



**PRA RANCANGAN PABRIK
PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN
AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS**

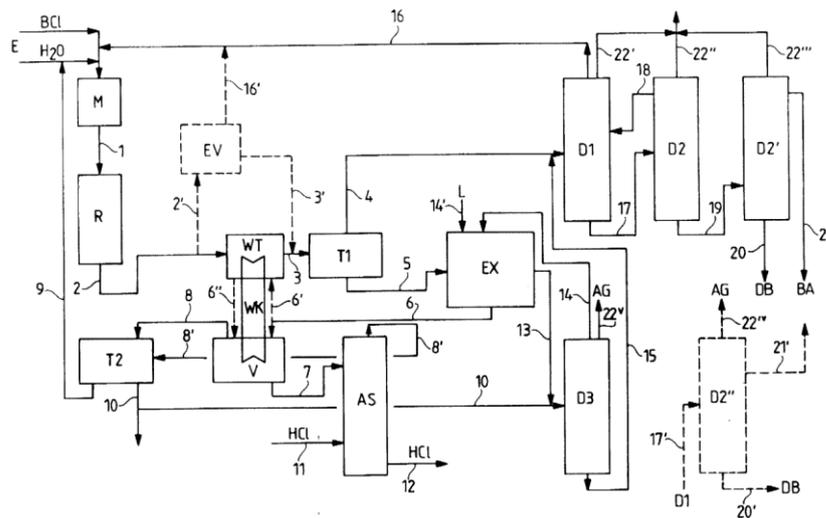
BAB II

SELEKSI DAN URAIAN PROSES

II.1 Macam-macam Proses

Terdapat tiga macam proses pembuatan *benzyl alcohol* dalam skala industri, diantaranya adalah :

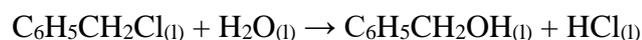
1. Hidrolisis *Benzyl chloride* tanpa adanya penambahan alkali



Gambar II. 1 Hidrolisis *Benzyl chloride* tanpa penambahan alkali

Bahan baku berupa *benzyl chloride* dan air pada rasio 1:40 kmol dicampur pada mixer kemudian direaksikan pada reaktor. Proses ini berlangsung pada kondisi operasi 130°C pada tekanan 3 atm, dengan konversi 85%, produk bawah reaktor berupa *benzyl alcohol* dan sebagian *benzyl chloride* yang tidak terkonversi dipisahkan pada menara distilasi, produk atas reaktor berupa HCl dan Air dikondensasi menggunakan kondensor parsial untuk memisahkan gas HCl dengan Air pada fase cair, HCl kemudian diserap pada kolom *scrubber*. Proses ini menghasilkan yield sebesar 93%.

Persamaan reaksinya adalah :



(US Patent 5728897)

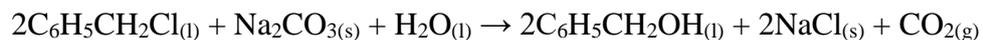


PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK *BENZYL ALCOHOL* DARI *BENZYL CHLORIDE* DAN AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS

2. Hidrolisis *Benzyl chloride* dengan penambahan *sodium carbonate*

Pada proses ini *benzyl chloride* dihidrolisis menggunakan air dengan penambahan alkali berupa *sodium carbonate*. Penambahan sodium carbonate berperan untuk mencegah pembentukan HCl sebagai produk samping. Jumlah penambahan alkali yang direaksikan pada proses dapat bervariasi, perbandingan mol yang umum digunakan ialah 5 hingga 75 % berat diatas stoikiometri reaksi. Proses ini berlangsung pada kondisi operasi 150-350°C pada tekanan 20 atm setelah bahan baku berupa Benzil Chloride, Air, dan Sodium Carbonate direaksikan pada reaktor, produk berupa campuran *benzyl alcohol*, NaCl, dan *benzyl chloride* yang tidak ikut bereaksi dipisahkan didalam decanter, sedangkan produk gas CO₂ diolah pada unit pengolahan limbah, produk utama berupa *benzyl alcohol* kemudian dipisahkan impuritiesnya pada menara distilasi. Proses ini menghasilkan yield sebesar 85%.

