

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi minuman dalam bidang pangan sangat berkembang pesat. Di Indonesia, sangat banyak aneka ragam minuman yang tersedia salah satunya adalah sirup. Menurut Suprpti (2005) dalam Wijana et al., (2016), sirup merupakan larutan kental yang memiliki kadar gula tinggi terlarut dan tidak memiliki kecenderungan pengendapan kristal gula. Dengan penggunaan formulasi yang sesuai, akan menghasilkan sirup dengan kualitas yang baik. Saat ini sirup sangat digemari dari berbagai kalangan dari anak – anak maupun dewasa karena dibuat dengan berbagai macam rasa, salah satunya adalah vanilla.

Vanilla adalah rasa yang banyak digunakan dalam industri makanan. Ekstrak vanilla banyak digunakan sebagai bahan perisa dalam kopi, teh, susu dan rasa lainnya (Tombe, 2010). Dengan banyaknya pengolahan vanilla sebagai salah satu rasa yang khas pada makanan dan minuman maka diperlukan inovasi lebih lanjut untuk produk lain yang memiliki rasa vanilla, salah satunya sirup. Dalam penggunaan vanilla sebagai perasa makanan dibutuhkan ekstrak dari vanilla. Namun karena proses pembuatan sirup menggunakan suhu yang tinggi sehingga lebih baik menggunakan esense vanilla yang tahan terhadap suhu tinggi.

Pada era saat ini sumber daya manusia dan teknologi dalam bidang pangan sangat berkembang pesat, tenaga kerja ahli dibutuhkan untuk memahami proses produksi dalam skala industri (Steen, 2006). Program Studi Teknologi Pangan Universitas Katolik Soegijapranata akan memfasilitasi kebutuhan ini melalui pengajaran yang berkaitan dengan proses produksi dengan praktik langsung. Salah satu fasilitas yang dibutuhkan adalah *pilot plant*. Produksi sirup dengan rasa vanilla memerlukan suatu perancangan terlebih dahulu yang dapat dilakukan dalam skala *pilot plant*.

Pilot plant merupakan perancangan formulasi, proses, serta penggunaan mesin dan tata letak dalam skala kecil jika dibandingkan dengan industri secara komersial. Hal ini digunakan untuk mengurangi terjadinya *trial and error*, pada saat digunakan untuk

skala besar. Namun dalam menentukan tata letak *pilot plant*, jenis *pilot plant*, dan pola aliran yang akan digunakan perlu diperhatikan terlebih dahulu. Dengan demikian teknologi pangan merupakan tempat untuk pembelajaran dalam memproduksi suatu produk pangan yang berawal dari skala laboratorium, kemudian skala *pilot plant*, dan yang terakhir skala pabrik. *Pilot plant* memberikan manfaat yang penting sebelum produk tersebut diproduksi menjadi skala komersial yang besar. Oleh karena itu tugas akhir ini perlu dilakukan untuk mengkaji mengenai perancangan *pilot plant* dalam memproduksi sirup vanilla. Sistem ini memungkinkan proses pembelajaran untuk pemodelan proses dapat berlangsung dalam skala kecil (Sharma dan Khumbar, n. d; Dhabole et al., 2018), sehingga dapat meningkatkan pemahaman dan pengalaman mahasiswa.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1. Sirup

Sirup adalah larutan dengan kadar gula tinggi (minimal 65%) dengan kekentalan tertentu, sehingga berbentuk cairan kental dan pekat (Zulfadli et al., 2018). Menurut Zaldiansyah (2018), sirup adalah bahan cair yang merupakan larutan gula dalam air. Penggunaan sirup tidak langsung diminum tetapi harus diencerkan terlebih dahulu. Satuhu (2004) dalam Fitri et al., (2017) menjelaskan bahwa pengenceran dilakukan karena kadar gula dalam sirup yang terlalu tinggi yaitu antara 55-65%. Gula memiliki peran dan fungsi yang besar dalam industri minuman. Menurut Sularjo (2010) dalam Fitri et al., (2017), gula dapat berfungsi sebagai sumber nutrisi, sebagai pembentuk tekstur dan pembentuk flavor melalui reaksi pencoklatan. Untuk memperoleh tekstur dan penampakan yang ideal, penambahan gula sangat diperlukan.

Bahan utama pembuatan sirup adalah pemanis dan pelarut, tetapi dapat juga ditambahkan pengental, pengawet, esens (pemberi aroma), dan pewarna (Wulandari *et al.*, 2018). Menurut Kamal (2010), salah satu bahan yang berperan dalam pembuatan sirup adalah pengental yang dapat digunakan untuk meningkatkan viskositas dan menurunkan kadar air. Selain itu pengental juga dapat berfungsi sebagai penstabil untuk mengurangi pengendapan pada sirup serta mengikat sukrosa sehingga tingkat kemanisan

dapat dikontrol (Rahmaningtyas *et al.*, 2016). Adapun penjelasan setiap bahan baku utama untuk pembuatan sirup seperti dikutip dari dapat dilihat di bawah ini.

a. Air

Dari sudut pandang kimia, air adalah zat organik dengan rumus molekul H^2O . Air bertindak sebagai media reaksi antara pengental dan bahan lainnya. Saat menggunakan air untuk sirup, penting untuk diingat bahwa air itu bersih, tidak berasa, tidak berbau, tidak mengandung zat padat, dan tidak mengandung bakteri.

