



## BAB II

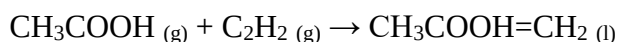
### SELEKSI DAN URAIAN PROSES

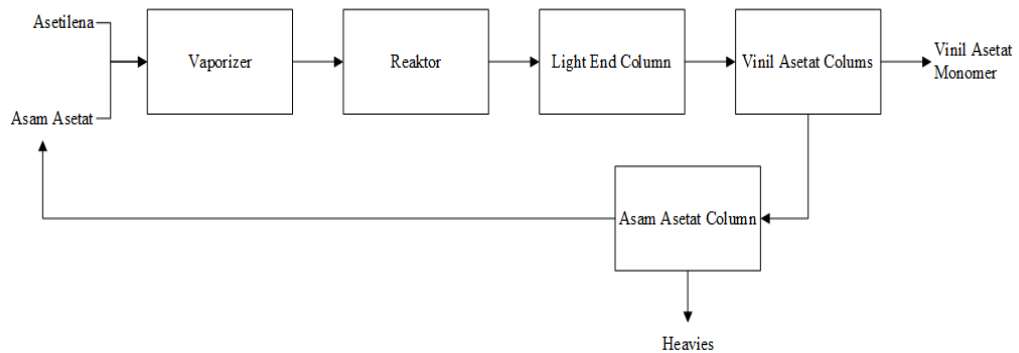
#### II.1 Macam-macam Proses

##### II.1.1 Proses Adisi dari Asam Asetat dan Asetilena

Produksi vinil asetat dapat dilakukan melalui reaksi antara asetilena dan asam asetat dengan sifat reaksi eksotermis. Namun karena tingginya harga asetilena serta risiko keselamatan yang menyertainya menyebabkan proses ini mulai jarang digunakan dan kurang menguntungkan secara ekonomi. Pada proses ini menggunakan katalis zink asetat dengan konversi reaksi untuk asam asetat 22,6% dan asetilena 5,3% dengan suhu maksimum 220°C (Yan, 2010). Campuran uap asam asetat dan asetilena dialirkan melewati katalis fluidized-bed yang terdiri dari zink asetat yang terdeposisi pada karbon aktif di dalam sebuah reaktor tubular. Asetilena, yang berada dalam sedikit kelebihan, harus bebas dari senyawa belerang dan fosfor. Reaksi eksoterm berlangsung pada suhu 160–200°C dan tekanan 1 bar, dengan kelebihan panas dibuang melalui sirkulasi minyak di sekitar tabung reaktor. Setelah didinginkan, aliran keluar reaktor dialirkan ke kolom distilasi, di mana asetilena yang tidak bereaksi dan produk samping bertitik didih rendah dipisahkan sebagai produk atas (overhead). Setelah pemurnian, asetilena tersebut didaur ulang kembali ke reaktor. Vinil asetat dipisahkan dari campuran reaksi melalui distilasi. Asam asetat dipulihkan dari bagian bawah kolom (bottoms) dan dikembalikan ke aliran umpan asam (Wells, 1991).

Berikut ini merupakan reaksi dari pembuatan vinil asetat monomer dengan proses Adisi:



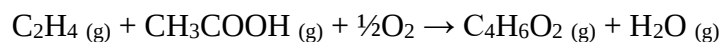


Gambar II. 1 Diagram Alir Proses adisi Asam Asetat dan Asetilena

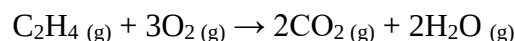
### II.1.2 Proses Oksidasi dari Asam Asetat, Etilen, dan Oksigen

Etilen, asam asetat, dan oksigen direaksikan dalam fase gas di reaktor *fixed-bed multitube* yang berisi katalis Pd-Au-KOAc/SiO<sub>2</sub>. Reaktor dioperasikan pada suhu 140–180°C dan tekanan 5–12 atm. Karena reaksi bersifat eksotermis, temperatur dikendalikan menggunakan sistem pendingin untuk mencegah hot spot dan menjaga stabilitas katalis.

