

3. PERANCANGAN FORMULASI DAN PRODUKSI MINUMAN KARBONASI OLEORESIN BIJI PALA

3.1. Rancangan Formulasi Minuman Karbonasi Oleoresin Biji Pala

3.1.1. Pemilihan Bahan Baku

Secara umum, minuman karbonasi oleoresin biji pala dibuat dengan bahan baku berupa air, karbon dioksida, pemanis, asam, pewarna dan flavoran. Pemanis yang dipilih berupa gula merah. Gula merah dipilih karena memiliki indeks glikemik yang rendah sehingga cocok untuk minuman fungsional. Selain itu, gula ini memiliki aroma dan rasa manis yang khas serta mampu memberikan warna pada minuman (Heryanti, 2016). Karena gula merah memberikan warna, tidak diperlukan penambahan zat pewarna ke dalam minuman.

Asam yang digunakan berupa asam sitrat. Asam sitrat dipilih karena memiliki rasa *pungent* dan *sharp tart* yang menyerupai asam fosfat, tetapi memiliki kesan *fruity* (Taylor, 2006 dan 2016) yang berguna untuk mengimbangi aroma biji pala. Oleoresin merupakan salah satu flavoran yang dapat digunakan (Singhal dan Kulkarni, 2003). Sebagai flavoran, oleoresin dipilih karena memiliki beberapa kelebihan. Oleoresin memiliki *whole flavor characteristic* (King, 2006), termasuk minyak esensial yang merupakan sumber manfaat fungsional biji pala (Smith, 2014; Tisserand dan Young, 2014; Myristicaceae, 2016).

3.1.2. Hasil Percobaan Pendahuluan: Keseimbangan Rasa

Berdasarkan referensi, minuman karbonasi memiliki kandungan pemanis antara 7 – 12% (Taylor, 2006 dan 2016) ataupun 7 – 14% (Abu-Reidah). SNI 01-2972-1998 mengatakan kadar gula antara 6 – 15%. Takaran yang demikian menghasilkan minuman dengan rasa yang manis. Minuman karbonasi oleoresin biji pala diharapkan tidak terlalu manis dan bercita rasa asam. Untuk mengetahui kombinasi asam dan manis yang tepat, dilakukan percobaan keseimbangan rasa. Percobaan ini dilakukan terhadap dua takaran gula yaitu 8% dan 5% untuk rasa manis yang *mild*. Jenis gula yang digunakan yaitu gula merah.

Berdasarkan percobaan kesetimbangan rasa, didapatkan bahwa kedua takaran gula memiliki rasa manis yang dapat diterima. Minuman karbonasi dengan kadar gula 8% lebih manis sehingga dapat mengimbangi rasa asam. Dengan berbagai pertimbangan, kadar gula 8% dipilih untuk dijadikan formulasi pada percobaan berikutnya.

Berdasarkan Taylor (2006 dan 2016), penambahan asam ke dalam minuman karbonasi berkisar antara 0,05 – 0,3%. Jenis asam yang digunakan yaitu asam sitrat. Asam sitrat dipilih karena memiliki rasa *pungent* seperti asam fosfat, tetapi memiliki aroma *fruity* untuk mengimbangi aroma biji pala. Minuman karbonasi oleoresin biji pala diharapkan memiliki rasa yang asam sehingga percobaan dilakukan dengan satu takaran asam sitrat yaitu 0,25%. Minuman yang dihasilkan memiliki rasa asam yang sangat tajam dan cenderung sepat. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penambahan asam sitrat terlalu banyak. Oleh karena itu, jumlah asam sitrat perlu dikurangi agar minuman memiliki rasa asam, tetapi tidak sampai menghasilkan rasa sangat tajam.

3.1.3. Hasil Percobaan Pendahuluan: Ekstraksi Oleoresin Biji Pala

Ekstraksi oleoresin biji pala pada percobaan ini dilakukan untuk mendapatkan bahan baku pembuatan minuman yakni oleoresin biji pala. Tugas Akhir ini juga tidak berfokus pada proses ekstraksi oleoresin biji pala sehingga pembahasan terkait proses ekstraksi tidak diikutsertakan.

Oleoresin biji pala yang dihasilkan memiliki warna coklat tua, bertekstur kental (bukan pasta), dan *oily*. Oleoresin biji pala yang dihasilkan memiliki aroma biji pala yang kuat, tanpa aroma alkohol (bahan pelarut selama ekstraksi). Jika dibandingkan dengan spesifikasi pada **Lampiran 8**, dapat dilihat bahwa oleoresin biji pala yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang ada.

Informasi penting dari percobaan ini terkait dengan toksisitas oleoresin biji pala. Sampai saat ini, belum terdapat literatur yang membahas dosis toksis oleoresin biji pala. Di sisi lain, dalam pembuatan minuman ini perlu diketahui dosis toksis agar produk yang dihasilkan tetap aman. Oleh karena itu, dilakukan pendekatan dengan perhitungan berdasarkan literatur yang tersedia.

Berdasarkan hasil ekstraksi oleoresin, diketahui bahwa 38,9 gram biji pala halus menghasilkan 4,45 gram oleoresin biji pala. Berdasarkan studi literatur, diketahui juga bahwa halusinasi sebagai efek toksisitas biji pala mulai terjadi pada dosis 5 gram biji pala halus. Untuk menghindari efek toksik, satu sajian minuman yaitu 200 ml hanya boleh mengandung 3 gram biji pala halus. Melalui perhitungan pada bagian 2.2.3, diketahui bahwa 3 gram biji pala halus setara dengan 0,34 gram oleoresin biji pala. Perhitungan tersebut juga menunjukkan bahwa terkandung 0,17% oleoresin biji pala dalam minuman yang dirancang. Dengan cara demikian, formulasi oleoresin biji pala ditentukan.

3.1.4. Hasil Percobaan Pendahuluan: Minuman Karbonasi Oleoresin Biji Pala
Setelah pengujian kesetimbangan rasa, dilakukan percobaan pembuatan minuman karbonasi dengan penambahan oleoresin biji pala. Pada percobaan ini, diujikan dua formulasi minuman karbonasi yang diasumsikan memiliki atribut rasa yang pas. Formulasi yang diujikan dalam satuan persen massa bahan per volume minuman, mengikuti berbagai literatur yang ada. Percobaan dilakukan untuk menghasilkan 500 ml minuman karbonasi.

Sirup formulasi 2 merupakan hasil perbaikan dari sirup formulasi 1. Perbedaan antara formulasi 1 dan 2 terletak pada penggunaan lesitin sebagai *emulsifier*. Berdasarkan pengamatan terhadap sirup yang dihasilkan dari kedua formulasi, diketahui bahwa penggunaan lesitin memiliki pengaruh negatif terhadap karakteristik fisik dan sensoris sirup, yang pada akhirnya mempengaruhi karakteristik minuman. Pengaruh negative ini menunjukkan pemilihan jenis emulsifier yang kurang tepat.

Minuman karbonasi oleoresin biji pala hanya memerlukan penambahan oleoresin dalam jumlah kecil sehingga minuman cenderung berjenis hidrofilik. Produk yang demikian memerlukan emulsifier dengan nilai HLB yang tinggi (10 – 18). Miller (2016) menyebutkan bahwa lesitin memiliki nilai HLB yang tinggi, tetapi berdasarkan percobaan pendahuluan ternyata kurang cocok untuk produk yang dirancang. Selain karena nilai HLB, ketidakcocokan lesitin juga disebabkan oleh aroma alami lesitin kedelai yaitu *earthy* yang tidak cocok untuk minuman karbonasi oleoresin biji pala.

Karakteristik fisik sirup formulasi 1 dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 3. 1. Karakteristik Fisik Sirup Formulasi 1

Parameter	Karakteristik Fisik
Warna	Cokelat tua keruh
Aroma	Tidak sedap, perpaduan aroma <i>earthy</i> lesitin yang dominan dan aroma gula merah yang menyengat, aroma pala tidak tercium
Kekentalan	Cair (tidak kental)
Kondisi campuran	Sangat tidak baik, terbentuk 2 lapisan
Visual	Terdapat gumpalan lesitin-gula merah yang lengket dan berlemak serta mengapung di permukaan, larutan keruh



Gambar 3. 1. Penampakan Fisik Sirup Formulasi 1

Karakteristik sirup formulasi 1 yaitu berwarna coklat tua keruh, beraroma tidak sedap, cair, serta kondisi campuran yang sangat tidak baik. Secara lebih spesifik, aroma tidak sedap berasal dari perpaduan aroma lesitin kedelai (*earthy aroma*) yang dominan disertai aroma gula merah yang menyengat, tetapi aroma biji pala tidak tercium. Kondisi campuran yang tidak baik merupakan akibat dari stabilitas emulsi yang rendah dan ditunjukkan dengan terbentuknya 2 lapisan yaitu gumpalan lesitin dan gula merah yang mengapung pada bagian atas, serta campuran air dan bahan lain pada bagian bawah. Gumpalan pada sirup bersifat lengket dan berlemak sehingga menyebabkan rendahnya penerimaan sensoris. Lesitin juga menyebabkan sirup menjadi keruh karena memberikan *cloudy effect* pada larutan (Taylor, 2006). Seperti dijelaskan sebelumnya, kesalahan pemilihan *emulsifier* menghasilkan dampak negatif seperti pada kasus sirup formulasi 1.

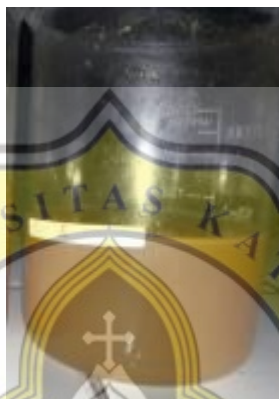
Sirup formulasi 1 tidak dijadikan bahan baku minuman karbonasi karena terdapat gumpalan dan beraroma tidak sedap. Oleh karena itu, sirup dibuat kembali dengan formulasi yang diperbaiki dan dinamai formulasi 2. Adapun beberapa hal yang diperbaiki yaitu:

- a. Gula merah pada formulasi 1 terlalu banyak sehingga beraroma menyengat. Oleh karena itu, jumlah penggunaan dikurangi dari 8% (m/v) pada formulasi 1 menjadi 5% (m/v) pada formulasi 2 (penurunan berdasarkan percobaan kesetimbangan rasa di awal).
- b. Tidak digunakan *emulsifier* pada formulasi 2 karena keterbatasan waktu sehingga tidak dimungkinkan pembelian *emulsifier* jenis lain.
- c. Jumlah air yang digunakan dalam pembuatan sirup ditambah dari 15% (m/v) menjadi 20% (m/v) untuk memudahkan homogenisasi dengan *homogenizer* laboratorium (standar: ketinggian minimal 100 mL pada gelas beker 250 mL).

Setelah diperbaiki, formulasi 2 langsung diujikan dan didapatkan sirup dengan karakteristik fisik seperti pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 3. 2. Karakteristik Fisik Sirup Formulasi 2

Parameter	Karakteristik Fisik
Warna	Cokelat muda
Aroma	Sedap, aroma pala <i>mild</i> dan sedap, tidak terdapat <i>earthy aroma</i> , aroma gula merah tidak menyengat
Kekentalan	Cair (tidak kental)
Kondisi campuran	Baik, tidak terbentuk 2 lapisan
Visual	Tidak terdapat gumpalan yang mengapung, sirup tidak sekeruh formulasi 1

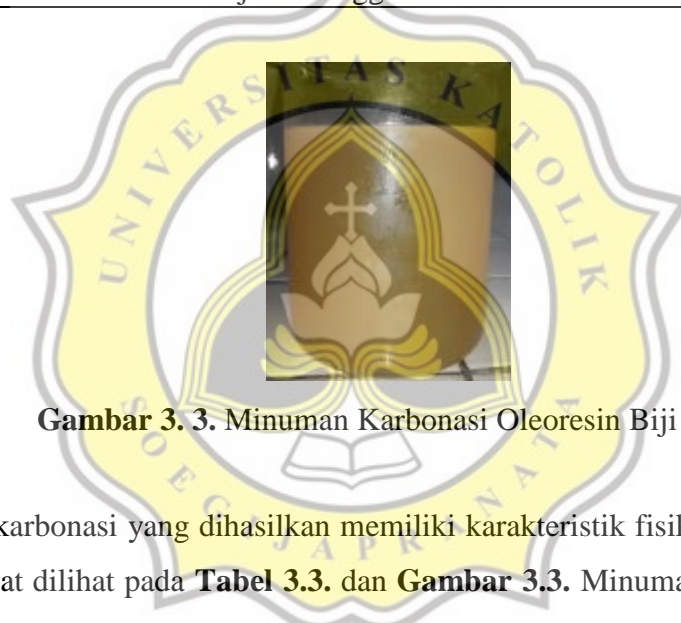


Gambar 3. 2. Penampakan Fisik Sirup Formulasi 2

Pada sirup formulasi 2 yang dibuat dengan formulasi yang telah diperbaiki, tidak terbentuk gumpalan karena gula merah terlarut merata dan tidak digumpalkan oleh lesitin. Oleoresin juga terdispersi merata di dalam minuman sehingga terbentuk larutan yang homogen. Penerimaan sensoris sirup formulasi 2 jauh lebih baik dibandingkan formulasi 1. Sirup memiliki warna cokelat muda sehingga tidak segelap sirup formulasi 1, sirup tidak sekeruh formulasi 1, aroma pala dan gula merah yang *mild* dan sedap, serta kondisi campuran yang baik (tidak terbentuk 2 lapisan). Aroma tidak sedap pada sirup formulasi 1 tidak ditemukan pada sirup formulasi 2 karena tidak digunakan lesitin. Oleh karena sirup memiliki karakteristik fisik yang baik dan dapat diterima secara sensoris, sirup formulasi 2 dilanjutkan ke tahap pembuatan minuman karbonasi dengan mencampurkan sirup dan air karbonasi.

