mencari densitas campuran dinyatakan dengan

$$\frac{1}{\rho} = \frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2},$$

dimana m merupakan fraksi massa dari masing – masing komponen atau massa komponen dibagi massa total larutan. Jika m_1 adalah fraksi massa air dalam larutan dan m_2 fraksi massa garam dalam larutan, maka densitas larutan yang dihasilkan menggunakan persamaan tersebut hampir sama dengan hasil pengukuran dalam penelitian.

Hubungan antara Konsentrasi CMC dengan Viskositas

Penambahan CMC dalam cairan akan menyebabkan perubahan viskositas cairan. Viskositas akan semakin besar (atau semakin kental) dengan penambahan CMC. Dari hasil percobaan penambahan CMC dalam cairan tidak menghasilkan tren khusus. Semakin tinggi konsentrasi CMC viskositasnya akan semakin tinggi. Viskositas fluida merupakan ukuran kekentalan fluida tersebut. Semakin tinggi viskositas fluida, berarti semakin kental fluida tersebut. CMC merupakan bahan yang berupa serbuk atau berupa padatan, sehingga apabila dicampurkan dengan akan menambah kekentalan larutan. Semakin kental cairan, viskositasnya akan semakin besar.

Hubungan antara Debit dan Laju Aliran dengan Densitas

Penelitian lama tinggal bahan pangan air dalam pipa dinyatakan dalam laju aliran atau debit aliran bahan di dalam pipa akibat perbedaan densitas dan viskositas. Debit aliran bahan cair dimaksudkan sebagai volume bahan cair yang mengalir setiap satuan waktu. Sedangkan laju aliran bahan cair dimaksudkan sebagai panjang lintasan yang ditempuh aliran bahan cair setiap satuan waktu.

Hubungan antara densitas cairan dengan debit aliran air, seperti terlihat pada gambar 4, semakin tinggi densitas cairan, debit aliran bahan cairnya akan semakin kecil. Secara empiris hubungan antara debit aliran dengan densitas bahan dapat dinyatakan dengan suatu regresi power seperti yang terlihat pada gambar 4 tersebut.

Pada bukaan kran penuh, bukaan kran $\frac{3}{4}$ dan bukaan kran $\frac{1}{2}$ serta bukaan kran $\frac{1}{4}$ regresi yang terbentuk masing – masing adalah

$$Q_1 = 0,0044\rho^{-0,1114} (R^2 = 0,9792);$$

$$Q_{3/4} = 0,0042\rho^{-0,1125} (R^2 = 0,9394);$$

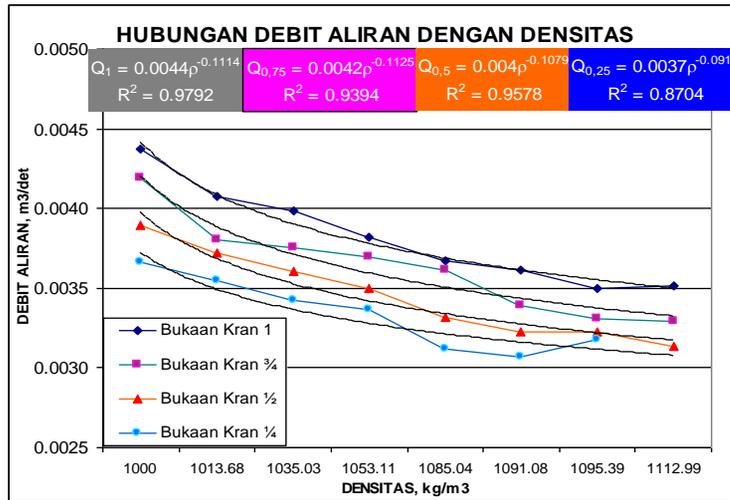
$$Q_{1/2} = 0,004\rho^{-0,1079} (R^2 = 0,9578) \text{ dan}$$

$$Q_{1/4} = 0,0037\rho^{-0,0913} (R^2 = 0,8704).$$

Keempat regresi yang terbentuk mempunyai koefisien determinasi (R^2) yang cukup besar, sehingga cukup valid untuk

menyatakan hubungan antara den-sitas cairan dengan debit aliran bahan cair tersebut. Jika debit aliran dinyatakan dalam laju aliran bahan, dimana $Q = \frac{V}{A}$, hubungan antara laju

aliran bahan cair dengan densitas, semakin besar densi-tas, maka laju aliran bahan cair akan semakin kecil seperti halnya hubungan antara debit aliran dengan densitas.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara densitas cairan dengan debit aliran

