

BAB II

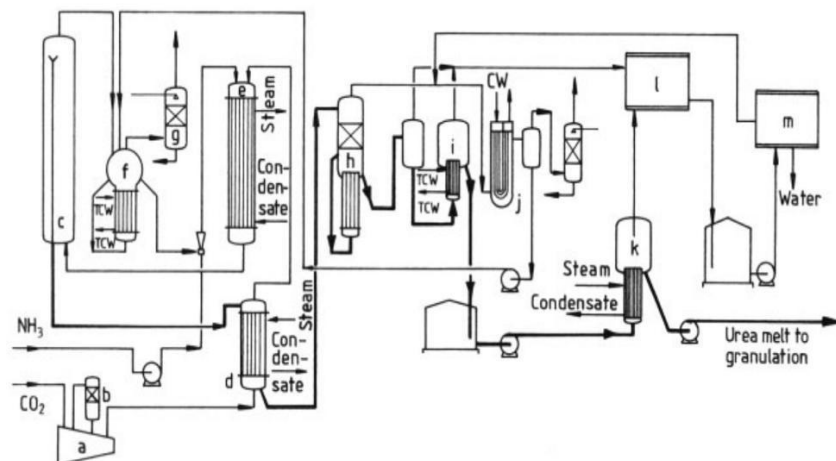
URAIAN DAN PEMILIHAN PROSES

II.1 Macam-macam proses

Berdasarkan Stripping Proses produksi urea terdiri dari berbagai macam diantaranya adalah:

1. Stamicarbon
2. Snamprogetti
3. Mitsui Toutsu

II.1.1 Proses Stamicarbon



(Ullman 2002)

Gambar II. 1 Diagram *Proses Stamicarbon*

- A. Proses Stamicarbon merupakan salah satu teknologi produksi urea yang menggunakan karbon dioksida (CO₂) sebagai agen stripping untuk menghilangkan amonia (NH₃) dari larutan hasil reaksi dalam reaktor bertekanan tinggi. Reaksi antara NH₃ dan CO₂ pada tekanan sekitar 150–160 bar dan suhu 180°C membentuk karbamat, yang sebagian terkonversi menjadi urea. Larutan dari reaktor kemudian dialirkan ke unit stripper, di mana CO₂ alirkan secara berlawanan arah (counter-current) untuk



PRA RANCANGAN PABRIK

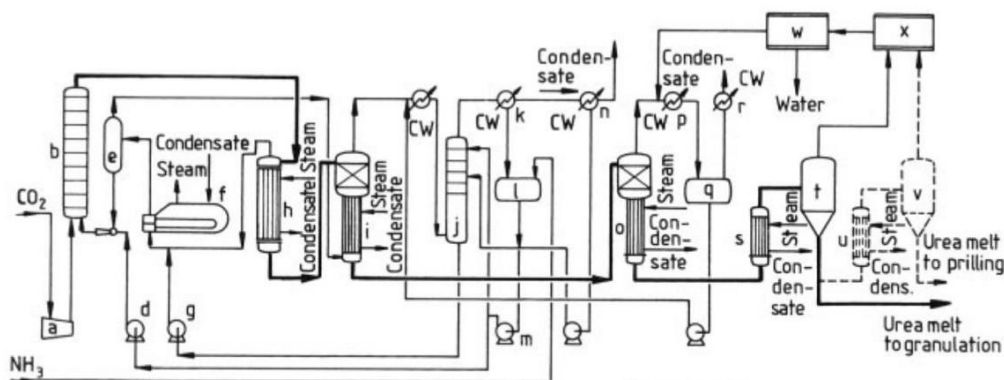
“Pabrik Urea dengan Proses Stamicarbon CO₂ Stripping”

menurunkan tekanan parsial NH₃ dan memicu dekomposisi karbamat menjadi gas CO₂ dan NH₃. Larutan yang keluar dari stripper memiliki kandungan karbamat rendah dan suhu sekitar 150–180°C, sedangkan gas hasil stripping dikondensasikan dan sebagian besar dikembalikan ke reaktor sebagai recycle, sementara gas inert dikeluarkan dari sistem. Proses ini dikenal efisien karena mampu mencapai konversi tinggi, konsumsi energi yang relatif rendah, dan pengurangan emisi limbah (Dwiputro et al., 2021; Pandey, 2009).

