



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Unit Hidrogenasi

Proses hidrogenasi dalam pembuatan hidrogen peroksida (H_2O_2) merupakan tahap penting yang melibatkan reaksi antara gas hidrogen (H_2) dengan senyawa tertentu. Reaksi ini berlangsung dengan bantuan katalis, biasanya logam mulia seperti paladium (Pd) atau platina (Pt), yang berfungsi mempercepat jalannya reaksi. Katalis berperan menurunkan energi yang dibutuhkan agar reaksi dapat terjadi tanpa ikut habis atau berubah selama proses, sehingga reaksi dapat berjalan lebih cepat, stabil, dan efisien.

Tahap hidrogenasi menjadi bagian awal yang sangat menentukan keberhasilan keseluruhan proses pembentukan H_2O_2 . Tahap ini tidak hanya menghasilkan senyawa antara berupa antrahidrokuinon, tetapi juga membantu menjaga efisiensi konversi dan kestabilan katalis yang digunakan. Faktor-faktor seperti kualitas katalis, tekanan, suhu, serta jumlah hidrogen yang digunakan akan sangat memengaruhi hasil akhir hidrogen peroksida yang dihasilkan. Karena itu, tahap ini menjadi dasar penting agar proses selanjutnya dapat berjalan dengan baik.

Dalam skala industri, pembuatan hidrogen peroksida biasanya dilakukan dengan metode antrakuinon. Pada metode ini, senyawa antrakuinon direduksi menggunakan gas hidrogen dengan bantuan katalis hingga terbentuk antrahidrokuinon. Proses ini disebut hidrogenasi karena melibatkan penambahan atom hidrogen ke dalam senyawa tersebut. Setelah itu, antrahidrokuinon akan bereaksi dengan oksigen dari udara dan menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2), sambil mengembalikan antrakuinon ke bentuk semula. Dengan cara ini, proses dapat berlangsung secara terus-menerus dalam suatu siklus yang berulang.



II.1.2 Unit Oksidasi

Unit oksidasi merupakan tahap lanjutan dari proses pembentukan hidrogen peroksida (H_2O_2) pada metode siklus antrakuinon. Pada tahap ini, senyawa antrahidrokuinon hasil dari proses hidrogenasi akan bereaksi dengan oksigen (O_2) yang berasal dari udara atau sumber oksigen murni. Reaksi tersebut menyebabkan antrahidrokuinon teroksidasi kembali menjadi antrakuinon, sedangkan oksigen yang bereaksi menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai produk utama. Proses oksidasi dilakukan dalam kondisi yang terkontrol agar hasil reaksi stabil dan menghasilkan produk dengan kualitas baik. Tekanan oksigen, suhu reaksi, dan kecepatan aliran udara merupakan faktor utama yang memengaruhi jumlah serta kemurnian H_2O_2 yang dihasilkan. Jika kondisi tersebut tidak dijaga dengan baik, dapat terjadi reaksi samping atau penurunan mutu produk, sehingga rendemen yang diperoleh menjadi lebih rendah. Untuk menghindari hal tersebut, reaktor oksidasi dilengkapi dengan sistem pendingin dan pengatur aliran gas agar proses berjalan secara stabil.

Keunggulan dari tahap oksidasi adalah kemampuan antrakuinon untuk digunakan kembali secara berulang. Setelah bereaksi, antrakuinon akan terbentuk kembali dan dikembalikan ke tahap hidrogenasi. Dengan demikian, proses ini dapat berlangsung secara berkelanjutan dan hemat bahan baku, karena tidak memerlukan penambahan antrakuinon secara terus-menerus. Secara keseluruhan, unit oksidasi merupakan bagian utama dalam proses produksi H_2O_2 . Tahap ini berfungsi sebagai penghubung antara hasil hidrogenasi dan pembentukan produk akhir, sekaligus menjaga keseimbangan siklus reaksi antrakuinon. Melalui pengaturan suhu, tekanan, dan laju aliran yang tepat, proses oksidasi mampu menghasilkan hidrogen peroksida dengan kualitas tinggi, yang digunakan secara luas pada berbagai



bidang industri seperti tekstil, kertas, desinfektan, dan pengolahan limbah.

II.1.3 Unit Ekstraksi dan Purifikasi

Unit ekstraksi dan purifikasi merupakan tahapan penting dalam proses produksi hidrogen peroksida (H_2O_2) setelah siklus hidrogenasi dan oksidasi pada metode antrakuinon. Pada tahap ini, H_2O_2 yang masih bercampur dengan pelarut organik serta sisa senyawa antrakuinon harus dipisahkan dan dimurnikan agar diperoleh produk dengan tingkat kemurnian yang sesuai standar industri.

Proses ekstraksi memanfaatkan prinsip Liquid-Liquid Extraction (LLE) untuk memisahkan H_2O_2 dari pelarut organik. H_2O_2 yang terbentuk akan larut dalam fase air, sementara pelarut organik (yang melarutkan antrakuinon) tetap berada pada fase organik. Proses ini menggunakan air demineralisasi sebagai pelarut H_2O_2 . Air demin ini dicampurkan dengan Asam Fosfat dan Amonium Nitrat bertujuan untuk mengkondisikan pH larutan serta melindungi menara ekstraksi agar tidak timbul kerak.

