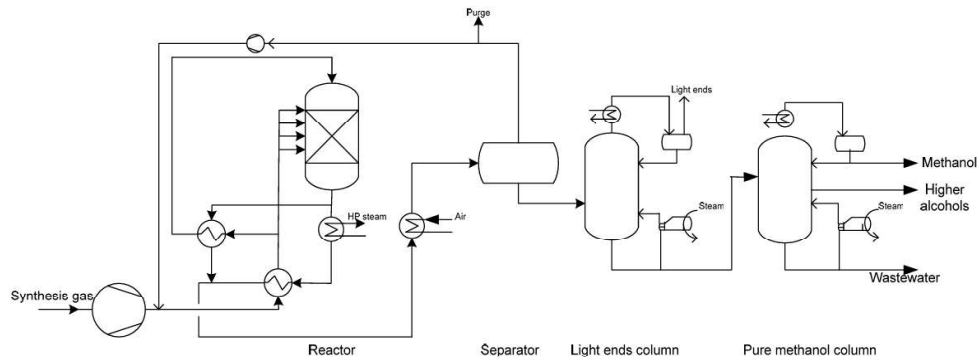


BAB II

SELEKSI DAN URAIAN PROSES

II.1. Macam – Macam Proses

II.1.1. Pembuatan Methanol dengan Proses ICI (Imperial Chemical Industry)



Gambar II. 1 Diagram Proses Pembuatan Methanol dengan Proses ICI

Pada proses ICI, sintesis methanol dilakukan menggunakan reaktor katalitik tipe fixed bed adiabatik yang dilengkapi dengan sistem quench cooling. Reaktor beroperasi pada kondisi suhu sekitar 220–270 °C dan tekanan 50–100 atm, sesuai dengan karakteristik reaksi sintesis methanol yang bersifat eksotermis dan dibatasi oleh kesetimbangan. Pengendalian temperatur di dalam reaktor dilakukan dengan cara menyuntikkan gas reaktan dingin (quench gas) pada beberapa titik di antara zona bed katalis. Metode ini bertujuan untuk menyerap panas reaksi secara cepat dan mencegah terjadinya kenaikan suhu berlebih yang dapat menurunkan aktivitas katalis. Fresh syngas yang telah dikompresi kemudian dicampur dengan gas recycle dan dipanaskan terlebih dahulu melalui pertukaran panas dengan aliran keluaran reaktor. Sebagian aliran syngas dialirkan langsung ke inlet reaktor setelah proses pre-heating, sedangkan sisanya dimanfaatkan sebagai quench gas untuk pengendalian temperatur reaktor.

Gas keluaran reaktor selanjutnya dimanfaatkan untuk pemanasan awal syngas umpan serta mengalami pertukaran panas dengan air untuk menghasilkan

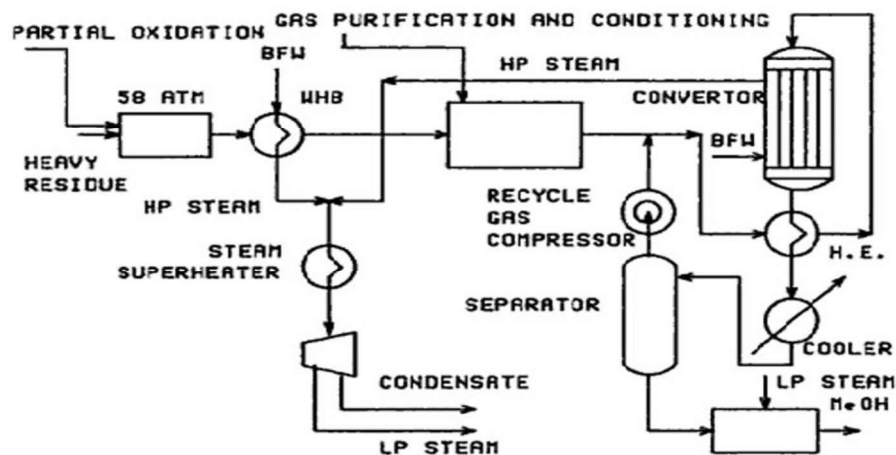


PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Methanol dari Natural Gas dan Oksigen dengan Proses
Haldor Topsoe”