Tabel 3. 3. Karakteristik Fisikokimia Minuman Karbonasi Oleoresin Biji Pala

Parameter	Karakteristik Fisikokimia
Warna	Kuning tua
Aroma	Sedap, perpaduan aroma pala dan gula merah yang <i>mild</i>
Kekentalan	Cair (tidak kental)
Kondisi campuran	Baik, tidak terbentuk 2 lapisan
Visual	Minuman tidak keruh, tidak terbentuk 2 lapisan ataupun gumpalan, minuman terlihat menarik
Kadar gula ($^{\circ}$ Brix)	4,17
pH	2,98
Stabilitas penyimpanan (<i>refrigerator</i>)	Baik, tidak terjadi pemisahan, perubahan warna dan aroma selama 7 hari penyimpanan *Tidak terjadi pemisahan emulsi setelah penyimpanan lanjutan hingga 3 bulan.



Gambar 3. 3. Minuman Karbonasi Oleoresin Biji Pala

Minuman karbonasi yang dihasilkan memiliki karakteristik fisikokimia yang baik seperti dapat dilihat pada **Tabel 3.3.** dan **Gambar 3.3.** Minuman memiliki warna kuning tua yang tidak keruh sehingga menarik secara visual. Visual minuman juga didukung oleh kondisi campuran yang baik karena tidak terbentuk 2 lapisan yang terpisah maupun gumpalan. Minuman karbonasi oleoresin biji pala memiliki aroma sedap yang berasal dari perpaduan aroma biji pala dan gula merah yang *mild*.

Minuman karbonasi oleoresin biji pala yang dihasilkan memiliki kadar gula sebesar $4,17^{\circ}$ Brix dan pH sebesar 2,98. Minuman karbonasi tersebut memiliki profil sensoris yang cenderung asam dan tidak terlalu manis karena memiliki kadar gula yang rendah. Minuman karbonasi memiliki pH yang rendah karena

keberadaan karbon dioksida dan asam organik yang terlarut dalam minuman (Steen, 2006a; Ashrust, 2016; Abu-Reidah, 2020; Taylor, 2006).

Selain itu, minuman ini memiliki stabilitas penyimpanan yang baik setelah disimpan selama 7 hari pada suhu *refrigerator*. Dikatakan baik karena tidak terjadi pemisahan, perubahan warna serta aroma. Bahkan, penyimpanan lanjutan hingga 3 bulan (Oktober – Januari) tidak menunjukkan adanya pemisahan fase oleoresin (nonpolar) dari air, maupun perubahan aroma dan warna. Perubahan yang terjadi hanyalah lepasnya karbonasi karena *barrier* botol yang lemah. Hal tersebut karena pH rendah menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Abu-Reidah, 2020; Taylor, 2006).

Dengan melihat karakteristik fisikokimia minuman yang dihasilkan, formulasi minuman karbonasi oleoresin biji pala yang dirancang dapat diterima. Adapun formulasi yang didapatkan dari hasil percobaan dan dilengkapi perhitungan pada bagian 2.3.3 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 4. Formulasi Minuman Skala Laboratorium

Bahan	m/v (%)	Formulasi 500 ml (dalam gram/500 ml)
Air karbonasi	75,69	378,44
Air (sirup)	20,00	100,00
Gula merah	5,00	25,00
Asam sitrat	0,05	0,25
Oleoresin	0,17	0,85
Karbon dioksida	0,76	3,80

Takaran air karbonasi merupakan banyaknya air yang ditambahkan ke sirup untuk mendapatkan minuman karbonasi sebanyak 500 ml. Dari hasil percobaan pendahuluan, ditambahkan 378,44 g air atau setara 75,69% dari volume minuman. Takaran air (sirup) merupakan banyaknya air yang digunakan dalam pembuatan sirup, yaitu 100 ml atau 20% dari volume sirup. Takaran gula merah disesuaikan dengan formulasi 2 untuk mendapatkan minuman dengan rasa dan aroma yang

mild. Takaran asam sitrat didasarkan pada takaran terkecil dari perkataan Taylor (2006) untuk mendapatkan rasa asam yang tidak tajam. Meskipun jumlah penambahan kecil, minuman tetap berasa asam karena kandungan karbon dioksida. Jumlah karbon dioksida sesuai dengan banyaknya *supply* gas oleh CO₂ *cartridge*. Takaran oleoresin ditentukan dengan perhitungan berdasarkan toksisitas biji pala.

3.1.5. Rancangan Formulasi Skala *Mini Plant*

Pada Tugas Akhir ini, formulasi hasil percobaan pendahuluan skala laboratorium dioptimalisasi pada beberapa aspek. Pertama, pengurangan jumlah CO₂. Formulasi skala laboratorium menghasilkan volume karbonasi yang tinggi yaitu sebesar 3,82. Untuk mendapatkan volume karbonasi yang tinggi diperlukan tekanan yang tinggi dan jumlah karbon dioksida yang banyak seperti dikutip dari Steen (2006a dan 2016), Wilson dan Medling (2006), dan Ghose dan Nair (2013). Selain itu, volume karbonasi yang tinggi memicu *fobbing* selama pengisian yang menyebabkan *carbonation loss* (Wilson dan Medling, 2006; Ghose dan Nair, 2013). Pada skala *mini plant*, minimalisir *fobbing* tidak dapat dilakukan dengan mencegah guncangan yang selalu terjadi dalam berbagai proses industrial. Oleh karena itu, jumlah karbon dioksida terlarut (volume karbonasi) pada formulasi skala *mini plant* perlu dikurangi.

Kadar CO₂ yang diturunkan tidak boleh kurang dari 3 agar minuman tetap tergolong *moderate carbonated beverage*. Di sisi lain, diharapkan perbedaan antara tekanan dalam kemasan dan atmosfer tidak besar. Berdasarkan kriteria dan pembacaan grafik karbonasi pada **Lampiran 10.**, dipilih volume karbonasi sebesar 3 karena karbonasi pada suhu 4°C hanya memerlukan tekanan 1,1 bar. Tekanan tersebut diterima karena mendekati tekanan atmosfer (1,013 bar) tetapi volume karbonasi tidak kurang dari 3. Oleh karena itu, jumlah karbon dioksida pada formulasi skala *mini plant* dikurangi dari volume karbonasi 3,82 menjadi 3.

Berdasarkan pertimbangan optimalisasi formulasi, dilakukan perhitungan perbaikan pada bagian 2.6. Dari perhitungan tersebut, didapatkan rancangan

formulasi minuman karbonasi oleoresin biji pala skala *mini plant* seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 5. Formulasi Minuman Skala *Mini Plant*

Bahan	m / v minuman (%)
Air	96,00
Karbon dioksida	0,59
Gula merah (halus)	5,00
Asam sitrat	0,05
Oleoresin	0,17

Jika dibandingkan dengan formulasi skala laboratorium pada **Tabel 3. 4.** formulasi skala *mini plant* memiliki kandungan karbon dioksida yang lebih rendah dan tanpa perbedaan antara takaran air untuk sirup maupun untuk karbonasi. Takaran bahan lainnya seperti gula merah, asam sitrat, dan oleoresin tidak mengalami perubahan. Dengan demikian, karakteristik fisikokimia minuman karbonasi skala *mini plant* tidak berbeda dari minuman hasil percobaan pendahuluan pada **Tabel 3. 3.** karena kadar gula dan asam yang tetap.

Pada skala *mini plant*, proses pembuatan sirup dan pencampuran-karbonasi memerlukan *infeed*. Pembuatan sirup memerlukan *infeed* berupa air, gula merah, asam sitrat, dan oleoresin. Sirup yang dihasilkan lalu menjadi *infeed* bagi proses pencampuran-karbonasi, selain air dan karbon dioksida. Formulasi pada **Tabel 3. 5.** tidak menunjukkan berapa jumlah sirup yang dihasilkan dan digunakan dalam pencampuran-karbonasi, serta air dinyatakan secara keseluruhan. Formulasi yang demikian menjadikan kontrol lebih sulit karena jumlah bahan antara yang dihasilkan tidak diketahui dengan jelas. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan kembali pada bagian 2.6 sehingga didapatkan formulasi sirup dan formulasi pencampuran-karbonasi yang terdapat pada **Tabel 3.6.** dan **Tabel 3.7.** di bawah ini.

Tabel 3. 6. Formulasi Sirup Skala *Mini Plant*

Bahan	m / v sirup (%)
Air	83,33
Gula merah (halus)	20,83
Asam sitrat	0,21
Oleoresin	0,71

Tabel 3. 7. Formulasi Pencampuran-Karbonasi Skala *Mini Plant*

Bahan	v / v minuman (%)
Air	76
Sirup	24
Karbon dioksida	300

Dari formulasi sirup, dapat diketahui dengan jelas berapa persentase bahan baku didasarkan pada berapa banyak sirup yang perlu dihasilkan untuk memenuhi 24% takaran pada formulasi pencampuran-karbonasi. Hal tersebut memudahkan proses perencanaan jumlah produksi minuman karbonasi dan kontrol proses karena jumlah air, sirup, dan karbon dioksida yang dibutuhkan untuk mendapatkan spesifikasi yang diharapkan menjadi jelas.

3.2. Rancangan Produk Minuman Karbonasi Oleoresin Biji Pala

Sesuai dengan tujuan pendiriannya, *mini plant* yang dirancang diharapkan dapat menghasilkan produk yang dapat dijual. Salah satu produk yang potensial adalah minuman karbonasi oleoresin biji pala. Minuman ini memiliki karakteristik fisikokimia seperti hasil percobaan pendahuluan skala laboratorium (lihat **Tabel 3. 3**). Produk dikemas dalam botol PET berukuran 350 ml dengan neto 330 ml. Minuman ini memiliki atribut rasa cenderung asam, diimbangi rasa manis yang *mild*, dan aroma biji pala yang *mild* pula.

Jika dibandingkan dengan persyaratan minuman karbonasi di Indonesia (**Lampiran 9**), minuman yang dirancang sudah memenuhi sebagian besar persyaratan. Berdasarkan uji pendahuluan, minuman memiliki bau, rasa, dan warna yang normal. Minuman juga tidak mengandung pemanis buatan (dilarang

dalam persyaratan tersebut), dan tidak mengandung pengawet dan pewarna tambahan. Karena larangan penggunaan pemanis buatan, kalori minuman diturunkan dengan mengurangi penggunaan gula.

Jika dibandingkan dengan persyaratan, kandungan gula minuman 1% lebih rendah. Meskipun demikian, atribut rasa minuman masih dapat diterima berdasarkan percobaan kesetimbangan rasa. Tekanan gas karbon dioksida pada suhu ruang juga sudah sesuai karena berada dalam kisaran 1,38 – 4,83 bar. Agar cemaran logam dan mikroba pada minuman sesuai dengan spesifikasi maka pemilihan bahan baku harus sesuai dengan spesifikasi (lihat lampiran), terutama bahan baku air. Akan tetapi, kunci utama penurunan cemaran logam dan mikroba terletak pada proses pengolahan air dan pasteurisasi sirup yang telah dibahas pada bagian rancangan proses produksi.

3.3. Rancangan Produksi Minuman Karbonasi Oleoresin Biji Pala

3.3.1. Hasil Percobaan Pendahuluan

Pembahasan terkait proses produksi pada percobaan pendahuluan dibatasi hanya pada pembuatan minuman karbonasi oleoresin biji pala yang merupakan fokus utama pada Tugas Akhir ini. Pada skala laboratorium, rancangan proses disesuaikan dengan keterbatasan alat. Oleh karena itu, hanya terdapat 3 tahapan proses yaitu karbonasi air, pembuatan sirup, dan pencampuran air karbonasi-sirup.

