

## Studi Palung Pendingin Kaeltroog Pabrik Gula PT. Sinergi Gula Nusantara Unit PG. Djombang Baru

Idhofi Rahmad Aryan<sup>1</sup>, Ah. Sulhan Fauzi<sup>2</sup>  
Universitas Nusantara PGRI Kediri<sup>1,2</sup>

[idohofirahmad158@gmail.com](mailto:idohofirahmad158@gmail.com)<sup>1</sup>, [sulhanfauzi@unpkediri.ac.id](mailto:sulhanfauzi@unpkediri.ac.id)<sup>2</sup>

\*Corresponding author: Idhofi Rahmad Aryan<sup>1</sup>

### Abstrak

Pada Palung D, analisis efisiensi palung pendingin (Kaeltroog) dilakukan, yang terdiri dari tujuh unit kaeltroog. Kapasitas maksimum setiap kaeltroog berkisar antara 200 hingga 290 hektoliter, bervariasi tergantung pada jumlah massecuite yang dihasilkan dari alat pan masak. Kaeltroog berfungsi sebagai tempat pendingin untuk pijat yang baru keluar dari panci masak. Setelah proses di kaeltroog, massecuite akan dikirim ke Mono Vertical Crystalizer, yang memerlukan waktu sekitar 30 menit untuk pendinginan lebih lanjut.

Sistem pengaduk yang terdapat di dalam kaeltroog sangat 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 180 hektoliter, meskipun waktu yang diperkirakan untuk proses pendinginan adalah 24 jam dan tidak tercapai sepenuhnya.

Desain kaeltroog mencakup beberapa komponen penting, seperti bak pendingin, pengaduk, as pengaduk, roda gigi, motor listrik, dan talang penghubung antar palung. Pipa yang digunakan terbuat dari stainless steel tipe 316, yang memiliki ketahanan sangat baik terhadap korosi, terutama di lingkungan yang mengandung klorida, yang sering dijumpai dalam proses pengolahan gula. Penelitian ini memberikan wawasan mengenai efisiensi operasional palung pendingin dan tekanan pentingnya desain yang tepat untuk meningkatkan proses pendinginan dalam industri pengolahan pabrik gula.

**Kata Kunci** : Kaeltroog, Pipa, Pendingin, Stainless steel 316

### A. PENDAHULUAN

Industri gula di Indonesia memainkan 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. Dalam menghadapi persaingan yang semakin ketat dan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi, pabrik gula perlu beradaptasi dengan teknologi dan melakukan tindakan terbaik untuk memastikan operasional. Salah satu tantangan utama yang dihadapi 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 udara 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 yang disebut kristalisasi lanjut, terjadi penurunan suhu dan dipengaruhi oleh angka koefisien lewat jenuh, sehingga kristal yang terbentuk akan lebih besar. Desain pipa pendingin yang baik juga sangat penting dalam sistem ini. Pipa yang dirancang dengan tepat memastikan aliran udara 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 pembakaran secara keseluruhan.

Integrasi antara kaeltroog dan desain pipa pendingin yang efisien tidak hanya meningkatkan kinerja sistem, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan henti waktu, peningkatan kualitas produk, dan penurunan biaya operasional. Peningkatan produktivitas pabrik gula menjadi keharusan untuk memenuhi kebutuhan pasar yang terus berkembang, 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 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).

## B. LANDASAN TEORI

Kaeltroog adalah alat yang digunakan dalam industri gula untuk mendinginkan massa yang baru keluar dari proses pemasakan. Fungsinya adalah untuk menghilangkan panas dari sistem dengan cara yang efisien, menggunakan proses evaporasi untuk menurunkan suhu udara yang digunakan dalam berbagai tahap produksi. Dalam kaeltroog, terdapat sistem pengaduk yang berperan penting dalam mencegah pengentalan massa dan mempercepat penurunan suhu. Desain kaeltroog mencakup beberapa komponen penting, seperti bak pendingin yang berfungsi sebagai wadah untuk menampung massal yang akan transmisi, pengaduk yang membantu mencegah pengentalan dan mendinginkan massa, sebagai pengaduk yang merupakan poros yang memutar pengaduk, roda gigi dan motor listrik yang menggerakkan sistem pengaduk, serta talang penghubung yang mengalirkan masakan dari satu palung ke palung lain.

