

Pengaruh Laju Aliran, Kelembaban dan Temperatur Udara Pengering terhadap Kinerja Pengering Semprot pada Tekanan Udara Nozel Pneumatik 2 bar Absolut

Engkos Achmad Kosasih^{1,a*}, Jefrie Ronald^a

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
^{1,a}kos.sri@gmail.com

Abstrak

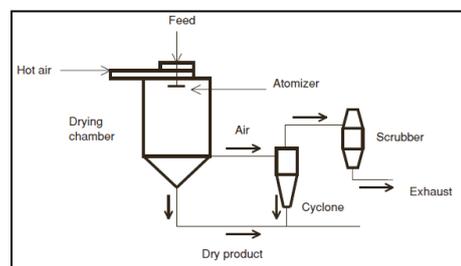
Pada proses pengeringan semprot apabila temperatur pengeringan terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada beberapa bahan yang sensitif terhadap panas, misal vitamin C dan B₁. Untuk menurunkan suhu pengeringan tanpa mengorbankan kapasitas produksi, penelitian ini memanfaatkan evaporator dari suatu sistem refrijerasi kompresi untuk menurunkan kelembaban udara. Namun ini membutuhkan daya kompresor sehingga menambah besar konsumsi energi. Untuk menurunkan kembali konsumsi energi, sebagian panas buang kondensor (kondensor ke-1, sistem menggunakan 2 buah kondensor secara paralel) dimanfaatkan oleh udara pengering. Variasi debit udara adalah 150, 300 dan 450 [lpm]. Variasi kelembaban tidak ditentukan tapi berdasarkan kontrol lup terbuka temperatur udara dari evaporator yaitu 10 °C, 15 °C, 20 °C, dan tanpa sistem refrijerasi. Temperatur udara pengering adalah 60 °C dan tekanan udara 2 bar absolut. Bahan adalah aquades. Debit bahan yang dapat dikeringkan selalu meningkat terhadap peningkatan debit udara pengering dan penurunan kelembaban udara pengering, sedangkan (sebaliknya) konsumsi energi spesifik (KES) selalu menurun. Selain itu, hal yang paling menarik, pada temperatur udara yang keluar evaporator 10°C berapapun laju aliran bahan selalu membutuhkan KES yang lebih kecil dibandingkan tanpa sistem refrijerasi. Dan KES paling rendah adalah pada temperatur evaporator 10°C dan debit udara 450 lpm.

Kata kunci : pengering semprot, laju bahan, kinerja, konsumsi energy

1. Pendahuluan

Pengering semprot merupakan operasi unit untuk mengubah material menjadi serbuk untuk tujuan pengawetan, memudahkan penyimpanan, transportasi, penanganan, dan pertimbangan ekonomi lainnya. Pengering semprot juga dapat didefinisikan sebagai transformasi bahan berbentuk cair menjadi partikulat kering yang mana bahan diatomisasikan terhadap media pengering yang panas yang menyebabkan terjadi penguapan (Gustavo, Barbosa, 2005). Pengering semprot ini umumnya digunakan pengeringan makanan, produk farmasi, dan bahan lainnya yang sensitif terhadap panas (Fang dan Bhandari, 2012).

Proses pengeringan dimulai dengan memompakan cairan bahan ke atomizer, yang mana memecah bahan menjadi semprotan droplet-droplet halus dan mengeluarkannya ke ruang pengering. Semprotan akan kontak dengan media pengering yang dipanaskan (biasanya udara), yang membuat kandungan air pada bahan akan menguap dan droplet akan diubah menjadi partikel kering sebagai produk. Pada proses akhir, partikel kering dipisahkan dari udara pengering dengan menggunakan siklon dan dikumpulkan untuk mendapatkan produk akhir. Sistem pengering semprot dapat dilihat dalam bentuk skema pada gambar 1 berikut:.