Berbeda dengan proses produksi skala industri, karbonasi skala laboratorium dilakukan terhadap air dengan alat *soda maker* bermerek SodaPlus. Karbonasi yang dilakukan mampu menginjeksikan karbon dioksida sebanyak 8 gram ke dalam 800 ml minuman sesuai dengan kemampuan alat. Jumlah karbon dioksida yang diinjeksikan sama dengan jumlah karbon dioksida dalam CO₂ *cartridge* (tabung CO₂ pada alat) yaitu 8 gram. Proses ini dilakukan dalam kondisi dingin dan air karbonasi disimpan dalam kondisi dingin pula. Oleh karena itu, dilakukan pendinginan sebelum dan sesudah karbonasi.

Terdapat perbedaan antara rancangan proses pembuatan sirup formulasi 1 dan formulasi 2. Pada pembuatan sirup formulasi 1, homogenisasi 1 dilakukan dengan mencampurkan air, gula merah, oleoresin, dan lesitin sekaligus tetapi karakteristik tidak baik. Sebelum homogenisasi, sudah terbentuk gumpalan gula merah-lesitin. Setelah homogenisasi, gumpalan tidak terdispersi di dalam air tetapi justru semakin memisah dari air. Hal tersebut karena lesitin sudah mengikat gula merah sehingga gumpalan tidak dapat terdispersi ke dalam air.

Oleh karena proses mempengaruhi ketidakstabilan sirup formulasi 1, dilakukan juga perbaikan pada rancangan proses selain formulasi (pembahasan sebelumnya). Perbaikan dilakukan terhadap urutan penambahan bahan, kecepatan dan durasi homogenisasi. Proses perbaikan ini diterapkan dalam pembuatan sirup formulasi 2.

Homogenisasi 1 pada sirup formulasi 2 dilakukan untuk mencampurkan air dan oleoresin biji pala. Kecepatan homogenisasi masih sama, tetapi durasinya semakin singkat karena sudah terbentuk larutan homogen setelah 1,5 menit. Berbeda halnya pada sirup formulasi 1, homogenisasi selama 4 menit belum menghasilkan larutan homogen.

Homogenisasi tahap 1 pada kedua formulasi dilakukan kecepatan 4000 rpm selama 1,5 menit. Kecepatan 4000 rpm diasumsikan paling optimal untuk skala laboratorium karena risiko kerusakan wadah dan aerasi sirup minimal dibandingkan kecepatan yang lebih tinggi, dan gaya *shearing* lebih besar dibandingkan kecepatan yang lebih rendah. Waktu homogenisasi tidak ditentukan sejak awal dan diketahui melalui pengamatan langsung selama homogenisasi. Pada sirup formulasi 2, waktu ketika oleoresin sudah tercampur merata dan tidak terjadi perubahan lagi pada larutan menjadi waktu homogenisasi yang dipilih.

Setelah itu, dilanjutkan dengan homogenisasi 2 untuk mencampurkan gula merah dan asam sitrat. Homogenisasi dilakukan dengan kecepatan yang lebih tinggi yaitu 2500 rpm, serta durasi yang lebih lama yaitu 10 menit. Dengan kondisi

proses yang demikian, didapatkan sirup yang homogen. Oleh karena itu, kondisi proses pembuatan sirup yang demikian dapat diterima.

Kecepatan dan waktu homogenisasi pada tahap 2 ini ditentukan dengan cara yang sama dengan homogenisasi tahap 1. Kecepatan 2500 rpm dipilih untuk menghindari kerusakan alat laboratorium jika terdapat bahan padat pada homogenisasi kecepatan tinggi. Waktu homogenisasi selama 10 menit bertujuan untuk mendapatkan proses pelarutan bahan padat yang efektif. Berdasarkan percobaan pendahuluan, sirup sudah tercampur merata dan tidak menunjukkan perubahan sejak menit ke-7. Akan tetapi, waktu homogenisasi yang digunakan adalah 10 menit untuk memaksimalkan homogenitas sirup pada pencampuran volume besar.

Tahapan yang ketiga pada skala laboratorium yaitu pencampuran. Tahapan ini dilakukan dengan cara sederhana yaitu mencampurkan air karbonasi dengan sirup. Pada tahap ini, tidak diberlakukan kondisi proses yang spesifik. Yang menjadi poin penting adalah jumlah air karbonasi yang diperlukan diketahui setelah proses ini selesai. Jumlah air karbonasi yang ditambahkan ke sirup agar dihasilkan 500 ml minuman menjadi dasar penentuan yang digunakan.

3.3.2. Rancangan Proses Produksi Skala *Mini Plant*

Pada skala *mini plant*, produksi dilakukan dalam skala yang lebih besar menggunakan mesin yang menyerupai mesin industrial dan bukan alat laboratorium berskala besar (Sharma dan Khumbar, n.d.). Oleh karena itu, tahapan dan kondisi proses produksi skala *mini plant* yang dirancang akan berbeda dengan skala laboratorium.

Pada *mini plant* yang dirancang, perancangan proses produksi disesuaikan dengan formulasi, kondisi produk yang diharapkan, serta spesifikasi mesin/peralatan. Selain itu, perancangan proses perlu disesuaikan dengan prinsip higiene agar produk aman dan bebas dari bahaya mikroorganisme (Hasting, 2011). Oleh karena

disesuaikan dengan mesin/peralatan, secara garis besar terdapat 4 tahapan proses pada skala *mini plant* yaitu pengolahan air, pembuatan sirup, deaerasi-pencampuran-karbonasi, dan pengisian-penutupan. Proses pengolahan air terdiri dari 4 tahapan, dan tanda “-“ menunjukkan penggabungan beberapa proses dalam 1 mesin. Parameter dari tahapan ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Adapun penjelasan dari tahapan proses produksi sebagai berikut.

a. Pengolahan air

Spesifikasi bahan baku air yang dibutuhkan dalam pembuatan minuman karbonasi lebih ketat dibandingkan air minum (lihat Error! Reference source not found.). Air DAM di Kota Semarang memiliki kesadahan yang cukup tinggi, serta mengandung sulfat dan klorida (Rohmawati dan Kustomo, 2020) yang tidak boleh dimiliki oleh bahan baku air untuk minuman karbonasi (Griffiths, 2016). Air tanah pun diperkirakan masih belum sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Oleh karena itu, *mini plant* akan dilengkapi dengan sistem pengolahan air sederhana seperti disampaikan oleh Griffiths (2016) dan Abu-Reidah (2020).

Pada *mini plant* yang dirancang, pengolahan air dilakukan dengan satu mesin yang memfasilitasi beberapa metode pengolahan air, meliputi *sand filtration*, *carbon filtration*, *cartridge filtration*, dan diakhiri dengan *reverse osmosis* secara berurutan. Sistem yang demikian memungkinkan peningkatan efisiensi yakni meminimalisir penggunaan lahan dan mesin. Pada awal proses pengolahan, air dipompa masuk untuk melewati *sand filter*. Setelah itu, air langsung melewati *carbon filter* lalu melewati *cartridge filter*. Air yang keluar dari *cartridge filter* akan dipompa dengan pompa bertekanan tinggi agar dapat melewati membran *reverse osmosis* (RO). Parameter proses dari setiap metode pengolahan air dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 8. Parameter Proses Pengolahan Air Skala *Mini Plant*

Tahapan proses	Media Penyaring	Ukuran	Tekanan
<i>Sand filtration</i>	Pasir*	<i>Fine sand</i> 16/30 (0,5 – 2 mm), <i>coarse sand</i> 6/14 (1 – 5 mm), <i>gravel</i> 3 – 6 mm, <i>gravel</i> 7 – 14 mm, dan <i>gravel</i> 20 – 30 mm ^a	(**)
<i>Carbon filtration</i>	Karbon aktif*	1 – 3 mm ^b	(**)
<i>Cartridge filtration</i>	Resin, <i>polypropylene depth</i> , dan <i>fiber glass</i> *	0,45 - 20 µm ^c	(**)
<i>Reverse osmosis (RO)</i>	Membran*	0,0001 µm	6 – 20 bar**

Keterangan:

*lihat spesifikasi mesin

**sudah diatur dalam mesin untuk mendapatkan kapasitas produksi 1000 l/jam

^{a, c} (Tatlock, 2006)^b (Griffiths, 2016)

Sand filtration menjadi penyaringan pertama karena mampu mengeliminasi padatan tersuspensi berukuran besar dengan menggunakan media penyaring berupa pasir atau kerikil silika dengan beberapa ukuran (Griffiths, 2016; Tatlock, 2006). Waktu dan efektivitas penyaringan bergantung pada bahan dan ukuran penyaring, serta kekuatan pompa yang digunakan (Griffiths, 2016). Secara umum, *sand filtration* bekerja dengan cara memasukan air ke atas saringan pasir. Air dimasukan secara merata ke seluruh permukaan saringan pasir agar area penyaringan menjadi maksimal (Griffiths, 2016; Tatlock, 2006).

Setelah melewati *sand filtration*, air disaring dengan *carbon filtration*. Air tanah umumnya mengandung banyak senyawa organik, sedangkan air PDAM mengandung klorin yang tinggi. Karena itu, *carbon filtration* digunakan untuk mengeliminasi senyawa organik dan penghasil aroma, serta klorin dalam air (Tatlock, 2006; Griffiths, 2016). Proses ini penting dilakukan sebagai *pre-treatment* sebelum dilakukan *reverse osmosis* untuk meminimalisir kerusakan membran. *Carbon filtration* dilakukan dengan melewatkan air melalui karbon

aktif di dalam bejana yang memiliki konstruksi mirip dengan *sand filtration*. Karbon aktif terdiri dari partikel dengan porositas tinggi (ukuran 1 – 3 mm), dan memiliki luas permukaan relatif terhadap volume yang besar. Banyaknya karbon aktif yang digunakan disesuaikan dengan ukuran mesin, serta karbon aktif harus kontak dengan air sekitar 5 menit. Durasi tersebut efektif menghilangkan klorin, tetapi terdapat beberapa senyawa organik yang masih tertinggal (Griffiths, 2016).

Untuk meningkatkan kualitas bahan baku, proses dilanjutkan dengan *cartridge filtration* sebelum *reverse osmosis* (RO). Proses ini digunakan untuk *polishing* air hasil *sand* dan *carbon filtration*, serta efektif menghilangkan *Cryptosporidium oocyst* dan *Giardia lamblia*. Umumnya, satu *cartridge filter* terdiri dari beberapa penyaring dengan ukuran beragam. Pada *mini plant* yang dirancang, media penyaring yang digunakan terdiri dari *polypropylene depth*, *fiber glass*, dan resin. Media penyaring mampu meningkatkan efektivitas penyaringan dengan menghasilkan *positive zeta potential* sehingga mampu mengurangi kesadahan air sebelum *reverse osmosis*. *Cartridge filter* memiliki *tightness rated* (Tr) yang tinggi yaitu 99,98%. Penyaringan ini mampu mengurangi SDI (*silt density index*) air dari 12 atau 14 menjadi 5 atau lebih rendah (Talock, 2006). Nilai SDI air yang rendah memungkinkan retensi karbon dioksida yang baik karena titik nukleasi pada minuman diminimalisir (Steen, 2006a dan 2016).

Air yang keluar dari *cartridge filtration* dipompa dengan tekanan tinggi untuk masuk ke sistem RO. Meskipun didasari oleh osmosis, proses ini memerlukan tekanan tinggi untuk mendorong air berpindah dari bagian yang kotor (konsentrasi tinggi) ke bagian yang bersih (konsentrasi rendah) (Tatlock, 2006). Pada *mini plant* yang dirancang dan sesuai dengan mesin yang diajukan, mesin memberikan tekanan sebesar 6 – 20 bar. Tekanan spesifik akan ditentukan di luar Tugas Akhir ini dengan diskusi bersama *supplier* terkait kualitas bahan baku air.

Penyaringan RO dilakukan dengan membran berukuran 0,0001 μm dari merek terkenal (bahan tidak disebutkan). Membran RO mampu menghilangkan hampir

semua zat pengotor pada air (Tatlock, 2006) sehingga air layak untuk dikonsumsi secara langsung (Griffiths, 2016). Hal tersebut menjadi dasar pemilihan RO sebagai metode pengolahan air pada *mini plant* karena lebih praktis dan efektif jika dibandingkan *ion exchange* maupun koagulasi untuk menghilangkan ion (penyebab kesadahan tinggi) maupun koloid pada air. Selain itu, RO dapat menjadi solusi agar air memenuhi standar bahan baku air yang ketat.

Untuk meminimalisir kerusakan membran, diperlukan *pre-treatment* air sebelum proses RO (Griffiths, 2016; Tatlock, 2006). Air yang akan di-RO harus memiliki turbiditas yang rendah agar tidak terjadi penyumbatan membran. Kandungan ion pada air dan kesadahan juga perlu rendah karena ion yang tertahan akan menumpuk lalu memicu presipitasi kalsium dan magnesium sehingga terjadi penyumbatan pada membran. Klorin juga perlu dihilangkan sebelum proses RO karena membran sensitif terhadap oksidan (Tatlock, 2006). Pada *mini plant* ini, proses *pre-treatment* sudah terfasilitasi oleh mesin yang digunakan. *Sand filtration*, *carbon filtration*, dan *cartridge filtration* sudah cukup efektif sebagai *pre-treatment* sebelum RO agar hasil maksimal dan keawetan membran tetap terjaga.