b. Gula

Sirup adalah salah satu minuman olahan yang dibuat untuk memperpanjang umur simpannya dengan menambahkan gula dalam jumlah tertentu, namun umumnya konsentrasi gula dalam sirup minimal 65% . Tingginya kandungan gula pada sirup mempengaruhi rendahnya kemampuan mikroba untuk tumbuh di dalamnya (Dwita, 2019). Gula dapat berfungsi sebagai sumber nutrisi, sebagai pembentuk tekstur dan pembentuk flavor.

c. CMC

CMC merupakan bahan tambahan pangan hidrokoloid yang banyak digunakan dalam industri pangan berupa garam natrium *carboxy methyl cellulose* (Wati, 2016). CMC dapat bertindak sebagai pengikat air, pengental dan penstabil dalam makanan dan minuman (Kamal, 2010). CMC memiliki sifat hidrofilik, *inert*, larut dalam air panas dan dingin, tetapi tidak larut dalam larutan organik (alkohol, etil, asetat, ester, keton, eter, dll.), stabil dalam lemak, tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tahan terhadap panas ($> 300 \text{ }^\circ \text{C}$) (Kamal, 2010). CMC banyak digunakan di berbagai industri karena mudah didapat, relatif murah, dan mudah larut dalam air. Namun, penggunaan CMC dapat meningkatkan kekeruhan sirup (Kamal, 2010).

d. Asam Sitrat

Asam sitrat merupakan salah satu produk komersial yang penting di dunia maupun di Indonesia. Besarnya penggunaan asam sitrat dalam industri makanan dan minuman disebabkan oleh sifat menguntungkan dari asam sitrat ketika dicampur, yaitu kelarutan yang relatif tinggi, tidak beracun dan lebih menghasilkan rasa asam. Kegunaan lain adalah sebagai pengawet, mencegah kerusakan warna dan aroma, menjaga kekeruhan, menghambat oksidasi, menggelapkan warna kembang gula, selai dan jeli, serta mengatur pH (Sasmitaloka, 2017). Kegunaan asam sitrat adalah

sebagai zat pemberi cita rasa dan pengawet makanan dan minuman, terutama minuman ringan. Sifat sitrat sebagai larutan penyangga digunakan sebagai pengendali pH dalam larutan. Asam sitrat dapat pula ditambahkan pada es krim untuk menjaga terpisahnya gelembung-gelembung lemak. Dalam resep makanan, asam sitrat dapat juga digunakan sebagai pengganti sari jeruk. (Ahira, 2012).

Ada beberapa tahap produksi yang terlibat dalam pembuatan skala pabrik sirup komersial. Setiap tahapan memiliki peran tertentu dalam mencapai spesifikasi produk yang diinginkan. Langkah-langkah proses umum dapat dilihat pada penjelasan berikut, dan urutan proses produksi dapat dilihat pada diagram alir berikut.

1. Proses Pemasakan Gula

Pertama, gula disaring terlebih dahulu agar terbebas dari pengotor. Setelah itu, gula dicampur dengan air yang telah dipanaskan dan disterilkan. Pemasakan gula dilakukan didalam tangki *stainless steel*. Menurut Asmawati *et al.*, (2018) semakin tinggi konsentrasi gula yang ditambahkan maka semakin tinggi pula kadar gula pereduksinya. Peningkatan kadar gula pereduksi disebabkan oleh proses inversi sukrosa dalam gula pereduksi, dan proses inversi ini meningkat sesuai dengan peningkatan kadar sukrosa, selain itu selama pemanasan terjadi proses hidrolisis sukrosa menjadi gula pereduksi (glukosa dan fruktosa).

2. Pencampuran

Proses pencampuran berfokus pada pencampuran larutan gula dengan bahan tambahan lain seperti perasa, pewarna, dan asam sitrat. Proses ini dilakukan dalam tangki pencampuran *stainless steel*. Pencampuran tersebut tidak dilakukan ketika dipanaskan karena suhu tinggi dapat menyebabkan perubahan seperti tekstur, sifat sensori (warna, rasa, aroma), struktur karbohidrat, protein, lemak dalam bahan tambahan (Zuhra, 2006).

3. Pencucian botol

Botol yang akan digunakan dicuci terlebih dahulu di mesin cuci botol. Pencucian botol menggunakan air panas untuk menghilangkan mikroorganisme yang ada. Penggunaan air panas berkisar antara 50-75°C ditujukan sebagai bentuk sterilisasi botol untuk menghindari dari mikroorganisme seperti *E coli*, *S. aureus*, *Salmonella*

sp. Pencucian ini juga menghilangkan debu dan serbuk kaca halus yang masih tertinggal di dalam botol.

4. *Filling*

Pengisian sirup ke dalam botol dilakukan secara aseptik dengan mesin *filling*. Dengan pengisian ini botol tidak boleh penuh atau harus menyisakan ruang untuk kepala. Menurut Fajri *et al.* (2017) dan Faruqi *et al.* (2014). volume *headspace* yang disarankan minimal 4 cm. Ruang kepala yang berlebihan dapat meningkatkan kemungkinan oksidasi dan merusak produk. Botol kemudian ditutup dengan tutup tahan korosi menggunakan mesin pembungkus botol otomatis. Tutup botol *crop* terbuat dari baja lembaran yang dilapisi dengan gabus atau pelapis PVC untuk mencegah kebocoran.