Material pipa pendingin yang digunakan dalam sistem ini sangat penting, di mana pipa stainless steel tipe 316 menjadi pilihan utama. Pipa ini memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, terutama di lingkungan yang mengandung klorida, serta dikenal karena kekuatan tarik yang tinggi dan kemampuannya untuk bertahan pada suhu maksimum hingga 800°C. Hal ini menjadikannya sangat cocok untuk digunakan dalam sistem pendingin di pabrik gula, mengingat ketahanannya terhadap bahan kimia dan kelembaban.

Proses kristalisasi merupakan tahap penting dalam pengolahan gula, di mana nira kental dipanaskan dan diproses untuk menghasilkan kristal gula berkualitas tinggi. Pengaturan suhu, tekanan, dan tingkat kejenuhan sangat mempengaruhi efisiensi proses ini, di mana penambahan bibit kristal (*seed crystal*) berperan penting dalam mempercepat pembentukan kristal. Dalam sistem pendingin, terdapat dua metode konveksi yang digunakan, yaitu konveksi alam yang terjadi secara alami dan konveksi paksa yang memanfaatkan pompa untuk mengalirkan aliran pendingin secara aktif. Desain pipa yang baik sangat penting untuk memastikan aliran udara yang merata dan mencegah terjadinya titik panas.

Pentingnya desain yang efisien dalam sistem pendingin tidak dapat diabaikan, karena desain yang tepat dari kaeltroog dan pipa pendingin dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Hal ini berkontribusi pada pengurangan waktu henti, peningkatan kualitas produk, dan penurunan biaya operasional. Integrasi antara kaeltroog dan desain pipa pendingin yang efisien sangat penting untuk mencapai produktivitas yang optimal dalam industri gula. Dengan demikian, penggunaan kaeltroog dan

material pipa yang tepat sangat berpengaruh terhadap efisiensi proses pendinginan dalam industri gula, memberikan wawasan mengenai pentingnya desain yang tepat untuk meningkatkan proses pendinginan dan kualitas produk akhir dalam industri pemrosesan massal.

### C. METODE PENELITIAN

Dalam studi ini, metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kualitatif yang menggabungkan wawancara langsung terhadap karyawan yang bertanggung jawab atas alat kaeltroog tersebut, kemudian dengan kami analisis mandiri untuk alat kaeltroog dan jenis material pipa pendingin di Unit PG. Djombang Baru, PT Sinergi Gula Nusantara. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam mengenai pengalaman dan pandangan para pekerja yang terlibat langsung dalam proses produksi.

Pada 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 pendingin yang ada. Pertanyaan yang dibahas mencakup berbagai aspek, seperti pengalaman sehari-hari dalam menjaga suhu yang optimal selama proses produksi, tantangan yang dihadapi, serta pendapat mereka mengenai efektivitas sistem pendingin yang diterapkan. Dengan cara ini, peneliti dapat menggali informasi yang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mencakup aspek psikologis dan sosial yang mempengaruhi kinerja sistem.

Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur, yang memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi topik-topik tertentu lebih dalam berdasarkan respon yang diberikan oleh narasumber. Format ini memberikan ambiguitas bagi peneliti untuk mengikuti alur percakapan dan menggali informasi tambahan yang mungkin tidak terduga. Seluruh wawancara direkam dan direkam untuk dianalisis lebih lanjut, sehingga data yang diperoleh dapat dianalisis secara sistematis dan komprehensif. Selain wawancara, peneliti juga melakukan analisis mandiri terhadap sistem pendingin yang diterapkan di pabrik. Analisis ini mencakup observasi langsung terhadap proses kerja di stasiun masakan dan palung pendingin, termasuk observasi terhadap aliran udara, suhu, dan kondisi peralatan. Observasi ini penting untuk memahami bagaimana sistem pendingin beroperasi dalam praktik dan untuk mengidentifikasi potensi masalah yang mungkin tidak terungkap dalam wawancara.