Persamaan reaksinya adalah :



3. Hidrolisis *Benzyl chloride* dengan penambahan *sodium hydroxide*

Pada proses ini *benzyl chloride* dihidrolisis menggunakan air dengan penambahan alkali berupa *sodium hydroxide*. Penambahan *sodium hydroxide* berperan untuk mencegah pembentukan HCl sebagai produk samping. Jumlah penambahan alkali yang direaksikan pada proses dapat bervariasi, perbandingan mol yang umum digunakan ialah 5 hingga 75 % berat diatas stoikiometri reaksi. Proses ini berlangsung pada kondisi operasi 250-260°C pada tekanan 47 atm. Setelah bahan baku berupa Benzil Chloride, Air, dan Sodium Hydroxide direaksikan pada reaktor, produk berupa campuran *benzyl alcohol*, NaCl, dan *benzyl chloride* yang tidak ikut bereaksi dipisahkan didalam decanter, produk utama berupa *benzyl alcohol* kemudian dipisahkan impuritiesnya pada menara distilasi. Proses ini menghasilkan produk utama dengan konversi sebesar 85%.

Persamaan reaksinya adalah :



(US Patent 3577222)



**PRA RANCANGAN PABRIK
PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN
AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS**

I.2 Pemilihan Proses

Berdasarkan uraian proses diatas, maka dapat ditabelkan perbandingan masing – masing proses yakni sebagai berikut :

Tabel II. 1 Pemilihan Proses hidrolisis

Jenis Proses	Bahan Baku	Katalis	Kondisi operasi	Konversi	Yield	Biaya
Hidrolisis tanpa penambahan alkali	<i>Benzyl chloride</i> dan Air	Tanpa katalis	T = 130°C P = 3 atm	85%	93%	Lebih ekonomis karena bahan baku lebih murah dan kondisi operasi lebih rendah
(US Patent 5728897)						
Hidrolisis dengan penambahan sodium carbonate	<i>Benzyl chloride</i> , dan Air	Tanpa katalis	T = 150-350°C P = 20– 61,2 atm	99%	85%	Bahan baku mahal dan kondisi operasi tinggi
Hidrolisis dengan penambahan sodium hydroxide	<i>Benzyl chloride</i> , dan air	Tanpa katalis	T = 250-260°C P = 47 atm	-	85%	Biaya relatif mahal karna kondisi operasi tinggi
(US Patent 3577222)						

Berdasarkan tabel, jenis proses yang dipilih yaitu proses hidrolisis *Benzyl chloride* dan air tanpa penambahan alkali. Adapun keunggulan dari proses tersebut menjadi pilihan dalam proses pembuatan *Benzyl alcohol* adalah sebagai berikut:

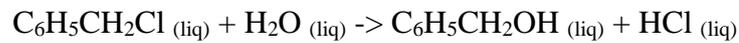
1. Lebih ekonomis, karena bahan baku relatif murah
2. Produk dengan konversi 85% menghasilkan yield 93%
3. Tidak menggunakan katalis.
4. Dalam langkah proses pembuatannya, kondisi operasi yang digunakan relatif rendah dengan suhu 130°C dan tekanan 3 atm. Sehingga kebutuhan energi yang digunakan rendah.



