



Analisis Palung Pendingin Kaeltroog Dan Jenis Material Pipa Pendingin Pabrik Gula PT. Sinergi Gula Nusantara Di Unit PG. Djombang Baru

Idhofi Rahmad Aryan

Teknik Mesin

Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Universitas Nusantara PGRI Kediri

ldhofirahmad158@gmail.com

Abstrak

Analisis efisiensi palung pendingin (Kaeltroog) dilakukan pada Palung D yang terdiri dari tujuh unit kaeltroog. Setiap kaeltroog memiliki kapasitas maksimum antara 200 hingga 290 hektoliter, yang bervariasi tergantung pada jumlah *massecuite* yang dihasilkan dari alat pan masakan. Kaeltroog berfungsi sebagai tempat palung pendingin dari *messecuite* yang baru keluar dari pan masak an, setelah di kaeltroog selanjutnya di kirimkan ke ke Mono Vertical Crystalizer membutuhkan waktu sekitar 30 menit, di dalam *Mono Vertical Crystalizer* ini sebagai untuk proses pendinginan lebih lanjut. Dalam kaeltroog, terdapat sistem pengaduk yang berperan penting dalam mencegah pengentalan massa dan mempercepat penurunan suhu, sehingga massa dapat mencapai suhu yang diinginkan dengan lebih efisien. Data rinci menunjukkan bahwa semua kaeltroog di Palung D diisi dengan kurang-kurangnya 180 hektoliter, meskipun perkiraan waktu untuk proses pendinginan adalah 24 jam dan tidak menuntaskan. Desain kaeltroog mencakup beberapa komponen penting, seperti bak pendingin, pengaduk, as pengaduk, roda gigi, motor listrik, dan talang penghubung antar palung. Penggunaan material pada pipa stainless steel tipe 316, karena memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, terutama di lingkungan yang mengandung klorida, yang sering ditemukan dalam proses pengolahan gula. Penelitian ini memberikan wawasan mengenai efisiensi operasional palung pendingin dan pentingnya desain yang tepat untuk meningkatkan proses pendinginan dalam industri pengolahan *massecuite*.

Kata Kunci:Kaeltroog, Material Pipa Pendingin, Sistem Pendinginan, Kualitas Produk, Efisiensi

PENDAHULUAN

Industri gula di Indonesia memiliki peran yang sangat penting dalam perekonomian nasional, tidak hanya sebagai penyedia bahan baku untuk berbagai produk makanan dan minuman, tetapi juga sebagai sumber lapangan kerja dan pendapatan bagi banyak masyarakat. Di tengah persaingan yang semakin ketat dan tuntutan untuk meningkatkan efisiensi, pabrik gula harus beradaptasi dengan teknologi dan praktik terbaik untuk memastikan keberlanjutan operasional. Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh pabrik gula adalah pengendalian suhu selama proses produksi, yang dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas hasil akhir. PT Sinergi Gula Nusantara, khususnya di Unit PG. Djombang Baru, telah mengambil langkah proaktif untuk mengatasi tantangan ini dengan menerapkan sistem pendinginan yang efisien. Penggunaan kaeltroog (cooling tower) dan desain pipa pendingin yang optimal menjadi solusi kunci dalam meningkatkan produktivitas pabrik. Kaeltroog berfungsi untuk menghilangkan panas dari sistem dengan cara yang efisien, menggunakan proses evaporasi untuk menurunkan suhu air yang digunakan dalam berbagai tahap produksi. Dengan mengurangi suhu secara efektif, pabrik dapat mencegah kerusakan pada bahan baku, mengurangi risiko kegagalan mesin, dan meningkatkan efisiensi energi. Dalam stasiun pendingin disebut kristalisasi lanjut, karena pada proses pendinginan ada penurunan suhu dan dipengaruhi angka koefisien lewat jenuh sehingga kristal yang terbentuk akan lebih membesar.