Secara spesifik, mesin memiliki *recovery rate* sebesar 50% yang menunjukkan efisiensi sebesar 50% sehingga proses pengolahan air tidak terlalu efisien. Meskipun demikian, mesin ini mampu menurunkan konduktivitas air dari sekitar 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ menjadi $\leq 10 \mu\text{S}/\text{cm}$. Penurunan konduktivitas menunjukkan penurunan kandungan ion maupun mineral dalam air (Khairunnas dan Gusman, 2018), dimana hal tersebut diperlukan oleh bahan baku air minuman karbonasi. Dalam pengolahan air asin, mesin ini memiliki efektivitas yang baik dengan *desalination rate* sebesar 96 – 99%. Dengan demikian, proses pengolahan air dengan mesin yang digunakan memiliki efektivitas proses yang cukup baik meskipun efisiensi proses tergolong rendah.

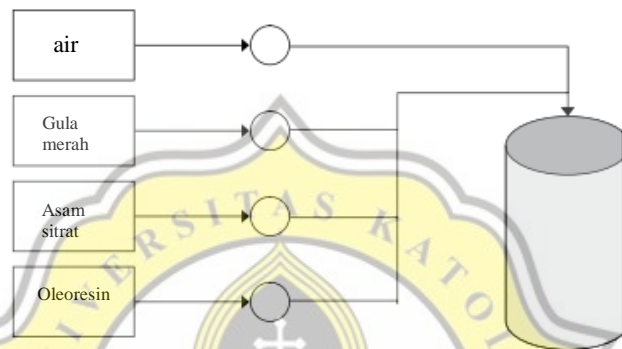
Mesin pengolahan air yang digunakan memiliki sistem kontrol elektronik yang mampu bekerja secara otomatis. Mesin memiliki kotak kontrol utama yang terdiri dari *programmable automatic control* yang memungkinkan kontrol proses secara keseluruhan dari awal hingga akhir secara otomatis. Pengaturan urutan proses, pengaktifan pompa, pengaturan katup otomatis, waktu proses, serta tekanan pompa diatur sepenuhnya oleh PLC. Selain itu, mesin juga dilengkapi dengan panel kontrol elektronik yang mampu menguji konduktivitas air masuk dan keluar. Mesin juga dilengkapi dengan beberapa indikator yang memudahkan proses kontrol meliputi indikator daya, indikator katup, dan indikator pompa. Penerapan sistem PLC mampu meningkatkan efisiensi dengan menghemat penggunaan tenaga manusia dan menghemat waktu dalam proses produksi.

b. Pembuatan sirup

Pembuatan sirup pada *mini plant* ini dilakukan dengan sistem *batch* yang sesuai dengan praktek dalam industri minuman karbonasi. Jumlah bahan yang dimasukan ke dalam mesin disesuaikan dengan resep/formulasi yang dimasukan ke sistem PLC (*Programmable Logic Controller*). Pada setiap *batch*, bahan yang digunakan harus ditimbang dan disesuaikan kembali takarannya agar rasio antar-bahan seimbang. Penyesuaian ini dilakukan secara otomatis oleh sistem kontrol PLC untuk mendapatkan spesifikasi produk yang diinginkan (Horman, 2006). Dengan demikian, penggunaan PLC dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi sekaligus minimalisir penggunaan tenaga manusia.

Bahan cair utama dalam pembuatan minuman karbonasi oleoresin biji pala adalah air. Sebelum masuk ke mesin pencampuran-karbonasi, air ditakar menggunakan pengukur aliran volumetrik. Penakar ini dipilih karena akurasi yang tinggi dalam pengukuran volume bahan cair. Setelah itu, air dimasukan melalui bagian tepi atas bejana dengan menggunakan pipa, lalu bahan cair turun dari sisi samping hingga bawah bejana untuk meminimalisir pembentukan gelembung udara (*aerasi*) (Horman, 2006).

Bahan padat seperti gula merah dan asam sitrat, serta oleoresin ditakar dengan pengukur aliran massa. Hal tersebut karena ketiga bahan ini ditambahkan setelah air memasuki tangki sirup sehingga ukuran volumetrik menjadi tidak akurat untuk digunakan. Dalam industri minuman, penggunaan pengukur aliran massa memiliki keuntungan, salah satunya yaitu dapat memasukan bahan ke dalam bejana secara langsung (Horman, 2006).



Gambar 3. 4. Ilustrasi Penakaran Bahan Baku dengan Pengukur Aliran

Sumber: Diambil dari Steen (2006)

Tahapan proses pembuatan sirup dirancang dengan mengacu pada tahapan proses skala laboratorium. Pembuatan sirup skala *mini plant* juga terdiri dari 2 tahap homogenisasi dengan kecepatan dan durasi yang berbeda. Minuman karbonasi yang menggunakan oleoresin (bersifat non-polar) merupakan minuman emulsi berjenis *oil-in-water* (Vilela *et al.*, 2018). Karena perbedaan polaritas, air dan minyak tidak dapat menyatu secara alami dan membentuk larutan yang tidak stabil. Salah satu cara untuk mendapatkan stabilitas minyak dalam air yang baik adalah dengan homogenisasi (Silva *et al.*, 2016; Caponio *et al.*, 2019; Tan *et al.*, 2015). Secara lebih ringkas, parameter proses pembuatan sirup pada skala *mini plant* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 9. Parameter Proses Pembuatan Sirup Skala *Mini Plant*

Tahapan Proses	Waktu (menit)	Putaran agitator (rpm)	Kecepatan homogenisasi (rpm)	Tekanan (bar)	Suhu (°C)
Homogenisasi 1	10	63	3400	1	27
Homogenisasi 2 + pasteurisasi	30	63	1000	1	27 → 85
<i>Hold-up time</i> pasteurisasi*	5	63	1000	1	85
<i>Cooling down</i>	15**	-	-	1	85 → 4

Keterangan:

**holding time* berada dalam waktu homogenisasi 2

**target waktu pendinginan yang diinginkan

Tanda “→” menunjukkan perubahan suhu

Pada *mini plant* yang dirancang, tekanan proses yang digunakan sebesar 1,013 bar atau setara dengan 1 atm (tekanan atmosfer normal). Tujuannya adalah agar tidak terjadi perubahan tekanan mendadak pada proses pemasukan bahan baku untuk homogenisasi tahap 2. Homogenisasi yang digunakan berjenis *high shear homogenization* (HSH). HSH digunakan untuk membentuk emulsi *oil-in-water* antara air dengan oleoresin agar terbentuk larutan yang stabil. Besarnya kecepatan putaran mempengaruhi besarnya gaya *shearing* yang digunakan untuk memecah droplet minyak berukuran besar menjadi kecil. Dengan kata lain, kecepatan putaran mempengaruhi stabilitas emulsi (Silva *et al.*, 2016; Tan *et al.*, 2015). Tan *et al.* (2015) menemukan bahwa HSH paling optimal dilakukan pada kecepatan 6000 rpm selama 7 menit untuk dispersi astasantin. Sedangkan, Silva *et al.* (2016) menemukan bahwa HSH paling efektif pada kecepatan 3600 rpm untuk dispersi *olive-based pates*. Kedua percobaan tersebut dilakukan pada skala laboratorium. Hal tersebut menunjukkan tidak ada acuan pasti terhadap kecepatan putaran dan durasi HSH pada berbagai jenis bahan pangan dan skala produksi.

Pada skala laboratorium, homogenisasi pertama dilakukan dengan kecepatan 4000 rpm selama 1,5 menit untuk mencampurkan air dengan oleoresin. Pada skala *mini plant*, kecepatan putaran perlu dikurangi karena kecepatan maksimal mesin sebesar 3400 rpm (lihat spesifikasi mesin). Penyesuaian proses homogenisasi

tahap 1 dilakukan dengan memperlama durasi homogenisasi karena penurunan kecepatan dan peningkatan volume bahan guna meningkatkan efektivitas proses, meskipun efisiensi proses mungkin menurun. Pada *mini plant* ini, dirancang waktu homogenisasi tahap 1 sekitar 10 menit yang mendekati waktu optimal pada percobaan Silva *et al.* (2016). Akan tetapi, jika sebelum menit ke-10 sudah terbentuk larutan homogen maka efisiensi penggunaan waktu menjadi rendah meskipun efektivitas proses baik. Oleh karena itu, jika pada percobaan di lapangan setelah *mini plant* berdiri ditemukan bahwa pada waktu kurang dari 10 menit larutan sudah homogen maka wajib dilakukan pengurangan waktu proses untuk meningkatkan efisiensi.

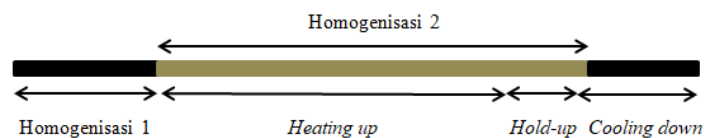
Pada skala laboratorium, homogenisasi tahap 2 dilakukan dengan kecepatan 2500 rpm selama 10 menit setelah penambahan gula merah dan asam sitrat. Homogenisasi tahap 2 ini memungkinkan pendispersian droplet oleoresin sekaligus pelarutan gula merah dan asam sitrat sehingga proses menjadi *compact*. Penyesuaian proses dari skala laboratorium ke skala *mini plant* dilakukan untuk mengantisipasi peningkatan volume bahan sehingga durasi homogenisasi diperpanjang menjadi 30 menit agar efektivitas proses baik, meskipun efisiensi mungkin menurun. Oleh karena itu, setelah *mini plant* berdiri perlu diuji coba untuk mengetahui waktu proses sebenarnya. Jika dengan waktu rancangan ini proses menjadi tidak efisien maka waktu proses perlu dikurangi dengan tetap mempertahankan efektivitas proses. Selain homogenisasi, selama pembuatan sirup juga terjadi pengadukan dengan *baffle* berkecepatan 63 rpm yang memungkinkan pencampuran yang lebih optimal. Dengan demikian, proses pencampuran bahan dalam pembuatan sirup berlangsung sekitar 40 menit yang sejalan dengan pernyataan Abu-Reidah (2020) bahwa pencampuran berlangsung sekitar 30 – 90 menit untuk setiap *batch*.

Untuk membantu pelarutan gula, homogenisasi tahap kedua dilakukan pada suhu yang terus meningkat sampai $\pm 85^{\circ}\text{C}$. Suhu tinggi ini mampu memfasilitasi pasteurisasi sirup, seperti dikutip dari Azaredo (2016) bahwa pasteurisasi sirup

pada suhu 85°C selama 5 menit (*hold-up time*) mampu menginaktivasi mikroorganisme. Pasteurisasi pada tahap ini penting untuk menjamin keamanan minuman karbonasi yang dihasilkan dari kontaminasi mikroorganisme dan sebagai cara untuk mendapatkan produk yang higienis (Histing, 2011).

Peningkatan suhu dilakukan dengan sumber energi berupa listrik untuk menghasilkan uap yang digunakan untuk memanaskan sistem. Perlu diperhatikan bahwa peningkatan suhu hingga *hold-up time* berlangsung bersamaan dengan homogenisasi kedua. Hal tersebut memungkinkan efisiensi waktu dan mesin karena pasteurisasi dilakukan dalam mesin pembuat sirup dan berlangsung secara bersamaan dengan homogenisasi sehingga proses menjadi cepat dan tidak diperlukan mesin yang berbeda. Untuk meminimalisir kehilangan energi (efisiensi energi meningkat), tangki terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan dalam, jaket, dan insulator.

Setelah pembuatan sirup dan pasteurisasi selesai, sirup didinginkan selama beberapa saat sampai suhu 4°C sebelum sirup memasuki proses karbonasi agar karbonasi berjalan efektif dan efisien (Steen, 2006a; Abu-Reidah, 2020; Azaredo, 2016). Pendinginan dilakukan di dalam tangki yang sama menggunakan sumber pendingin berupa air pendingin (*cooling water*). Adapun ilustrasi rancangan waktu pembuatan sirup dapat dilihat pada **Gambar 3.5.** di bawah ini. Perlu diperhatikan bahwa ilustrasi tersebut tidak serta-merta menunjukkan alokasi waktu, melainkan hanya gambaran kasar dari gabungan proses homogenisasi dan pasteurisasi.



Gambar 3. 5. Ilustrasi Rancangan Waktu Pembuatan Sirup

Sistem kontrol proses pembuatan sirup dilakukan dengan PLC (*Programmable Logic Controller*). PLC mengatur urutan pemasukan bahan ke dalam mesin beserta jalur yang perlu dilewati, pembukaan dan penutupan katup, mengatur kecepatan dan waktu proses, suhu dan tekanan proses, serta takaran bahan baku sesuai dengan yang dimasukkan ke dalam sistem. Mesin pembuatan sirup dilengkapi dengan thermometer yang memungkinkan pengukuran dan pemantauan suhu proses dengan lebih mudah. Untuk mengetahui jumlah bahan cair dan sirup yang terdapat di dalam tangki, mesin dapat dilengkapi dengan *liquid level meter*. Mesin juga dapat dilengkapi dengan *level controller* yang memungkinkan kontrol terhadap total jumlah bahan yang masuk serta jumlah sirup yang dihasilkan oleh mesin.