5. Pemberian label

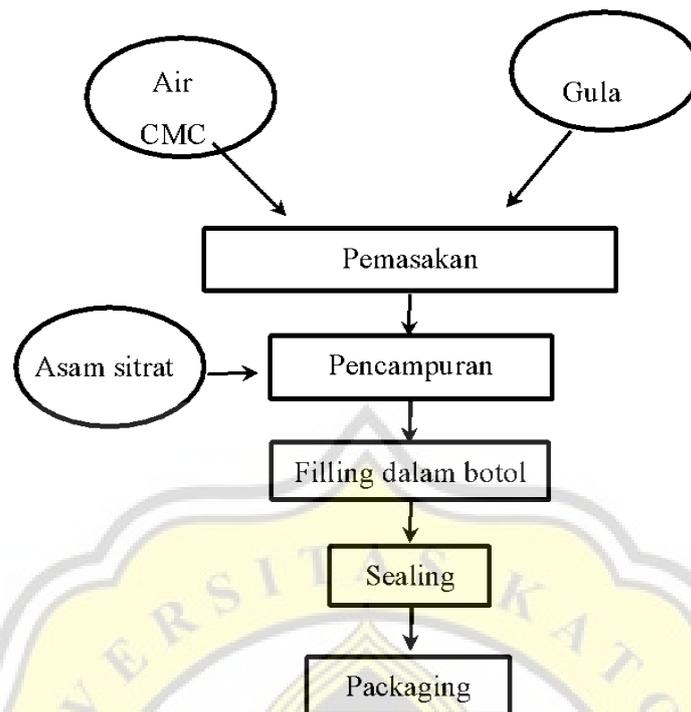
Setelah botol ditutup, pemberian label dilakukan di mesin. Hal ini untuk memberikan informasi produk dan menunjukkan kepemilikan sirup. Selain itu, juga memuat informasi tentang komposisi produk, informasi kehalalan, cara penggunaan, dan tanggal kadaluarsa

6. *Sealing*

Setelah diberi label, botol diberi segel. Setelah segel dimasukkan, segel dilewatkan mesin pemanas supaya segel dapat mengikuti bentuk bagian atas botol. Segel diberikan untuk mencegah pemalsuan produk, serta menjaga kualitas produk.

7. *Packaging*

Selain produk memiliki kemasan sekunder yaitu botol kaca, memerlukan sekunder untuk dapat dipasarkan. Kemasan sekunder ini berfungsi untuk melindungi produk dari kerusakan serta menambah tingkat ketertarikan dalam pembelian atau meningkatkan daya tarik konsumen.



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Sirup

Keterangan :

Oval merupakan bahan baku dan persegi merupakan proses pengolahan

Di Indonesia, standar mutu sirup diatur dalam SNI 3544 untuk sirup. Standar mutu atau spesifikasi persyaratan sirup yang diatur dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Persyaratan Sirup

No.	Kriteria uji	Satuan	Persyaratan
1	Keadaan:		
1.1	Bau	-	normal
1.2	Rasa	-	normal
2	Total Gula (dihitung sebagai sukrosa) (b/b)	%	min. 65
3	Cemaran logam	-	
3.1	Timbal (Pb)	mg/kg	maks. 1,0
3.2	Kadmium (Cd)	mg/kg	maks. 0,2
3.3	Timah (Sn)	mg/kg	maks. 40
3.4	Merkuri (Hg)	mg/kg	maks. 0,03
4	Cemaran Arsen (As)	Mg/kg	Maks. 0,5
5	Cemaran Mikroba :		
5.1	Angka lempeng total (ALT)	Koloni/mL	Maks. 5 x 10
5.2	Bakteri <i>Coliform</i>	APM/mL	Maks. 20
5.3	<i>Escherichia coli</i>	APM/mL	< 3

5.4	<i>Salmonella sp</i>	-	Negatif/25 mL
5.5	<i>Staphylococcus aureus</i>	-	Negatif/mL
5.6	Kapang dan khamir	Koloni/mL	Maks. 1×10^2

Sumber: SNI 3544:2013

1.2.2. Vanila

Vanili (*Vanilla planifolia Andrews*) merupakan salah satu tanaman rempah-rempah yang tumbuh di negara tropis seperti Indonesia. Vanili memiliki beragam jenis manfaat di sektor pangan, khususnya sebagai *flavoring agent*, sedangkan di sektor non pangan dijadikan sebagai bahan baku parfum (Chandrayani, 2016). Tanaman ini dikenal luas di dunia sebagai penyedap makanan, minuman, kue, es krim, obat-obatan, dan sebagai bahan baku wewangian. Ekstrak vanila banyak digunakan sebagai bahan penyedap dalam kopi, teh, susu dan rasa lainnya (Tombe, 2010).

Vanili merupakan produk lokal yang tidak digunakan di dalam negeri, tetapi selalu diekspor karena permintaan global yang tinggi. Hingga saat ini vanili diekspor dalam bentuk kering dan belum diolah menjadi produk penyedap rasa karena teknologi proses yang belum dikuasai dengan baik. Menurut Aulia (2010) dalam Artana (2020), vanili memiliki aroma yang sangat harum dan umumnya digunakan sebagai bahan baku pembuatan es krim, penyedap makanan, parfum, kosmetik, diekstrak menjadi bubuk vanili dan dapat mengobati berbagai penyakit. Vanili juga dapat digunakan sebagai obat migrain atau sakit kepala dan sebagai obat bagi penderita darah tinggi yaitu menggunakan vanili batangan sebagai pengganti gula merupakan pola hidup sehat bagi penderita darah tinggi. Adapun hasil senyawa *volatile* vanila dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Dengan banyaknya kegunaan vanila dan banyaknya olahan yang berbahan dasar vanila maka, penggunaan vanila kali ini dapat mendukung dalam pembuatan sirup berskala *pilot plant*