Dengan peralatan palung pendingin untuk menampung dan mendinginkan hasil masakan yang diturunkan dari pan masakan. Desain pipa pendingin yang baik juga sangat penting dalam sistem ini. Pipa yang dirancang dengan tepat memastikan aliran air yang merata dan mencegah terjadinya titik panas yang dapat mengganggu proses produksi. Dengan memperhatikan faktor-faktor seperti diameter pipa, panjang pipa, dan jenis material yang digunakan, pabrik dapat mengoptimalkan kinerja sistem pendinginan secara keseluruhan. Integrasi antara kaeltroog dan desain pipa pendingin yang efisien tidak hanya meningkatkan kinerja sistem, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan waktu henti, peningkatan kualitas produk, dan penurunan biaya operasional.

Industri gula merupakan salah satu sektor penting di Indonesia yang berkontribusi besar dalam penyediaan bahan pangan dan penggerak perekonomian lokal. Peningkatan produktivitas pabrik gula menjadi keharusan untuk memenuhi kebutuhan pasar yang terus tumbuh, terutama dengan adanya persaingan global dan perubahan teknologi produksi yang semakin dinamis. Oleh karena itu, pengelolaan produksi yang efisien dan efektif sangat diperlukan agar pabrik gula dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan (Kementerian Pertanian, 2020).

Pipa berfungsi sebagai jalur utama untuk aliran fluida pendingin, yang dapat menggunakan dua metode konveksi: konveksi alam dan konveksi paksa. Konveksi alam terjadi ketika reaktor dalam keadaan mati, di mana aliran panas berpindah secara alami dari fluida panas ke fluida dingin melalui pipa yang terbuka. Sebaliknya, konveksi paksa memanfaatkan pompa untuk mengarahkan aliran pendingin secara aktif saat reaktor beroperasi, memastikan bahwa panas dapat dihilangkan secara

efektif. Modifikasi jalur pipa yang ada menjadi kunci dalam desain ini, di mana penambahan peralatan baru seperti tangki peluruhan dan fitting pipa dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem. Selain itu, tata letak pipa harus mempertimbangkan faktor keamanan dan kemudahan konstruksi, serta memastikan aliran fluida yang optimal. Oleh karena itu, pengembangan dan modifikasi desain pipa pendingin ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi (Jami dan Santoso 2019).

Mesin pendingin ini berfungsi untuk mengubah energi menjadi efek pendinginan, di mana pendingin berperan sebagai media yang menyerap panas pada suhu rendah dan melepaskannya pada suhu tinggi. Dalam sistem pendingin, terdapat empat komponen utama yang berfungsi secara sinergis: kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan penguap. Salah satu fokus utama dalam penelitian ini adalah modifikasi pipa pendingin, khususnya pipa kabin yang berbentuk koil dengan diameter kecil antara 0,5 hingga 2 inci dan panjang antara 1 hingga 6 meter. Pipa ini yang biasanya terbuat dari tembaga, digunakan dalam sistem pendingin skala kecil dan dapat dimodifikasi untuk meningkatkan kinerja mesin pendingin, seperti AC. Penelitian ini juga mengeksplorasi penggunaan refrigeran R32 sebagai alternatif untuk R410A, dengan harapan bahwa modifikasi panjang dan diameter pipa kabin dapat meningkatkan efisiensi sistem pengapian. Setelah pipa kabin dimodifikasi, aliran pendingin cair diharapkan dapat disesuaikan dengan volume yang tepat, sehingga jumlah total uap yang dihasilkan sesuai dengan perbedaan uap yang diterima oleh kondensor dan evaporator (Gaelogoy, Aryanto dan Dayera 2023).

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah pendekatan kualitatif yang menggabungkan wawancara langsung dengan analisis mandiri untuk mengevaluasi penerapan kaeltroog dan desain pipa pendingin di Unit PG. Djombang Baru, PT Sinergi Gula Nusantara. Dalam tahap pertama, wawancara dilakukan dengan pekerja dan mandor yang bertanggung jawab di stasiun masakan dan palung pendingin. Tujuan dari wawancara ini adalah untuk mengumpulkan informasi mendalam mengenai pengalaman mereka dalam mengoperasikan sistem pendinginan yang ada. Pertanyaan yang diajukan mencakup berbagai aspek, seperti pengalaman sehari-hari dalam menjaga suhu yang optimal selama proses produksi, tantangan yang dihadapi, serta pendapat mereka mengenai efektivitas sistem pendinginan yang diterapkan. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur, yang memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi topik-topik tertentu lebih dalam berdasarkan respons yang diberikan oleh narasumber.