PLC dapat digunakan untuk mengontrol kadar gula sirup. Pada *mini plant*, PLC akan terhubung dengan refraktometer *in-line* (sebagai sensor) dan pengatur masuknya bahan serta pengeluaran sirup (sebagai motor). Refraktometer yang berperan sebagai sensor akan mengukur kadar °Brix sirup. Hasil pengukuran lalu masuk ke PLC dan dibandingkan dengan standar yang terdapat dalam sistem. Jika kadar gula sirup berada dalam kisaran yang sesuai, maka PLC akan memberikan perintah kepada pengatur keluarnya sirup agar sirup dapat dialirkan ke mesin pencampuran-karbonasi. Akan tetapi, jika kadar °Brix sirup di atas atau di bawah standar, maka PLC memberikan perintah kepada pengatur masuknya bahan baku yaitu menambahkan gula (jika di bawah standar) atau menambah bahan lain (jika di atas standar) (Horman, 2006).

c. Deaerasi air dan pencampuran-karbonasi

Pada umumnya, minuman karbonasi diproduksi menggunakan *beverage mixer* dan karbonator yang mengombinasi proses deaerasi air, pencampuran dan sirup, serta karbonasi (Steen, 2006a dan 2016; Wilson dan Medling, 2006). Sistem yang demikian mampu meningkatkan efisiensi penggunaan mesin, lahan, serta biaya, dengan tetap menjaga efektivitas proses. Tiga proses yang seharusnya dilakukan dengan tiga mesin berbeda dapat dilakukan dengan satu mesin. Pengurangan

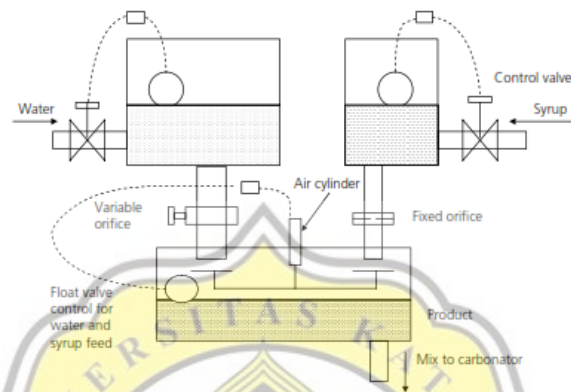
jumlah mesin menyebabkan penggunaan lahan berkurang, serta investasi biaya pembelian mesin juga berkurang. Secara keseluruhan, rancangan parameter proses yang demikian dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Deaerasi harus ada dalam proses pembuatan minuman karbonasi. Melalui deaerasi, kandungan udara pada bahan baku air dapat dikurangi. Kandungan udara yang berlebih dapat menyebabkan kerusakan produk karena terjadi kontaminasi mikroorganisme (mikroorganisme memanfaatkan oksigen dalam air) sehingga umur simpan menurun. Dari sudut pandang minuman karbonasi, udara berlebih menyebabkan gas karbon dioksida mudah terlepas lewat *fobbing* selama pengisian, serta pembacaan volume karbonasi yang salah. Setelah deaerasi, air harus ditangani dengan baik agar tidak terjadi pemasukan udara kembali (Steen, 2006a dan 2016). Hal tersebut menjadi keuntungan sistem ini karena jarak antara unit deaerasi dengan pencampuran-karbonasi sangat dekat sehingga tidak diperlukan penanganan yang kompleks dan risiko pemasukan udara minimal.

Pada *mini plant* yang dirancang, deaerasi dilakukan melalui deoksidasi dengan gas CO₂. Dalam Steen (2006a), proses ini dikenal juga sebagai metode *striping gas*. Pada metode ini, air dimasukkan ke dalam tangki yang berisi *striping gas* (gas pelarut) berupa karbon dioksida yang berperan menarik oksigen keluar dari air. Proses ini secara efektif mengurangi kandungan oksigen residual sampai 0,05 mg/L atau 0,05 ppm, tetapi terdapat residual gas sebesar 0,5 mg/L yang tidak menyebabkan masalah serius sehingga proses tetap efektif. Setelah deaerasi selesai, air didinginkan sampai 4°C sebelum masuk ke sistem karbonasi.

Menurut Horman (2006), pencampuran air-sirup dilakukan dengan rasio 3 bagian sirup dengan 17 bagian air. Mesin karbonasi memfasilitasi pencampuran dengan rasio sirup : air sebesar 1 : 3 – 6. Berdasarkan formulasi, pencampuran dilakukan terhadap 24 bagian sirup dengan 76 bagian air atau dengan rasio sirup : air sebesar 1 : 3,17. Agar bahan ditambahkan dalam jumlah yang tepat dan akurat, dilakukan penakaran sebelum pencampuran dengan sistem pengukur aliran (*flow meter*).

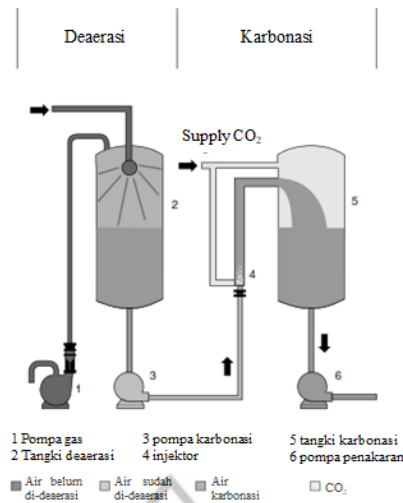
Sirup dan air diukur dengan pengukur aliran volumetrik. Proses penakaran dan pemasukan bahan dikontrol dengan PLC sehingga kelebihan/kekurangan takaran dapat segera teratasi dengan menyeimbangan ulang takaran berdasarkan rasio pencampuran yang akan digunakan (Abu-Reidah, 2020; Steen, 2006a).



Gambar 3. 6. Ilustrasi Penakaran Bahan Baku Pencampuran-Karbonasi

Sumber: Diambil dari Steen (2006)

Setelah itu, air dan sirup masuk ke tangki pencampuran-karbonasi bertekanan tinggi yang berasal dari tekanan gas karbon dioksida seperti dapat diilustrasikan oleh **Gambar 3.6**. Air dan sirup dipompa masuk melewati daerah antara pompa dan tangki yang terdapat injektor gas karbon dioksida seperti diilustrasikan oleh **Gambar 3.7**. Proses tersebut mampu meningkatkan efektivitas dan mempercepat absorpsi gas ke dalam campuran air-sirup. Efektivitas ini akan semakin tinggi jika kandungan udara (selain karbon dioksida) pada air sebelum karbonasi semakin rendah. Setelah pencampuran, diperlukan *settling* minuman dalam tangki sebelum pengisian (Wilson dan Medling, 2006).



Gambar 3. 7. Ilustrasi Aliran Air dari Tahap Deaerasi ke Karbonasi

Sumber: Diambil dari Wilson dan Medling (2006)

Karbonasi merupakan proses pemasukan gas karbon dioksida ke dalam larutan sehingga perlu dijalankan sesuai dengan hukum perilaku gas. Hukum perilaku gas yang menjadi dasar proses karbonasi yaitu Hukum Henry dan Hukum Charles. Hukum Henry berbunyi, “Jumlah gas yang terlarut dalam volume pelarut tertentu sebanding dengan tekanan gas ketika pelarut mencapai kesetimbangan”. Dari Hukum Henry dapat diketahui bahwa semakin besar tekanan gas maka semakin banyak jumlah gas yang terlarut dalam suatu pelarut, dan sebaliknya. Sedangkan Hukum Charles berbunyi, “Volume suatu gas ideal pada tekanan konstan secara langsung sebanding dengan suhu absolut”. Dari hukum ini dapat diketahui bahwa suhu memiliki pengaruh yang nyata terhadap volume gas, termasuk terhadap proses dan minuman karbonasi. Kombinasi antara kedua hukum tersebut menghasilkan hukum universal gas ideal (Steen, 2006a; Liger-Belair, 2019).

Dari persamaan gas ideal, didapatkan grafik karbonasi. Grafik ini berfungsi untuk menunjukkan besarnya tekanan yang diperlukan dalam proses karbonasi untuk mendapatkan minuman dengan volume karbonasi tertentu yang dilakukan pada suhu tertentu (Steen, 2006a). Berdasarkan optimalisasi formulasi, volume karbonasi minuman karbonasi oleoresin biji pala sebesar 3 yang diproses pada suhu 4°C. Jika dilihat pada grafik karbonasi (lihat **Lampiran 10**) maka diperlukan

tekanan proses sebesar 1,1 bar untuk mendapatkan volume karbonasi tersebut pada suhu 4°C. Hal senada juga terlihat pada **Lampiran 11**. Untuk melarutkan 5,94 gram gas karbon dioksida (setara dengan volume karbonasi 3 l) ke dalam 1 l larutan dibutuhkan tekanan $\pm 1,1$ bar atau $\pm 2,1$ bar absolut. Lamanya proses karbonasi ditentukan oleh besarnya laju aliran minuman, laju injeksi karbon dioksida, suhu, serta tekanan (Steen, 2006a dan 2016; Abu-Reidah, 2020). Faktor penentu tersebut juga mempengaruhi efisiensi dan efektivitas proses karbonasi.

Karbon dioksida dapat masuk ke dalam minuman pada titik saturasi dimana terlarut sejumlah tertentu gas pada tekanan dan suhu tertentu. Banyaknya karbon dioksida yang dapat diserap oleh minuman bergantung pada laju aliran gas, tekanan dalam tangki karbonasi, dan suhu minuman. Semakin tinggi kandungan karbon dioksida yang diharapkan maka semakin tinggi pula tekanan saturasi yang diperlukan pada suhu karbonasi tertentu, dan sebaliknya. Karbonasi menjadi lebih mudah dilakukan pada suhu rendah sehingga diperlukan pendinginan bahan sebelum karbonasi, umumnya dilakukan penurunan sampai suhu 4°C (Steen, 2006a; Abu-Reidah, 2020; Azaredo, 2016).

Semakin besar luas area minuman yang kontak dengan karbon dioksida maka semakin tinggi laju absorpsi karbon dioksida ke dalam cairan. Laju absorpsi juga dipengaruhi oleh ukuran gelembung gas karbon dioksida yang terbentuk, yakni semakin kecil ukuran gelembung maka semakin mudah absorpsi gas ke dalam minuman karena semakin besar area kontak antara gas dengan minuman. Semakin tinggi tekanan *sparger*/injektor maka semakin kecil ukuran gelembung gas yang dihasilkan (Steen, 2006a; Abu-Reidah, 2020).

Pada *mini plant* ini, karbon dioksida dimasukkan dengan cara injeksi dan dispersi menggunakan injektor. Sistem ini melibatkan pembentukan gelembung gas kecil ketika gas diinjeksikan ke dalam larutan sehingga absorpsi gas lebih mudah. Semakin tinggi tekanan injeksi maka semakin kecil gelembung gas dan semakin besar permukaan kontak absorpsi gas. Kelemahan sistem karbonasi ini adalah

ukuran diameter gelembung gas tidak dapat terlalu kecil (Steen, 2006a). Untuk mengatasi hal tersebut, mesin pada *mini plant* yang dirancang dilengkapi dengan *static mixer* dengan kecepatan 1000 – 1500 rpm yang efektif mengecilkan ukuran gelembung gas sehingga *coalescence* atau penggabungan gelembung gas yang memacu pelepasan gas dapat dicegah (Steen, 2006a). Dengan demikian, kombinasi suhu, tekanan, dan pengadukan selama proses berguna untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pencampuran-karbonasi dengan memaksimalkan penyerapan gas karbon dioksida ke dalam minuman.

Mesin pencampuran-karbonasi dilengkapi dengan tangki penyimpanan yang berfungsi menyimpan minuman. Mesin ini bekerja dengan sistem *continuous* sehingga minuman karbonasi yang telah dihasilkan perlu dikeluarkan dari tangki karbonasi dan disimpan dalam tangki penyimpanan. Tangki penyimpanan pada mesin mampu beroperasi pada tekanan 2 – 5 bar. Sesuai dengan perkataan Wilson dan Medling (2006), untuk mencegah pelepasan gas pada minuman karbonasi diperlukan penyimpanan dengan tekanan 1 bar lebih tinggi dari tekanan jenuh gas. Oleh karena tekanan jenuh gas pada volume karbonasi 3 sebesar 1,1 bar, maka dalam tekanan tangki penyimpanan sebesar 2,1 bar.