Tabel 2. Senyawa Volatile Vanila

Nama	Aroma
Asam Alifatik	
Asam format	Pedas kuat, <i>irritating</i>
Asam asetat	Asam, <i>vinegar</i> , <i>pedas</i>
Asam propionate	Pedas, agak mirip keju
Alkohol Alifatik	

Furaneol	Buah, gosong, gula
Maitol	Gula, kapas, manis
Ester Alifatik dan Lakton	
2-asetil-2-hidroksi-gamma	Mirip kelapa
Keton Aromatik	
3-hidroksi-2-butanon	Mirip mentega
Aldehid Aromatik	
4-hidroksibenzaldehid vanillin	Sangat manis, vanili
Hidrokarbon Alifatik	
2,4-dimetil-1,3-dioksan-pentanal	Mentah, minyak

Sumber: Setyaningsih, (2007)

Ekstrak vanila dibuat dengan merendam biji vanili dalam campuran air dan etil alkohol. Ekstraknya mendapatkan rasa vanila khasnya dari molekul yang disebut vanillin yang ditemukan dalam biji vanila (Nadia B, 2016). Standar untuk ekstrak vanila murni berbeda-beda di setiap negara. Di Amerika Serikat, Food and Drug Administration (FDA) menyatakan bahwa produk akhir harus mengandung setidaknya 35% alkohol dan 13,35 ons (380 gram) biji vanili per galon. Selama memenuhi standar ini, ekstrak vanila mungkin juga mengandung sedikit pemanis, termasuk gula, sirup jagung, atau dekstrosa. Ekstrak vanila murni terbuat dari polong kacang vanila matang yang telah berumur selama 3-4 bulan, memungkinkan mereka untuk mengembangkan rasa vanila yang khas, termasuk kadar vanillin. Ditambahkan campuran air dan etil alkohol. Alkohol mengeluarkan vanilin dan senyawa lain, yang meresap ke dalam cairan. bisa menjadi proses yang memakan waktu. Produsen makanan dapat menciptakan kondisi lingkungan untuk mempercepat proses ekstraksi. Namun, di dapur rumah, campuran tersebut harus bertahan hingga 12 bulan sebelum siap digunakan (Lidia et al., 2021).

Esensi vanila, juga dikenal sebagai ekstrak vanila buatan, biasanya dibuat menggunakan air, etanol, propilen glikol, pengemulsi, dan rasa dan warna yang diproduksi secara kimia. Seperti ekstraknya, esens vanila mendapatkan rasanya dari vanillin tetapi ini adalah versi (sintetis) buatan laboratorium yang jauh lebih murah daripada menggunakan biji vanili.

Castoreum sekresi dari kelenjar anal berang-berang yang memiliki bau yang mirip dengan vanilla sering dikabarkan sebagai bahan utama dalam esens vanila. Namun, castoreum jarang digunakan dalam makanan.

Umumnya, ekstrak vanila asli paling baik untuk hidangan yang tidak dimasak atau mengandalkan vanila sebagai rasa utama, sedangkan esens vanila mungkin lebih cocok untuk makanan panggang atau menggunakan suhu tinggi yang tidak memerlukan vanila yang kuat (Savanna and Keli, 2022).

1.2.3. *Pilot plant*

Pabrik adalah tempat atau bangunan dimana bahan baku diproduksi secara teknologi. Sedangkan menurut Undang-Undang Perindustrian Nomor 3 Tahun 2014, industri adalah suatu kegiatan yang dapat mengolah bahan baku dengan menggunakan sumber daya untuk menghasilkan barang jadi yang memiliki nilai tambah. Produksi pangan adalah suatu kegiatan dalam suatu proses yang dapat menghasilkan, menyiapkan, mengolah, membuat, mengawetkan, mengemas, mengemas kembali, dan melakukan perubahan pada pangan, baik dari segi bentuk, kandungan, maupun warna pangan yang dihasilkan.

Pilot plant yaitu sistem produksi skala kecil untuk melihat apakah suatu sistem dan fasilitas yang dirancang berjalan dengan baik, sehingga *pilot plant* dapat dikatakan tiruan pabrik. Tahap *pilot plant* merupakan tahapan yang dapat menjadi jembatan dalam mendukung produksi skala yang lebih besar karena akan sulit jika diterapkan langsung dari skala laboratorium hingga skala besar. Produk yang dibuat di laboratorium akan dievaluasi, dikoreksi dan prosesnya dikembangkan dan digunakan untuk membuat keputusan dalam pengembangan proses skala besar (Hafni L, 2016).

Pilot plant bekerja sedemikian rupa sehingga konsumen dapat mempertahankan dan menerima kualitas produk. Artinya produk yang dibuat dalam skala laboratorium memiliki konsistensi yang sama ketika dibuat dalam skala industri, jadi *pilot plant* adalah tahap terpenting untuk memproduksi produk dalam skala yang lebih besar. Hal ini penting karena proses produksi dirancang untuk memiliki kapasitas yang lebih tinggi, namun kualitas atau mutu produk yang dihasilkan harus sesuai dengan produksi skala laboratorium agar produksi skala *pilot plant* berlangsung ketika proses pembuatan produk skala laboratorium sudah optimal (Hambali, 2006).

