



ARTICLE

Pengaruh Laju Alir Cairan dan Udara terhadap Pembentukan Fenomena Penyimpangan *Weeping* dan *Dumping* dalam Sieve Tray Column

Adriel Arthur Wijaya^{*1}, Mohamad Fikry Zein¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung Jl. Terusan Gegerkalong Hilir – Ds. Ciwaruga Bandung 40012

Koresponden: E-mail: adrieelarthur06@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan dalam *tray column* terbagi menjadi empat, yakni *entrainment*, *flooding*, *weeping*, dan *dumping*. Kedua permasalahan yang menjadi poin penting dalam kasus ini adalah *weeping* dan *dumping*. *Weeping* dan *dumping* dapat mengganggu proses kontak antara gas dan cairan yang terjadi di dalam *tray*. Karakteristik *weeping* dan *dumping* diamati dalam *tray column* yang dirancang mempunyai tinggi kolom 83 cm dengan diameter kolom 13 cm, jumlah *tray* yang digunakan sebanyak 3 buah yang berjenis *sieve tray*. Dilakukan variasi laju alir udara dari 9 m³/jam hingga 27 m³/jam dengan laju alir sebesar 1,8 LPM hingga 9,5 LPM. Kemudian dilakukan pengamatan mengenai fenomena *weeping* dan *dumping* dalam setiap variasi laju aliran air dan udara. Selain fenomena *weeping* dan *dumping*, penurunan tekanan (*pressure drop*) merupakan salah satu poin yang diamati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *weeping* akan terjadi pada laju alir air yang tinggi dengan laju alir udara rendah, begitupun untuk *dumping*. Apabila tidak dihindari, maka proses pertukaran antara udara dengan air akan terganggu dan mengakibatkan proses berjalan dengan kurang baik. Ketika laju alir air kurang dari 2,4 LPM, maka akan terjadi fenomena *dumping* dalam seluruh harga laju alir udara. Namun ketika laju alir air berada di atas 6 LPM, maka akan terjadi fenomena *weeping* dalam seluruh harga laju alir udara.

Submitted 30 Sept 2025

Revised 10 Nov 2025

Published 30 Nov 2025

Kata Kunci: Tray Column, Sieve Tray, Weeping, Dumping, Weep Point.

ABSTRACT

The problems in the *tray column* are divided into four, namely *entrainment*, *flooding*, *weeping*, and *dumping*. The two critical points in this case are *weeping* and *dumping*. *Weeping* and *dumping* can disrupt the contact between the gas and the liquid in the *tray*. *Weeping* and *dumping* were observed in a *tray column* measuring 83 cm in height and 13 cm in diameter; three *sieve trays* were used. Airflow rates were varied from 9 m³/hour to 27 m³/hour, corresponding to 1.8 LPM to 9.5 LPM. Then observations were made of the *weeping* and *dumping* phenomena at each variation in water and air flow rates. In addition to the *weeping* and *dumping* phenomena, *pressure drop* is another point observed. The study found that *weeping* occurs at high water flow rates and low air flow rates, as well as during *dumping*. If left unchecked, the air-water exchange process will be disrupted, resulting in poor operation. When the water flow rate is below 2.4 LPM, a *dumping* phenomenon occurs across all airflow values. However, when the water flow rate exceeds 6 LPM, a *weeping* phenomenon will occur across all airflow values.

Keywords: Tray Column, Sieve Tray, Weeping, Dumping, Weep Point.

PENDAHULUAN

Salah satu jenis *tray* yang sering digunakan dalam kolom distilasi adalah *tray* berjenis *sieve tray* [1,2]. *Tray* column biasa disebut juga sebagai stage column atau plate column, sedangkan dalam bahasa Indonesia biasa disebut dengan kolom bertingkat. Pada prinsipnya *tray* column adalah kolom pemisah yang berbentuk silinder tegak yang dibagian dalamnya disusun dari beberapa *tray* dengan jarak tertentu (*tray spacing*) di sepanjang kolomnya. Cairan dimasukkan ke dalam kolom dari atas dan mengalir dari satu *tray* ke *tray* yang lain yang ada dibawahnya. *Sieve tray* column merupakan salah satu jenis *tray* yang ada pada kolom distilasi. Jenis *tray* ini memiliki desain paling sederhana karena gas mengalir pada *tray* hanya berbentuk lubang-lubang dengan jumlah tertentu. Pada *Sieve tray*, uap yang berasal dari kolom bagian bawah akan naik dan melewati *holes* pada *tray*. Udara tersebut akan mengalami kontak dengan aliran cair pada *holes* dalam *tray*. Aliran udara ini bertugas untuk mencegah aliran cair mengalir melalui lubang-lubang pada *tray*. *Sieve Tray* dengan *downcomer* adalah jenis yang paling umum digunakan. Komponen utama *sieve tray* ini terdiri dari *holes*, *wier* dan *downcomer*.