Kontrol proses sangat diperlukan dalam tahap pencampuran-karbonasi yang melibatkan tekanan tinggi. Mesin yang digunakan pada *mini plant* memiliki sistem PLC yang memungkinkan kontrol proses secara otomatis, dari awal hingga akhir. PLC digunakan untuk mengontrol tekanan injektor dan tekanan selama karbonasi, menjaga suhu proses, dan mengatur takaran dan proses pemasukan bahan. Adapun parameter proses yang perlu dikontrol dapat dilihat pada tabel di bawah ini. PLC juga mampu mendeteksi abnormalitas mesin dan memberikan *alarm* peringatan dilanjutkan dengan mesin berhenti secara otomatis. Selain itu, PLC juga digunakan untuk kontrol kualitas minuman karbonasi yang dihasilkan. Oleh karena itu, parameter proses seperti tabel di bawah ini perlu dikontrol.

Tabel 3. 10. Parameter Proses Pencampuran-Karbonasi Skala *Mini Plant*

Parameter Proses	Kondisi Proses
Deaerasi air	<i>Striping gas</i> dengan karbon dioksida
Rasio pencampuran	1 : 3,17 (sirup : air)
Tekanan proses	1,1 bar
Tekanan di tangki penyimpanan	2,1 bar*
Volume karbonasi	3
Suhu	4°C
Waktu proses karbonasi	3,6 detik per 1 liter**

Keterangan:

*berdasarkan penjelasan bagian 3.3.2

**berdasarkan kapasitas mesin

d. Pengisian-penutupan

Hukum Henry dan Hukum Charles juga diterapkan pada proses pengisian (*filling*) untuk mencegah *fobbing* (pembentukan gelembung gas ke permukaan minuman akibat lepasnya gas) dengan memberikan kombinasi suhu dan tekanan yang tepat. Tekanan yang diberikan untuk mempertahankan karbon dioksida dalam minuman tergantung pada volume karbonasi dan suhu. Karbon dioksida semakin mudah lepas jika suhu maupun volume karbonasi semakin tinggi. Semakin besar kandungan karbon dioksida dalam minuman maka semakin tinggi tekanan yang diperlukan pada suhu tertentu, dan sebaliknya semakin rendah suhu maka semakin rendah tekanan yang dibutuhkan. Hal tersebut karena solubilitas karbon dioksida meningkat seiring peningkatan tekanan ataupun penurunan suhu (Ghose dan Nair, 2013; Steen 2006a dan 2016; Wilson dan Medling, 2006). Dengan kata lain, tekanan dan suhu proses pengisian juga ditentukan berdasarkan grafik karbonasi dan solubilitas karbon dioksida. Secara ringkas, rancangan parameter proses pengisian-penutupan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 11. Parameter Proses Pengisian-Penutupan Skala *Mini Plant*

Parameter Proses	Kondisi Proses
Tekanan	2,1 bar
Suhu	4°C
Waktu proses (masuk → keluar)	1,8 detik per 1 botol
Level pengisian	330 ml ± 3 mm*

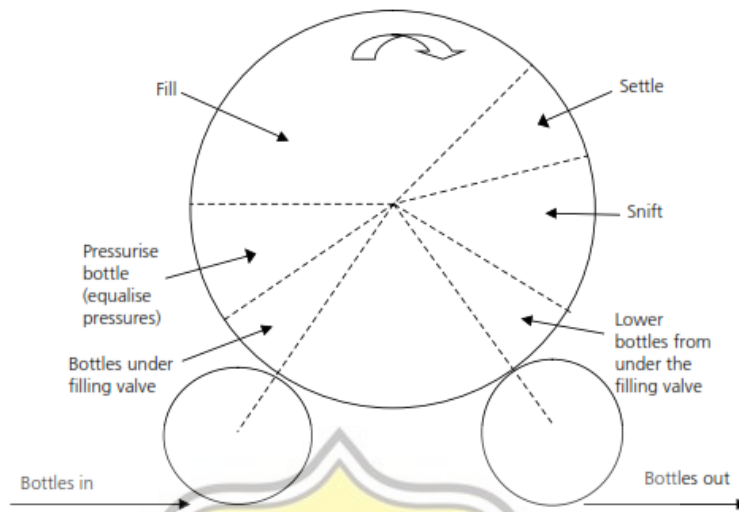
Keterangan:

*±SD (*Standard Deviation*) berdasarkan akurasi pengisian yang dimiliki oleh mesin

Pada *mini plant* ini, pengisian dilakukan dengan prinsip *equal pressure*. Prinsip dari metode pengisian tersebut adalah penyamaan tekanan antara *filling bowl* dengan kemasan agar proses *gravity filling* dapat berlangsung. Prinsip pengisian ini dikenal sebagai *gravity filling*. Pada minuman karbonasi, *gravity filling* dilakukan di atas tekanan atmosfer sehingga disebut juga *pressure gravity filling* dan *counter pressure filling*. Dengan penyamaan tekanan, minuman dapat turun dan memasuki kemasan (Steen, 2006a dan 2016; Wilson dan Medling, 2006).

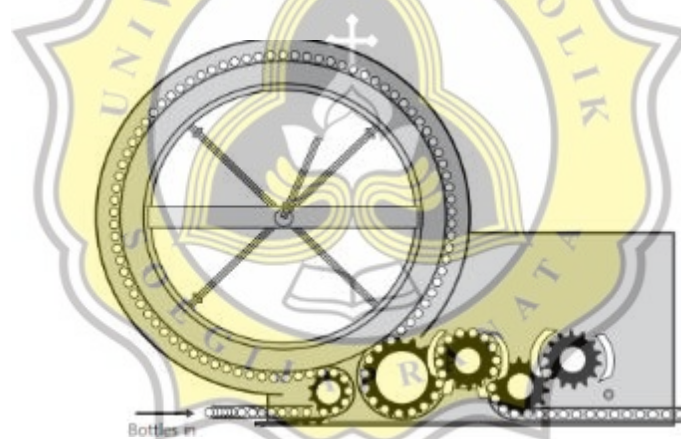
Beberapa hal yang dapat dilakukan agar pengisian berjalan efektif dan efisien adalah mempertahankan karbon dioksida dalam minuman, menjaga suhu minuman selama pengisian, dan mencegah penyerapan oksigen. Karbon dioksida akan lepas melalui *fobbing* akibat pergeseran kesetimbangan sehingga kandungan karbon dioksida dalam minuman berkurang. Pelepasan gas karbon dioksida selama pengisian dicegah dengan mengatur tekanan *headspace filler bowl* sekitar 1 bar lebih tinggi dari tekanan jenuh karbon dioksida pada suhu dan volume karbonasi tertentu. Oleh karena tekanan jenuh karbon dioksida pada volume karbonasi 3 sebesar 1,1 bar maka tekanan pengisian yang digunakan sebesar 2,1 bar. Tekanan yang lebih tinggi diterapkan untuk mengantisipasi guncangan yang tidak dapat dihindari selama pengisian.

Pada *mini plant* ini, pengisian dilakukan pada suhu 4°C karena dapat mengurangi waktu presurisasi dan *snifiting*, meningkatkan retensi gas, serta konsumsi gas dan *fobbing* (Wilson dan Medling, 2006; Ghose dan Nair, 2013; Goshal, 2019; Steen, 2006a dan 2016; Abu-Reidah, 2020). Minimalisir oksigen dalam kemasan botol PET sebelum pengisian dilakukan dengan pembilasan (*flushing*) oleh gas karbon dioksida ke dalam kemasan (Wilson dan Medling, 2006). Dengan beberapa cara tersebut, diharapkan selama pengisian pelepasan karbon dioksida diminimalisir sehingga efisiensi bahan serta efektivitas proses meningkat karena produk mendekati spesifikasi yang diharapkan.



Gambar 3. 8. Siklus Pengisian *Counter Pressure* Model Berputar

Sumber: Diambil dari Steen (2006)



Gambar 3. 9. Ilustrasi *Infed Worm* dan *Star-Wheels* pada *Filler*

Sumber: Diambil dari Steen (2006)

Pada *mini plant* yang dirancang, pengisian dilakukan langsung setelah karbonasi ketika minuman masih dingin (Abu-Reidah, 2020) untuk meningkatkan efektivitas. Beberapa tahapan proses pengisian yang diterapkan pada *mini plant* sesuai dengan tulisan Wilson dan Medling (2006) dan Steen (2006a dan 2016) karena didukung oleh mesin yang digunakan. Secara garis besar, model produksi dapat diilustrasikan oleh **Gambar 3.8.** dan **Gambar 3.9.** yang menerapkan sistem *starwheel* dan *filler carousel* (keduanya berbentuk bulat, sehingga botol bergerak mengitarinya).

Adapun penjelasan dari setiap tahapan adalah sebagai berikut.

a. Pemasukan botol PET ke dalam mesin pengemas

Pada tahap ini, botol PET kosong dimasukkan ke dalam sistem pengemasan menggunakan *air conveyor (airveyor)* yang memegang botol pada bagian *neck support ring*. Botol dipindahkan oleh *airveyor* menuju ke *starwheel* menggunakan *pitching starwheel*. Setelah itu, botol dipindahkan dari *neck-handling starwheel* ke *filler carousel*. Pemindahan botol antar *starwheel* dilakukan dengan memegang botol di atas atau bawah *neck support ring* oleh *starwheel* berikutnya. Ketika botol sudah memasuki *filler carousel*, botol diangkat oleh *lifting cylinder* untuk dikunci terhadap *filling valve*. Botol harus terus ditekan terhadap *filling valve* untuk mempertahankan kerekatan penguncian. Mesin tetap memegang botol pada bagian *neck support ring*.

b. *Gas flushing* dan *pressurising*

Kemasan yang sudah dikunci terhadap *filling valve* dihembuskan udara yang berasal dari *filler bowl* atau berupa gas murni. *Gas needle* dibuka oleh silinder yang dikontrol secara pneumatika sehingga terbuka saluran antara kemasan dengan *filler bowl* yang menyebabkan karbon dioksida mengalir keluar dari *filler bowl* menuju ke dalam kemasan melalui *return air tube*. Aliran karbon dioksida menuju botol dipengaruhi oleh pemberian tekanan sekitar 2,1 bar pada *filler bowl*. Pemasukan gas menyebabkan peningkatan tekanan di dalam botol hingga sama dengan tekanan dalam *filler bowl*.

c. Pengisian minuman ke dalam botol

Ketika tekanan sudah setimbang, *filling valve* dibuka sehingga proses pengisian dimulai dan produk mengalir masuk ke dalam botol melalui *return air tube*. Gas bertekanan dalam botol terdorong keluar selama proses pengisian dan mengalir balik ke *filler bowl* melalui *return air tube*. Untuk mempercepat proses, pengisian dapat dilakukan dengan pemberian tekanan yang lebih besar dari tekanan dalam kemasan, yaitu lebih besar dari 2,1 bar sesuai dengan kebutuhan.

Level pengisian ditentukan dengan prinsip volumetrik yakni volume minuman yang diisikan sudah ditentukan dan dimasukkan ke dalam sistem PLC. Volume minuman yang dimasukkan akan dihitung ketika botol diisi dengan menggunakan pengukur aliran volumetrik di setiap *filling valve*. Sistem ini cocok diterapkan untuk pengemasan ke dalam botol berukuran kecil. Pengisian akan berhenti ketika jumlah minuman yang terukur oleh pengukur aliran volumetrik sudah sama dengan level pengisian yang ditentukan. Setelah itu, *pneumatic double-lifting cylinder* menutup *product stem*, tetapi *gas needle* tetap terbuka. Sesuai dengan mesin yang digunakan, proses pengisian memiliki akurasi sebesar 3 mm.

d. *Snifing* dan *settling*

Snifing adalah proses pengeluaran gas dari *headspace* botol secara perlahan untuk menurunkan tekanan sebelum botol dilepas dari *filling valve*. Seperti diketahui bahwa botol memiliki tekanan yang sama dengan *filler bowl* yaitu sebesar 2,1 bar yang lebih tinggi dibandingkan tekanan atmosfer. Jika *snifing* tidak dilakukan, maka terdapat perbedaan tekanan yang sangat besar antara botol dengan udara sehingga *intense fobbing* akan terjadi ketika botol dilepaskan dari *filling valve*. *Intense fobbing* menyebabkan lepasnya karbon dioksida dalam jumlah besar sehingga efisiensi proses (penggunaan karbon dioksida) dan efektivitas proses (kandungan karbon dioksida dalam minuman) menjadi rendah. Untuk meminimalisir *fobbing*, *snifing* dilakukan beberapa kali dengan durasi singkat. *Snifing* secara cepat dan dalam durasi yang lama menyebabkan perubahan tekanan secara mendadak sehingga terjadi *fobbing*. Penerapan *snifing* harus diikuti oleh *settling*. *Settling* merupakan tahap pendiaman yang memberikan waktu kepada minuman untuk menyeimbangkan ulang tekanan agar *fobbing* diminimalisir.