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS

I.2.1 Tinjauan Thermodinamika

Tinjauan thermodinamika dilakukan untuk mengetahui sifat dari suatu reaksi. Sifat reaksi yang dimaksud adalah reaksi bersifat eksotermis atau endotermis dan arah reaksi berjalan secara reversible atau irreversible. Reaksi :



A. Menghitung Panas Reaksi

Menggunakan perhitungan panas pembentukan standart (ΔHR_{298}) pada tekanan (P) = 1 atm dan suhu (T) = 298,15 K

Data ΔHR_{298} pada reaktan dan produk : (Yaws, 1999)

Komponen	ΔHR_{298} (kJ/mol)
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$	18,70
H_2O	-240,56
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	-100,40
HCl	-92,30

$$\begin{aligned}\Delta\text{H}_{298} &= \Delta\text{HR}_{298} \text{ produk} - \Delta\text{HR}_{298} \text{ reaktan} \\ &= ((-100,4 + (-92,30)) - (18,7 + (-240,56))) \text{ kJ/mol} \\ &= (-192,7 - (-221,86)) \text{ kJ/mol} \\ &= 29,16 \text{ kJ/mol} \\ &= 29.160 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Menghitung Cp

Data Cp ($\text{Cp} = A + BT + CT^2 + DT^3$)

Komponen	BM	A	B	C	D
	(kg/kmol)				
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl (l)}$	126,58	82,217	0,70948	-0,0018	1,87E-06
$\text{H}_2\text{O (l)}$	18,02	92,053	-0,0400	-0,0002	5,35E-07
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH (l)}$	108,14	97,57	0,86633	-0,0021	2,17E-06
HCl (l)	36,46	73,993	-0,1295	-7,90E-05	2,64E-06



**PRA RANCANGAN PABRIK
PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN
AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS**

1) Entalpi $C_6H_5CH_2Cl$

$$\begin{aligned}\Delta H &= C_p \cdot \Delta T = \int_{T_{ref}}^T C_p \Delta T \quad (\text{Himmelblau, 8}^{\text{th}} \text{ Edition, Eq 10.3}) \\ &= \int_{T_{ref}}^T (A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3) dT \\ &= \left[(A(T - T_{ref})) + \left(\frac{B}{2} (T - T_{ref})^2 \right) + \left(\frac{C}{3} (T - T_{ref})^3 \right) + \left(\frac{D}{4} (T - T_{ref})^4 \right) \right] \\ &= (82,217(403,15 - 298,15)) + \left(\frac{0,70948}{2} (403,15 - 298,15)^2 \right) \\ &+ \left(\frac{-0,0018}{3} (403,15 - 298,15)^3 \right) + \left(\frac{1,87E - 06}{4} (403,15 - 298,15)^4 \right) \\ &= 20.602,01 \text{ J/mol} \\ &= 20,6020 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

2) Entalpi H_2O

$$\begin{aligned}&= (92,053(403,15 - 298,15)) + \left(\frac{-0,04}{2} (403,15 - 298,15)^2 \right) \\ &+ \left(\frac{-0,0002}{3} (403,15 - 298,15)^3 \right) + \left(\frac{5,35E - 07}{4} (403,15 - 298,15)^4 \right) \\ &= 7.924,55 \text{ J/mol} \\ &= 7,9245 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

3) Entalpi $C_6H_5CH_2OH$

$$\begin{aligned}&= (97,57(403,15 - 298,15)) + \left(\frac{0,86633}{2} (403,15 - 298,15)^2 \right) \\ &+ \left(\frac{-0,0021}{3} (403,15 - 298,15)^3 \right) + \left(\frac{2,17E - 06}{4} (403,15 - 298,15)^4 \right) \\ &= 24.366,5 \text{ J/mol} \\ &= 24,3665 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$



**PRA RANCANGAN PABRIK
PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN
AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS**

4) Entalpi HCl

$$\begin{aligned} &= (73,993(403,15 - 298,15)) + \left(\frac{-0,1295}{2}(403,15 - 298,15)^2\right) + \\ &\left(\frac{-7,9E - 05}{3}(403,15 - 298,15)^3\right) + \left(\frac{2,64E - 07}{4}(403,15 - 298,15)^4\right) \\ &= 14.198,86 \text{ J/mol} \\ &= 14,1988 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{403} &= \Delta H_{R298} + \Delta H \text{ produk} - \Delta H \text{ reaktan} \\ &= (29.160 + (24.366,5 + 14.198,86)) - (20.602,01 + 7.924,550) \text{ J/mol} \\ &= 10.067,96 \text{ J/mol} \\ &= 10,0679 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Karena ΔH_{F403} bernilai positif (+) maka reaksi pada reaktor bersifat endotermis (membutuhkan panas)

