

Perancangan *jet condensor* untuk kondensasi uap pan masak di Pabrik Gula

Rio Panji Wicaksono ^{a,1,*}

^a PT Gendhis Multi Manis, Kec. Todanan, Kabupaten Blora, Jawa Tengah, Indonesia 58256

¹ riopanjiwicaksono@gmail.com*

*Correspondent Author

Received: 11 Juli 2022

Revised: 15 Agustus 2022

Accepted: 20 September 2022

KATAKUNCI

Hampa
Kondensasi
S & K Multi Jet Condenser

KEYWORDS

Condensation
S&K Multi Jet Condenser
Vacuum

ABSTRAK

Perancangan jet kondensor ini bertujuan untuk menghasilkan kondisi hampa pada pan masak, tanpa menggunakan bantuan pompa vacuum seperti yang masih dilakukan pabrik gula pada umumnya. Jurnal ini menggunakan data vacuum pan kapasitas 60 m³ sebagai dasar perhitungan. Dengan metode perancangan berdasarkan debit uap air yang dikondensasi pada jet Kondensor. Dari hasil perhitungan diketahui kebutuhan air injeksi untuk jet condenser sebesar 4133 gpm dengan selisih suhu antara air injeksi dan air jatuhan 6,5°C. Diameter jet condenser 2,12m dan tinggi 3,40m yang mengacu pada jet condenser *S & K Multi Jet Condenser Type 592* karangan Schutte & Koerting tahun 2014 size no 39. Air injeksi yang masuk condenser dibagi 2 jalur, spray jet upper dan main jet dengan debit air injeksi sama. Upper jet spray berfungsi untuk mengkondensasi uap nira hingga 12 ton/jam. Sedangkan main spray berfungsi untuk mendorong condensat hasil kondensasi uap nira beserta gas tak terembunkan sebesar 5m³/menit untuk keluar dari badan jet condenser, sehingga kondisi vacuum dapat tercapai.

ABSTRACT

The design of jet condenser in the sugar factory aims to produce a vacuum condition in boiling pan, without using a vacuum pump as is still done by sugar factories in general. In this jurnal used data vacuum pan with capacity of 60 m³ used as the basic for calculations. With a design method based on the discharge of water vapor condensed in a jet condenser. The result, it is known that the injection water requirement for jet condenser is 4133 gpm with the difference temperature between the injection water and falling water of 6,5°C. Diameter of jet condenser 2,12m and height 3,40m which refers *S & K Multi Jet Condenser Type 592* essay by Schutte & Koerting in 2014 size no 39. Injections water enters the condenser divided into 2 lines, spray jet upper and main jet with the same water discharge. Upper jet spray serves to condense the vapor until 12 ton/hour. Whereas main spray serves to push the condensate from condensation of vapor along with the uncondensed gas of 5m³/minutes to exit from jet condenser, so that the vacuum condition can be achieved.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Pendahuluan

Dalam proses pengolahan tebu menjadi gula pasir di suatu pabrik gula, terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui. Salah satunya adalah proses memasak gula/sugar boiling yang mana merupakan proses pembentukan kristal gula dari nira yang diuapkan. Condenser pada pabrik gula adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkondensasikan uap nira yang dihasilkan oleh pan penguapan badan akhir, atau oleh pan-pan masakan.

Secara umum jenis condenser dibagi menjadi 2 yaitu direct condenser dan indirect condenser. Pada direct condenser media pendingin (air) dicampurkan / diinjeksikan langsung dengan media yang dikondensasikan (uap nira). Oleh karena itu jenis direct condenser juga dinamakan jet condenser yang umumnya berupa barometric kondensator, karena menggunakan hampa / vacuum di dalam bejana kondensornya [1].

Berdasarkan kedua jenis kondensator itu cara kerjanya ada yang paralel current (arus searah) dan ada yang counter current (arus berlawanan). Sebenarnya jenis kondensator barometris memiliki 2 jenis. Pertama media pendingin (air) dialirkan sedemikian rupa sehingga menyerupai tirai di dalam kondensator. Uap nira dari bawah ke atas menembus tirai karena adanya tarikan vacuum, yang biasa disebut barometris kondensator. Tipe yang kedua, media pendingin (air) disemprotkan dengan tekanan melalui tabung venturi, sehingga terjadi hampa dan uap nira tertarik dan bercampur dengan semprotan air tadi, tipe ini umumnya disebut jet kondensator [2].