Hubungan antara kecepatan aliran bahan dengan densitas pada regresi yang terbentuk di atas merupakan regresi berpangkat (power), dengan pangkat negatif. Pangkat negatif berarti hubungan antara kedua variable merupakan hubungan berbanding terbalik. Hubungan tersebut selaras dengan persamaan untuk bilangan Reynold. Bilangan Reynold merupakan suatu bilangan tak berdimensi yang merupakan rasio antara gaya inersial dengan gaya viscous. Bilangan ini mencirikan jenis aliran apakah laminar atau turbulen (Lewis, 1982). Bilangan

Reynold dirumuskan sebagai : $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$

Persamaan ini dapat diubah menjadi bentuk :

$v = \frac{Re \mu}{\rho}$. Bentuk ini menggambarkan bahwa

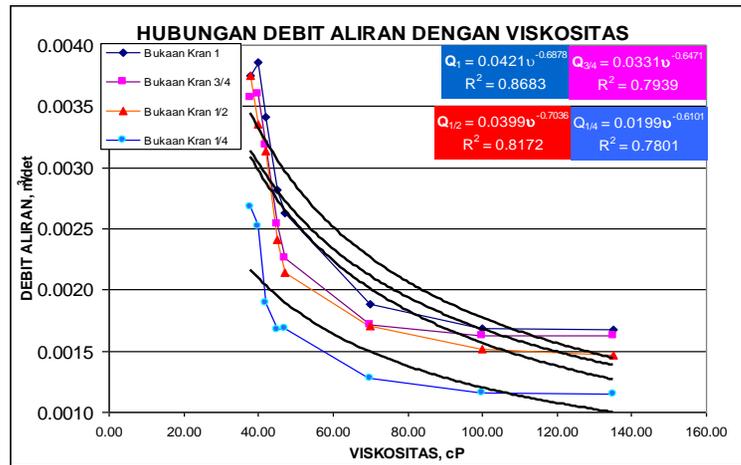
kecepatan aliran berbanding terbalik dengan densitas. Se-makin besar densitas, laju alirannya akan semakin kecil. Regresi hubungan antara densitas cairan dengan laju

alirannya adalah hubungan berbanding terbalik.

Persamaan yang dihasilkan di atas selaras dengan persamaan pada Bila-ngan Reynold. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang didapatkanpun cukup besar. Dengan demikian persamaan tersebut cukup valid untuk memprediksi hubungan antara laju aliran bahan cair dengan den-sitas cairannya, sehingga laju aliran ba-han cair dalam pipa dapat diprediksi melalui nilai densitas cairan tersebut.

Hubungan antara Debit dan Laju Aliran dengan Viskositas

Hasil pengukuran debit aliran pada berbagai viksositas aepteri pada gambar 5, terlihat bahwa debit aliran mula – mula turun tajam hingga viskositas 47 cP., kemudian penurunan semakin berkurang. Dari kecenderungan (*trend*) ini maka regresi yang dibentuk oleh grafik hubu-ngan antara viskositas dan debit aliran bukan merupakan regresi linier atau hubungannya tidak linier.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara viskositas cairan dengan debit aliran

Dari hasil analisa dihasilkan hubungan antara debit aliran bahan dengan viskositas diperoleh regresi berpangkat (*power regression*), dan didapatkan hubungan antara viskositas bahan cair dengan debit aliran di dalam pipa yaitu :

$$Q_1 = 0,0421u^{-0,6878} \quad (R^2 = 0,8683) ;$$

$$Q_{3/4} = 0,0331u^{-0,6471} \quad (R^2 = 0,7939) ;$$

$$Q_{1/2} = 0,0399u^{-0,7036} \quad (R^2 = 0,8172) ;$$

$$Q_{1/4} = 0.0199u^{-0,6101} \quad (R^2 = 0,7801)$$

Regresi power yang didapatkan berdasarkan analisa merupakan regresi berpangkat negatif, yang berarti debit aliran berbanding terbalik dengan viskositas cairan. Regresi yang terbentuk mempunyai koefisien determinasi yang cukup besar, meskipun tidak terlalu besar. Sehingga regresi yang terbentuk cukup signifikan untuk menggambarkan hubungan antara debit aliran dalam pipa dengan viskositas cairan. Selain pengaruh viskositas cairan debit aliran juga dipengaruhi oleh densitas cairan, sehingga nilai koefisien determinasi tidak sangat besar. Pada perubahan viskositas sedikit diikuti perubahan densitas cairannya.