- B. Pada proses produksi urea berbasis teknologi stripping, larutan keluaran reaktor (liquid outlet) dialirkan ke unit stripper untuk dipanaskan secara tidak langsung menggunakan steam jenuh dan gas CO₂ dari discharge kompresor. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menurunkan tekanan parsial amonia (NH₃), sehingga kesetimbangan reaksi bergeser dan mendorong NH₃ dalam fase cair untuk berubah menjadi fase gas. CO₂ yang sebelumnya terlarut sebagai karbamat dalam NH₃ juga ikut terlepas menjadi gas. Larutan yang keluar dari bagian bawah stripper selanjutnya dialirkan ke reactor column dengan menurunkan tekanannya hingga 3,0–3,5 kg/cm² dan dipanaskan kembali. Gas NH₃ dan CO₂ yang terlepas dari karbamat di bagian atas reactor column dikondensasikan dalam Low Pressure Carbamate Condenser (LPCC) dan kemudian dipompakan kembali sebagai recycle ke reaktor urea. Sementara itu, larutan urea dengan konsentrasi sekitar 63% yang keluar dari reaktor dikirim ke flash tank bertekanan vakum untuk pemisahan lebih lanjut. Di sisi lain, campuran gas NH₃ dan CO₂ dari bagian atas stripper dialirkan ke High Pressure Carbamate Condenser (HPCC), di mana gas-gas tersebut bereaksi dengan NH₃ membentuk larutan karbamat sekitar 80%. Panas reaksi ini diserap oleh kondensat untuk menghasilkan steam tekanan rendah, sedangkan sisa gas yang tidak terkondensasi tetap dipertahankan karena dibutuhkan sebagai sumber panas dalam reaksi endotermis pembentukan urea di dalam reaktor. Seluruh

campuran dua fase dari HPCC kemudian dikembalikan ke reaktor urea untuk melanjutkan siklus reaksi (Riegel, 2019)

II.1.2 Proses Snamprogetti



(Ullman 2002)

Gambar II. 2 Diagram *Proses Snamprogetti*

Proses Snamprogetti merupakan teknologi produksi urea yang menggunakan amonia (NH₃) sebagai agen stripping untuk menghilangkan karbon dioksida (CO₂) dan sisa NH₃ dari larutan hasil reaksi. Proses ini dirancang untuk menjaga efisiensi konversi tinggi sekaligus menekan pembentukan senyawa pengotor seperti biuret, yang dapat menurunkan kualitas urea sebagai pupuk, terutama pada aplikasi daun. Biuret terbentuk melalui kondensasi molekul urea pada suhu tinggi dan konsentrasi NH₃ rendah. Oleh karena itu, pada proses Snamprogetti, NH₃ diumpukan secara berlebih ke dalam reaktor untuk menghambat reaksi pembentukan biuret. Produk urea yang digunakan untuk aplikasi daun umumnya disyaratkan mengandung kurang dari 0,035% biuret agar tidak menimbulkan bintik pada permukaan daun tanaman. Untuk menurunkan kadar biuret lebih lanjut, larutan yang mengandung biuret dari tahap pemurnian didaur ulang kembali ke reaktor untuk diubah kembali menjadi urea. Proses ini tidak hanya menghasilkan urea dengan kualitas tinggi dan kandungan biuret rendah, tetapi juga memiliki keuntungan dari sisi operasional, seperti biaya pemeliharaan yang lebih rendah dan efisiensi peralatan yang lebih baik. Teknologi Snamprogetti mulai banyak digunakan sejak awal 1980.