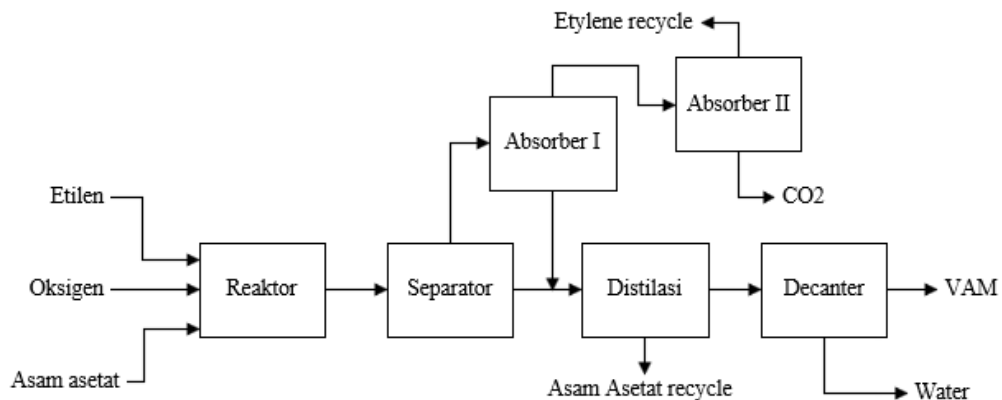
Reaksi utama menghasilkan vinil asetat dan air.



Reaksi samping yang tidak diinginkan adalah pembakaran etilena.



Konversi etilena relatif rendah, sekitar 8–10%, sedangkan konversi asam asetat sekitar 15–30%. Selektivitas terhadap vinil asetat mencapai 91–94% berdasarkan etilena. Produk reaktor didinginkan, kemudian dipisahkan menjadi fase gas dan cair. Etilena yang belum bereaksi direcycle kembali ke reaktor setelah pemisahan CO<sub>2</sub>. Fase cair dimurnikan melalui beberapa tahap distilasi untuk memisahkan vinil asetat dari komponen ringan serta memulihkan asam asetat yang kemudian dikembalikan ke proses (Dimian & Bildea, 2008).



Gambar II. 2 Diagram Alir Proses Oksidasi dari Asam Asetat, Etilen, dan Oksigen

## II.2 Seleksi Proses

Pemilihan proses produksi vinil asetat monomer merupakan tahap penting dalam perancangan industri karena sangat memengaruhi aspek ekonomi, teknis, dan keselamatan operasi. Berbagai proses produksi telah dikembangkan dengan perbedaan jenis bahan baku, kondisi operasi, serta tingkat risiko yang ditimbulkan. Oleh karena itu, diperlukan perbandingan antar proses untuk menentukan proses yang paling layak diterapkan secara industri. Tabel II.1 menyajikan perbandingan beberapa proses produksi vinil asetat berdasarkan parameter operasi sebagai dasar evaluasi kelayakan proses.

Tabel II. 1 Perbandingan Proses Pembuatan Vinil Asetat Monomer

| Parameter              | Proses                              |                                                       |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                        | Proses Adisi                        | Proses Oksidasi                                       |
| <b>Bahan Baku</b>      | Asam Asetat dan Asetilena           | Asam Asetat, Etilen, dan Oksigen                      |
| <b>Jenis Reaktor</b>   | Reaktor Fluidized-bed               | Reaktor Multitubular Fixed-bed                        |
| <b>Kondisi Operasi</b> | 160–200°C<br>1 atm                  | 140–180 °C<br>5-12 atm                                |
| <b>Katalis</b>         | Zn(OAc) <sub>2</sub>                | Pd-Au-KOAc/SiO <sub>2</sub>                           |
| <b>Konversi Reaksi</b> | Asam asetat 22,6%<br>Asetilena 5,3% | Asam asetat 15–30%<br>Etilena 8-10%<br>Oksigen 60-70% |



Berdasarkan tabel perbandingan proses, proses pembuatan vinil asetat monomer melalui proses oksidasi menggunakan asam asetat, etilen, dan oksigen dipilih sebagai proses yang paling layak untuk diterapkan secara industri. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan kondisi operasi, jenis reaktor, katalis, dan konversi reaksi yang diperoleh. Adapun alasan pemilihan proses oksidasi adalah sebagai berikut.