Seluruh wawancara direkam dan dicatat untuk analisis lebih lanjut. Selain wawancara, peneliti juga melakukan analisis mandiri terhadap sistem pendinginan yang diterapkan di pabrik. Analisis ini mencakup observasi langsung terhadap proses kerja di stasiun masakan dan palung pendingin, termasuk pengamatan terhadap aliran air, suhu, dan kondisi peralatan. Peneliti juga mengumpulkan data operasional, seperti catatan suhu, waktu henti, dan konsumsi energi, untuk mengevaluasi kinerja sistem pendinginan secara keseluruhan. Dengan membandingkan data yang diperoleh dari wawancara dengan data operasional, peneliti dapat mengidentifikasi kesenjangan dan area yang perlu diperbaiki. Metode kombinasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai efektivitas sistem kaeltroog dan desain pipa pendingin, serta memberikan rekomendasi yang berbasis pada data dan pengalaman praktis dari para pekerja di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Stasiun Masakan merupakan lokasi di mana nira kental hasil dari proses penguapan dimasak dan diproses lebih lanjut untuk menghasilkan kristal gula. Proses ini dikenal sebagai kristalisasi, yang merupakan metode untuk memperoleh sukrosa dalam bentuk kristal dari larutan nira kental dengan cara mengatur suhu, tekanan, dan tingkat kejenuhan larutan hingga terbentuk kristal yang memenuhi standar kualitas. Tujuan utama dari stasiun masakan adalah untuk mengekstrak sakarosa sebanyak mungkin dalam bentuk kristal. Proses ini dilakukan dengan mengurangi kadar air dari nira kental melalui pemanasan dalam kondisi vakum. Proses tersebut berlangsung di dalam alat yang disebut ketel masak (vacuum pan). Selama proses berlangsung, nira dipanaskan hingga mencapai tingkat kejenuhan yang tinggi, sehingga sakarosa yang terlarut dalam nira tidak dapat larut lagi dan mulai membentuk kristal. Untuk mempercepat dan menstabilkan pembentukan kristal, biasanya ditambahkan bibit kristal (seed crystal). Hasil dari proses masakan ini disebut massecuite, yaitu campuran antara kristal gula dan larutan molasses. Massecuite yang dihasilkan dari stasiun masakan kemudian akan dialirkan ke stasiun puteran (centrifuge) untuk memisahkan antara kristal gula dan larutan molasses-nya. Proses kristalisasi, yang juga dikenal sebagai pemasakan gula (gula mendidih), biasanya dilakukan dalam evaporator vakum dengan efek tunggal yang dirancang khusus untuk menangani bahan dengan viskositas tinggi. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mengekstrak gula sebanyak mungkin dari nira kental dengan cara yang cepat dan ekonomis, serta menghasilkan kualitas yang sesuai dengan standar industri pengguna gula kristal rafinasi. Kristalisasi merupakan proses pembentukan gula kristal yang dilakukan dengan menambahkan bibit gula atau fondant. Proses ini bertujuan untuk mengubah sakarosa yang terlarut dalam cairan kental menjadi kristal gula yang memenuhi kriteria kemurnian, warna, dan ukuran butir yang diinginkan untuk gula rafinasi.