Sieve tray digunakan untuk memperbesar luas permukaan antara cairan dan gas. *Tray* ini cocok untuk digunakan dalam proses pemisahan secara kontinyu dengan kapasitas aliran tinggi dan cukup efisien dari segi performa dan perawatannya. Namun berbeda dengan kenyataannya, pada alat tersebut sering terjadi adanya gangguan. Gangguan tersebut ialah *weeping*, *dumping*, *entrainment*, dan *flooding* [3]. *Weeping* merupakan bagian dari *dumping*, hanya saja *weeping* merupakan fase ringan dari *dumping*. *Weeping* ialah kejadian dimana menetesnya air pada kolom *tray* yang diakibatkan oleh kurangnya tekanan uap. Apabila tetesan tetesan air tersebut telah berubah menjadi air yang turun secara langsung, maka kejadian itu disebut dengan *dumping*. Peristiwa ini menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi dari kinerja distilasi karena perpindahan massa dari cairan dan gas yang terjadi tidaklah maksimal. Sehingga akan mempengaruhi produk dari proses, dimana pada distilasi, maka tingkat kemurnian produklah yang akan terganggu.

Dumping adalah fenomena jatuhnya air tidak secara tetesan, melainkan mengalir secara langsung dari lubang *tray*. Salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya *dumping* disebut dengan istilah *induced dumping*. Pada proses distilasi yang normal, uap akan naik menuju titik yang semakin tinggi dibandingkan dengan air. Suhu dari plate biasanya diasumsikan sama dengan suhu cairan yang ada pada level *plate* tersebut, namun apabila terjadi *dumping*, maka uap juga akan terjebak pada plate tersebut dan menetes kembali ke level bawah. Pada saat fenomena *dumping* terjadi, aliran gas akan tertahan di kolom bawah. Sehingga akan terjadi kenaikan tekanan pada kolom tersebut dan mengakibatkan cairan yang semula mengalir melalui *holes* menjadi berkurang secara perlahan. Hal ini

disebabkan oleh aliran gas yang sudah mampu untuk menahan cairan agar tetap berada di atas *tray* dan tidak mengalir melalui *holes* pada *tray*.

Weeping dan *dumping* sangatlah penting untuk diperhatikan. Karena kedua permasalahan tersebut dapat mengganggu proses kesetimbangan antara gas dengan cairan yang terjadi di dalam *tray*. Apabila fenomena *weeping* dan *dumping* terjadi dalam proses distilasi, maka tingkat kemurnian produk akhir dari proses inilah yang akan berkurang [4,5].

Laju alir menjadi kunci untuk menentukan apakah akan terjadi fenomena *weeping* atau *dumping*. Laju alir udara yang terlalu rendah dapat menyebabkan kurangnya tekanan udara untuk menahan air yang berada di atas *tray*. Selain itu ukuran perforasi *tray* juga berpengaruh terhadap fenomena *weeping* dan *dumping* [6,7].

Salah satu syarat dalam perancangan kolom distilasi terletak pada ukuran kolom dan *tray*. Menentukan ukuran *holes* dalam *tray* berdasarkan perhitungan akan menghasilkan kolom yang baik. Selain rancangan kolom, salah satu hal yang mempengaruhi fenomena *weeping* dan *dumping* adalah laju alir udara. Menurut Kufberg, *weeping* merupakan bagian dari *dumping* dan akan terjadi apabila laju alir udara sudah terlalu rendah [8].