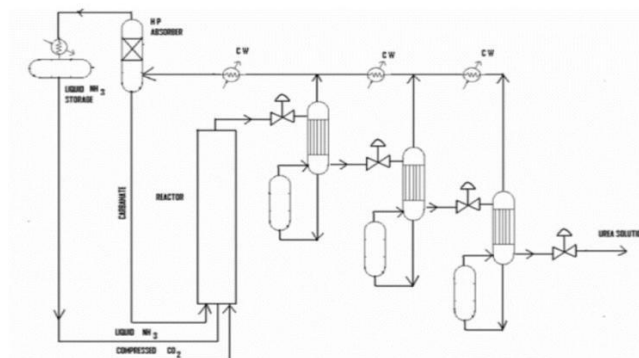


PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Urea dengan Proses Stamicarbon CO₂ Stripping”

Proses Snamprogetti atau proses NH₃ stripping didasarkan pada prinsip daur ulang internal karbamat, di mana karbamat yang tidak terkonversi di dalam larutan limbah reaktor urea dipisahkan melalui proses stripping menggunakan amonia sebagai agen pengupas. Tidak seperti proses konvensional yang mendaur ulang larutan karbamat secara langsung, proses ini mengandalkan penguapan sebagian umpan cair amonia dalam penukar panas untuk menghasilkan gas NH₃, yang berfungsi sebagai gas inert untuk mendekomposisi karbamat dalam stripper bertekanan tinggi. Reaktor sintesis urea beroperasi pada tekanan sekitar 30 atm dan suhu 180–190°C, sedangkan stripper beroperasi pada tekanan sekitar 130 atm dan suhu 190°C. Gas yang keluar dari stripper (stripper off-gas) dikondensasikan dalam kondensor shell-and-tube vertikal yang juga beroperasi pada tekanan tinggi, menghasilkan larutan karbamat berair dan menghasilkan steam bertekanan rendah sebagai produk samping. Larutan urea yang meninggalkan stripper masih mengandung sekitar 2–3% sisa karbamat, sehingga diproses lebih lanjut dalam sistem dekomposisi-absorpsi bertekanan rendah untuk menghilangkan gas tersisa. Seluruh larutan hasil dekomposisi, berupa campuran amonia dan karbamat, kemudian dipompa kembali ke reaktor untuk didaur ulang. Proses ini tidak hanya meningkatkan efisiensi konversi bahan baku, tetapi juga memungkinkan pengendalian kandungan biuret dan konsumsi energi yang lebih optimal melalui pemanfaatan kembali panas kondensasi (Riegel, 2019; Snamprogetti S.p.A., 1982).

II.1.2 Proses Mitsui Toutsu



(Riegel 2019)

Gambar II. 3 Diagram *Proses Mitsui Toutsu*

Proses Mitsui Toatsu Chemical (MTC) merupakan salah satu teknologi produksi urea yang banyak digunakan pada awal tahun 1970-an dan sering dijadikan acuan dalam evaluasi proses-proses baru. Reaktor urea dalam sistem MTC beroperasi pada tekanan tinggi sekitar 250 atm, yang memungkinkan pembentukan urea dari reaksi antara amonia (NH₃) dan karbon dioksida (CO₂) secara efisien. Limbah cair dari reaktor kemudian mengalami penurunan tekanan secara bertahap melalui serangkaian tahapan dekomposisi, di mana uap digunakan untuk menguraikan karbamat serta melepaskan kembali CO₂ dan NH₃. Gas-gas ini kemudian diserap ke dalam air untuk membentuk larutan karbamat yang didaur ulang ke reaktor. Meskipun proses stripping CO₂ dan NH₃ seperti pada sistem Stamicarbon dan Snamprogetti kini lebih umum digunakan karena efisiensinya yang lebih tinggi, pabrik berbasis MTC masih dibangun hingga awal tahun 1980-an. Seiring waktu, Mitsui Toatsu terus melakukan perbaikan dan optimasi terhadap sistem ini untuk meningkatkan efisiensi energi, daur ulang gas, dan stabilitas operasional (Pandey, 2009; Riegel, 2019).



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Urea dengan Proses Stamicarbon CO₂ Stripping”

II.2 Pemilihan Proses

Tabel II. 1 Pemilihan Proses Produksi Urea

Parameter	Satuan	Stamicarbon (US0041813A1)	Mitsui-Toyo (US4504679A)	Snamprogetti (USUS4613696)
Tekanan	atm	140	160	158
Suhu	°C	170-185	185-190	170-185
Molar N/C	Rasio	3,0-6,0	3,5-5,0	3,0-4,0
Molar H/C	Rasio	0,4	0,6	0,5-0,6
Konsumsi Energi	kWh/MT	20	21	21
Konversi reaktor	%	60-79	65-72	60-65
Limbah Cair				
- NH ₃	ppmw	1	5	2
- Urea		1	5	2
Konsumsi Bahan	(ton/ton urea)			
- NH ₃		0,566	0,568	0,566
- CO ₂		0,733	0,740	0,735