Tingkat kelarutan gula sangat mempengaruhi proses kristalisasi; semakin murni kelarutan gula, semakin mudah proses pengkristalan berlangsung. Kristalisasi berlangsung di dalam panci vakum, di mana terjadi penguapan lebih lanjut dengan memberikan panas pada bahan, sehingga gula mencapai kondisi yang sangat jenuh. Ketika kondisi tersebut melewati titik jenuh, bibit kristal (fondant) ditambahkan untuk mempercepat proses pengkristalan. Jumlah bibit yang digunakan bergantung pada volume larutan yang dimasak serta kualitas larutan tersebut. Semakin rendah kualitas larutan, semakin banyak fondant yang diperlukan. Kecepatan pemasakan dipengaruhi oleh konsentrasi (brix) larutan kental minuman keras; semakin pekat larutan, semakin cepat proses pemasakan berlangsung. Minuman keras kental yang telah melalui proses kristalisasi dikenal sebagai masakan (mascuite), dan tujuan dari proses ini adalah agar warna gula yang dihasilkan memenuhi standar kualitas R1 dan R2. Gula dan masakan yang dihasilkan dari proses recovery disebut crop, yang sering kali dipecah menjadi masakan C1, C2, C3,

dan C4. Proses pemasakan harus dilakukan secara efektif dan efisien. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan alat pengaduk yang dapat menciptakan keadaan homogen, sehingga proses pemasakan dapat dilakukan dengan tepat dan cepat. Umumnya, sistem pemasakan yang digunakan adalah sistem perebusan langsung.

Berikut adalah data gambar spesifikasi Pan Masakan :

Tabel 1 : Spesifikasi Pan Masakan

No.	Data	PP Pan 1-8	PP Cooking Pan D
1.	Merek	SED (Spray Engineering Devices Limited)	SED (Spray Engineering Devices Limited)
2.	Jenis	1000 30 TB	1100 20 TPH
3.	Tahun	2014	2014
4.	Konsumsi Air (m ³ /jam)	408	438
5.	Panjang Badan (m)	3	3
6.	Diameter Badan (mm)	1000	1100
7.	Panjang Pipa Jatuh (m)	11	11
8.	Diameter Pipa (mm)	225	225
9.	Bahan	Stainless Steel 316 / 8 mm	Stainless Steel 316 / 8 mm

Berikut hasil Analisis kami tentang susunan urutan sebelum nira masuk ke Keltroog (palung pendingin) :

1. Pan Masakan



Gambar 1 : Pan Masakan

Pan masakan berfungsi untuk memanaskan nira kental hingga mencapai konsentrasi yang diinginkan. Proses pemasakan ini sangat penting untuk menghilangkan kandungan air dalam nira, sehingga gula yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik. Pan masakan biasanya dilengkapi dengan sistem pemanas yang efisien, yang dapat menggunakan uap panas atau sumber panas lainnya. Selama proses pemasakan, nira akan dipanaskan hingga mencapai titik didih, di mana air akan menguap dan konsentrasi gula akan meningkat. Selain itu, pan masakan juga dirancang untuk memudahkan pengadukan, sehingga pemanasan dapat merata dan mencegah terjadinya karamelisasi yang tidak diinginkan. Di Pabrik Gula Djombang Baru, penggunaan pan masakan sangat krusial untuk memastikan bahwa nira kental yang diproses dapat mencapai kualitas yang optimal sebelum masuk ke tahap selanjutnya.

Selama magang, kami berkesempatan untuk mengamati proses pemasakan nira secara langsung dan memahami bagaimana pan masakan berkontribusi pada efisiensi dan kualitas produksi gula. Pengalaman ini memberikan wawasan yang berharga mengenai pentingnya alat ini dalam proses pengolahan gula. Pan masakan adalah alat berbentuk tangki atau bejana besar yang digunakan untuk mengendapkan dan mengkristalkan gula dari cairan nira kental hasil penguapan. Ada 8 pan masakan di stasiun masakan, pan masakan 1 dan 2 digunakan untuk memasak gula D1, pan masakan 3 digunakan untuk memasak gula C sedangkan pan 4-8 digunakan untuk memasak gula A.