Fenomena *weeping* dan *dumping* dapat menurunkan efisiensi kerja dari *tray* [9,10]. Hal ini disebabkan oleh terganggunya proses pertukaran massa antara aliran cairan dengan gas yang disebabkan oleh aliran gas yang terhambat oleh aliran air yang mengalir melalui *holes* pada *tray*. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan tingkat kemurnian produk pada saat proses distilasi dilaksanakan. Oleh karena itu, fenomena *weeping* dan *dumping* menjadi sebuah gangguan dalam proses distilasi dan harus dihindari ketika proses sedang berjalan. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh laju alir cairan dan udara terhadap pembentukan fenomena penyimpangan *weeping* dan *dumping* dalam *sieve tray column*.

METODE

Dalam penelitian ini, dua jenis aliran yang digunakan ialah air untuk aliran cairan dengan udara untuk aliran gas. Air yang digunakan sebagai aliran cairan berasal dari sumber air Politeknik Negeri Bandung, sedangkan untuk udara yang digunakan sebagai aliran gas berasal dari kompresor. Metodologi penelitian terdiri atas empat tahapan, yakni survei pasaran, proses perancangan alat, proses pembuatan alat, dan analisis laju alir air dan udara terhadap fenomena penyimpangan yang terjadi. Tahap survei pasaran meliputi harga-harga bahan dengan ukuran-ukuran tertentu.

Perancangan Alat

Perancangan alat dilaksanakan berdasarkan metode *short-cut* Otto dengan tekanan dan temperatur ruang.

Perancangan dimulai dengan melakukan pengukuran terhadap alat rujukan dimana diameter dari alat akan berada pada 13 cm. Kemudian tinggi kolom ditetapkan pada 83 cm dengan jarak antar *tray* (*tray spacing*) berada pada 17 cm. Diameter *holes* pada lubang *sieve tray* adalah 6 mm dengan jumlah *holes* berada sebesar 44 *holes*. Jumlah *tray* yang digunakan dalam kolom ini adalah 3 *tray* dengan *downcomer* berjumlah tiga. Tipe *downcomer* yang digunakan adalah vertikal dengan tinggi *wier* dari setiap *tray* berada pada 15 mm. Panjang *wier* merupakan 0,75 dari diameter kolom, dimana hasilnya adalah 97,5 mm.

Pembuatan Alat

Proses pembuatan alat dimulai dengan melaksanakan pemesanan alat sesuai dengan hasil perancangan. Kemudian dilakukan pengukuran dan pembuatan jalur laju alir udara dan gas dengan memanfaatkan pipa berukuran 0,5 hingga 1,0 inci. Rotameter yang digunakan untuk alat ini berjumlah dua dengan jumlah *pressure gauge* dua buah.

Analisis Laju Alir terhadap Fenomena Penyimpangan

Ketika alat sudah selesai melalui tahapan pembuatan, akan dilaksanakan uji coba terlebih dahulu untuk melakukan pengecekan apakah alat beroperasi atau tidak. Kemudian akan dilaksanakan uji coba dimana laju alir air dan udara akan di variasikan, dimana laju alir udara akan memiliki 10 variasi ($9 \text{ m}^3/\text{jam}$ - $27 \text{ m}^3/\text{jam}$) dan laju alir air akan memiliki 10 variasi (1,8 LPM - 9,5 LPM). Setiap satu variasi laju alir air akan dilakukan 10 variasi laju alir udara. Kemudian akan dilakukan pengamatan mengenai fenomena penyimpangan yang terjadi. Apabila laju alir udara sekian dengan laju alir air sekian dilaksanakan, fenomena apakah yang akan terjadi dalam kolom tersebut. Setiap variasi laju alir baik air maupun udara akan menghasilkan fenomena penyimpangan yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fenomena *Weeping* dan *Dumping* yang terjadi di dalam *Tray* berdasarkan Laju Alir Air dan Udara