Snifing diawali dengan terbukanya *snift valve* yang menghubungkan kemasan dengan *snift channel*. Setelah itu, tekanan pada *headspace* kemasan

keluar melalui *snift channel*. *Snifting* dilakukan beberapa kali dalam waktu singkat, diikuti *settling* untuk menyeimbangkan tekanan sebelum dilakukan *snifting* berikutnya. *Snifting* dan *settling* akan terus dilakukan sampai tekanan *headspace* kemasan mencapai tekanan atmosfer. Sesuai dengan rancangan proses, tekanan jenuh karbon dioksida tidak berbeda jauh dengan tekanan atmosfer sehingga penurunan tekanan setelah *snifting* tidak berpengaruh besar terhadap produk dan efektivitas proses tetap baik. Setelah selesai, *snift valve* akan tertutup lalu kemasan dilepaskan dari *filling valve*. *Lifting cylinder* lalu bergerak ke bawah yang menyebabkan botol turun lalu ditransfer ke *discharge starwheel*.

e. Penutupan

Botol yang sudah memasuki *discharge starwheel* akan memasuki area penutupan. Proses penutupan dilakukan oleh *advanced magnetic couple* yang mampu mengatur *cap-screwing torque*. Proses penutupan yang demikian mampu menjamin kualitas *capping* sehingga efisiensi dan efektivitas dapat ditingkatkan. Pada tahap ini, kemasan dipegang pada bagian *neck support ring* lalu ditutup dengan penutup plastik. Setelah itu, botol dikeluarkan melalui *conventional slat conveyor* yang sudah disesuaikan dengan ketinggian botol.

Keseluruhan rangkaian proses pengisian dan penutupan pada *mini plant* yang dirancang dikontrol secara otomatis oleh PLC. Kontrol proses dilakukan untuk menjaga tekanan dan suhu selama pengisian, pembukaan dan penutupan *valve* dalam sistem, *starwheel* dan konveyor yang mempengaruhi pergerakan botol, level pengisian, dan proses *snifting*. Dengan adanya PLC, proses produksi dapat dikontrol agar sesuai dengan rancangan sehingga tetap efisien dan efektif.

3.3.3. Rancangan Kapasitas dan Waktu Produksi Skala *Mini Plant*

Besar kapasitas produksi pada *mini plant* disesuaikan dengan kapasitas produksi mesin/peralatan. Berdasarkan spesifikasi mesin, diketahui bahwa mesin pengolahan air dan pencampuran-karbonasi memiliki kapasitas 1000 l/jam, mesin

pembuatan sirup memiliki volume efektif 500 L, dan mesin pengisian-penutupan memiliki kapasitas 2000 botol/jam.

Khusus mesin pembuatan sirup, volume tangki maksimal didapatkan dari hasil perhitungan volume tangki berdasarkan dimensi mesin. Hasil perhitungan pada bagian 2.8 menunjukkan volume tangki sirup sebesar 452,161 l. Karena memiliki nilai yang lebih kecil maka volume hasil perhitungan dianggap sebagai volume maksimal tangki.

Proses pembuatan sirup yang melibatkan homogenisasi dan pengadukan memungkinkan terjadinya gonjakan/gejolak larutan sehingga tangki tidak boleh diisi hingga penuh (100%). Pengisian penuh dapat menyebabkan sirup tertumpah. Untuk menghindari hal tersebut, kapasitas maksimal produksi pada mesin pembuatan sirup adalah 90% dari volume maksimal tangki yaitu 406,8 l.

Sebagai satu-satunya proses dengan sistem *batch*, mesin pembuatan sirup memiliki kendali terhadap seluruh kapasitas produksi. Kapasitas maksimal produksi ketiga mesin lainnya dipengaruhi oleh besarnya kapasitas tangki sirup. Dari **Tabel 3. 7.** diketahui bahwa diperlukan 24% sirup dalam pembuatan minuman karbonasi. Hal tersebut menunjukkan kapasitas maksimal sirup yang dihasilkan sebesar 24% dari total minuman yang diproduksi (100%). Dengan demikian, 406,8 l sirup merupakan 24% dari kapasitas maksimal produksi total pada *mini plant*. Melalui perhitungan pada bagian 2.8, diketahui bahwa kapasitas maksimal pada *mini plant* sebesar 1695 l. Setiap botol berisi 330 ml minuman sehingga produksi pada kapasitas maksimal menghasilkan 5136,36 atau dibulatkan menjadi 5136 botol berukuran 350 ml.

Untuk mendapatkan gambaran, dilihat perbedaan jumlah produksi 4 kapasitas. Pemilihan 4 jenis kapasitas tersebut didasari prinsip bahwa kapasitas 100% sebagai kapasitas maksimal, kapasitas 75% sebagai kuartal atas dari kapasitas maksimal, kapasitas 50% sebagai median dari kapasitas maksimal, dan kapasitas

25% sebagai kuartal bawah dari kapasitas maksimal. Dengan demikian, diharapkan gambaran besarnya produksi pada berbagai kapasitas dapat terlihat.

Tabel 3. 12. Rancangan Kapasitas Produksi *Mini Plant*

Tahap/input/output	Satuan	100%	75%	50%	25%
Pengolahan air					
Input: air	l	1627,06	1248,64	832,43	416,21
Output:					
Air untuk sirup	l	338,86	254,15	169,43	84,72
Air untuk karbonasi	l	1288,20	966,15	644,10	322,05
Pembuatan sirup*					
Input:					
Air	l	338,86	254,15	169,43	84,72
Gula merah (halus)	kg	84,74	63,55	42,37	21,18
Asam sitrat	kg	0,85	0,64	0,43	0,21
Oleoresin	kg	2,89	2,71	1,44	0,72
Output: sirup	l	406,80	305,10	203,40	101,70
Pencampuran-karbonasi*					
Input:					
Air	l	1288,20	966,15	644,10	322,05
Sirup	l	406,80	305,10	203,40	101,70
Karbon dioksida	kg	10,00	7,50	5,00	2,50
Output: minuman <i>final</i>	l	1695,00	1271,15	847,50	423,75
Pengisian					
Input: minuman <i>final</i>	l	1695,00	1271,25	847,50	423,75
Output: minuman dalam kemasan	botol	5136	3852	2568	1284

Dari tabel di atas, dapat dilihat kisaran besarnya produksi pada kapasitas tertentu. Misalnya jika diinginkan produksi dengan kapasitas 80% maka banyaknya minuman yang dihasilkan lebih besar dari 3852 botol dan lebih kecil dari 5136 botol. Demikian pula jika diinginkan produksi pada kapasitas 65% maka volume minuman yang dihasilkan lebih besar dari 847,50 l dan lebih kecil dari 1271 l.

Setelah perancangan kapasitas produksi didapatkan, dilakukan perancangan waktu produksi. Seperti sebelumnya, untuk mendapatkan gambaran yang besar maka perancangan waktu dilakukan terhadap 4 kapasitas produksi. Adapun perancangan waktu produksi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 13. Rancangan Waktu Produksi *Mini Plant*

Proses	100%		75%		50%		25%	
	Jam	Menit	Jam	Menit	Jam	Menit	Jam	Menit
Pengolahan air	1,64	98,4	1,23	73,80	0,82	49,20	0,41	24,60
Pembuatan sirup	0,91	55	0,68	41,25	0,46	27,50	0,23	13,75
Pencampuran-karbonasi	1,70	102	1,28	76,50	0,85	51,00	0,43	25,50
Pengisian-penutupan	2,57	154,2	1,93	115,65	1,29	77,10	0,64	38,55
Total	6,82	409,6	5,12	307,20	3,41	204,80	1,71	102,40

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa produksi pada kapasitas maksimal (100%) memerlukan total waktu 6,82 jam. Semakin rendah kapasitas produksi maka total waktu yang diperlukan semakin sedikit. Dengan demikian, lamanya proses produksi bergantung pada besarnya kapasitas produksi.

3.4. Keseimbangan Massa Proses Produksi

Keseimbangan massa dianalisis dengan membuat *mass flow diagram* dan neraca keseimbangan massa. Analisis ini dilakukan terhadap hasil percobaan pendahuluan maupun untuk memprediksi keseimbangan massa pada skala *mini plant*.

3.4.1. Keseimbangan Massa Hasil Percobaan Pendahuluan

Keseimbangan massa hasil percobaan pendahuluan disajikan mulai dari proses ekstraksi oleoresin hingga pembuatan minuman karbonasi. Diagram dan tabel di bawah ini menunjukkan aliran massa pada ekstraksi oleoresin.

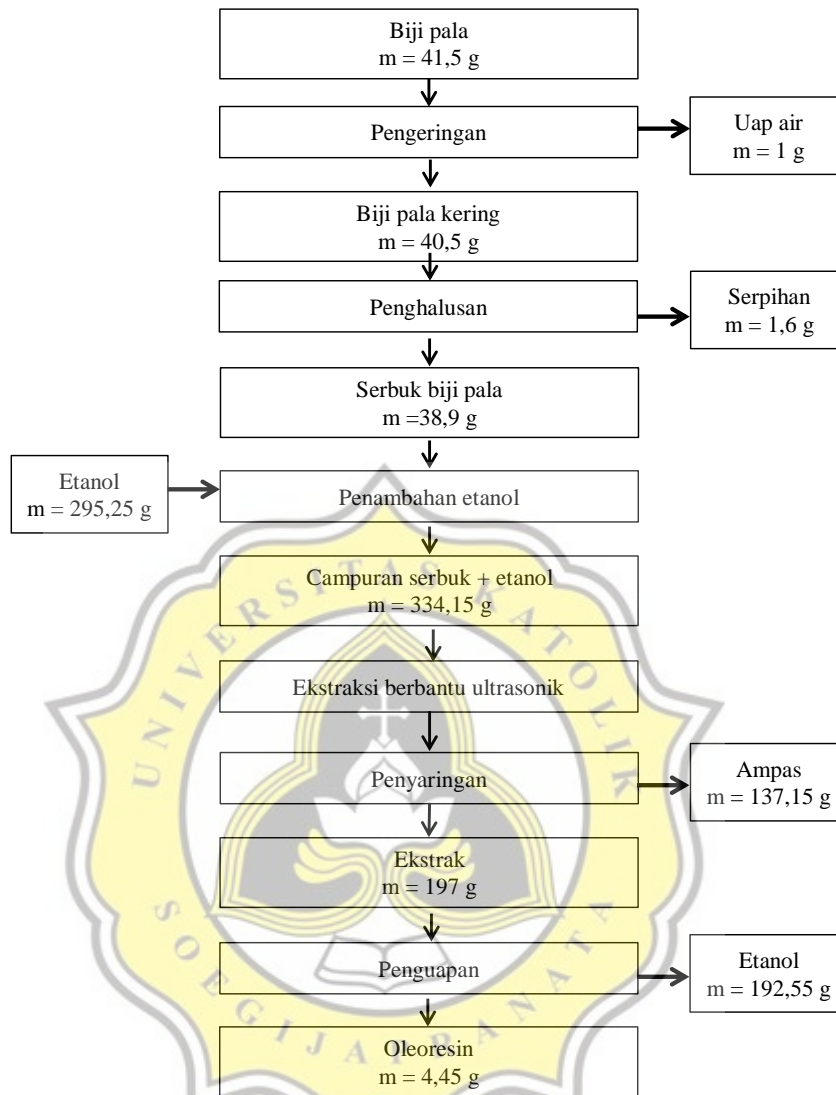


Diagram 3. 1. Mass Flow Diagram Ekstraksi Oleoresin Biji Pala

Tabel 3. 14. Neraca Keseimbangan Massa Ekstraksi Oleoresin Biji Pla

Massa masuk (g)		Massa keluar (g)	
Biji pala	41,50	Uap air	1,00
Etanol	295,25	Serpihan	1,60
		Ampas	137,15
		Etanol	192,55
		Oleoresin	4,45
Total	336,75	Total	336,75

Selama proses ekstraksi oleoresin, terjadi penurunan massa dari bahan baku (biji pala) hingga menjadi produk (oleoresin biji pala). Penurunan massa disebabkan

oleh adanya penguapan air selama pengeringan, biji pala halus yang tertinggal di *blender*, maupun ampas yang tidak digunakan. Jika dilihat dari **Diagram 3.1.**, massa etanol masuk lebih besar dibandingkan massa etanol keluar setelah penguapan. Meskipun demikian, perlu diperhatikan pula bahwa massa ampas lebih besar dibandingkan massa biji pala halus. Dari kedua informasi tersebut diketahui bahwa etanol sisa yang tidak terdeteksi pada diagram tersebut bersatu dengan ampas. Dengan kata lain, ampas adalah gabungan biji pala halus dengan etanol. Etanol yang tidak terikat dengan biji pala tetap tinggal setelah penyaringan dan akhirnya berhasil diuapkan. Melalui proses ekstraksi tersebut, didapatkan 4,45 gram oleoresin biji pala.

Mass flow diagram dan neraca kesetimbangan massa proses pembuatan minuman karbonasi skala laboratorium dapat dilihat di bawah ini.