Hasil analisis kami setelah dari pan masak an nira kemudian turun dari alat tersebut ke palung pendingin yang disebut alatnya berupa Kaeltroog. Berikut untuk penjelasan lebih rinci nya :

a. Palung Pendingin



Gambar 2 : Palung Pendingin (Kaeltroog)

Hasil analisis kami di Efisiensi palung pendingin (Kaeltroog) kami gunakan di salah satu contoh di palung pendingin D yaitu di palung di 1-7 buah palung, hasil analisis kami menunjukkan di Palung D, terdapat 7 buah kaeltroog yang masing-masing memiliki kapasitas penuh sekitar Max di 200-290 hektoliter. Kapasitas ini dapat bervariasi tergantung pada jumlah nira yang keluar dari alat pan masakan. Kaeltroog di Palung D berfungsi sebagai tempat palung pendingin *massecuite* yang setelahnya akan dialirkan ke Mono Vertical Cristalizer untuk proses pendinginan lebih lanjut. Di dalam kaeltroog, terdapat pengaduk yang berfungsi untuk mencegah *massecuite* mengkental di dalam kaeltroog . Pengadukan ini juga berperan penting dalam mengurangi suhu panas *massecuite*, sehingga *massecuite* dapat lebih cepat mencapai suhu yang diinginkan sebelum memproses lebih lanjut.

Hasil analisis kami di Efisiensi palung pendingin (Kaeltroog) kami gunakan di salah satu contoh di palung pendingin D yaitu di palung di 1-7 buah palung, hasil analisis kami menunjukkan di Palung D, terdapat lima buah kaeltroog yang masing-masing memiliki kapasitas penuh sekitar Max di 200-250 hektoliter. Kapasitas ini dapat bervariasi tergantung pada jumlah nira yang keluar dari alat pan masakan. Kaeltroog di Palung D berfungsi sebagai tempat palung pendingin *massecuite* yang setelahnya akan dialirkan ke Mono Vertical Cristalizer untuk proses pendinginan lebih lanjut. Di dalam kaeltroog, terdapat pengaduk yang berfungsi untuk mencegah *massecuite* mengkental di dalam kaeltroog . Pengadukan ini juga berperan penting dalam mengurangi suhu panas *massecuite*, sehingga *massecuite* dapat lebih cepat mencapai suhu yang diinginkan sebelum memproses lebih lanjut. Berikut kami jelaskan data rinci dengan berupa tabel :

Tabel 2 : Data Palung Pendingin Kaeltroog D

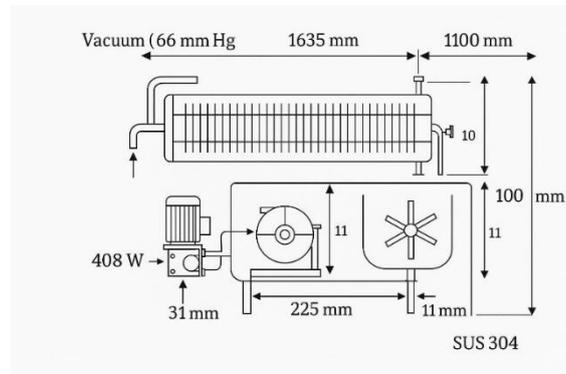
No.	Kaeltroog	Max Penuh Kapasitas	Estimasi Waktu <i>Massecuite</i>
1.	1D	Max 230 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
2.	2D	Max 290 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
3.	3D	Max 290 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
4.	4D	Max 290 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
5.	5D	Max 290 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
6.	6D	Max 270 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
7.	7D	Max 270 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
REALISASI SEMUA D PALUNG DI ISI			Sek. 180 HL (Tidak menentu sesuai Nira yang dari Pan Masakan)



Gambar 3 : Visual Pengaduk di Dalam Kaeltroog

Di dalam palung pendingin (Kaeltroog) terdapat bilah-bilah pengaduk untuk *massecuite*, berfungsi supaya *massecuite* tidak mengental di dalamnya.

Gambar 4 : Desain Kaeltroog (Palung Pendingin)



Gambar 5 : Gambar Visual Asli Palung Pendingin Kaeltroog

Fungsi bagian-bagian palung pendingin:

1. Bak Pendingin : Untuk wadah *massecuite* supaya didinginkan
2. Pengaduk: sebagai pengaduk masakan sekaligus berfungsi untuk mendinginkan *massecuite* dan mencegah *massecuite* mengental
3. As pengaduk: merupakan poros pemutar pengaduk
4. Roda gigi, pemutar pengaduk
5. Motor listrik: untuk menggerakkan roda gigi
6. Talang penghubung antar palung: untuk mengalirkan masakan dari satu palung ke palung lain.