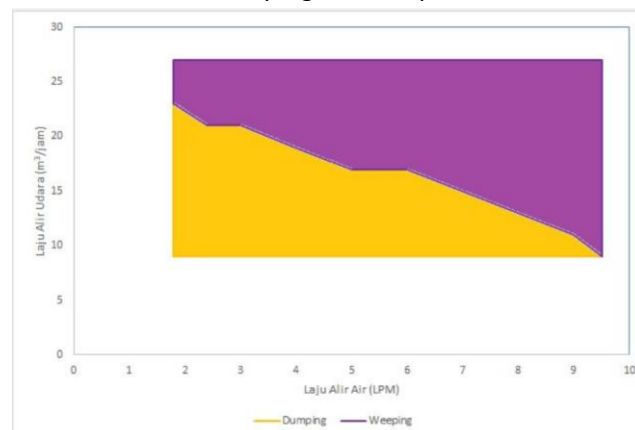
Percobaan dilakukan untuk mengetahui fenomena *weeping* dan *dumping* yang terjadi dengan melakukan 10 variasi laju alir air (1,8; 2,4; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 9,5 LPM) dan 10 variasi laju alir udara (9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, dan $27 \text{ m}^3/\text{jam}$). Untuk setiap 1 variasi laju alir air, akan dilakukan 10 variasi laju aliran udara. Sehingga total variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah 200 variasi dengan 100 variasi uji coba dengan *tray* berukuran *holes* diameter 6 mm. Berikut adalah gambar grafik yang menunjukkan pengaruh laju alir udara dan air terhadap fenomena *weeping* dan *dumping*.

Berdasarkan pada grafik yang telah dihasilkan, *tray* dengan diameter *holes* sebesar 6 mm memiliki range *dumping* yang lebih luas, terutama pada laju alir air. Berdasarkan grafik, didapatkan bahwa laju alir air sebesar 9,5 LPM masih akan terjadi fenomena *dumping*, dalam catatan laju alir udara tidak lebih besar dari $9 \text{ m}^3/\text{jam}$. Apabila laju alir

udara berada pada $12 \text{ m}^3/\text{jam}$, maka fenomena yang akan terjadi adalah *weeping*. Apabila laju alir air berada pada 3 LPM dengan laju alir udara berada pada $25 \text{ m}^3/\text{jam}$, maka akan terjadi fenomena *dumping*.

Weeping

Pada saat percobaan dilaksanakan, terdapat penyimpangan berupa *weeping* yang terjadi (Gambar 1). Pada saat *weeping* terjadi, akan timbul tetesan-tetesan air yang mengalir melalui *holes* pada *tray*. Kejadian inilah yang disebut dengan *weeping*. Hal ini terjadi apabila laju alir udara terlalu rendah sehingga menyebabkan udara gagal untuk menahan cairan agar tidak jatuh melewati *holes*. Salah satu hal yang dapat menjadi penentu kejadian *weeping* adalah *weep point* dimana apabila laju alir udara berada dibawah *weep point*, maka akan terjadi proses *weeping*. Fenomena ini akan menyebabkan terjadinya gangguan pada saat aliran air dan udara mengalami kontak di dalam *tray*. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Apabila fenomena *weeping* terjadi pada saat proses distilasi sedang berjalan, maka produk akhir dari proses distilasi tersebut akan mengalami penurunan tingkat kemurnian, sehingga produk yang dihasilkan tidak sebaik yang seharusnya.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Laju Alir terhadap *Tray*

Dumping

Ketika laju alir gas sudah berada terlalu rendah, maka akan terjadilah fenomena *dumping*. Fenomena ini ditandai dengan mengalirnya air melewati *holes* secara langsung dan bukan berupa tetesan-tetesan air lagi. Terdapat tiga buah tahapan terjadinya *dumping*. Pertama pada *drop formation stage*, tetesan-tetesan air akan terbentuk akibat kurangnya laju alir gas. Laju alir udara sudah tidak dapat menahan cairan yang berada di atas *tray*. Kemudian apabila gas sudah tidak mampu untuk menahan air, maka air tersebut akan mengalir melalui *holes*. Fenomena ini yang disebut dengan *dumping*. Seiring dengan terjadinya fenomena *dumping*, aliran udara yang seharusnya mengalir ke kolom atas akan tertahan di kolom bawah. Hal tersebut menyebabkan terjadinya kenaikan tekanan pada kolom bawah akibat aliran udara yang terakumulasi. Ketika

udara sudah mampu menahan cairan yang semula mengalir melalui *holes* hingga air dapat tertahan di atas *tray*, maka tahapan inilah yang disebut sebagai tahap *recovery*.