Menurut Whalley (2016), perbedaan antara spesifikasi *pilot plant* dan pabrik komersial mungkin disebabkan oleh tujuan yang berbeda. *Pilot plant* dirancang dan dibangun sehingga dapat belajar tentang proses untuk membuat keputusan tentang teknologi baru atau konfigurasi proses lainnya. *Pilot plant* dimaksudkan untuk menyelidiki masalah potensial dan menemukan alternatif untuk merancang dan menguji sebelum pindah ke produksi skala besar (pabrik komersial). Oleh karena itu, Whalley (2016) menyatakan bahwa terdapat perbedaan target antara *pilot plant* dan pabrik komersial, yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan antara *Pilot plant* dan Pabrik Komersial

Tujuan <i>Pilot-Plant</i>	Tujuan Pabrik (<i>Commercial-Plant</i>)
<ul style="list-style-type: none"> • Mengumpulkan data untuk tahap <i>scale-up</i> • Menyerupai proses sesungguhnya secara akurat untuk mendapatkan hasil yang representatif. • Mencari permasalahan dan solusi • Memperkirakan efek dari <i>impurities build-up</i> dari aliran proses • Menguji konfigurasi ganda dan kondisi operasi • Menjaga fleksibilitas untuk rekonfigurasi berkala • Memungkinkan <i>start-up</i> yang lebih mudah • Memperhitungkan proses antara 	<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan produk untuk memaksimalkan penghasilan dan meminimalkan pengeluaran • Menjaga kualitas produk yang konsisten dan <i>reproducible</i> • Menjaga proses tetap efisien • Menggunakan sumber daya dengan efisien • Mengurangi biaya dengan mencegah terjadinya kerusakan mesin • <i>Troubleshoot</i> tanpa pemberhentian proses • Proses produksi yang berkelanjutan

Sumber: Adam Whalley (2016)

Pilot plant adalah kumpulan peralatan yang dirancang dan dibangun untuk mengevaluasi aspek-aspek penting dari aliran proses untuk penelitian dasar. Menurut Palluzi (2014) ada beberapa tujuan saat mengoperasikan proses di *pilot plant*, yaitu:

- Mengkonfirmasi kelayakan proses yang dirancang
- Menyediakan data desain baik produk maupun selama proses
- Menentukan kelayakan ekonomi atau sebuah proses baru

- d. Menentukan konstruksi bahan secara optimal
- e. Menguji pengoperasian skema kontrol
- f. Menentukan luas perawatan mesin sudah sejauh mana
- g. Memproduksi jumlah produk yang cukup untuk evaluasi pasar
- h. Memperoleh data kinetik
- i. Mengkonfirmasi bahwa teknologi yang digunakan sudah cukup maju
- j. Menyediakan data untuk menjadi solusi masalah yang timbul pada *scale-up*
- k. Mengetahui bahaya yang mungkin muncul selama proses
- l. Mengevaluasi bahaya yang timbul pada saat proses
- m. Menentukan biaya operasional

Pilot plant dapat dibagi menjadi beberapa kriteria, salah satunya berdasarkan ukuran. Pembagian berdasarkan ukuran dihasilkan dari perhitungan partisipasi biaya konstruksi dan biaya selama operasi (Palluzi, 2014). Klasifikasi *pilot plant* menurut ukuran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi *Pilot plant* Berdasarkan Ukuran

Ukuran	Karakteristik
<i>Bench-top unit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran lebih kecil (kurang dari 2 m²), umumnya diletakkan di atas meja atau di dalam <i>hood</i> • Digunakan <i>tubing</i> yang kecil (diameter 3 – 6 mm) • Kapasitas produksi rendah
<i>Simple larger scale unit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Hanya terdiri dari beberapa unit operasi • Ukuran lebih besar (biasanya 10 – 25 m²) • Terletak di <i>open bay</i>, <i>walk-in hood</i>, atau dalam <i>containment cell</i>
<i>Integrated pilot plant</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Digunakan <i>tubing</i> dan pipa yang kecil (13 – 25 mm) • Umumnya proses produksi dilakukan secara kontinyu • Otomatisasi parsial atau penuh • Sistem <i>batch</i> digunakan pada <i>feed</i>, reagen, dan produk • Ukuran lebih besar (lebih dari 250 m²) dalam area atau bangunan khusus
<i>Demonstration unit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran sampai 1/10 dari pabrik komersial • Penggunaan pipa secara ekstensif

-
- Otomatisasi penuh
 - Sistem *feed*, reagen, dan produk dari penyimpanan besar dilakukan secara otomatis
-

Sumber: Palluzi (2014)

Pilot plant harus fleksibel dan mudah beradaptasi sehingga operator dapat dengan cepat melakukan perubahan pengaturan pengujian dan kondisi operasi untuk menentukan proses operasi yang optimal. Oleh karena itu, *pilot plant* harus didesain sefleksibel mungkin agar data yang terkumpul dapat mewakili. Fleksibilitas memungkinkan untuk mengkonfigurasi ulang urutan operasi unit, menambahkan operasi unit baru, dan menguji berbagai kondisi operasi (Whalley, 2016).

Menurut Palluzi (2014), desain *pilot plant* mempengaruhi semua aspek pendukung seperti biaya, operasi dan efektivitas. Palluzi (2014) juga menjelaskan bahwa perencanaan *pilot plant* dilakukan dalam beberapa tahap. Pada langkah pertama, diputuskan apakah *pilot plant* akan dirancang sebagai pemodelan proses atau sebagai analisis masalah. Pemodelan proses mereproduksi unit operasi tertentu, tetapi dalam skala yang lebih kecil. Kajian masalah yaitu perencanaan pabrik untuk melihat daerah mana yang akan dianalisa untuk memecahkan masalah tersebut. Pada langkah kedua, pendekatan alternatif ditempuh dengan menganalisis persyaratan seperti sumber daya operasional, konstruksi, biaya, dan skala yang digunakan. Tahap ketiga terdiri dari pemilihan jenis *pilot plant* yang akan digunakan, yang ditentukan pada tahap ini sesuai dengan desain tahap kedua, dan tahap pertama adalah tahap pendekatan alternatif.