Peneliti juga mengumpulkan data operasional, seperti catatan suhu, henti waktu, dan konsumsi energi, untuk menilai kinerja sistem pendingin secara keseluruhan. Data ini memberikan gambaran kuantitatif yang dapat dibandingkan dengan informasi kualitatif yang diperoleh dari wawancara. Dengan membandingkan data yang diperoleh dari wawancara dengan operasional data, peneliti dapat mengidentifikasi gambaran yang lebih jelas mengenai efektivitas sistem kaeltroog dan desain pipa pendingin, serta area yang perlu diperbaiki.

Metode kombinasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai efektivitas sistem kaeltroog dan desain pipa pendingin. Dengan mengintegrasikan perspektif praktis dari para pekerja di lapangan dengan operasional data yang bertujuan, peneliti dapat memberikan rekomendasi yang berbasis pada bukti yang kuat. Rekomendasi ini diharapkan dapat membantu PT Sinergi Gula Nusantara dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem pendingin mereka, serta mendukung penghentian operasional pabrik gula di masa depan. Pendekatan ini juga dapat menjadi model bagi penelitian serupa di industri lain, di mana pemahaman mendalam tentang pengalaman pekerja dan sistem analisis sangat penting untuk mencapai hasil yang optimal.

### D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dibuat sub judul sendiri. Dimana bagian ini merupakan bagian utama artikel. Pada hasil dapat disajikan dengan tabel atau grafik, untuk memperjelas hasil secara verbal. Sedangkan pada pembahasan merupakan bagian terpenting dari keseluruhan isi artikel ilmiah. Tujuan pembahasan adalah: Menjawab masalah penelitian, menafsirkan temuan-temuan, mengintegrasikan temuan dari penelitian ke dalam kumpulan pengetahuan yang telah ada dan menyusun teori baru atau memodifikasi teori yang sudah ada.

Stasiun Masakan adalah tempat di mana nira kental (*massecuite*) hasil dari proses penguapan dimasak dan diproses lebih lanjut untuk menghasilkan kristal gula. Proses ini, yang dikenal sebagai kristalisasi, bertujuan untuk memperoleh sukrosa dalam bentuk kristal dari larutan nira kental dengan mengatur suhu, tekanan, dan tingkat kejenuhan larutan hingga terbentuk kristal yang memenuhi standar

kualitas. Tujuan utama dari stasiun masakan adalah mengekstraksi sakarosa sebanyak mungkin dalam bentuk kristal. Proses ini dilakukan dengan mengurangi kadar udara dari nira kental melalui pemanasan dalam kondisi vakum, yang berlangsung di dalam alat yang disebut ketel masak (*vacuum pan*). Selama proses ini, 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 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 penguapan terjadi 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 pecah 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 2025 :

Tabel 1. Spesifikasi Pan Masakan

Data	PP Pan 1-8	PP Cooking Pan D
Merek	SED ( <i>Spray Engineering Devices Limited</i> )	SED ( <i>Spray Engineering Devices Limited</i> )
Jenis	1000 30 TB	1100 20 TPH
Tahun	2014	2014
Konsumsi Air (m <sup>3</sup> /jam)	408	438
Panjang Badan (m)	3	3
Diameter Badan (mm)	1000	1100
Panjang Pipa Jatuh (m)	11	11
Diameter Pipa (mm)	225	225
Bahan	Stainless Steel 316 / 8 mm	Stainless Steel 316 / 8 mm

Sumber : Data PG.Djombang Baru

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

#### 1. Pan Masakan



Gambar 1 : Pan Masakan

Pan memiliki peran penting dalam proses pengolahan gula, berfungsi untuk memanaskan nira kekentalan masakan hingga mencapai konsentrasi yang diinginkan. Proses pemasakan ini sangat krusial untuk menghilangkan kandungan air dalam nira, sehingga gula yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik. Biasanya, pan masakan 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 udara akan menguap dan konsentrasi gula akan meningkat. Desain pan masakan juga mempertimbangkan kemudahan 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 kental nira yang diproses dapat mencapai kualitas optimal sebelum masuk ke tahap selanjutnya.