Saat ini, jet kondensator mulai banyak dikembangkan di pabrik-pabrik gula. Ini dikarenakan jet condenser tidak membutuhkan pompa vacuum, sehingga lebih hemat energi listrik dan lebih mudah untuk mengatur besaran tekanan vacuum yang dibutuhkan [3].

Seiring perkembangan teknologi, dinilai kurang relevan jika diterapkan pada pabrik gula saat ini [4]. Seluruh tipe kondensator secara singkat. Dalam kesempatan kali ini dilakukan perancangan dengan dasar perhitungan dari Schutte & Koerting yang dikombinasikan dengan sumber lain, sehingga diperoleh hasil yang lebih detail dan aplikatif untuk diterapkan di pabrik gula [5][6]-[10].

Metode

Pengumpulan data dilakukan, dan data diperoleh dari PG. GMM-BULOG diantaranya sebagai berikut :

- Data pan masak:

Kapasitas pan = 60 m³

Heating surface = 400 m²

Pressure steam = 0,5 kg/cm²

Vacuum = -65 CmHg

- Data bahan masakan =

Brix bahan masuk = 65%

Brix massecuite turun = 93%

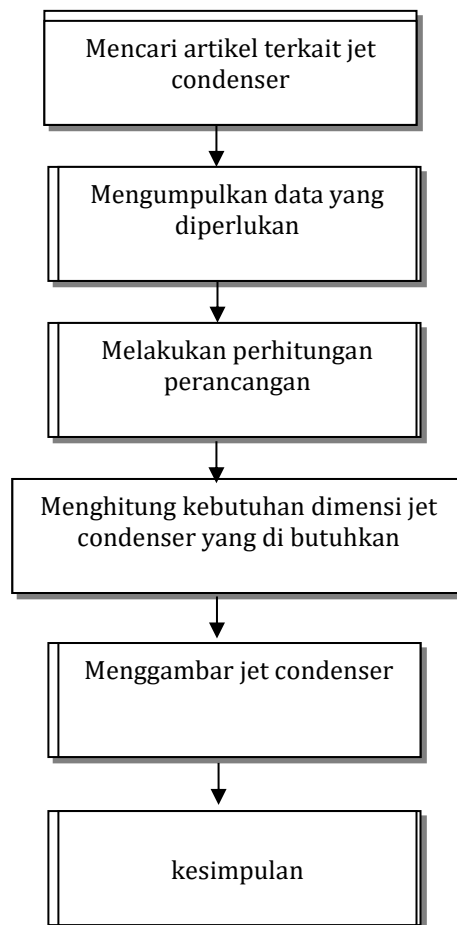
Densitas massecuite = 1,49651 kg/l

Massa massecuite = 22,48 ton

Air siraman masakan = 10% massecuite = 2,248 ton

Perancangan

Melakukan perhitungan terkait perancangan jet condenser. Seperti, kebutuhan air injeksi, ukuran pipa, dimensi jet condenser dan jumlah gas tak terembunkan [6]. Berikut ini alur pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada [Gambar 1](#) di bawah ini.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

Hasil dan Pembahasan

Perancangan kondenser dilakukan dengan beberapa tahapan perhitungan. Tahap perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Air trepan di pan masak:

$$\text{air teruapkan} : \text{massa massecuite} \times \left(1 - \frac{\text{brix raw syrup}}{\text{brix massecuite}}\right) + \text{air siraman masakan}$$

$$\text{Air teruapkan} = 36,0 \text{ ton/cycle masakan}$$

$$\text{Waktu masak} = 3 \text{ jam}$$

$$\text{Debit air teruapkan} : \frac{\text{air teruapkan}}{\text{waktu masak}}$$

$$\text{Debit air teruapkan} : 12 \text{ ton/jam}$$

1. Kebutuhan air injeksi.

Multi jet condenser membutuhkan air injeksi lebih banyak dari condenser tipe barometris. Hal ini dikarenakan selain berfungsi sebagai pengkondensasi uap nira, air injeksi juga berfungsi untuk mendorong gas tak terembunkan pada uap nira agar terbawa air keluar dari condenser. Perbedaan suhu antara air injeksi dan air jatuhan (warm water) hanya sekitar 11 – 13°F (6-7°C), yang umumnya pada barometris condenser selisih suhunya mencapai 10-15°C.

$$T_v: 53 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1: 35\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 - T_1: 6,5\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2: 41,5\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_v - T_2: 11,5\text{ }^\circ\text{C}$$