Rekomendasi Jenis Material Pipa

Pada judul Laporan “Analisis Sistem Pendinginan Pada Mesin Kristalisasi” dengan rumusan masalah menganalisis pengaruh desain dan konfigurasi pipa pendingin terhadap efisiensi perpindahan panas dalam mesin kristalisasi. Kami dapat menyimpulkan bahwasanya, salah satu tempat mesin kristalisasi pada PG. Djombang Baru menggunakan sistem pendinginan yang terdiri dari palung pendingin kaeltroog dan pipa pendingin dengan berbagai desain dan konfigurasi. Palung pendingin ini berfungsi untuk menampung dan mendinginkan kristal hasil dari masakan yang baru turun dari pan masakan. Posisi palung tepat berada di bawah pan masakan, dimana palung pendingin dilengkapi dengan pengaduk yang berfungsi untuk mencegah terjadinya penggumpalan atau pengerasan pada masakan gula. Saat masakan turun ke palung pendingin melalui talang pemasukan maka palung akan berputar perlahan-lahan, sehingga proses pendinginan dapat merata. Sistem ini berfungsi menjaga suhu massa kristal (*massecuite*) agar tetap stabil dan optimal untuk pertumbuhan kristal gula. Pipa stainless steel tipe 316 sangat cocok digunakan di pabrik gula, termasuk pada alat kaeltroog atau palung pendingin. Ketahanan terhadap korosi dan suhu tinggi menjadikannya ideal untuk lingkungan yang mungkin terpapar bahan kimia dan kelembapan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan umur pakai peralatan. Stainless steel 316 memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, terutama terhadap pitting dan korosi intergranular. Penambahan molibdenum meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang mengandung klorida, seperti air laut. Memiliki kekuatan tarik sekitar 549 MPa (84 Ksi) dan dapat bertahan pada suhu maksimum hingga 800°C (1472°F). Ini menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan dan daya tahan tinggi. Stainless steel 316 mudah dilas dan mempertahankan ketangguhannya setelah proses pengelasan, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi industri.

Versi rendah karbon dari stainless steel 316, yang mengurangi risiko sensitasi dan meningkatkan ketahanan korosi setelah pengelasan.

Menurut (<https://www.karyaprimasuplindo.co.id/>) Stainless steel 316 adalah jenis pipa yang memiliki kandungan tinggi kromium dan nikel, serta mengandung unsur lain seperti karbon, mangan, dan silikon, yang menjadikannya sebagai komposisi besi yang unggul. Pipa stainless steel 316 terdiri dari 16% kromium, 10% nikel, dan 20% molibdenum. Molibdenum berfungsi sebagai unsur kimia yang memperkuat dan meningkatkan kualitas baja. Kandungan ini membuat stainless steel 316 lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan tipe yang lebih umum yaitu 304. Fungsi utama stainless steel 316 adalah untuk melawan karat yang disebabkan oleh klorida. Hal ini menjadikan harga stainless steel 316 relatif tinggi, berkat kemampuannya yang luar biasa dalam menahan korosi. Dalam penggunaannya, stainless steel 316 juga memiliki daya tahan yang lebih lama. Sifatnya yang tahan karat, kuat, dan awet memungkinkan penggunaan dalam jangka waktu yang panjang. Stainless steel 316 dirancang untuk tahan terhadap korosi yang disebabkan oleh lingkungan, serta aman dari korosi pitting, yaitu korosi lokal yang dapat menyebabkan lubang kecil pada permukaannya. Selain itu, material ini mudah dibersihkan dan memerlukan perawatan yang minimal. Stainless steel 316 bersifat non-magnetik, yang membuatnya lebih tahan karat dan cocok digunakan pada suhu tinggi. Semua proses yang melibatkan suhu tinggi dapat dilakukan pada stainless steel 316, dengan pemanasan yang ideal dalam rentang suhu 1149-1260°C. Setelah proses pemanasan, sentuhan akhir diperlukan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Proses annealing atau penganilan dapat dilakukan setelah pemanasan pada suhu antara 1010-1120°C. Stainless steel 316 dapat diproses menggunakan mesin dengan sudut pemotongan yang tajam. Sudut yang tumpul dapat menyebabkan pemotongan yang lebih sulit. Pemotongan harus dilakukan dengan ringan, tetapi cukup dalam untuk mencegah pengerasan material.