1. Kondisi operasi relatif lebih rendah, yaitu pada suhu 140–180°C dengan tekanan 5–12 atm. Rentang suhu ini lebih rendah dibandingkan proses adisi (160–200°C), sehingga kebutuhan energi pemanasan relatif lebih efisien dan pengendalian suhu reaksi lebih mudah dilakukan.
2. Penggunaan reaktor multitubular *fixed-bed* lebih sesuai untuk reaksi eksotermis karena mampu memberikan distribusi panas yang lebih baik serta memudahkan pengendalian temperatur, sehingga meningkatkan kestabilan dan keamanan operasi pada skala industri.
3. Katalis Pd-Au-KOAc/SiO<sub>2</sub> memiliki aktivitas dan selektivitas yang baik terhadap pembentukan vinil asetat. Hal ini tercermin dari konversi reaksi yang lebih tinggi, yaitu asam asetat sebesar 15–30% dan etilen 8–10%, dibandingkan proses adisi yang menghasilkan konversi asetilena sebesar 5,3%.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, proses oksidasi dinilai lebih unggul dan lebih sesuai untuk perancangan pabrik vinil asetat monomer skala industri.

## II.3 Uraian Proses

### II.3.1 Persiapan Bahan Baku

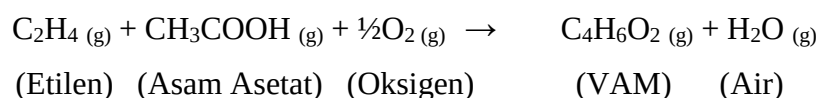
Bahan baku utama dalam proses ini adalah etilen, asam asetat, dan oksigen. Bahan baku asam asetat disimpan di tangki penyimpanan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm dalam fase cair. Asam asetat terlebih dahulu dipanaskan menggunakan heater menjadi gas pada suhu 120°C dan tekanan 1 atm hingga mencapai fase gas, pembentukan fase gas bertujuan supaya reaktan berada dalam kondisi yang sesuai sebelum memasuki reaktor. Asam asetat menuju alat kompresor untuk menaikkan tekanan sampai 5 atm. Bahan baku oksigen pada



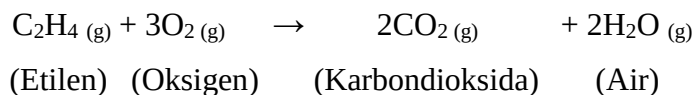
kondisi operasi suhu 30°C dan tekanan 1 atm dalam fase gas, dinaikkan tekanan sampai 5 atm menggunakan kompresor sehingga suhu naik menjadi 204,05°C, kemudian didinginkan menggunakan cooler sampai 80°C. Bahan baku etilen pada suhu 30 °C dan tekanan 1 atm dalam fase gas menuju kompresor untuk menaikkan tekanan sampai dengan 5 atm sehingga suhu naik menjadi 136,88°C, kemudian didinginkan menggunakan cooler mencapai 80°C. Etilen dan asam asetat memasuki reaktor *fixed-bed multitube* setelah ditambahkan oksigen ke dalam campuran uap dengan kebutuhan oksigen dijaga tetap di bawah 8% mol dari etilen untuk menghindari adanya ledakan. Pengaturan rasio molar etilen terhadap oksigen sangat penting karena memengaruhi selektivitas reaksi dan keselamatan operasi.