B. Menghitung Kesetimbangan

Data ΔG_{298} pada reaktan dan produk (Yaws, 1999, Hal 314)

Komponen	kJ/kmol
$C_6H_5CH_2Cl$ (l)	137,40
H_2O (l)	-237,13
$C_6H_5CH_2OH$ (l)	-14,1
HCl (l)	-95,30

$$\begin{aligned} \Delta G_{298} &= \Delta G_{298} \text{ produk} - \Delta G_{298} \text{ reaktan} \\ &= (((-14,1 + (-95,3)) - (137,4 + (-237,13)))) \text{ kJ/mol} \\ &= -9,67 \text{ kJ/mol} \\ &= -9.670 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

K dapat ditentukan menggunakan perubahan energi Gibbs (ΔG)

$$\Delta G_{298} = -R \cdot T \ln K_{298} \text{ (Smith, 8}^{\text{th}} \text{ Edition, Hal 532)}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-\Delta G_{298}}{R T}$$



**PRA RANCANGAN PABRIK
PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN
AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS**

Dimana, $R = 8,314 \text{ J/mol.K} = 0,008314 \text{ kJ/mol.K}$

$$\begin{aligned}\ln K_{298} &= \frac{-(-9,67 \text{ kJ/mol})}{0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol.K}} \times 298,15 \text{ K}} \\ &= 3,9 \\ K_{298} &= e^{3,9} \\ &= 49,55\end{aligned}$$

Nilai K pada suhu reaksi 130°C (403,15 K)

$$\begin{aligned}\frac{\ln K}{K_{298}} &= \frac{-\Delta H T}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{298}} \right) \\ \frac{\ln K_{403}}{\ln K_{298}} &= \frac{10.067,96 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.K}} \left(\frac{1}{403,15} - \frac{1}{298,15} \right) \\ &= -1,06 \\ \ln K_{403} - \ln K_{298} &= -1,06 \\ \ln K_{403} - 3,9 &= -1,06 \\ \ln K_{403} &= -1,06 + 3,9 \\ &= 2,84 \\ K_{403} &= e^{2,84} \\ &= 17,2\end{aligned}$$

Karena harga konstanta kesetimbangan > 1 , maka reaksi berjalan ke arah kanan atau produk (irreversible)

$$\begin{aligned}\Delta G_{403} &= -R \cdot T \ln K_{403} \text{ (Smith, 8}^{\text{th}} \text{ Edition, Hal 532)} \\ &= (-8,314 \text{ J/mol.K}) \times (403,15 \text{ K}) \times (\ln 17,2) \\ &= -3.5047 \text{ J/mol.K} \\ &= -3,5047 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

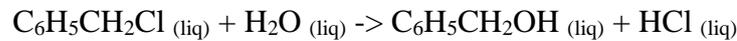
Didapatkan nilai ΔG_{403} sebesar $-3,5047 \text{ kJ/mol}$ (bernilai negatif, artinya reaksi berjalan secara spontan pada suhu 130°C)



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS

I.2.2 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika dilakukan untuk mencari nilai tetapan laju reaksi dan waktu reaksi. Reaksi :



Menurut (Lohmuller, 1977) reaksi pembentukan Benzyl Alcohol pada suhu 30°C didapatkan nilai :

$$k = 2,478$$

$$E_a = 3,7026$$

Sehingga didapatkan nilai frekuensi tumbukannya sebagai berikut :

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT}$$

$$\ln(2,478) = \ln k_0 - \frac{3,7026}{0,001987 \times 303,15}$$

$$0,907 = \ln k_0 - 6,147$$

$$\ln k_0 = 7,054$$

$$k_0 = e^{7,054}$$

$$= 1158$$

Untuk suhu operasi 130°C, didapatkan nilai k (tetapan laju reaksi) :

$$k = k_0 \times e^{-E_a/RT}$$

$$k = 1158 \times e^{-3,7026/(0,001987 \times 403,15)}$$

$$= 11,38$$

Reaksi ber orde 1, sehingga persamaan kinetika nya :