high-pressure steam (HP steam) sebagai bentuk pemulihan energi. Setelah itu, aliran keluaran didinginkan lebih lanjut menggunakan air-cooled heat exchanger hingga methanol dan air hasil reaksi terkondensasi. Campuran gas-cair kemudian dipisahkan di dalam flash drum bertekanan, menghasilkan fase gas dan fase cair. Gas yang belum bereaksi direcycle kembali ke reaktor, sementara sebagian kecil dipurge untuk mengendalikan akumulasi gas inert. Produk cair selanjutnya dimurnikan menggunakan dua kolom distilasi, di mana kolom pertama berfungsi menghilangkan gas terlarut dan impuritas ringan, sedangkan kolom kedua memisahkan methanol dari alkohol berat, sehingga diperoleh methanol dengan kemurnian sekitar 95% (Arthur 2010).

II.1.2. Pembuatan Methanol dengan Proses Lurgi



Gambar II. 2 Diagram Proses Pembuatan Methanol dengan Proses Lurgi

Proses Lurgi dikembangkan oleh Lurgi Corporation untuk sintesis methanol menggunakan reaktor katalitik tipe shell-and-tube yang beroperasi secara isothermal. Reaktor ini dioperasikan pada suhu sekitar 250–260 °C dan tekanan 50–60 atm. Katalis berbasis Cu/ZnO/Al₂O₃ ditempatkan di dalam tube-tube reaktor, sementara media pendingin berupa air pendingin dialirkan pada sisi shell untuk menyerap panas reaksi yang bersifat eksotermis. Panas reaksi yang dilepaskan dimanfaatkan untuk menghasilkan steam, sehingga meningkatkan efisiensi energi proses secara



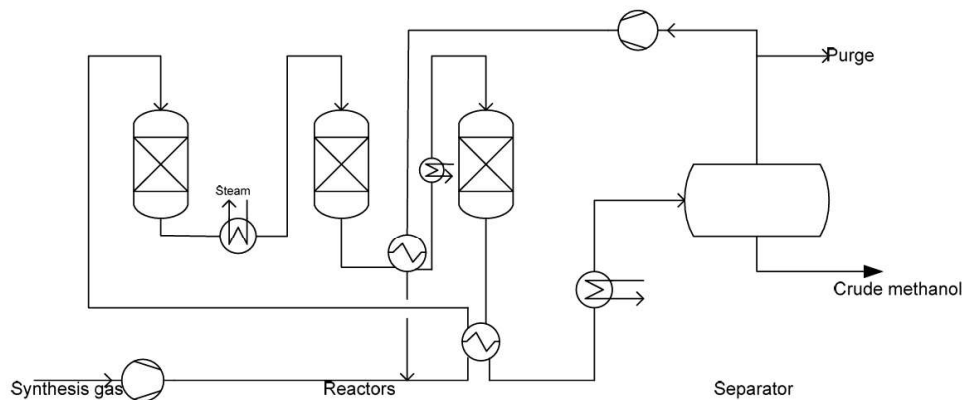
PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Methanol dari Natural Gas dan Oksigen dengan Proses Haldor Topsoe”

keseluruhan. Gas sintesis (*syngas*) yang terdiri dari H_2 , CO , dan CO_2 diperoleh dari bahan baku hidrokarbon gas seperti metana maupun hidrokarbon cair seperti nafta. Produksi syngas dapat dilakukan melalui dua rute, yaitu steam reforming dan oksidasi parsial.