Jika debit aliran bahan dalam pipa dinyatakan sebagai laju aliran bahan dalam pipa, dengan jalan membagi nilai Q dengan A

$$(Q = \frac{V}{A}), \text{ akan didapatkan hubungan antara}$$

kecepatan atau laju aliran bahan dalam pipa dengan viskositasnya. Hubungan tersebut berturut – turut untuk bukaan kran penuh,

tiga perempat, setengah dan seperempat bukaan adalah :

$$v_1 = 20,752 \cdot u^{-0,6878} \quad R^2 = 0,8683$$

$$v_{3/4} = 16,307 \cdot u^{-0,6471} \quad R^2 = 0,7939$$

$$v_{1/2} = 19,706 \cdot u^{-0,7036} \quad R^2 = 0,8172$$

$$v_{1/4} = 9,8305 \cdot u^{-0,6101} \quad R^2 = 0,7801$$

Dari regresi tersebut semakin besar viskositas cairan akan semakin kecil laju aliran bahan pangan cair dalam pipa, dan kenaikannya tidak linier. Pada viskositas rendah kenaikan viskositas yang kecil akan menurunkan laju aliran bahan pangan cair secara tajam, kemudian penurunan laju aliran bahan pangan cair dalam pipa tidak begitu besar dengan naiknya viskositas bahan. Meskipun tidak sangat besar, nilai R² namun masih cukup untuk menilai laju aliran bahan pangan cair dalam pipa berdasarkan viskositas cairannya.

Lama tinggal bahan dalam pipa dapat dinyatakan dalam bentuk laju aliran bahan dalam pipa. Apabila laju aliran diketahui untuk menentukan lama tinggal bahan hanya tergantung dari panjang pipa yang bersangkutan. Jika panjang pipa ditentukan maka lama tinggal bahan dalam pipa dapat ditentukan. dengan membagi panjang lintasan pipa dengan laju aliran bahan tersebut.

KESIMPULAN

1. Hubungan antara densitas dan konsentrasi garam serta hubungan antara viskositas dan konsentrasi CMC ditunjukkan dengan regresi linier masing - masing $\rho = 3,9897C + 997,2$ ($R^2 = 0,9885$), dan $\nu = 71,714C - 73,619$ ($R^2 = 0,8993$)
2. Hubungan antara debit aliran maupun laju aliran bahan pangan cair dalam pipa terhadap densitas adalah berbanding terbalik, masing - masing dapat dinyatakan dengan regresi power berpangkat negatif, yaitu $Q = a\rho^{-c}$ dan $v = b\rho^{-c}$ Sedangkan terhadap viskositasnya debit aliran maupun laju aliran bahan pangan cair dalam pipa berbanding terbalik dengan viskositasnya, yang dapat dinyatakan dengan regresi power berpangkat negatif masing - masing adalah $Q = x\nu^{-z}$ $v = y\nu^{-z}$
3. Regresi - regresi yang terbentuk cukup valid untuk memprediksi laju aliran bahan pangan cair dalam pipa, berdasarkan densitas dan viskositasnya
4. Lama tinggal bahan pangan cair dalam pipa dapat diprediksi dengan menghitung laju alirannya

DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, A. 1984. *Convection of Heat Transfer*. John Willey and Sons. New York.
- Buckle, K.A., R.A. Edwards, G.H. Fleet, and M. Wotten, 1987. *Ilmu Pangan*. Penerbit Universitas Indonesia
- Chambers, J. V. 1989. *Innovations in Aseptic Processing of Particulates*. The First International Congress on Aseptic Processing Technologies. Indianapolis. Indiana. USA March 19-21, 1989
- Chandarana, D. I. 1992b. *Acceptance Procedures for Aseptically Particulate Foods*. In "Advances in Aseptic Processing Technologies". Editor: Singh dan Nelson. Elsevier Applied Science. London.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F., 1979. *Chemical Engineering vol. 3*. Pergamon Press, Oxford
- Dail, R. 1985. *Calculation of Required Hold Time of Aseptically Processed Low-Acid Foods Containing Particulates Utilizing Ball Method*. J. Food Sci. 50:1703-1706.
- Dennis, C. 1990. *High Temperature Short Time (HTST) Processing - Scientific Situation and Perspective of the Industry*. In "Processing and Quality of Foods". Editors: P. Zeuthen, J. C. Cheftel, C. Erickson, T. R. Gormley, P. Linko dan K. Paulus. Elsevier Applied Science. London.
- Dignan, D. M., M. R. Berry, I. J. Pflug dan T. D. Gardine. 1989. *Safety Considerations in Establishing Aseptic Processes for Low-Acid Foods Containing Particulates*. Food Technol. 43: 118-121, 131
- Earle, R.L., 1983. *Unit Operations in Food Processing*. Pergamon Press, Oxford - New York - Toronto - Sidney - Paris - Frankfurt
- Field, R. W. dan J. A. Howell. 1989a. *Process Engineering in the Food Industry*. Elsevier Applied Science. London
- Field, R. W. dan J. A. Howell. 1989b. *Process Engineering Operations for Aseptic Packaging: An Overview*. Elsevier Applied Science. London.
- Henderson, S.M. and R.L. Perry, 1976. *Agricultural Process Engineering*. AVI Publishing Company Inc., Wesport - Connecticut
- Holdsworth, S. D. 1992. *Aseptic Processing and Packaging of Food Product*. Blackie Academic and Professional. London.
- Holdsworth, S. D. 1997. *Thermal Processing of Packaged Foods*. Blackie Academic and Professional. London.