Gambar 1. Skema Pengering Semprot

Untuk mengatasi kerusakan pada material yang sensitif terhadap panas, yang perlu diperhatikan pada proses pengeringan adalah temperatur udara masuk ruang pengering. Temperatur udara masuk dibagi menjadi dua, yaitu temperatur tanpa merusak produk dan temperatur dimana konsumsi energi paling rendah namun bahan dapat kering (Gharsalloui, Adem dkk., 2007). Temperatur udara masuk sangat mempengaruhi laju pengeringan. Jika temperatur udara masuk rendah, maka dapat menyebabkan laju penguapan rendah dan penggumpalan produk serbuk dikarenakan kondisi lembab (Medina-Torres, 2013). Temperatur juga mempengaruhi “kelengketan” (*stickiness*) produk dengan produk itu sendiri atau produk dengan dinding ruang pengering. Kelengketan ini dikarenakan temperatur bahan melebihi dari temperatur transisi kaca (*glass*

transition temperatur). Temperatur transisi kaca adalah properti dari komponen amorf pada polimer seperti pada gula, asam organik, karet dan lainnya. Jika temperatur produk dibawah temperatur transisi kaca maka produk masih dalam kondisi padat sedangkan jika produk di atas temperatur transisi kaca maka produk mulai dalam kondisi yang lengket. Untuk itu digunakan maltodekstrin dalam larutan untuk meningkatkan temperatur transisi kaca pada bahan. Hal yang mempengaruhi waktu pengeringan selain temperatur adalah diameter droplet bahan (Vicente, João dkk., 2013). Diameter droplet bahan mempengaruhi pengeringan disebabkan oleh permukaan yang luas antara udara kering dan droplet bahan sehingga proses perpindahan panas dan laju penguapan air dapat terjadi (Patil dkk., 2014). Hal ini dikarenakan jika droplet bahan berdiameter besar maka akan semakin besar juga jarak panas yang akan merambat ke inti droplet dan begitu juga sebaliknya air yang ada pada bagian inti dimana jarak Bergeraknya akan jauh ke bagian permukaan droplet (Tan, Lee Woun dkk., 2011). Namun partikel yang lebih kecil yang dihasilkan oleh kecepatan tinggi atomisasi cenderung mencapai temperatur permukaan yang lebih tinggi (Sousa at al., 2008). Selain itu juga, laju aliran udara panas juga mempengaruhi pengeringan dan produk yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan banyaknya panas yang diberikan ke bahan sehingga bahan lebih cepat kering (Langrish, 2009).

Penelitian ini bertujuan melihat pengaruh kelembaban dan laju aliran udara pengering terhadap kinerja pengering semprot pada suhu udara pengering (keluar pemanas listrik 60 °C. Kinerja yang dimaksud adalah laju bahan (aquades) maksimum yang bisa diuapkan dan konsumsi energi spesifik (KES) yang dibutuhkan. Suhu 60 °C merupakan suhu yang aman untuk hampir semua produk makanan dan farmasi.

2. Metodologi

Kelembaban udara ditentukan dengan melakukan kendali (lup terbuka) terhadap temperatur udara yang keluar dari evaporator sistem refrijerasi kompresi (gb. 2). Temperatur tersebut di-set pada: 10 °C, 15 °C, dan 20 °C dan tanpa sistem refrijerasi (udara luar langsung masuk pemanas listrik). Laju aliran udara masuk ke ruang pengering