Penampakan Visual Weeping dan Dumping

Mekanisme Terjadinya Fenomena *Weeping* dan *Dumping* dalam *Sieve Tray Column*. Gambar 2 menunjukkan terjadinya fenomena *weeping* dan *dumping*. Beberapa fenomena yang teramati antara lain:

1) Drop Formation Stage

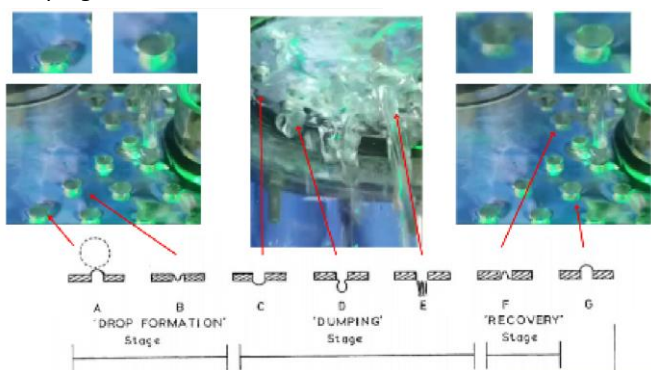
Pada fase ini, tetesan-tetesan air akan mulai terbentuk yang diakibatkan oleh kurangnya laju alir udara. Gas mulai secara perlahan tidak mampu untuk menahan cairan yang berada di atas *tray* sehingga terbentuklah cekungan air yang mulai membentuk tetesan-tetesan air pada *holes* dalam *tray*. Fase inilah yang disebut sebagai fase *drop formation*.

2) Dumping Stage

Pada fase ini, tetesan air yang berjatuh pada *holes* dalam *tray* mulai berubah menjadi aliran air yang jatuh secara langsung melalui *holes*. Fase inilah yang disebut sebagai *dumping* stage dimana air jatuh secara langsung melalui *holes* pada *tray*. Hal ini disebabkan oleh kurangnya laju alir gas untuk menahan cairan yang berada di atas *tray*.

3) Recovery Stage

Secara perlahan laju alir gas akan membaik dan membuat air yang jatuh melalui *holes* secara perlahan berkurang. Fase inilah yang kita sebut sebagai fase *recovery*. Hal ini terjadi akibat laju alir udara secara perlahan mulai meningkat sehingga mampu untuk menahan cairan agar tidak terjatuh melalui *holes*. Ketika laju alir gas mulai stabil, maka tetesan-tetesan air yang ada di dalam *holes* mulai menghilang dan proses kembali berjalan tanpa adanya gangguan *weeping* maupun *dumping*.



Gambar 2. Mekanisme terjadinya *weeping* dan *dumping*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancangan dan pengujian simulator *weeping* dan *dumping* di dalam *sieve tray column* didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Batasan terjadinya fenomena *weeping* dan *dumping*
 - a. Untuk laju alir air kurang dari 2,4 LPM selalu terjadi *dumping* dalam semua harga laju alir udara.
 - b. Harga laju alir air lebih dari 6 LPM selalu terjadi *weeping* dalam semua harga laju alir udara.

SARAN

- 1) Kompresor yang digunakan untuk mendistribusikan udara harus dengan kapasitas mencapai 40 m³/jam.
- 2) Perlu dibuat plenum chamber yang lebih tinggi agar membentuk genangan air yang mampu menahan udara sehingga tidak terbuang ke outletsyphone.
- 3) Dibuat prinsip bejana berhubungan dengan *syphone* yang lebih tinggi untuk membuat genangan air.
- 4) Pada outlet *syphone* menggunakan *gatevalve*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kister, Henry. 1992. *Distillation Design*. McGraw-Hill Inc. United States.
- [2] Liebson, I., Kelley, R. E. dan Bullington, L. A. (1957) Pet. Ref. 36 (Feb.) 127. How to design perforated trays
- [3] Lockett, M. J. 1986. *Distillation Tray Fundamentals*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [4] Sinnott, R.K. 2005. *Chemical Engineering Design Volume 6, 4th Edition*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [5] Wallis, G. B. 1969. *One-Dimensional Two-Phase Flow*. New York: McGraw-Hill.
- [6] A. Mersmann, M. Kind, J. Stichlmair. 2011. *Thermal Separation Technology*. Berlin, Heidelberg: Springer
- [7] Coker, A. Kayode. 2010. *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 24th Edition*. Oxford: Elsevier.
- [8] Branan, Carl. 2003. *Rules of Thumb for Chemical Engineers, 3rd Edition*. Houston: Elsevier.
- [9] Asep Muhammad Samsudin, *Pemilihan Tipe Kolom Pemisah Perancangan Alat Proses - Chemical Engineering*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2014.
- [10] Pfeifer. *Practica in Process Engineering II*. Zurich, February 2006, 2014.