Desain *pilot plant* harus diverifikasi terlebih dahulu agar tujuan yang diinginkan dapat tercapai. Oleh karena itu, ada kriteria yang membantu untuk menentukan spesifikasi desain *pilot plant* menurut Whalley (2016), yaitu:

- a. Menyelesaikan desain dan pembuatan dengan cepat untuk meminimalkan waktu yang diperlukan
- b. Menjaga keakuratan pengukuran
- c. Meminimalkan tata letak ruang *pilot plant*
- d. Merepresentasikan kondisi proses secara akurat
- e. Memastikan sistem yang berjalan aman

f. Meminimalkan biaya sistem

Selain desain ini menurut Wijani (2013), dalam menentukan *pilot plant* ada aspek lain yang perlu diperhatikan yang berkaitan erat dengan produk yang dihasilkan, yaitu:

1. Pengaruh terhadap produk, terdiri dari kondisi proses pada kualitas produk
2. Pengaruh terhadap bahan baku, terdiri dari karakteristik bahan baku
3. Pengaruh teknologi proses, terdiri dari kondisi proses yang memerlukan ekonomi seminimal mungkin, tetap menjaga kualitas produk.
4. Pengaruh terhadap evaluasi kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi pada sistem kontrol proses yang diterapkan.

1.2.4. Perancangan Pilot plant

1.2.4.1. Perancangan Luas Lantai Produksi

Menurut Wignjosoebroto (2009), perancangan area produksi mencakup perkiraan alokasi ruangan yang digunakan untuk mengkonfigurasi berbagai mesin/sistem produksi. Tata letak area lantai juga dapat dihitung sesuai dengan area mesin / sistem untuk produksi dan penanganan bahan, serta ruang untuk operator mesin (*allowance*). Area mesin/sistem dihitung berdasarkan dimensi panjang dan lebar, yang menempati area tertentu dari lantai produksi. *Allowance* penggunaan mesin/perangkat 150%, untuk *furniture* 15%. Area ruang produksi hasil perancangan dan hasil perhitungan berupa kombinasi area mesin/sistem dan *allowance*.

1.2.4.2. Perancangan Proses Produksi dan Aliran Proses

Menurut Nazaruddin (2008), terdapat tiga jenis perancangan proses produksi dengan ciri tersendiri yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jenis Perencanaan Proses Produksi

Perencanaan Proses	Tipe Tata Letak	Tipe Penempatan Produk	Pembagian Jenis	Ciri Khas
<i>Flow shop</i>	Lintasan (<i>line</i>) dan <i>product-oriented</i>	<i>Make to stock</i>	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Continuous flow</i> ● <i>Dedicated repetitive flow</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pergerakan produk sama sepanjang proses ● Penggunaan peralatan dan keahlian secara umum

		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mixed-model repetitive</i> • <i>Intermittent/batch flow</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Proses lebih fleksibel terhadap perubahan • Volume produksi besar
<i>Job shop</i>	Fungsional dan <i>process-Make to order oriented</i>	-	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan peralatan sesuai fungsi spesifik • Produksi sistem <i>batch</i> • WIP lebih besar dari <i>flow shop</i> • Volume produksi dan variasi produk sedikit • Mementingkan kualitas • Digunakan dalam pembuatan <i>prototype</i> dan <i>market testing</i>
<i>Site shop</i>	Posisi tetap dan <i>project-Make to order focused</i>	-	<ul style="list-style-type: none"> • Peralatan, tenaga kerja, dan material dibawa ke lokasi • Tenaga kerja langsung berkeahlian tinggi • Pesanan sedikit, rancangan khusus sesuai pesanan

Sumber: Nazarudin (2008)

Selain perencanaan proses produksi, penentuan pola aliran material menjadi hal penting sebelum pembuatan tata letak fasilitas. Melalui pola aliran, dapat diketahui gambaran dari proses pemasukan material hingga dihasilkan produk jadi. Terdapat lima pola aliran material yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pola Aliran Material

Pola Aliran	Ciri Khas	Kelebihan	Ilustrasi
<i>I-Flow</i> (Lurus)	<ul style="list-style-type: none"> • Cocok untuk proses produksi pendek/singkat dan sederhana • Penggunaan beberapa peralatan dan komponen yang umum 	<ul style="list-style-type: none"> • Jarak antara dua proses pendek • Proses mudah karena berupa urutan dalam garis lurus • Jarak perpindahan material antar peralatan minimal 	<pre> graph LR Store --> Turning Turning --> Milling Milling --> Press Press --> Plate Plate --> Assembly Assembly --> Warehouse </pre>

<p><i>U-Flow</i> (Bentuk U)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Digunakan agar bagian awal dan akhir produksi berada di bagian yang sama (produk kembali ke titik awal proses) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mempermudah penggunaan fasilitas transportasi bahan dan produk • Pengawasan bahan/produk dari dan menuju tempat proses lebih mudah diawasi 	
<p><i>S-Flow</i> (Bentuk S)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aliran proses patah-patah dengan membelokkan proses untuk menambah panjang garis aliran 	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diterapkan jika aliran proses lebih panjang daripada area produksi • Mengatasi keterbatasan area dan ukuran bangunan 	
<p><i>O-Flow</i> (Lingkar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Digunakan agar bagian awal dan akhir produksi berada di bagian yang sama (produk kembali ke titik awal proses) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mempermudah penggunaan fasilitas transportasi bahan dan produk • Pengawasan bahan/produk dari dan menuju tempat proses lebih mudah diawasi 	
<p><i>W-Flow</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aliran proses patah-patah dengan membelokkan proses untuk menambah panjang garis aliran 	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diterapkan jika aliran proses lebih panjang daripada area produksi • Mengatasi keterbatasan area dan ukuran bangunan 	

Sumber: Tim Dosen (2009)

1.2.4.3. Jenis Tata Letak (*Layout*) Sederhana

Jenis-jenis tata letak *pilot plant* secara sederhana dibagi menjadi beberapa jenis. Berikut ini adalah tipe desain sederhana menurut Muhammad Arif, (2017).