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = kC_A \quad (\text{Levenspiel, Hal 41})$$

$$\frac{-dC_A}{C_A} = k dt$$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k \int_0^t dt$$

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = k t$$



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS

Untuk menghitung fraksi dari suatu reaktan, X_A yang diubah menjadi produk digunakan persamaan dibawah, dimana N_{A0} merupakan Jumlah reaktan A pada waktu $t=0$ dan N_A pada waktu t

$$X_A = \frac{N_{A0} - N_A}{N_{A0}} = 1 - \frac{N_A/V}{N_{A0}/V} = 1 - \frac{C_A}{C_{A0}}$$

$$dX_A = -\frac{dC_A}{C_{A0}}$$

Dalam hal konversi persamaan orde pertama menjadi,

$$\frac{-dX_A}{dt} = k(1 - X_A)$$

$$\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{1 - X_A} = k \int_0^t dt$$

Maka didapatkan persamaan dibawah untuk mencari waktu reaksi dengan konversi 85% sesuai dengan US Patent 5728897

$$-\ln(1 - X_A) = k t$$

$$-\ln(1 - 0,85) = 11,38 t$$

$$1,8971 = 11,38 t$$

$$t = 10 \text{ menit (Sudah sesuai dengan US Patent 5728897)}$$



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK *BENZYL ALCOHOL* DARI *BENZYL CHLORIDE* DAN AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS

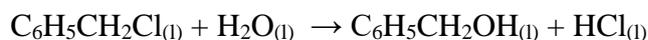
II.3 Uraian Proses

A. Tahap Penyiapan Bahan Baku

Bahan baku berupa *benzyl chloride* ($C_6H_5CH_2Cl$) dengan kemurnian 99,95% dan impuritis berupa air (H_2O) sebesar 0,05% disimpan dalam Tangki penyimpanan bahan baku (F-110) dengan kondisi suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm kemudian dialirkan menggunakan pompa (L-111) menuju Mixer (M-120). Bahan baku berupa air (H_2O) dialirkan langsung dari air proses Utilitas menuju Mixer (M-120) dengan kondisi suhu $30^\circ C$ pada tekanan 1 atm. Kedua bahan baku dialirkan menuju mixer (M-120) untuk dicampurkan dengan perbandingan kmol 1:40 (1 kmol *Benzyl Chloride* dan 40 kmol air) sesuai dengan US Patent 5728897. Di dalam mixer (M-120) juga terjadi pencampuran dengan recycle bahan baku *Benzyl Chloride* dan air dari hasil atas Menara Distilasi (D-320) yang telah dimasukkan kedalam Tangki akumulator (F-322). Kemudian setelah tercampur dengan perbandingan 1:40 kmol, larutan dialirkan menuju Reaktor (R-210) untuk mereaksikan *benzyl chloride* dan air dengan kondisi operasi $130^\circ C$ dan tekanan 3 atm. Sebelum larutan menuju Reaktor (R-210), untuk menyesuaikan kondisi operasi dari Reaktor (R-210) agar meringankan beban Reaktor (R-210), larutan dinaikkan tekanannya menjadi 3 atm menggunakan Pompa (L-121) kemudian dialirkan menuju Heater (E-122) untuk dinaikkan suhunya menjadi $120^\circ C$.