Pada steam reforming, proses berlangsung pada suhu tinggi sekitar 850–860 °C, kemudian syngas hasil reforming dikompresi hingga tekanan operasi reaktor methanol, yaitu sekitar 50–60 atm, sebelum dialirkan ke reaktor sintesis. Pada proses oksidasi parsial, bahan baku direaksikan dengan oksigen dan steam di dalam furnace pada suhu sangat tinggi, sekitar 1400–1450 °C. Kebutuhan kompresi tambahan dapat diminimalkan. Produk keluaran reaktor sintesis selanjutnya didinginkan untuk mengkondensasikan methanol dan air, kemudian dipisahkan pada unit flash drum. Tahap akhir pemurnian dilakukan menggunakan kolom distilasi untuk menghasilkan methanol dengan kemurnian tinggi, mencapai sekitar 96% (Arthur 2010).

II.1.3. Pembuatan Methanol dengan Proses Haldor Topsoe



Gambar II. 3 Diagram Proses Pembuatan Methanol dengan Proses Haldor Topsoe

Pada proses produksi methanol menggunakan teknologi Haldor Topsøe, sintesis methanol dilakukan di dalam reaktor katalitik tipe fixed bed dengan pengendalian temperatur yang ketat. Reaktor dioperasikan pada tekanan sekitar 50–80 atm dan suhu 200–280 °C, sesuai dengan kondisi operasi optimal untuk reaksi



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Methanol dari Natural Gas dan Oksigen dengan Proses
Haldor Topsoe”

sintesis methanol yang bersifat eksotermis. Katalis yang digunakan adalah katalis berbasis $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$, yang memiliki aktivitas tinggi dan selektivitas yang baik terhadap pembentukan methanol. Pengendalian panas reaksi dilakukan melalui sistem pendinginan internal dan/atau antar-tahap, sehingga suhu reaksi tetap berada dalam rentang yang diinginkan dan degradasi katalis dapat dihindari. Desain reaktor fixed bed ini memungkinkan aliran gas sintesis yang stabil dengan pressure drop yang relatif rendah, serta memberikan efisiensi konversi yang tinggi. Gas keluaran reaktor selanjutnya didinginkan sehingga methanol dan air hasil reaksi terkondensasi, kemudian dipisahkan dari fase gas dalam flash drum. Gas yang tidak bereaksi direcycle kembali ke reaktor, sedangkan sebagian kecil dipurge untuk mencegah akumulasi gas inert di dalam sistem. Tahap pemurnian akhir dilakukan menggunakan unit distilasi untuk memisahkan methanol dari air dan komponen berat lainnya, sehingga diperoleh produk methanol dengan kemurnian $\geq 99,9\%$, sesuai dengan spesifikasi methanol industri. Teknologi Haldor Topsøe ini dikenal memiliki efisiensi tinggi, stabilitas operasi yang baik, dan banyak diterapkan pada pabrik methanol skala besar (Arthur 2010).



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Methanol dari Natural Gas dan Oksigen dengan Proses Haldor Topsoe”

II.2. Pemilihan Proses

Tabel II. 1 Perbandingan Pembuatan Methanol

Proses ICI, Lurgi dan Haldor Topsoe

Parameter	ICI	Lurgi	Haldor Topsoe
Tekanan (atm)	50 - 100	50 – 60	50 – 80
Temperatur (°C)	220 - 270	230 - 270	200 - 280
Jenis Reaktor	Plug flow reaktor	Plug flow reaktor	Plug flow reaktor
Konsentrasi (%)	95	96	99

(Arthur 2010).

Dari berbagai proses di atas dipilih proses sintesis methanol menggunakan proses Haldor Topsoe.

1. Selektivitas Tinggi

Proses Haldor Topsøe menggunakan katalis berbasis $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ telah terbukti memiliki aktivitas dan selektivitas tinggi terhadap pembentukan methano karena menghasilkan konversi dan yield metahnol yang tinggi dengan pembentukan produk samping yang minimal. Selain itu, desain reaktor pada proses Haldor Topsoe memungkinkan pemanfaatan katalis secara lebih efektif, sehingga jumlah katalis yang dibutuhkan relatif lebih kecil dibandingkan proses lain untuk kapasitas produksi yang sama.