Selama magang, kami berkesempatan untuk menyaksikan proses pemasakan nira secara langsung dan memahami bagaimana pan masakan berkontribusi pada efisiensi dan kualitas produksi gula. Pengalaman ini memberikan wawasan 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. Di stasiun masakan, terdapat delapan panci masakan yang digunakan untuk berbagai jenis gula. Pan masakan 1 dan 2 digunakan untuk memasak gula D1, pan masakan 3 digunakan untuk memasak gula C, sedangkan pan masakan 4 hingga 8 digunakan untuk memasak gula A. Dengan pengaturan ini, pabrik dapat mengoptimalkan proses pemasakan dan memastikan bahwa setiap jenis gula diproses dengan cara yang sesuai untuk mencapai kualitas yang diinginkan.

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)

Analisis efisiensi di Palung D menunjukkan terdapat tujuh unit kaeltroog yang masing-masing memiliki kapasitas bervariasi antara 200 hingga 290 hektoliter. Kapasitas ini dapat berfluktuasi tergantung pada volume nira yang diproses dari alat pan masakan. Kaeltroog berfungsi sebagai tahap awal dalam proses pendinginan masecuite, yang merupakan campuran antara kristal gula dan larutan molase, sebelum dialirkan ke Mono Vertical Cristalizer untuk memproses lebih lanjut. Dalam sistem

ini, pengisian minimum tiap kaeltroog adalah 180 hektoliter, dengan waktu pendingin standar yang biasanya memakan waktu sekitar 24 jam.

Sistem pengadukan yang terdapat di dalam kaeltroog memiliki peran yang sangat penting. Pengaduk ini tidak hanya berfungsi untuk mencegah pengentalan massa, tetapi juga berperan dalam mempercepat penurunan suhu. Dengan pengadukan yang efektif, Masecuite dapat lebih cepat mencapai suhu optimal yang diperlukan sebelum melanjutkan ke tahap pemrosesan berikutnya. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa kualitas gula yang dihasilkan memenuhi standar industri yang ditetapkan. Desain kaeltroog mencakup beberapa komponen kunci yang saling berinteraksi untuk mencapai efisiensi maksimal. Komponen tersebut meliputi bak pendingin, sistem pengaduk yang dilengkapi dengan pengaduk, roda gigi transmisi, dan motor penggerak listrik. Selain itu, terdapat talang penghubung antar palung yang aliran massal yang lancar dan efisien. Bahan pipa yang digunakan dalam sistem ini adalah stainless steel grade 316, yang dipilih khusus karena ketahanannya terhadap korosi, terutama dalam lingkungan yang tinggi klorida, yang umum ditemui dalam proses pengolahan gula.

Temuan dari analisis ini memberikan wawasan berharga untuk pengembangan rekomendasi peningkatan efisiensi sistem pendinginan. Dengan mempertimbangkan penggunaan material berkualitas dan desain yang tepat pada komponen kaeltroog, pabrik dapat meningkatkan kinerja sistem secara pendinginan menyeluruh. Peningkatan efisiensi ini tidak hanya akan memberikan kontribusi pada kualitas produk akhir, tetapi juga dapat mengurangi biaya operasional dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Oleh karena itu, implementasi rekomendasi yang dihasilkan dari analisis ini diharapkan dapat mendukung ketidakpuasan dan daya saing Pabrik Gula Djombang Baru di pasar yang semakin kompetitif.