(US Patent 2001, WO 2008, US Patent 1982)

Proses Stamicarbon dipilih sebagai teknologi produksi urea karena menawarkan efisiensi konversi bahan baku yang tinggi, konsumsi energi yang lebih rendah, serta stabilitas operasional yang baik. Proses ini menggunakan karbon dioksida (CO₂) sebagai agen stripping untuk menghilangkan amonia (NH₃) dari larutan reaksi, yang memungkinkan dekomposisi karbamat secara efisien dan menghasilkan daur ulang gas yang optimal. Dengan tekanan operasi reaktor sekitar 140 bar dan suhu 180–250°C, proses ini mampu meminimalkan pembentukan biuret serta menghasilkan produk urea dengan kualitas yang memenuhi standar industri dan pertanian. Selain itu, sistem daur ulang internal dan desain termal yang efisien memungkinkan pemanfaatan kembali panas kondensasi untuk mengurangi konsumsi steam, sehingga biaya operasional lebih rendah dibandingkan proses lainnya. Dibandingkan dengan proses Mitsui Toatsu yang membutuhkan tekanan sangat tinggi dan proses Snamprogetti yang lebih kompleks dari sisi pengaturan

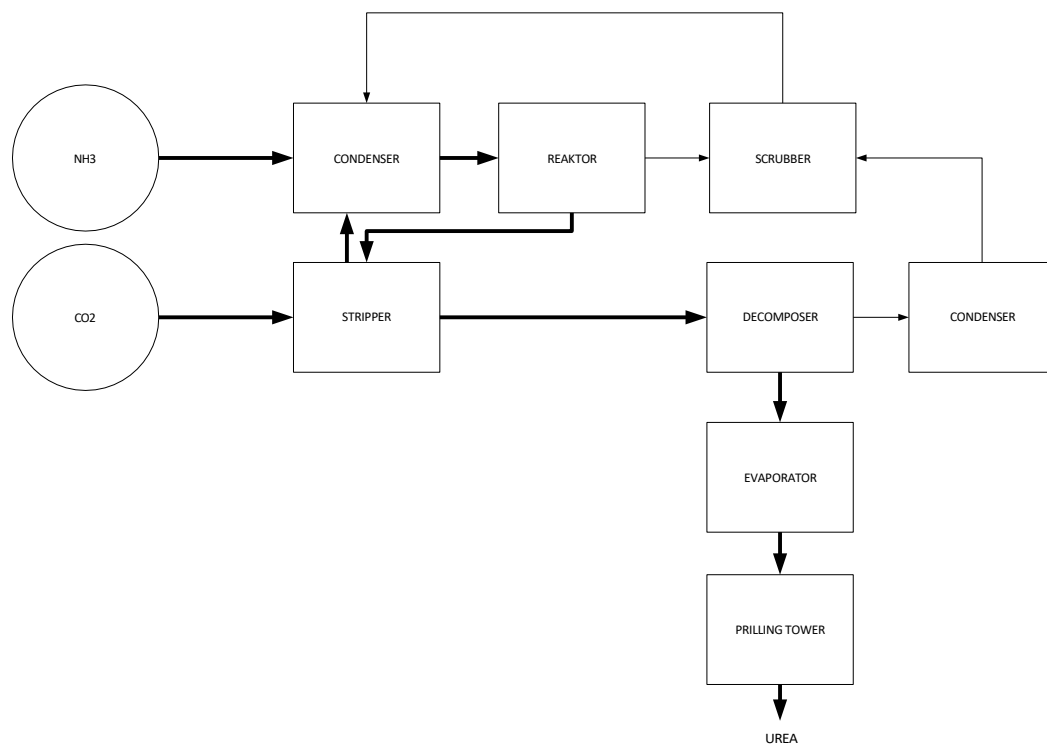


rasio NH₃, Stamicarbon memberikan keseimbangan terbaik antara efisiensi teknis, ekonomis, dan kemudahan pengoperasian.