2. Kondisi Operasi Termasuk kategori Medium

Dibandingkan dengan proses ICI dan Lurgi, proses Haldor Topsoe beroperasi pada kondisi tekanan dan suhu yang moderat, yaitu sekitar 50–80 atm dan 200–260 °C. Kondisi operasi pada proses ini menurunkan beban mekanik peralatan, meningkatkan keselamatan operasi, serta mengurangi konsumsi energi kompresi dan utilitas. Selain itu, kondisi tersebut juga memperpanjang umur katalis sehingga mendukung kontinuitas dan keandalan operasi pabrik.

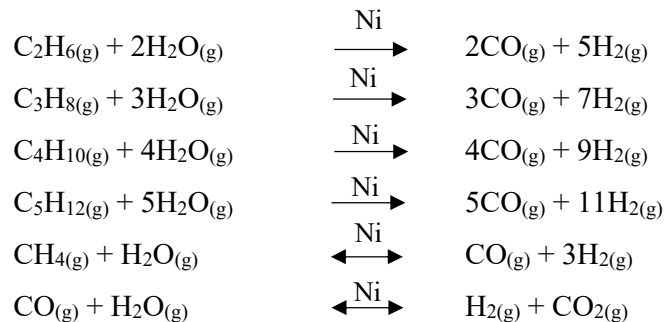


PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Methanol dari Natural Gas dan Oksigen dengan Proses Haldor Topsoe”

II.3. Uraian Proses

Natural gas bebas sulfur dikompresi dari tekanan 1 atm menjadi 11 atm menggunakan kompresor (G-111) kemudian dipanaskan secara bertahap menggunakan heater (E-113 dan E-114) agar mencapai suhu yang sesuai yaitu sebesar 350°C dan kemudian 550°C sebelum memasuki unit reforming. Pemanasan awal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi reaksi dan mengurangi beban panas pada reaktor reformer. Sementara itu, oksigen dengan tekanan 1 atm dan suhu 30°C dikompresi menggunakan kompresor (G-112) untuk mencapai tekanan operasi yang diinginkan yaitu sebesar 11 atm, dan selanjutnya dipanaskan menggunakan heater (E-115) untuk menyesuaikan suhu dari 350°C menjadi 550°C sebelum dialirkan menuju reformer. Oksigen bertekanan ini berfungsi sebagai agen oksidasi parsial dalam proses reforming. Natural gas panas dan oksigen selanjutnya diumpankan ke dalam reformer (R-110). Di dalam reformer berlangsung proses reforming dan oksidasi parsial secara simultan untuk menghasilkan gas sintesis (*syngas*). Reaksi berlangsung pada kondisi temperatur tinggi, yaitu sebesar 900°C, dan tekanan operasi sebesar 10 atm, sesuai dengan karakteristik proses Haldor Topsoe. Reaksi reforming utama menghasilkan gas hidrogen (H₂), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), serta uap air sisa, dengan reaksi sebagai berikut:



Selain itu, terjadi pula reaksi oksidasi parsial metana sebagai reaksi sekunder reformer:



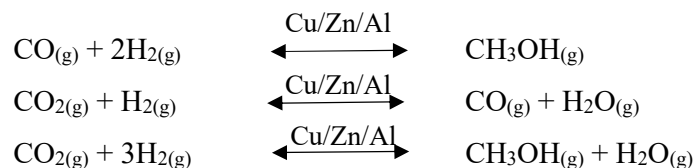
Gas sintesis panas yang keluar dari reformer kemudian dialirkan ke waste heat