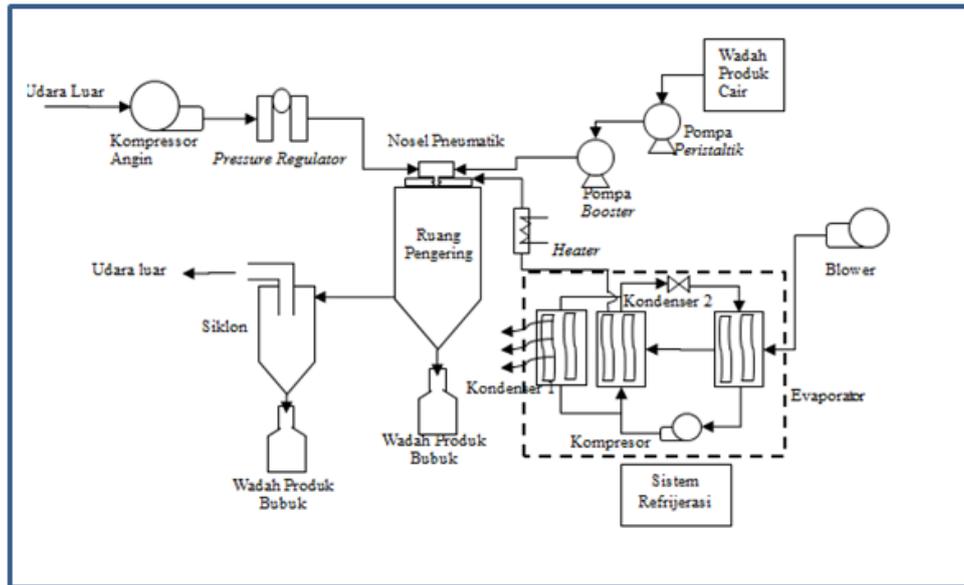
dikendalikan (lup terbuka) dengan inverter pada blower, yaitu 150 lpm, 300 lpm, dan 450 lpm dan diukur dengan menggunakan rotameter.

Udara dari lingkungan dihisap oleh blower menuju evaporator. Di evaporator udara didehumidifikasi (dikurangi kelembaban spesifiknya), selanjutnya dialirkan melalui alat ukur aliran (rotameter). Udara yang sudah dikeringkan ini kemudian dilalukan kedalam kondensor-2 untuk memanfaatkan kembali panas buang dan untuk mencapai temperature 60 °C dipanaskan lebih lanjut didalam pemanas listrik. Kemudian masuk ke ruang pengering. Di ruang pengering bahan yang telah diatomisasi oleh nozel pneumatic (dengan bantuan udara kompressor) bercampur dengan udara dari pemanas listrik. Proses perpindahan kalor dan massa terjadi. Air pada bahan akan menguap, bahan yang telah kering jatuh ke bak penampung yang ada dibawah ruang pengering. Sebagian terbawa oleh udara. Karena adanya gaya sentrifugal akibat pengaruh cyclone sebagian bahan tersebut menumbuk dinding dan jatuh ke bak penampung yang ada di cyclone. Sebagian sisanya lagi terbuang ke lingkungan bersama udara.

Untuk menyempurnakan pembuangan panas refrigerant, maka refrigerant dilalukan ke kondensor-1 dengan pendingin udara lingkungan.

Dalam percobaan, laju bahan dimulai dari laju yang kecil, jika bahan tersebut masih kering maka laju bahan dinaikan sampai suatu saat tercapai laju maksimum bahan masih kering. Diatas laju tersebut bahan tidak dapat kering. Penentuan bahan tersebut tidak kering adalah dengan melihat tabung pengering (berbahan pyrex), yaitu tatkala terjadi akumulasi cairan di permukaan tabung yang terus bertambah. Selain itu metode visual tersebut dikonfirmasi dengan pengukuran kandungan air dalam udara yang keluar dari siklon.

Dari temperatur bola kering dan kelembaban relatif RH lingkungan didapatkan kelembaban spesifik udara lingkungan. Ketika udara tersebut dialirkan paksa melalui evaporator (tempat proses dehumidifikasi terjadi) temperatur bola kering dan kelembaban relatif RH udara yang keluar diukur kembali untuk melihat kelembaban spesifik-nya. Laju aliran udara kering \dot{m}_{da} [kg/s] yang keluar dari evaporator dihitung dengan pers. (1):