Menurut (<https://pipapedia.com/>) Pipa tipe 316 adalah jenis pipa stainless steel yang memiliki kandungan molibdenum lebih tinggi, sekitar 2-3%. Kandungan molibdenum ini meningkatkan ketahanan pipa terhadap korosi, terutama dalam lingkungan yang keras seperti udara laut atau area dengan kadar klorida tinggi. Maka dari itu dapat kami simpulkan bahwasanya Pipa tipe 316 memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, terutama di lingkungan yang mengandung klorida, yang sering ditemukan dalam proses pengolahan gula. Pipa ini dapat bertahan pada suhu tinggi, yang penting untuk aplikasi di alat kaeltroog yang memerlukan pemanasan. Memiliki kekuatan yang baik, sehingga dapat menahan tekanan dan beban yang terjadi selama proses produksi. Desain pipa pendingin yang menggunakan stainless steel 316 dapat meningkatkan efisiensi sistem pendingin, mengingat sifatnya yang tidak mudah berkarat dan mudah dibersihkan. Pipa ini memerlukan perawatan yang minimal, sehingga mengurangi waktu dan biaya operasional dalam jangka panjang. Pipa tipe 316 dapat digunakan untuk sistem perpipaan yang mengalirkan bahan baku atau produk akhir, memastikan tidak ada kontaminasi yang terjadi. Dalam palung pendingin, pipa ini dapat digunakan untuk mengalirkan udara pendingin, menjaga suhu tetap stabil dan efisien dalam proses pendinginan. Penggunaan pipa stainless steel tipe 316 di pabrik gula, khususnya pada alat kaeltroog dan palung pendingin, sangat direkomendasikan karena ketahanan, kekuatan, dan efisiensinya yang tinggi. Ini akan membantu meningkatkan produktivitas dan kualitas produk akhir. Dalam hal ini material pipa stainless steel 316L direkomendasikan untuk ketahanan korosi dan kinerja termal unggul.

KESIMPULAN

Proses kristalisasi gula di stasiun masakan merupakan tahap krusial dalam industri pengolahan gula, di mana *massecuite* dipanaskan dan diproses untuk menghasilkan kristal gula berkualitas tinggi. Melalui pengaturan suhu, tekanan, dan tingkat kejenuhan larutan, proses ini memungkinkan ekstraksi sakarosa secara efisien. Penggunaan alat seperti ketel masak (vacuum pan) dan penambahan bibit kristal (seed crystal) berperan penting dalam mempercepat pembentukan kristal. Hasil dari proses ini, yaitu *massecuite*, kemudian dipisahkan menjadi kristal gula dan larutan molasses di stasiun puteran. Analisis efisiensi palung pendingin (kaeltroog) menunjukkan bahwa alat ini berfungsi untuk mendinginkan *massecuite* sebelum diproses lebih lanjut di *Mono Vertical Crystalizer*. Dengan kapasitas yang bervariasi dan sistem pengaduk yang efektif, kaeltroog membantu menjaga suhu massa kristal agar tetap stabil, mendukung pertumbuhan kristal gula yang optimal. Analisis efisiensi palung pendingin (Kaeltroog) dilakukan pada Palung D yang terdiri dari tujuh unit kaeltroog, masing-masing dengan kapasitas maksimum antara 200 hingga 290 hektoliter, tergantung pada jumlah *massecuite* yang dihasilkan dari alat pan masakan, ini berlangsung selama 24 jam. Kaeltroog berfungsi sebagai tempat pendinginan untuk *massecuite* yang baru keluar dari pan masakan, sebelum dikirim ke *Mono Vertical Crystalizer* untuk proses pendinginan lebih lanjut.