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Methanol dari Natural Gas dan Oksigen dengan Proses
Haldor Topsoe”

boiler (E-211) untuk menurunkan temperaturnya dari 900°C menjadi 400°C, sekaligus memanfaatkan panas buang guna menghasilkan steam. Tahap ini bertujuan meningkatkan efisiensi energi proses. Setelah itu, gas sintesis didinginkan lebih lanjut menggunakan cooler (E-212) hingga mencapai temperatur dari 400°C menjadi 200°C. Gas sintesis selanjutnya dilewatkan ke kompresor (G-213) untuk menaikkan tekanan dari 10 atm ke 51 atm sekaligus menaikkan suhu dari 200°C menjadi 280°C. Setelah tekanan dan suhu gas berada pada kondisi yang sesuai, gas sintesis dialirkan ke reaktor sintesis methanol fixed bed (R-210). Di dalam reaktor ini, reaksi pembentukan methanol berlangsung pada tekanan sebesar 50 atm dan temperatur sebesar 280°C, dengan menggunakan katalis berbahan dasar Cu–ZnO–Al₂O₃. Reaksi utama yang terjadi adalah:



Produk keluaran reaktor berupa campuran methanol kasar (crude methanol), air, serta gas-gas yang tidak bereaksi. Campuran ini kemudian dilewatkan pada expander (G-221) untuk menurunkan tekanan dari 50 atm menjadi 3 atm. Lalu campuran methanol didinginkan menggunakan kondensor (E-311) dengan target suhu sebesar 70°C sehingga sebagian besar methanol dan air terkondensasi. Selanjutnya, aliran masuk ke flash drum (D-310) untuk memisahkan fase gas dan fase cair. Gas yang keluar dari bagian atas flash drum dialirkan menuju sistem flare, sedangkan fase cair yang mengandung crude methanol dialirkan ke tahap pemurnian melalui pompa (L-312). Crude methanol kemudian diumpukan ke kolom distilasi (D-320). Methanol dipisahkan dari air dan pengotor lainnya berdasarkan perbedaan titik didih dengan kondisi operasi sebesar 67°C. Panas distilasi disuplai oleh reboiler (E-323), sedangkan uap atas kolom dikondensasikan menggunakan kondensor (E-321) sebagian ditampung dalam accumulator (F-322)

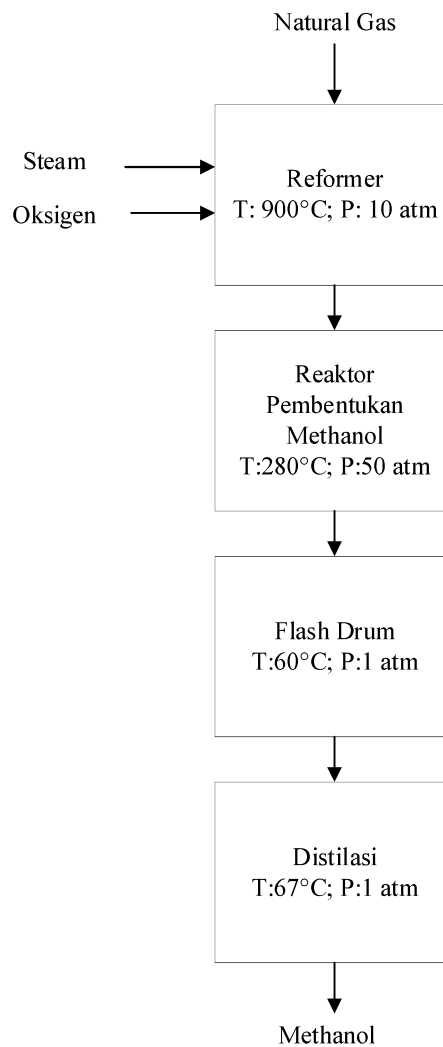


PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Methanol dari Natural Gas dan Oksigen dengan Proses Haldor Topsoe”

dan sebagian lainnya dikembalikan sebagai refluks. Produk atas kolom distilasi berupa methanol dengan kemurnian sekitar 99,9% dialirkan menuju tangki penampungan methanol (F-324), sedangkan produk bawah kolom berupa air dan pengotor dialirkan ke unit pengolahan limbah cair.

II.4 Diagram Alir



Gambar II. 4 Diagram Alir Proses Pembuatan Methanol dengan Proses Haldor Topsoe