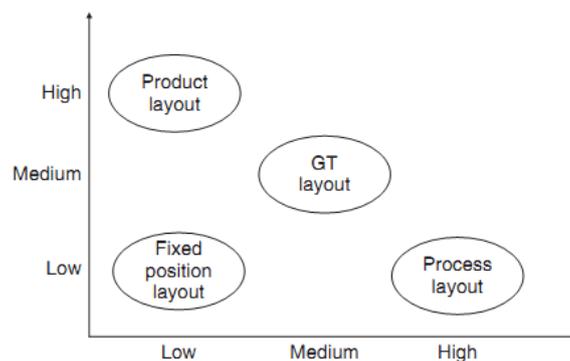
Tabel 7. Jenis Tata Letak Sederhana

Jenis Tata Letak	Ciri Khas	Kelebihan	Kekurangan
Produk atau <i>line</i>	• <i>Product-focused</i> dengan satu jenis	• Biaya <i>material handling</i> berkurang	• Cenderung tidak fleksibel terhadap

	<ul style="list-style-type: none"> • Produk bergerak berurutan dalam <i>line</i> produksi • Volume produksi tinggi • Utilitas mesin cukup tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • WIP lebih sedikit • Utilitas tenaga kerja lebih efisien • Hambatan produksi berkurang • Kontrol lebih efektif 	<ul style="list-style-type: none"> • Perubahan jenis dan volume produk • Tidak cocok untuk perusahaan yang mengubah volume produksi secara berkala
Proses atau fungsional (<i>layout by process</i> atau <i>jobshop layout</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Process-focused</i> dengan banyak jenis produk yang belum terstandarisasi • Fasilitas produksi dengan fungsi yang sama dikelompokkan ke dalam satu departemen kerja • Setiap departemen memiliki keahlian, fasilitas, dan proses yang sama • Volume produksi rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Lebih ekonomis • Utilisasi peralatan lebih baik • Fleksibilitas terhadap perubahan lebih tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya <i>material handling</i> lebih tinggi • Jarak perpindahan material lebih panjang • Inventori meningkat • <i>Cycle time</i> lebih panjang • Perencanaan dan kontrol lebih kompleks • Produktivitas berkurang
Posisi tetap	<ul style="list-style-type: none"> • Produksi satu jenis produk dengan biaya tinggi • Produk tidak mengalami perpindahan • Pekerja, peralatan, dan material datang ke lokasi produk • Proyek <i>on-site</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecenderungan merusak produk berkurang • Biaya perpindahan produk rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya pengangkutan peralatan sangat tinggi • Utilitas peralatan rendah

Sumber: Wignjosoebroto (2009)

Secara keseluruhan dan sebagai ringkasan, jenis tata letak yang dapat diterapkan sesuai dengan fasilitas produksi berdasarkan volume dan varietas produksi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. 1. Jenis Tata Letak Berdasarkan Volume-Varietas Produksi

Sumber: Heragu & Ekren (2010)

1.2.4.4. Perancangan Tata Letak (*Layout*) Pilot plant

Desain pabrik merupakan elemen fisik yang harus dipenuhi untuk menjamin kemajuan suatu pabrik dan harus sesuai dengan peraturan yang berlaku (Hadiguna dan Setiawan, 2008). Semua sistem aliran material harus dikelola sedemikian rupa sehingga diperlukan desain yang baik (Wignjosoebroto, 2009), sedangkan menurut Purnomo (2004) desain yang dirancang dengan baik akan memberikan pengaruh positif terhadap proses operasional di perusahaan, sehingga itu adalah kelangsungan hidup perusahaan dan keberhasilan perusahaan. Penggunaan sistem aliran material yang tidak tepat dapat menimbulkan masalah karena proses produksi di suatu perusahaan tidak berkembang secara keseluruhan (Ramos et al., 2012). Pembentukan tata letak pabrik harus direncanakan terlebih dahulu, dengan perencanaan yang terdiri dari perencanaan dan konfigurasi mesin, peralatan, aliran material dan orang-orang yang bekerja dalam setiap proses kerja. Hal ini ditujukan agar produksi dapat bekerja secara efektif dan efisien (Wignjosoebroto, 2009).

Perencanaan dan perancangan tata letak pabrik merupakan landasan penting dalam dunia industri, karena perencanaan dan pengaturan yang baik diharapkan dapat menjaga efisiensi dan kelangsungan atau keberhasilan suatu industri. Area kerja paling ekonomis dan semua fasilitas produksi untuk operasi produksi yang aman dan nyaman untuk meningkatkan moral dan kinerja operator. Secara khusus, perencanaan dan pengaturan distribusi yang baik menawarkan keuntungan dalam sistem produksi (Wignjosoebroto, 2009).