- Holdsworth, S. D. dan P. S. Richardson. 1989. *Continuous Sterilization Operations for Aseptic Packaging: An Overview*. Dalam "Process Engineering in the Food Industry". Editors: Field dan Howell. Elsevier Applied Science, London.
- Holland, F.A., 1973. *Fluid Flow for Chemical Engineering*. Edward Arnold, London
- Holman, J.P., 1991. *Perpindahan Kalor* Terjemahan oleh Ir. E. Jasjfi, MSc. Penerbit Erlangga Jakarta
- Holmes, Z.A. and Woodburn, M., 1981. *Heat Transfer Temperature of Food Dry Preparation*. CRC. Crit. Rev. Food Sci. Nut. 14 (3) :231
- Kartasapoetra, A.G., 1989. *Teknologi Penanganan Pasca Panen*. Bina Aksara, Jakarta
- Larousse, J. dan B. E. Brown. 1997. *Food Canning Technology*. Wiley VCH. New York.
- Lee, J. H., R. K. Singh dan J. W. Larkin. 1990. *Determination of Lethality and Process Time in a Continuous Sterilization System Containing Particulates*. J. Food Eng. 11: 67-92.
- Lewis, M.J., 1987. *Physical Properties of Food and Food Processing Systems*. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England
- Mohsenin, N.N., 1980. *Thermal Properties of Food and Agriculture Materials*. Gordon and Breach, London
- Muljohardjo, M., 1988. *Kursus Singkat Teknologi Pasca Panen*. PAU Pangan dan Gizi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Paulus, K. O. 1990. *Introduction. HTST Processing: Guarantee for High Quality Food with Long Shelflife*. In "Processing and Quality of Foods. Volume I." Editors: Zeuthen dkk. Elsevier Applied Science. London.
- Peleg, M. and Bagley, E.B., 1983. *Physical Properties of Foods* The AVI Publishing Company, Wesport, Connecticut
- Rees, J. A. G. dan J. Bettison. 1994. *Processing and Packaging of Heat Preserved Foods*. Blackie and Son Limited. London.
- Sastry, S. K. 1986. *Mathematical Evaluation of Proces Schedules for Aseptic Processing of Low-Acid Foods Containing Discrete Particulates*. J. of Food Sci. 51:1323-1328.
- Sastry, S. K. 1992b. *Modelling the Continuous Sterilisation of Particulate Foods*. In "Mathematical Modelling of Food Procesing Operations", Editor: Thorne. Elsevier Applied Science. London.
- Singh, R. K. dan J. H. Lee. 1992. *Residence Time Distribution of Foods with/without Particulates in Aseptic Processing Systems*. In "Advances in Aseptic Processing Technologies". Editor: Singh dan Nelson. Elsevier Applied Science. London.
- Singh, R. K. dan P. E. Nelson. 1992. *Advances in Aseptic Processing Technologies*. Elsevier Applied Science. London.
- Ulrich, P. 1990. *Aseptic Processing and Packaging of Food*. In "Processing and Quality of Foods". Editors: P. Zeuthen, J. C. Cheftel, C. Erickson, T. R. Gormley, P. Linko dan K. Paulus. Elsevier Applied Science. London.
- Wirakartakusumah, M.A., Kamaruddin Abdullah dan Atjeng M. Syarif, 1992. *Sifat Fisik Pangan*, PAU Pangan dan Gizi IPB, Bogor
- Zeuthen, P., J. C. Cheftel, C. Erickson, M. Jul, H. Leniger, P. Linko, G. Varela dan G. Vos. 1984. *Thermal Processing and Quality of Foods*. Elsevier Applied Science. London.