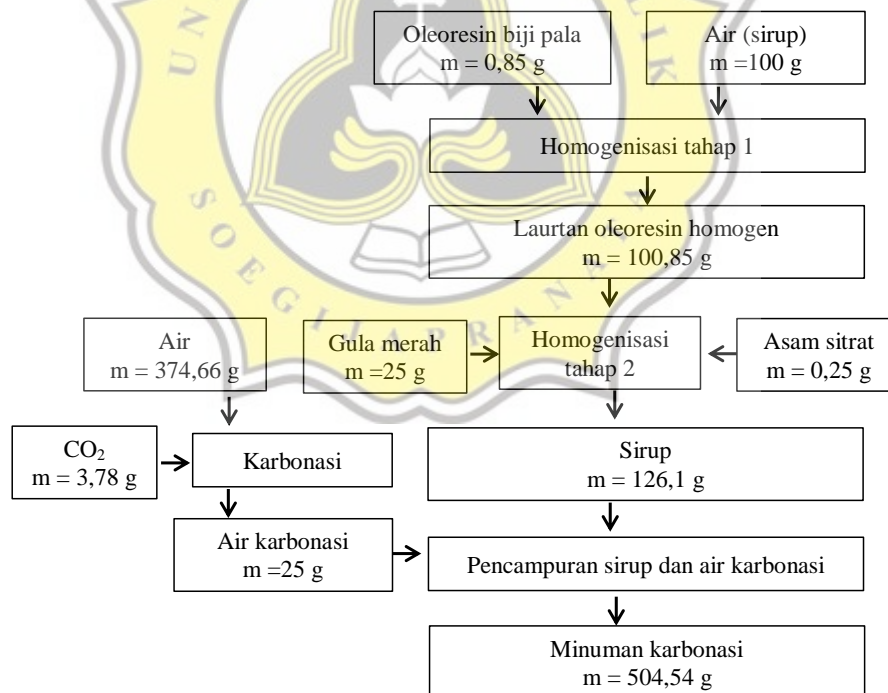


Diagram 3. 2. *Mass Flow Diagram* Pembuatan Minuman Karbonasi Skala Laboratorium

Tabel 3. 15. Neraca Keseimbangan Massa Pembuatan Minuman Karbonasi Skala Laboratorium

Massa masuk (g)		Massa keluar (g)	
Sirup	126,10	Minuman karbonasi	504,54
Air (sirup)	100,00	Minuman	500,76
Oleoresin biji pala	0,85	Karbon dioksida	3,78
Gula merah	25,00		
Asam sitrat	0,25		
Air karbonasi	378,44		
Air	374,66		
Karbon dioksida	3,78		
Total	504,54	Total	504,54

Percobaan laboratorium dilakukan untuk mendapatkan 500 ml minuman karbonasi. Dari diagram dan tabel di atas, dapat diketahui bahwa 500 ml minuman memiliki massa sebesar 504,54 gram. Untuk mendapatkan minuman karbonasi dengan jumlah tersebut, oleoresin yang digunakan hanya 0,85 gram (dari 4,45 gram yang dihasilkan oleh proses ekstraksi). Dari diagram dan tabel di atas juga dapat diketahui bahwa massa air dan air yang telah dikarbonasi berbeda. Keberadaan karbon dioksida memiliki pengaruh terhadap massa produk secara keseluruhan. Jika dilihat kembali, massa karbon dioksida lebih besar dibandingkan massa asam sitrat maupun oleoresin biji pala.

3.4.2. Prediksi Keseimbangan Massa Skala *Mini Plant*

Keseimbangan massa pada skala *mini plant* diprediksi dari bahan baku hingga produk terkemas pada produksi kapasitas maksimal. Karena itu, massa bahan pengemas turut diperhitungkan. Minuman karbonasi memiliki keunikan tersendiri dibanding minuman lainnya karena terdapat gas pada bagian *headspace* yang berkontribusi pada massa total. Oleh karena itu, massa gas karbon dioksida di *headspace* kemasan juga turut diperhitungkan dalam keseimbangan massa, selain gas terlarut.

Dikutip dari Liger-Belair (2019), terdapat dua fase karbon dioksida pada minuman karbonasi dalam kemasan tertutup, yaitu fase gas yang berada di *headspace* dan fase cair yang terlarut dalam minuman. Jumlah kedua fase gas tersebut, baik massa maupun mol, selalu tetap dalam kemasan tersebut. Kedua fase gas tersebut berkontribusi terhadap massa produk terkemas secara keseluruhan. Pada skala *mini plant*, massa karbon dioksida terlarut dapat diketahui dari formulasi dan kondisi proses yang dirancang. Sedangkan, massa karbon dioksida di *headspace* tidak hanya dipengaruhi oleh massa karbon dioksida terlarut, suhu, dan tekanan, tetapi juga dipengaruhi oleh volume *headspace* kemasan yang tersedia. Untuk mengetahui jumlah karbon dioksida di *headspace* kemasan, dilakukan analisis dan perhitungan sebagai berikut.

Dalam kemasan tertutup, massa karbon dioksida terlarut dan massa karbon dioksida di *headspace* saling mempengaruhi. Hubungan tersebut dijelaskan oleh Hukum Henry yang menyatakan bahwa konsentrasi karbon dioksida terlarut (C_L) sebanding dengan besarnya tekanan parsial gas karbon dioksida (P_{CO_2}) di *headspace* kemasan pada suhu tertentu. Besarnya kelarutan gas sangat bergantung pada suhu yang dinyatakan sebagai konstanta Hukum Henry untuk kelarutan gas (k_H). Hasil perhitungan menggunakan kedua rumus tersebut yang disajikan pada **Tabel 3.16.** di bawah ini memprediksikan perubahan kelarutan gas (C_L) akibat perubahan suhu. Pada tabel juga terlihat bahwa pada tekanan tetap, semakin rendah suhu maka semakin besar nilai k_h sehingga semakin besar pula kelarutan gas (C_L).

Tabel 3. 16. Pengaruh Suhu Terhadap Kelarutan Gas CO₂

Suhu (K)	K_h (g/l.bar)	C_L (g/l)
277	5,4000	5,9400
278	5,2347	5,7581
283	4,4956	4,9452
288	3,8814	4,2696
293	3,3680	3,7048
298	2,9364	3,2300
300	2,7832	3,0615
303	2,5717	2,8289

Perhitungan lanjutan seperti pada **Lampiran 15** menghasilkan tabel di bawah ini.

Tabel 3. 17. Keseimbangan Gas CO₂ Dalam Botol 350 ml Tertutup

Suhu (K)	m _L (g)	m _g (g)	m _t (g)
277	1,9602	0,0421	2,0023
278	1,3819	0,6203	2,0023
283	1,1869	0,8154	2,0023
288	1,0247	0,9776	2,0023
293	0,8891	1,1131	2,0023
298	0,7752	1,2270	2,0023
300	0,7348	1,2675	2,0023
303	0,6789	1,3233	2,0023

Keterangan:

Neto minuman sebesar 330 ml, dengan volume *headspace* sebesar 20 ml

Tabel di atas menunjukkan keseimbangan massa karbon dioksida dalam kemasan 350 ml (berbeda halnya pada tabel 3.15. menunjukkan kelarutan per liter). Tabel tersebut menunjukkan bahwa pengurangan massa karbon dioksida terlarut (m_L) menyebabkan penambahan massa karbon dioksida di *headspace* (m_g). Hal ini berarti kenaikan suhu memacu pelepasan gas dari dalam minuman menuju ke *headspace*, bukan menuju ke udara terbuka (karena kemasan tertutup) yang menurunkan massa gas terlarut. Jika suhu diturunkan kembali, gas yang semula lepas akan kembali terdorong masuk ke dalam minuman dan meningkatkan massa gas terlarut.

Penjelasan di atas menunjukkan bahwa pada berbagai suhu, massa total karbon dioksida selalu tetap (dengan asumsi tidak terjadi migrasi gas keluar melewati kemasan) dan analisa keseimbangan massa keseluruhan akan sama pada berbagai suhu. Meskipun demikian, analisa keseimbangan massa karbon dioksida didasarkan pada kondisi 4°C dan 1,1 bar yang digunakan pada proses karbonasi. Suhu dan tekanan ini dipilih untuk mewakili keseimbangan massa gas karbon dioksida yang diinjeksikan serta massa gas karbon dioksida di *headspace* setelah kemasan ditutup. Dalam pembuatan keseimbangan massa secara keseluruhan, digunakan asumsi bahwa tidak terjadi *fobbing* berlebih selama pengisian dan penutupan, serta tidak ada migrasi gas keluar dari kemasan.

Dengan berbagai pertimbangan seperti dijelaskan di atas, dihasilkan prediksi kesetimbangan massa skala *mini plant* dalam bentuk *mass flow diagram* dan neraca kesetimbangan massa. Adapun keduanya dapat dilihat di bawah ini.

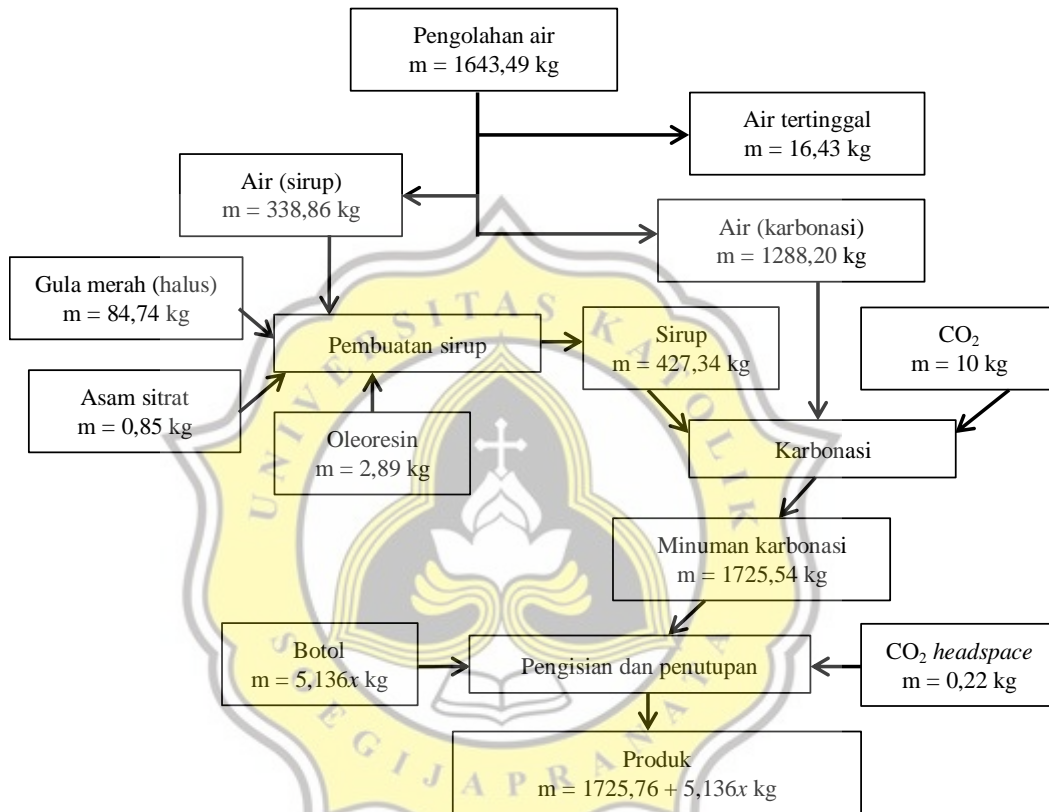


Diagram 3. 3. *Mass Flow Diagram* Pembuatan Minuman Karbonasi Skala *Mini Plant*

Tabel 3. 18. Neraca Kesetimbangan Massa Pembuatan Minuman Karbonasi Skala *Mini Plant*

Massa masuk (kg)		Massa keluar (kg)	
Air	1643,49	Air tertinggal	16,43
Air (sirup)	338,86	Produk	1725,76 + 5,136x
Air (karbonasi)	1288,20	Air	1288,20
Air tertinggal	16,43	Sirup	427,34
Gula merah	84,74	Air (sirup)	338,86
Asam sitrat	0,85	Gula merah	84,74
Oleoresin	2,89	Asam sitrat	0,85

CO ₂ terlarut	10	Oleoresin	2,89
CO ₂ di <i>headspace</i>	0,22	CO ₂ terlarut	10
Botol	5,136x	CO ₂ di <i>headspace</i>	0,22
		Botol	5,136x
Total	1742,19 + 5,136x	Total	1742,19 + 5,136x

Perlu diperhatikan bahwa prediksi kesetimbangan massa yang disajikan akan tercapai pada proses produksi yang optimal, efisien, dan efektif. Kesetimbangan massa produksi sesungguhnya dapat berbeda dengan prediksi karena terdapat banyak *error* selama proses. Oleh karena itu, kesetimbangan massa yang disajikan tidak menjadi acuan penuh untuk proses produksi tetapi sebisa mungkin mendekati kondisi tersebut.