W : perbandingan air dibutuhkan untuk mengkondensasi uap nira.

$$W : (607 + 0,3 \times (T_v - T_2)) / (T_2 - T_1)$$

W : 93,92 Ton air injeksi/ton uap nira

Kebutuhan air injeksi : $1127,38\text{ m}^3/\text{jam} = 4133\text{ gpm}$

2. Diameter pipa masuk air pendingin

V : Kecepatan aliran air dalam pipa : 2,5 m/s

$$\text{diameter pipa: } \sqrt{\text{debit uap} \times (W + 1) / (2827 \times V_{\text{air}})}$$

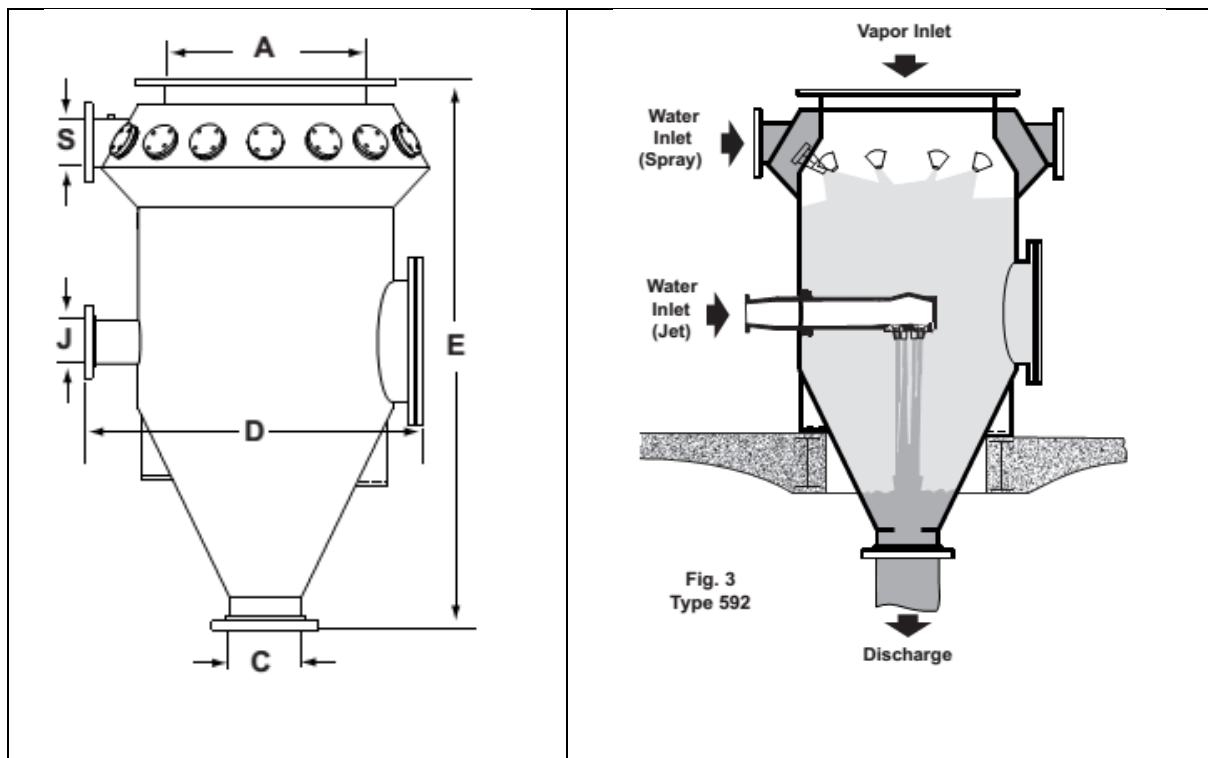
D : 4,01 dm : 15,8 inch

Untuk dapat mencapai vacuum -65 CmHg maka ketinggian condenser minimal 11 m.

3. Dimensi condenser

Desain condenser, telah memuat beberapa informasi mengenai beberapa jenis condenser yang telah mereka kembangkan sehingga lebih efektif dan efisien dalam operasinya [11]–[13].