Gambar 2. Skema Pengering Semprot DTM FT UI

$$\dot{m}_{da} = \dot{m}_a / (1 + \omega) \quad (1)$$

Dengan \dot{m}_a [kg/s] adalah laju aliran udara yang diukur dengan rotameter sesudah evaporator dan ω adalah kelembaban spesifik udara keluar evaporator yang didapat dari diagram psikrometrik berdasarkan pengukuran temperatur bola kering dan kelembaban relatif RH udara yang keluar evaporator. Laju aliran uap yang keluar dari evaporator dihitung dengan pers. (2):

$$\dot{m}_v = \omega \dot{m}_{da} \quad (2)$$

Udara yang keluar evaporator ini dipanaskan didalam kondensor-2 (pemanfaatan ulang panas buang) dan didalam pemanas listrik sampai mencapai temperatur 60 °C. Didalam ruang pengering udara bercampur dengan tetesan bahan yang disemprotkan melalui nozel pneumatik. Sehingga baik \dot{m}_{da} maupun \dot{m}_v [kg/s] bertambah dari udara nozel. Dengan pengukuran temperatur bola kering, kelembaban relatif RH dan laju udara nozel maka penambahan \dot{m}_{da} maupun \dot{m}_v tersebut dapat dihitung dengan cara yang sama, yaitu dengan menggunakan pers. (1) dan pers. (2) diatas. Sehingga laju aliran udara kering total adalah laju aliran udara kering dari evaporator ditambah laju aliran udara kering dari nozel:

$$\dot{m}_{da,tot} = \dot{m}_{da} + \dot{m}_{da,noz} \quad (3)$$

Didalam ruang pengering, udara menerima uap tambahan dari bahan (aquades, yang diukur

dengan pompa peristaltik) yang menguap. Karena semua bahan aliran bahan menguap, maka laju aliran uap yang dikandung dalam udara keluar siklon bertambah sebanyak laju aliran bahan ini. Sehingga laju aliran uap total adalah laju aliran uap dari evaporator ditambah laju aliran uap dari nozel ditambah laju aliran bahan (aquades):

$$\dot{m}_{v,tot} = \dot{m}_v + \dot{m}_{v,noz} + \dot{m}_b \quad (4)$$

Kelembaban spesifik udara keluar siklon bisa dihitung dengan menggunakan pers. (5):

$$\omega = \dot{m}_{v,tot} / \dot{m}_{da,tot} \quad (5)$$

Kelembaban spesifik udara keluar siklon yang dihitung dengan pers. (5) tersebut dikonfirmasi dengan pengukuran temperatur bola kering dan kelembaban relatif RH udara yang keluar dari siklon.

Daya total yang dibutuhkan oleh sistem adalah:

$$P_{tot} = P_{comp} + P_{blower} + P_{fan} + P_{heater} + P_{pump} + P_{nozel} \quad (6)$$

Dengan:

P_{comp} : daya kompresor [W]

P_{blower} : daya blower [W]

P_{fan} : daya fan kondensor-1 [W]

P_{heater} : daya pemanas listrik [W]

P_{pump} : daya pompa booster dan peristaltik [W]

P_{nozel} : daya udara untuk nozel pneumatic [W]

Daya kompresor P_{comp} , daya blower P_{blower} , dan daya fan kondensor-1 P_{fan} diukur dengan alat ukur daya listrik. Sedangkan daya pemanas listrik P_{heater} dihitung dengan menggunakan pers. (7):

$$P_{heater} = \dot{m}_{da}(h_2 - h_1) \quad (7)$$

Dengan:

h_2 : entalpi udara keluar kondensor-2 (60 °C)

h_1 : entalpi udara keluar evaporator [J/kgda]

Dua suku terakhir yaitu daya pompa dan daya udara nozel diabaikan karena setelah diukur daya pompa sangat kecil dan laju udara nozel juga sangat kecil dengan tekanan hanya 1 barg.