Di dalam kaeltroog, terdapat sistem pengaduk yang penting untuk mencegah pengentalan massa dan mempercepat penurunan suhu, sehingga massa dapat mencapai suhu yang diinginkan dengan lebih efisien. Data menunjukkan bahwa semua kaeltroog di Palung D diisi dengan minimal sekitar 180 hektoliter sampai maksimal di 290 hektoliter, waktu diperkirakan untuk proses pendinginan adalah 24 jam. Desain kaeltroog mencakup komponen penting seperti bak pendingin, pengaduk, as pengaduk, roda gigi, motor listrik, dan talang penghubung antar palung. Penggunaan material pipa stainless steel tipe 316 sangat dianjurkan karena ketahanannya yang baik terhadap korosi, terutama di lingkungan yang mengandung klorida, yang umum dalam proses pengolahan gula. Penelitian ini memberikan wawasan tentang efisiensi operasional palung pendingin dan menekankan pentingnya desain yang tepat untuk meningkatkan proses pendinginan dalam industri pengolahan *massecuite*. Secara keseluruhan, proses kristalisasi yang efektif dan efisien di stasiun masakan, ditunjang oleh sistem pendinginan yang baik, sangat penting untuk menghasilkan gula berkualitas tinggi yang memenuhi standar industri. Penerapan teknologi dan material yang tepat dalam proses ini akan berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan kualitas produk akhir dalam industri gula.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Bapak Tofan Arif Kusuma S. ST selaku pembimbing lapangan di PT Sinergi Gula Nusantara di Unit Pabrik Gula Djombang Baru, atas kesediaannya membimbing, memberikan ilmu serta pengalaman untuk menyusun

artikel ini. Kepada Bapak Ah, Sulhan Fauzi, M.Si., selaku dosen pembimbing praktik Magang Mahasiswa atas segala bimbingan, masukan, dan arahan yang sangat berarti dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Jami, A., & Santoso, B. (2019). Desain sistem pendingin primer reaktor triga pelat. *PRIMA-Aplikasi dan Rekayasa dalam Bidang Iptek Nuklir*, 16(1), 34-42.
- Gaelogoy, BM, Aryanto, I., & Dayera, D. (2023). Analisis Sistem Pendingin dengan Penambahan Pipa Kapiler menggunakan Refrigeran R32. *Jurnal Crankshaft*, Vol.6, No. 3, Email: haridiaA@IngggrisP.ac.
- Dahiya, O., & Kumar, A. (2019). Pemodelan matematika dan evaluasi kinerja sistem kristalisasi A-pan dalam industri gula. *SN Applied Sciences*, 1, 339. <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1814-0>
- Julian, H., Rizqullah, H., Siahaan, MA, & Wenten, IG (2020). Kristalisasi gula menggunakan distilasi membran vakum terendam (SVMDC). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 58(6), 2368–2376. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04749-z>
- Mantelatto, PE (2008). Proses dan peralatan untuk kristalisasi gula dengan pendinginan terkendali (Nomor Paten US8475597B2). Dedini S/A Industrias de Base. <https://patents.google.com/patent/US8475597B2/en>
- Morales, H., di Sciascio, F., Aguirre Zapata, E., & Amicarelli, A. (2024). Proses kristalisasi dalam industri gula: Pembahasan tentang dasar-dasar, praktik industri, pemodelan, estimasi, dan kontrol. *Food Engineering Reviews*, 16(3), 1-29. <https://doi.org/10.1007/s12393-024-09377-3>
- Osman, A., & Rajab, F. (2023). Menjelajahi pertumbuhan kristal gula yang dinamis: Model difusi volume dalam kondisi tidak stabil. *AIP Advances*, 13, 065102. <https://doi.org/10.1063/5.0153275>
- Sinergi Gula Nusantara. (2024). Satuan Kerja dan Produksi Gula Nasional. <https://sinergigula.com/unitkerja>
- Souza, DF, Silva, FM, Cardoso, KC, & Oliveira, ER (2019). Kristalisasi sukrosa: Pemodelan dan evaluasi respons produksi terhadap fluktuasi proses umum. *Jurnal Teknik Kimia Brasil*, 36(3), 1305–1324. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190363s20180240>