Dalam perancangan ini, digunakan salah satu jenis condenser dari Schutte & Koerting yaitu jenis S&K Multi Spray (M-S) Barometric Condenser tipe 592 yang dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. S&K Multi Jet Condenser Type 592

Tabel 1. Sizes, Capacities, Dimensions, And Weights of S&K Multi-Jet Spray Type Barometric Condensers, Types 592

Size No.	Maximum Water Capacity, gpm	Connections, Inches				Overall Dimensions, Feet and Inches		Approx. Weight, Lb.	
		Vapor Inlet A	Water Inlet S	J	Disch. C	D	E	C.I.	FAB. ST.
30	625	20	5	5	6	2' 10 1/2"	5' 7"	1800	1200
31	750	24	5	5	6	3' 4"	6' 2"	2300	1500
32	950	24	5	5	8	3' 4"	6' 2"	2600	1700
33	1100	30	6	6	8	3' 11 1/4"	6' 3 3/4"	4400	2400
34	1300	30	6	6	8	3' 11 1/4"	6' 3 3/4"	4500	2500
35	1700	30	8	6	10	4' 3"	6' 10 3/8"	6000	3200
36	2200	36	8	8	10	4' 10 1/4"	7' 10"	8000	4000
37	3200	42	10	8	12	5' 4"	9' 7"	10000	5000
38	3800	48	10	8	12	5' 11 1/4"	10' 6"	11000	5500
39	5000	54	12	12	14	6' 11 1/2"	11' 2"	11000	7500
40	6000	60	14	12	16	7' 6 1/2"	11' 10"	14000	8750
41	8000	60	14	12	18	7' 6 1/2"	11' 10"	16000	9500
42	9000	66	16	14	20	9, 2"	13' 4"	20000	11000
43	12000	72	18	16	24	10'	15'	22000	13000

Berdasarkan data pada Tabel 1 di atas dan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan, maka ukuran condenser type 592 yang paling cocok diterapkan dalam perancangan kali ini adalah size no 39. Dasar pemilihan ini karena ukurannya sedikit lebih besar dari hasil perhitungan untuk faktor keamanan. Dengan spesifikasi ukuran debit air injeksi 5000 gpm, dimensi badan jet condenser diameter 6' 11,5" (2,12 m) dan tinggi 11'2" (3,40 m), dia.vapor inlet 54 inch, dia. Pipa spray masing-masing 12 inch dan dia. Pipa air jatuhan 14 inch.

Gas tak terembunkan

Uap nira hasil penguapan di pan masak mengandung gas yang tak terembunkan. Untuk menghasilkan kondisi vacuum, gas ini harus dikeluarkan dari pan masak. Jumlah gas tak terembunkan yang terkandung pada suatu uap berbeda-beda, tergantung dari fluida apa, uap tersebut dihasilkan. Untuk pan masak yang menguapkan nira, rata-rata volume udara/gas tak terembunkan yang dihasilkan sekitar 20-25 l/kg uap nira yang dihasilkan. Dalam perhitungan ini, uap nira yang dihasilkan adalah 12.004 kg/jam. Maka volume gas tak terembunkan yang harus didorong oleh air injeksi, khususnya jalur main spray untuk menghasilkan kondisi vacuum yaitu 5 m³/menit.

Ukuran pipa uap

Berdasarkan data steam table, pada kondisi vacuum -65 cmHg. Densitas vapor sekitar 0,1 kg/m³, kecepatan/ velocity mencapai 55 m/s, dan suhu didih 53 °C.

Ukuran pipa uap dari pan

$$Q_v : \text{Debit vapor} : \text{densitas vapor} \times \text{berat vapor}$$

$$Q_v : 33,35 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Pipe area} : \frac{Qv}{Vv_1} : 0,606 \text{ m}^2$$

$$\text{D pipa vapor} : \sqrt{\text{pipe area} \times 4/3,14} : 0,88 \text{ m} = 34,6 \text{ inch}$$

Ukuran pipa uap masuk condenser

Berdasarkan ukuran condenser yang telah ditentukan, diketahui ukuran pipa uap yang masuk ke condenser adalah 54 inch.

$$\text{Pipe area} = 1,48 \text{ m}^2$$

$$Vv_2 = 22,58 \text{ m/s.}$$

Ukuran pipa vapor yang masuk ke condenser dibuat lebih besar dari ukuran pipa vapor pan masak, hal ini dilakukan untuk meningkatkan area sentuh antara vapor dan air injeksi, sehingga proses kondensasi uap lebih maksimal.