Berikut kami jelaskan data rinci dengan berupa tabel :

Tabel 2. Data Palung Pendingin Kaeltroog D

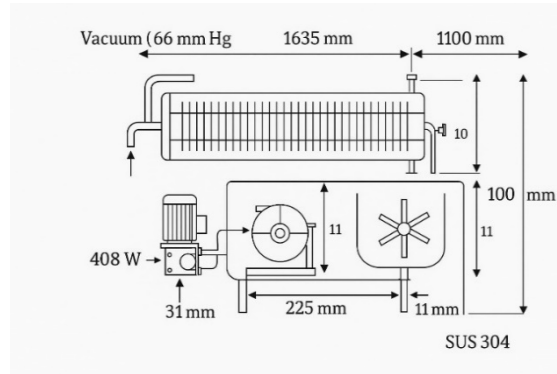
Data Unit Kaeltroog	Max Penuh Kapasitas	Estimasi Waktu Masecuite
1D	Max 230 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
2D	Max 290 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
3D	Max 290 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
4D	Max 290 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
5D	Max 290 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
6D	Max 270 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
7D	Max 270 HL	24 Jam (Tidak Menentu)
REALISASI SEMUA D PALUNG DI ISI		Sek. 180 HL (Tidak menentu sesuai Nira yang dari Pan Masakan)

Sumber : Data PG.Djombang Baru



Gambar 3. Visual Pengaduk di Dalam Kaeltroog

Di dalam palung pendingin (Kaeltroog) terdapat bilah-bilah pengaduk untuk masecuite, berfungsi supaya masecuite 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

Dari hasil analisis, kami menyimpulkan bahwa salah satu mesin kristalisasi di PG. Djombang Baru menggunakan sistem pendingin yang terdiri dari palung pendingin kaeltroog dan pipa pendingin dengan berbagai jenis material. Palung pendingin ini berfungsi untuk menampung dan mendinginkan kristal hasil dari masakan yang baru turun dari panci masakan. Posisi palung terletak tepat di bawah pan masakan, dan dilengkapi dengan pengaduk yang berfungsi untuk mencegah terjadinya penggumpalan atau pengerasan pada masakan gula. Saat masakan turun ke palung pendingin melalui talang masukan, palung akan berputar perlahan-lahan, sehingga proses pendinginan dapat berlangsung secara merata. Sistem ini sangat penting untuk menjaga suhu massa kristal (*massecuite*) agar tetap stabil dan optimal untuk pertumbuhan kristal gula.

Pipa yang digunakan dalam sistem ini adalah stainless steel tipe 316, yang sangat cocok untuk aplikasi di pabrik gula, termasuk pada alat kaeltroog atau palung pendingin. Ketahanan pipa ini terhadap korosi dan suhu tinggi menjadikannya pilihan 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 dalam komposisinya meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang mengandung klorida, seperti air laut. Dengan kekuatan tarik sekitar 549 MPa (84 Ksi) dan kemampuan

bertahan pada suhu maksimum hingga 800°C (1472°F), stainless steel 316 menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan dan daya tahan tinggi.

Menurut informasi dari sumber yang relevan, baja tahan karat 316 terdiri dari 16% kromium, 10% nikel, dan 20% molibdenum. Kandungan ini membuatnya 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, menjadikannya lebih mahal namun sangat efektif dalam aplikasi industri. Dalam penggunaannya, stainless steel 316 juga memiliki daya tahan yang lebih lama, dengan sifat tahan karat, kuat, dan awet, memungkinkan penggunaan dalam jangka waktu yang panjang. Material ini 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, stainless steel 316 mudah dibersihkan dan memerlukan perawatan yang minimal, menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk aplikasi di industri.

Sifat non-magnetik dari stainless steel 316 juga 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, dimana proses annealing atau penganilan dapat dilakukan pada suhu antara 1010-1120°C. Stainless steel 316 dapat diproses menggunakan mesin dengan sudut pemotongan yang tajam, dan pemotongan harus dilakukan dengan ringan namun cukup dalam untuk mencegah pengerasan material.

Pipa tipe 316, yang memiliki kandungan molibdenum lebih tinggi sekitar 2-3%, meningkatkan ketahanan pipa terhadap korosi, terutama dalam lingkungan yang keras seperti udara laut atau area dengan kadar klorida tinggi. Oleh karena itu, kami dapat menyimpulkan bahwa 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. Kekuatan yang baik dari pipa ini memungkinkan untuk menahan tekanan dan beban yang terjadi selama proses produksi.

Jenis material pipa 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 terjadi kontaminasi. 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 yang unggul, menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk aplikasi di industri gula.