Konsumsi energi spesifik (KES [J/lt]) dihitung dengan:

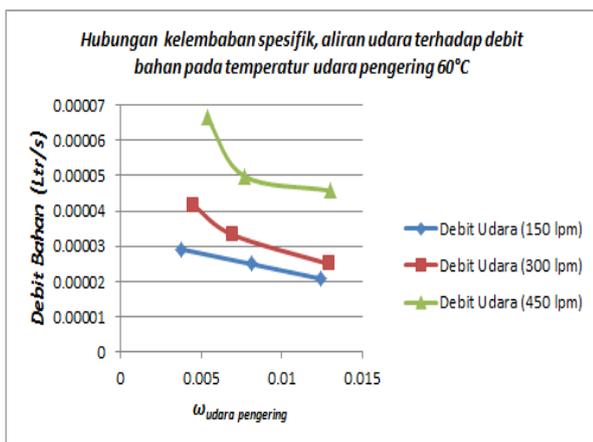
$$KES = P_{total}/Q_{bahan} \quad (8)$$

Dengan:

Q_{bahan} : debit bahan [lt/s]

3. Hasil dan Pembahasan

Gb. 3 memperlihatkan bahwa, pada kelembaban udara yang sama, semakin tinggi debit udara maka semakin tinggi juga debit bahan minimum yang bisa dikeringkan. Hal ini adalah sesuatu yang sederhana mengingat debit udara yang besar akan mempunyai daya tamping uap air yang besar pula sehingga menghasilkan kapasitas pengeringan yang besar juga.



Gambar 3 Pengaruh kelembaban spesifik dan debit udara terhadap debit bahan maksimum

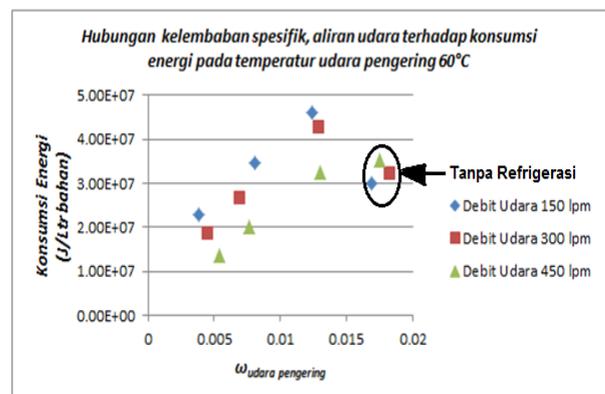
Sebaliknya, pada debit udara yang sama, semakin rendah kelembaban udara maka semakin tinggi debit bahan minimum yang bisa dikeringkan. Dari data yang diolah dapat

dideskripsikan bahwa debit suatu bahan akan berbanding terbalik dengan kelembaban spesifik udara pengering. Hal ini terjadi karena kelembaban spesifik udara yang rendah akan membuat kapasitas pengeringan lebih baik dimana udara dengan kelembaban spesifik rendah mampu mengambil uap air lebih banyak.

Debit bahan pada temperatur udara pengering 60°C terhadap kelembaban spesifik cenderung berbanding terbalik. Hal ini dapat dilihat pada gb. 3 dengan debit udara yang sama pada 150 lpm. Pada debit udara 150 lpm debit bahan tertinggi berada pada kelembaban spesifik yang rendah dan begitu juga sebaliknya dimana debit bahan terendah berada pada kondisi kelembaban spesifik yang tinggi. Hal ini berlaku juga pada debit udara yang lain seperti 300 lpm dan 450 lpm. Pola debit udara terhadap debit bahan terjadi dikarenakan dengan kelembaban spesifik rendah maka udara pengering akan lebih banyak mengambil uap air sehingga jumlah bahan yang akan dikeringkan jauh lebih besar.

Pada variasi debit udara pengering dengan variasi debit 150 lpm, 300 lpm, dan 450 lpm dapat disimpulkan debit bahan tertinggi adalah pada debit udara 450 lpm.

Energi konsumsi paling rendah pada temperatur udara 120°C dan debit udara pengering 450 lpm. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3.6 . Serta energi konsumsi tertinggi pada debit udara 150 lpm dan temperatur udara pengering 60°C dengan temperatur keluar dehumidifier 20°C yang mana dapat dilihat pada gambar 3.4 . Konsumsi energi tertinggi ada pada debit terendah dan kelembaban spesifik terendah, serta pada temperatur pengeringan terendah. Hal ini dikarenakan daya kompresor akan rendah pada temperatur evaporator yang rendah.