### II.3.2 Reaksi

Reaksi pembentukan vinil asetat monomer (VAM) berlangsung di dalam reaktor *fixed-bed* multitubular. Tabung-tabung tersebut berisi katalis terdiri dari katalis Pd-Au-KOAc/SiO<sub>2</sub>. Semakin tinggi aktivitas katalis maka semakin cepat katalis reaksi akan berlangsung, serta selektivitas katalis akan mengarahkan reaksi ke produk utama. Reaksi terjadi dengan sangat cepat dan sebagian besar terjadi di dalam lapisan tipis pada permukaan partikel. Katalis memiliki durasi hidup selama 1-2 tahun, dengan batas reaksi dibawah 200°C. Berikut ini merupakan reaksi pembuatan Vinil Asetat Monomer:



Pembakaran etilen menjadi CO<sub>2</sub> merupakan reaksi samping dari proses ini. Berikut ini reaksi pembakaran etilen.



Rasio reaktan etilen sebagai *excess* terhadap asam asetat sekitar 2:1. Reaktor dioperasikan pada suhu 160°C dengan tekanan 5 atm. Konversi reaksi pada proses sebesar 30%, serta yield produk yang diperoleh sebesar 95%. Karena konversi reaksi tidak mencapai 100%, maka dilakukan proses *recycle* untuk meningkatkan konversi keseluruhann proses. Reaksi yang terjadi pada proses ini



bersifat eksotermis, sehingga menghasilkan panas dalam jumlah signifikan selama operasi. Sehingga untuk menjaga kestabilan temperatur dan mencegah penurunan selektivitas akibat kenaikan suhu berlebih, reaktor dilengkapi dengan sistem pendingin pada sisi *shell*. Media pendingin menyerap panas reaksi sehingga temperatur reaktor tetap dalam rentang operasi yang diinginkan. Produk reaksi yang keluar dari reaktor berupa fase gas kondisi operasi 160 °C dan 4,25 atm menuju *cooler* untuk menurunkan suhu sampai dengan 50°C membentuk campuran fase gas-cair.

### II.3.3 Pemurnian dan Recycle

Setelah pendinginan, cairan dipisahkan berdasarkan fase menggunakan separator I dengan kondisi operasi 50°C dan 4 atm. Fase gas dengan campuran berupa etilen dan CO<sub>2</sub> menuju absorber. Alat absorber bekerja dengan cara menyerap komponen terdispersi yaitu VAM, asam asetat dan H<sub>2</sub>O menggunakan pelarut asam asetat yang keluar dari bagian bawah kolom menuju distilasi. Gas berupa campuran etilen dan CO<sub>2</sub> keluar dari bagian atas kolom dan menuju alat separator II setelah dikompres dan didinginkan pada kondisi 30°C dan 77 atm. Pada alat ini, etilen dan CO<sub>2</sub> dipisahkan sehingga etilen keluar dari kolom bawah alat dalam fase cair dan di-*recycle* menuju sebelum heater etilen, sedangkan CO<sub>2</sub> akan keluar dari kolom atas alat menuju tangki penyimpanan CO<sub>2</sub> dalam fase gas.

Sementara itu, fase cair hasil pemisahan separator I dialirkan menuju kolom distilasi dengan kondisi operasi feed yaitu 50 °C dan 1 atm. Suhu *boiling point* sebesar 98,71 °C, dengan *dew point* sebesar 84,85°C dan *bubble point* sebesar 117,9°C. Produk bawah kolom berupa asam asetat, sedangkan produk atas mengandung VAM dan air serta sedikit asam asetat. Reboiler parsial digunakan pada proses ini, sebagian gas diuapkan kembali menuju kolom distilasi, sedangkan lainnya di-*recycle* menuju heater asam asetat pada tahap awal. VAM bercampur air dengan sedikit asam asetat menuju decanter untuk dipisahkan berdasarkan densitas. Decanter beroperasi pada 50 °C dan 1 atm, *light phase* merupakan produk utama yaitu Vinil Asetat, sedangkan *heavy phase* menuju UPL. Produk VAM didinginkan menggunakan cooler sampai suhu 30°C sebelum menuju tangki penyimpanan VAM.