#### E. Kesimpulan dan Saran

Proses kristalisasi gula di stasiun masakan merupakan tahap krusial dalam industri pengolahan gula, di mana massa dipanaskan dan diproses untuk menghasilkan kristal gula berkualitas tinggi. Dalam proses ini, pengaturan suhu, tekanan, dan tingkat kejenuhan larutan memungkinkan ekstraksi sakarosa secara efisien. 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.

Di satuan PG. Analisis Djombang Baru, efisiensi palung pendingin (kaeltroog) menunjukkan bahwa alat ini berfungsi untuk mendinginkan massa sebelum diproses lebih lanjut di *Mono Vertical Crystalizer*. Kaeltroog terdiri dari tujuh unit, masing-masing memiliki kapasitas maksimum antara 200 hingga 290 hektoliter, tergantung pada jumlah massecuite yang dihasilkan dari alat pan masakan. Proses pendinginan berlangsung selama 24 jam, dengan pengisian minimal sekitar 180 hektoliter. Sistem pengaduk yang terdapat di dalam kaeltroog sangat penting untuk mencegah pengentalan massa dan mempercepat penurunan suhu, sehingga massa dapat mencapai suhu yang diinginkan dengan lebih efisien. 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 tekanan pentingnya desain yang tepat untuk meningkatkan proses pendinginan dalam industri pengolahan massal. Secara keseluruhan, proses kristalisasi yang efektif dan efisien di stasiun masakan, ditunjang oleh sistem pendingin 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

**Berikut saran penelitian dapat dikembangkan :**

**1. Optimalisasi Parameter Operasi Kaeltroog**

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji pengaruh variasi suhu awal, waktu pendinginan, dan kecepatan pengadukan terhadap *viskositas massequite* dan ukuran kristal gula yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menentukan kondisi operasi optimum untuk meningkatkan efisiensi pendinginan dan kualitas kristal.

**2. Evaluasi Kinerja Sistem Pengaduk**

Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai desain dan kinerja sistem pengaduk pada *kaeltroog*, termasuk bentuk sudu, kecepatan putar, dan konsumsi energi. Kajian ini bertujuan untuk mencegah pengentalan *massequite* secara lebih efektif serta meningkatkan efisiensi perpindahan panas.

**3. Pengembangan dan Perbandingan Material Konstruksi**

Penelitian selanjutnya dapat membandingkan penggunaan stainless steel tipe 316 dengan material alternatif lainnya dari segi ketahanan korosi, umur pakai, dan biaya operasional, khususnya dalam lingkungan pengolahan gula yang bersifat korosif.

**4. Integrasi Sistem Pendinginan dengan *Mono Vertical Crystalizer***

Disarankan adanya penelitian mengenai sinkronisasi kinerja *kaeltroog* dengan *Mono Vertical Crystalizer*, guna mengetahui pengaruh suhu dan kondisi *massequite* hasil pendinginan terhadap laju pertumbuhan kristal dan rendemen gula.

**5. Analisis Efisiensi Energi dan Biaya Operasional**

Penelitian lanjutan dapat difokuskan pada analisis efisiensi energi selama proses pendinginan *massequite* di *kaeltroog*, termasuk potensi penerapan teknologi hemat energi atau sistem otomasi untuk menekan biaya produksi.

**6. Studi Pengaruh Pendinginan terhadap Kualitas Produk Akhir**

Perlu dilakukan kajian yang menghubungkan karakteristik pendinginan *massequite* (waktu, suhu, dan *homogenitas*) dengan mutu gula kristal yang dihasilkan, seperti ukuran kristal, warna, dan kadar kemurnian, agar diperoleh standar operasional yang lebih terukur.

Saran-saran penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknologi dan peningkatan kinerja proses kristalisasi gula, khususnya pada sistem pendinginan *massequite* di industri gula.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- 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](mailto:haridiaA@IngggrisP.ac).
- Jami, A., & Santoso, B. (2019). Desain sistem pendingin primer reaktor triga pelat. *PRIMA-Aplikasi dan Rekayasa dalam Bidang Iptek Nuklir*, 16(1), 34-42.
- 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 Indústrias 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>