II.3 Uraian Proses

Proses pembuatan urea dari bahan baku ammonia dan karbon dioksida terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Tahap penyimpanan bahan baku
2. Tahap pembentukan produk (sintesa)
3. Tahap pemurnian (purifikasi)
4. Tahap recovery
5. Tahap konsentrasi
6. Tahap finishing dan prilling



Gambar II. 4 Diagram Alir Proses



II.3.1 Persiapan bahan baku

a. Penyiapan bahan baku ammonia

Amonia cair dari tangki penyimpanan ($\pm 11,5$ atm; 30 °C) dipompa dengan High Pressure Ammonia Pump hingga mencapai kondisi operasi 138 atm dan 180 °C. Amonia ini tidak langsung masuk ke reaktor, melainkan masuk lebih dulu ke High-Pressure Carbamate Condenser. Di sini NH₃ akan bereaksi dengan CO₂ hasil stripper untuk membentuk larutan karbamat, yang kemudian dialirkan menuju Urea Reactor.

b. Penyiapan bahan baku karbon dioksida

CO₂ dari tangki spherical (65 atm; 30 °C) dikompresi hingga tekanan operasi 138 atm dan dipanaskan sampai 180 °C. Gas CO₂ tidak langsung ke kondensor, melainkan dialirkan terlebih dahulu ke bagian bawah Stripper sebagai stripping agent. Setelah digunakan sebagai agen stripping, gas CO₂ bersama gas NH₃ dari stripper naik ke High-Pressure Carbamate Condenser, tempat terjadinya reaksi eksotermis dengan NH₃ untuk membentuk larutan karbamat. Larutan inilah yang selanjutnya masuk ke Urea Reactor.

II.3.2 Tahap pembentukan produk (sintesis urea)

Pada tahap ini urea dibentuk menggunakan beberapa proses utama, sebagai berikut :

a. Reaktor

Pada reactor CSTR terjadi reaksi eksotermis cepat antara NH₃ (cair/panas) dan CO₂ (gas panas hasil stripping) membentuk ammonium karbamat, dengan reaksi sebagai berikut :





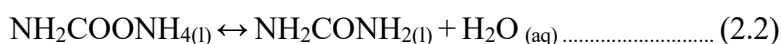
PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Urea dengan Proses Stamicarbon CO₂ Stripping”

Reaksi ini berjalan eksoterm dan panas yang dilepaskan dapat digunakan untuk steam pada proses lain.

b. Reaktor

Pada reactor Fixed bath bertekanan 138 atm, 180°C umpan berupa larutan karbamat liquid terjadi reaksi endotermis lambat yakni reaksi hidrasi ammonium karbamat menjadi urea.



Pemilihan reactor CSTR sebab reaksi berjalan secara lambat dan endotermis, membutuhkan residence time yang cukup dan mixing sempurna. Pencampuran sempurna akan mengurangi risiko gradien suhu/konsentrasi sehingga reaksi akan lebih terkendali. Pada operasi normal, rasio molar umpan NH₃:CO₂ dijaga sekitar 3 : 1. Rasio ini dipilih untuk menekan pembentukan biuret, memperbaiki stabilitas reaksi, serta meningkatkan konversi urea per siklus. Meskipun total konversi di reactor biasanya hanya mencapai ±60–65% sehingga tetap memerlukan unit recovery dan recycle.

c. Stripper

S Larutan keluaran reaktor yang masih mengandung urea, air, ammonium karbamat, serta sisa amonia dan karbon dioksida dialirkan menuju High-Pressure Stripper. Di dalam alat ini, larutan cair mengalir menurun melalui tube sebagai *falling film* dan dipanaskan dengan steam dari sisi shell. Dari bagian bawah, gas karbon dioksida segar dialirkan berlawanan arah dengan aliran cairan (*counter current*) sehingga berperan sebagai *stripping agent*. Dengan adanya pemanasan dan suplai CO₂, ammonium karbamat terurai menjadi NH₃ dan CO₂, sementara gas-gas hasil dekomposisi bersama CO₂ segar keluar melalui bagian atas stripper untuk kemudian dikirim ke High-Pressure Carbamate Condenser. Cairan yang keluar dari bagian bawah stripper berupa larutan urea dengan



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Urea dengan Proses Stamicarbon CO₂ Stripping”

kandungan NH₃ dan CO₂ yang lebih rendah, sehingga siap masuk ke tahap recovery tekanan rendah berikutnya.