Gambar 4 Pengaruh kelembaban spesifik dan debit udara terhadap KES

Pada penyajian grafik diatas, gb. 4, konsumsi energi spesifik KES meningkat dengan naiknya kelembaban dan turunnya debit udara (yang berarti pula turunnya debit bahan). Sehingga untuk mendapatkan KES yang kecil maka evaporator harus menghasilkan udara yang dengan titik embun terkecil yang mungkin, dalam penelitian ini suhu udara keluar evaporator 10 °C dan lju udara (dan bahan) tertinggi mungkin.

Selain itu, gb.4 juga menunjukkan bahwa pada temperatur udara yang keluar evaporator 10°C, berapapun laju aliran bahan, KES yang dibutuhkan selalu lebih kecil dari KES yang dibutuhkan pada sistem tanpa sistem refrijerasi.

Yang menarik disini bahwa untuk setiap debit udara (gb. 4) selalu ada titik pengujian yang menunjukkan KES yang lebih kecil dari KES tanpa sistem refrijerasi. Bahkan untuk debit udara tertinggi (450 lpm) semua titik data pengujian dengan refrijerasi selalu menunjukkan KES yang lebih kecil dibandingkan tanpa refrijerasi. Yang lebih mengejutkan lagi pada temperatur udara keluar evaporator 10 °C dan debit udara 450 lpm tersebut, sistem hanya membutuhkan KES $1,37 \cdot 10^7$ [J/lt] yang jauh lebih kecil dibandingkan tanpa sistem refrijerasi yaitu $3.52 \cdot 10^7$ [J/lt], berarti hanya 39 %-nya.

4. Kesimpulan

- 1) Penurunan kelembaban, meningkatkan kapasitas pengeringan udara pengering secara signifikan.
- 2) Pemanfaatan ulang panas buang sistem refrijerasi di kondensor menurunkan konsumsi energi spesifik KES secara signifikan.
- 3) Pada temperatur udara keluar evaporator 10°C, berapapun laju aliran bahan, sistem selalu membutuhkan KES yang lebih kecil dibandingkan tanpa sistem refrijerasi.
- 4) Pada debit udara tertinggi (450 lpm) semua titik data pengujian dengan refrijerasi selalu menunjukkan KES yang lebih kecil dibandingkan tanpa sistem refrijerasi.
- 5) Pada temperatur udara keluar evaporator 10 °C dan debit udara 450 lpm, sistem hanya membutuhkan KES $1,37 \cdot 10^7$ [J/lt] yang jauh lebih kecil dibandingkan tanpa sistem refrijerasi yaitu $3.52 \cdot 10^7$ [J/lt], berarti hanya 39 %-nya.

- 6) KES paling rendah adalah pada temperatur evaporator 10°C dan debit udara 450 lpm.

Daftar Rujukan

- [1] Barbosa-Canovas, Gustavo V and Ortega-Rivas, Enrique. 2005. *Food Powders. Physical Properties, Processing, and Functionality*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- [2] De Sousa, Alexander Santos et al.2008. “*Spray-Dried Tomato Powder: Reconstitution Properties and Colour*”. Brazil : Brazilian Archives Biology and Technology.
- [3] Fang, Zhongxiang and Bhandari, Bhesh. 2012. “*Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice*”. Brisbane : University of Queensland.
- [4] Gharsalloui, Adem et al. 2007. “*Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview*. France : Universite’ de Bourgogne.
- [5] João Vicente et al. 2013. “*Fundamental analysis of particle formation in spray drying*”. Lisbon: University of Lisbon.
- [6] Langrish, Tim A. G. 2009. “*Degradation of Vitamin C in Spray Dryers and Temperature and Moisture Content Profiles in these Dryers*”. Springer Science.
- [7] L. Medina-Torres et al. 2013. “*Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (Opuntia ficus indica)*”. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México
- [8] Tan, Lee Woun et al. 2011. “*Empirical modeling for spray drying process of sticky and non-sticky products*”. Malaysia : Universiti Putra Malaysia.
- [9] Vaibhav Patil. 2014. “*Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology*”. India: Banaras Hindu University.