Spray water jet condenser

Didalam jet condenser, aliran air injeksi dibagi menjadi 2, yaitu spray jet (upper) dan main jet (center). Spray jet berfungsi untuk mengkondensasi uap nira menjadi air condensat, sedangkan main jet berfungsi untuk mendorong air condensat dan gas tak terembunkan yang dari uap nira. Dalam perhitungan ini debit air yang masuk ke spray jet maupun main jet adalah sama banyak, masing-masing 50% dari total kebutuhan air injeksi. Kecepatan aliran air dalam nozzle sekitar 3-4 m/s. Dalam perhitungan ini kecepatan aliran air pada nozzle main jet 3,5 m/s dan kecepatan aliran pada spray jet 4 m/s. dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Nozzle Spray

Parameter	Spray jet upper	Main jet (Center)
Velocity air pada nozzle (m/s)	3,5	3,5
Debit air (m ³ /jam)	563	563
Jumlah nozzle	12	8
Debit air tiap nozzle (m ³ /jam)	46,93	70,39
Nozzle area (cm ²)	32,59	55,87
Diameter nozzle (cm)	6,44	8,43
Diameter pipa (inch)	12	12
Velocity air pada pipa (m/s)	2,14	2,14

Simpulan

Perancangan jet condense dapat menghasilkan vacuum yang baik pada pan masak kapasitas 60 m³ dibutuhkan air injeksi sebanyak 4133 gpm (1127,38 m³/jam). Dengan selisih suhu antara air injeksi dan air jatuhan 6,5°C. Mengacu pada jet condenser tipe *S & K Multi Jet Condenser Type 592* karangan Schutte & Koerting tahun 2014. Size no 39 dengan dimensi badan jet condenser diameter 6' 11,5" (2,12 m) dan tinggi 11'2" (3,40 m). Jumlah gas tak terembunkan yang harus di dorong keluar condenser sebesar 5m³/menit, Air injeksi dibagi 2, spray jet upper dan main jet dengan debit air sama. Upper jet spray memiliki 12 nozzle sedangkan main jet memiliki 8 nozzle.

Daftar Pustaka

- [1] A. Fathurohman, "Konservasi Energi Pada Vacuum Pump Sistem Untuk Pemasakan Gula Dengan Jet Condenser," *Pros. Semnastek*, 2015.
- [2] L. Anitha, "Design and Analysis of Multi Nozzle Jet Spray Condenser using MATLAB".
- [3] D. F. J. Harricks, "Authors relpy to the discussion on his paper on steam condensers and their application in sugar factories," *Minutes Proc. Eng. Assoc. New South Wales*, vol. 27, 2000.

-
- [4] D. B. Foskett, "Evaporators and Vacuum Pans in the Sugar Industry," *Am. J. Enol. Vitic.*, vol. 2, no. 1, pp. 171–176, 1951.
- [5] Y. M. Brodov, K. E. Aronson, A. Y. Ryabchikov, and M. A. Nirenshteyn, "Current state and trends in the design and operation of water-cooled condensers of steam turbines for thermal and nuclear power stations," *Therm. Eng.*, vol. 66, no. 1, pp. 16–26, 2019.
- [6] G. Xian, S. Jianhua, and Z. Hai, "Assessment on an Intelligent Controller of Marine Condenser," in *International Conference on Nuclear Engineering*, 2016, vol. 50015, p. V001T04A012.
- [7] Q. Zhao and T. Hibiki, "Condensation regime maps of steam submerged jet condensation," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 107, pp. 31–47, 2018.
- [8] H. G. V Oldham, "Evaporative Condensers," *Proc. Inst. Mech. Eng.*, vol. 56, no. 1, pp. 185–254, 1899.
- [9] R. Laskowski, A. Smyk, A. Ruciński, and J. Szymczyk, "Determining steam condensation pressure in a power plant condenser in off-design conditions," *Arch. Thermodyn.*, vol. 42, no. 3, 2021.
- [10] M. Yasin, "ADOPTION OF ENERGY SAVING EQUIPMENTS AT RAMZAN SUGAR MILLS," *Pakistan Sugar J.*, vol. 30, no. 4, 2015.
- [11] W. Farr and K. Bolhofner, "Chemical treatment of barometric condenser cooling water systems," *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 57, no. 1, pp. 6–7, 1980.
- [12] P. H. Niknam, L. Talluri, D. Fiaschi, and G. Manfrida, "Gas purification process in a geothermal power plant with total reinjection designed for the Larderello area," *Geothermics*, vol. 88, p. 101882, 2020.
- [13] E. Osipov, E. Telyakov, S. Ponikarov, D. Bugembe, and A. Ponikarov, "Mini-Refinery Vacuum Unit: Functional Analysis and Improvement of Vacuum Overhead System," *Processes*, vol. 9, no. 11, p. 1865, 2021.