II.3.3 Tahap pemurnian produk (purifikasi)

Tahap pemurnian bertujuan untuk memurnikan larutan urea keluaran stripper dengan kemurnian 50% hingga mencapai kemurnian 65%. Larutan urea dari stripper yang masih mengandung sisa karbamat didekomposisi lebih lanjut dalam LP Decomposer pada tekanan menengah (17,5 atm) dengan pemanasan. Di sini karbamat dipecah menjadi NH₃ dan CO₂, lalu gas dikembalikan ke sistem melalui LP Carbamate Condenser. High Pressure Decomposer. Panas digunakan dari steam untuk proses penguapan NH₃, CO₂, dan H₂O dengan menjaga temperature proses tetap di 155°C untuk mencegah pembentukan biuret

II.3.4 Tahap recovery

Gas hasil dekomposisi dari Low-Pressure Decomposer yang masih mengandung NH₃ dan CO₂ dialirkan ke Low-Pressure Carbamate Condenser, di mana sebagian besar gas dikondensasikan kembali menjadi larutan karbamat. Sisa gas yang tidak terkondensasi selanjutnya masuk ke Scrubber untuk menangkap amonia yang masih terbawa menggunakan larutan karbamat sebagai penyerap. Dari scrubber, aliran gas kemudian diteruskan ke Low-Pressure Absorber sehingga kandungan NH₃ yang tersisa dapat dipisahkan lebih lanjut. Larutan kaya amonia dari unit scrubber kemudian dikirim kembali ke Reaktor (CSTR), sehingga amonia dan karbon dioksida dapat direcycle dan masuk kembali ke high-pressure loop bersama aliran menuju reaktor 2 dan stripper. Dengan sistem recovery ini, pemakaian bahan baku menjadi lebih efisien sekaligus meminimalkan kehilangan amonia ke lingkungan.



II.3.4 Tahap Vaccum concentration

Proses pemekatan larutan urea dilakukan dalam dua tahap evaporasi untuk memperoleh kemurnian produk hingga 90% berat. Larutan urea dari unit dekomposisi dengan konsentrasi sekitar 99% berat pertama kali dialirkan ke Evaporator Tahap I (V-220) yang beroperasi pada tekanan menengah sekitar 2,5 atm dan suhu 140 °C. Pada tahap ini sebagian besar air diuapkan sehingga konsentrasi urea meningkat hingga $\pm 70\%$ berat.

Selanjutnya, larutan urea masuk ke Evaporator Tahap II (V-230) yang beroperasi pada kondisi vakum 1 atm dengan suhu sekitar 120 °C. Pada tahap ini kadar air yang tersisa dihilangkan, sehingga diperoleh larutan urea dengan kemurnian 98% berat, sesuai spesifikasi untuk proses prilling.

Pengendalian suhu dan tekanan pada unit evaporasi sangat penting. Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan kristalisasi urea dan menyumbat tube evaporator, sedangkan suhu yang terlalu tinggi mempercepat pembentukan biuret. Selain itu, waktu tinggal larutan di dalam evaporator juga harus dikendalikan untuk mencegah terbentuknya biuret berlebih yang dapat menurunkan kualitas produk akhir.

II.3.5 Tahap finishing (Prilling tower)

Urea prill diproduksi dengan cara menyemprotkan cairan urea dari atas prilling tower. Proses granulasi bertujuan untuk membentuk butiran prill urea dengan bantuan udara yang dihembuskan dari bagian bawah prilling tower. Didalam prilling tower ini, umpan urea didistribusikan secara merata dengan bentuk tetes-tetes yang kemudian jatuh ke bawah. Tetesan ini tadi akan terbentuk prill dengan bantuan udara yang dihembuskan dari bagian bawah tower dengan bantuan blower.

Urea yang telah berbentuk prill selanjutnya akan diangkut oleh belt conveyor untuk proses pengayakan guna memisahkan produk dalam memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Prill yang diinginkan yakni



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Urea dengan Proses Stamicarbon CO₂ Stripping”

± 0.3 mm – 2mm, sedangkan yang tidak memenuhi spesifikasi produk akan direcycle kembali pada evaporator.