1.2.4.5. Metode Penentuan Tata Letak

Dalam menentukan perancangan layout *pilot plant*, terdapat beberapa metode yang harus diterapkan. Metode-metode tersebut terdiri dari SLP (*Systematic Layout Planning*), CORELAP (*Computerized Relationship Layout Planning*), ALDEP (*Automated Layout Design*) (Wibawanto et al., 2014). Adapun penjelasan dari masing-masing metode sebagai berikut:

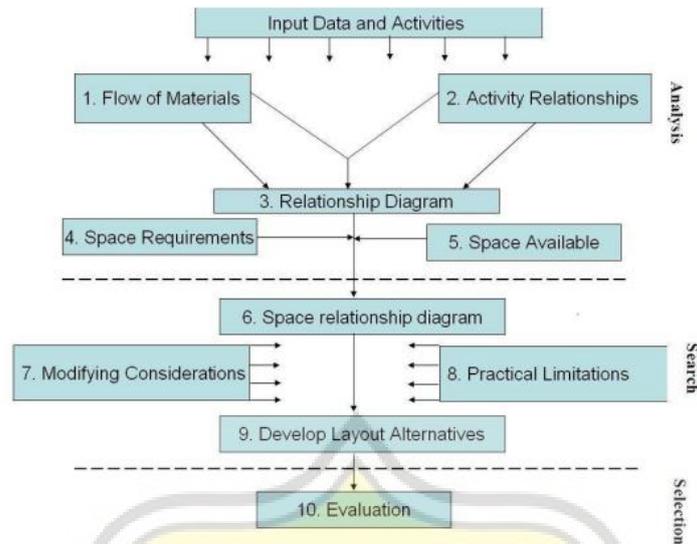
a. SLP (*Systematic Layout Planning*)

Menurut (Indrani et al., 2016), desain tata letak dikembangkan menggunakan *Systematic Layout Planning* (SLP) untuk memecahkan masalah yang melibatkan berbagai jenis masalah, termasuk produksi, transportasi, penyimpanan, dan dukungan. *Systematic Design Planning* (SLP) adalah alat yang digunakan untuk membuat tata letak tempat kerja dengan menempatkan dua bagian yang memiliki frekuensi tinggi dan hubungan yang erat. Sedangkan menurut Suhardini *et al* (2017) *Systematic Design Planning* (SLP) adalah prosedur yang digunakan untuk mengatur tata letak di tempat kerja di pabrik dengan memperhatikan faktor – faktor lainnya. Teknik SLP diterapkan untuk mengoptimalkan tata letak yang ada.

Tahapan SLP tercantum di bawah ini:

1. Penentuan lokasi untuk mengaplikasikan layout.
2. Membuat *layout* keseluruhan secara umum.
3. Membuat *layout* plan secara detail.
4. Mengaplikasikan *layout* plan ke lokasi yang ditentukan.

Di dalam SLP yang digunakan untuk membangun suatu layout digambarkan dalam diagram sebagai berikut :



Sumber: Sharma & Khumbar (n.d.)

Gambar 2. 2. Prosedur SLP (*Systematic Layout Planning*)

Untuk membuat *relationship chart*, digunakan data aliran material dan hubungan kedekatan antar fasilitas yang terdapat dalam diagram *activity relationship chart* (ARC). Langkah selanjutnya adalah membuat *space relationship chart* (SRC) yang menghubungkan kebutuhan ruang dengan area yang tersedia. Beberapa iterasi *layout* dilakukan, dengan mempertimbangkan pertimbangan dan batasan tertentu yang terkait dengan kondisi lokasi pemasangan dan area yang disediakan. Setelah mengevaluasi beberapa *layout*, *layout* dengan peringkat *layout* tertinggi dipilih dan diterapkan pada area yang ditentukan.

Tabel 8. Derajat Hubungan dalam ARC

Kode Huruf	Keterangan
A	Mutlak perlu didekatkan
E	Sangat penting untuk didekatkan
I	Penting untuk didekatkan
O	Cukup/biasa
U	Tidak penting
X	Tidak dikehendaki berdekatan

b. CORELAP (*Computerized Relationship Layout Planning*)

Menurut (Tompkins *et al.*, 2010) CORELAP (*Computerized Relationship Layout Technique*) adalah algoritma konstruksi yang menentukan tata letak desain, yang prinsip operasinya menggunakan hasil perhitungan *Total Closeness Rating* (TCR) masing-masing departemen. TCR adalah jumlah nilai numerik yang mewakili hubungan erat antar departemen. Hubungan ditunjukkan dengan huruf, masing-masing diberi bobot.

c. ALDEP (*Automated Layout Design*)

Algoritma *Automated Layout Design Program* (ALDEP) termasuk dalam metode desain dengan data kualitatif yang digunakan. Prinsip operasi ALDEP didasarkan pada hubungan aktivitas preventif seperti algoritma CORELAP. Perbedaan mendasar dengan CORELAP terletak pada jumlah *area allocation diagram* (AAD) yang dibuat. CORELAP menghasilkan satu AAD yang lebih baik, sementara ALDEP menghasilkan beberapa kemungkinan AAD, yang evaluasinya diserahkan kepada perancang. Untuk mengevaluasi AAD, digunakan nilai-nilai yang menggambarkan hubungan erat departemen-departemen yang ada. Nilai untuk departemen yang kedekatannya tidak diinginkan adalah negatif (Mukhopadhyay, 2007)

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang *pilot plant* produksi sirup vanila berdasarkan proses produksi dan tata letak *pilot plant* sehingga dihasilkan tata letak akhir yang terintegrasi dengan proses produksi.