B. Tahap Reaksi

Bahan baku yang telah melalui proses persiapan dengan perbandingan mol dan kondisi operasi yang sudah seragam diumpankan ke dalam reaktor alir tangki berpengaduk (R-210). Reaksi berlangsung dalam fase cair pada suhu $130^\circ C$ dan tekanan 3 atm dengan konversi reaksi 97% dan waktu tinggal selama 10 menit. Reaksi yang terjadi :



1 kmol *Benzyl Chloride* bereaksi dengan 40 kmol air membentuk produk utama berupa *Benzyl Chloride* dan produk samping HCl. Produk



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK BENZYL ALCOHOL DARI BENZYL CHLORIDE DAN AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS

dari reaktor (R-210) dialirkan menggunakan pompa (L-211) menuju Decanter (DC-310) untuk memisahkan larutan menjadi fase ringan dan fase berat. Decanter (DC-310) beroperasi pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm, sehingga sebelum diumpankan menuju Decanter (DC-310) dengan pompa (L-211) kemudian tekanan diturunkan menggunakan Expansion Valve (EV-212) dari 3 atm menjadi 1 atm, lalu dialirkan menuju Cooler (E-213) untuk diturunkan suhunya menjadi 30°C.

C. Tahap Pemurnian

1) Tahap I : Decanter (DC-310)

Produk Reaktor (R-210) diumpankan menuju Decanter (DC-310) dengan kondisi operasi suhu 30°C dan tekanan 1 atm, terjadi pemisahan antara fase berat dan fase ringan berdasarkan densitas komponen. Fase berat berupa asam klorida, benzyl alcohol, benzyl chloride dan air. Fase berat dialirkan menggunakan pompa (L-311) menuju tangki penyimpanan (F-420). Sedangkan fase ringan berupa benzyl chloride, benzyl alcohol dan air. Fase ringan dialirkan menggunakan pompa (L-312) menuju Menara Distilasi (D-320) untuk dipisahkan produk benzyl alcohol dengan bahan baku benzyl chloride dan air. Sebelum diumpankan menuju Menara Distilasi (D-320) larutan dinaikkan suhunya menggunakan Heater (E-313) menjadi 97°C.

2) Tahap II : Menara Distilasi (D-320)

Pada menara distilasi (D-320) bertujuan untuk memisahkan campuran *Benzyl Chloride*, air dan *Benzyl Alcohol* sehingga didapatkan produk benzyl alcohol yang lebih murni, hasil atas (*light key*) berupa air dan benzyl chloride sedangkan hasil bawah (*heavy key*) berupa *Benzyl alcohol*. Umpan dari Decanter (DC-310) masuk kemudian akan turun kebawah dan terjadi kontak dengan uap yang berasal dari reboiler (E-326) sehingga terjadi kesetimbangan pada fase uap-cair pada seksi stripping atau dibawah umpan sebagai sumber panas dan terjadi kesetimbangan kemudian naik lagi keatas pada seksi rectifying. Maka



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK *BENZYL ALCOHOL* DARI *BENZYL CHLORIDE* DAN AIR DENGAN PROSES HIDROLISIS

yang tidak menguap diambil sebagai hasil bawah dari Menara Distilasi (D-320). Keluaran dari puncak Menara Distilasi (D-320) berfase uap pada kondisi titik embunnya, sehingga perlu dikondensasikan didalam Condenser (E-321) yang berfungsi untuk mengembunkan uap yang keluar dari puncak Menara Distilasi (D-320) kemudian embunan ditampung dalam Tangki Akumulator (F-322). Sebagian hasil atas dari Menara Distilasi (D-320) sebagai reflux Menara Distilasi (D-320) untuk dikembalikan ke puncak Menara dan sebagian sebagai recycle bahan *Benzyl Chloride* yang dialirkan menuju mixer, sebelum dialirkan suhu diturunkan dengan cooler (E-323) menjadi 30°C kemudian dialirkan menggunakan pompa (L-324) menuju Mixer (M-120). Hasil bawah Menara distilasi (D-320) didapatkan produk dengan kemurnian 99% *Benzyl Alcohol* dan 1% *Benzyl Chloride dan air* sebagai impuritis. Hasil bawah keluar dengan suhu 196°C sehingga selanjutnya di umpankan ke cooler (E-328) untuk di turunkan suhunya menjadi 30°C terlebih dahulu sebelum masuk ke tangki penyimpanan produk *Benzyl Alcohol* (F-410)