Kemudian tahap purifikasi dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan konsentrasi H_2O_2 dengan menghilangkan sisa-sisa pengotor. H_2O_2 yang telah diekstrak dari menara ekstraksi kemudian dimurnikan di menara purifikasi. Proses ini juga menggunakan prinsip Liquid-Liquid Extraction (LLE), namun kali ini menggunakan senyawa aromatik TMB (Trimetilbenzena). TMB berfungsi untuk melarutkan 2-EAQ yang mungkin masih terbawa dari proses ekstraksi.

II.1.4 Unit Pemekatan

Unit pemekatan atau pemurnian hidrogen peroksida merupakan tahap akhir dalam rangkaian proses produksinya setelah melewati tahapan hidrogenasi, oksidasi, dan ekstraksi. Pada tahap ini,



larutan H_2O_2 yang dihasilkan dari proses sebelumnya umumnya masih memiliki kadar rendah, yaitu sekitar 25%. Agar dapat memenuhi standar penggunaan di berbagai sektor industri, larutan tersebut perlu diproses lebih lanjut untuk meningkatkan konsentrasi serta menghilangkan sisa-sisa pengotor yang dapat memengaruhi kestabilannya.

Proses pemekatan biasanya dilakukan melalui distilasi vakum, di mana tekanan sistem diturunkan untuk menghindari dekomposisi H_2O_2 akibat suhu tinggi. Dengan kondisi ini, air sebagai pelarut dapat diuapkan tanpa merusak kestabilan senyawa utama. Selain distilasi, beberapa metode lain juga diterapkan, seperti ekstraksi berulang dengan pelarut organik, adsorpsi menggunakan resin penukar ion, maupun teknologi membran, guna memperoleh produk dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi.

Tahapan pemurnian bertujuan untuk menyingkirkan berbagai zat pengotor, seperti residu pelarut organik, logam katalis, serta senyawa samping yang dapat mempercepat proses dekomposisi. Hasil akhir dari unit ini berupa larutan hidrogen peroksida berkonsentrasi tinggi, umumnya mencapai 50% hingga lebih dari 55%, tergantung kebutuhan penggunaannya. Oleh karena itu, unit pemekatan dan pemurnian memiliki peran penting dalam menghasilkan produk H_2O_2 yang tidak hanya memenuhi spesifikasi kadar, tetapi juga stabil dan aman digunakan di berbagai bidang, termasuk industri pulp dan kertas, tekstil, kimia, medis, hingga aplikasi bahan bakar roket.

II.1.5 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah merupakan komponen penting dalam produksi H_2O_2 , yang bertugas memastikan semua residu kimia, khususnya H_2O_2 , telah terdekomposisi dan aman sebelum



dibuang ke lingkungan. Pembuangan langsung limbah yang masih mengandung H_2O_2 dilarang keras karena sifatnya sebagai oksidator kuat yang berpotensi merusak ekosistem dan kesehatan manusia. Secara umum, limbah cair diolah melalui tahap dekomposisi atau netralisasi menggunakan katalis atau zat pereduksi kimia, sehingga hidrogen peroksida terurai menjadi air dan oksigen yang tidak berbahaya. Proses pengolahan limbah diawali dengan menampung limbah ber-pH 7, yang kemudian ditingkatkan pH-nya menjadi 12-13 dengan penambahan NaOH. Setelah itu, limbah dipompa ke reaktor di mana $FeSO_4$ ditambahkan sambil diaduk 15 menit untuk pembentukan mikroflokk (koagulasi). Selanjutnya, pH limbah diturunkan drastis ke kisaran 3-5 menggunakan H_2SO_4 sambil diaduk 30 menit untuk menciptakan kondisi optimal. Pada tahap akhir, $CaOH_2$ ditambahkan untuk menetralkan kembali pH hingga sekitar 7 dan membantu proses presipitasi serta diikuti penambahan flokulan anionik untuk mempercepat flokulasi. Setelah didiamkan 5 menit, limbah terpisah berupa lapisan bawah berupa lumpur padat diolah lebih lanjut dan dipres untuk dibuang, sementara lapisan atas berupa air jernih dialirkan melalui sistem filtrasi menuju bak penampungan air bersih.

II.1.6 Unit Pengemasan

Unit pengemasan merupakan tahapan akhir dalam proses produksi hidrogen peroksida (H_2O_2) sebelum didistribusikan kepada konsumen atau digunakan untuk keperluan industri lainnya. Setelah melewati tahapan hidrogenasi, oksidasi, ekstraksi, dan pemurnian, larutan H_2O_2 yang telah mencapai kadar dan kemurnian tertentu harus dikemas dengan baik agar tetap stabil, aman, serta tidak mengalami penguraian (dekomposisi) selama penyimpanan maupun pengangkutan. Pada tahap ini, H_2O_2 dikemas menggunakan wadah



husus yang tahan terhadap sifat pengoksidasi kuat, seperti drum plastik HDPE (High Density Polyethylene), kontainer IBC (Intermediate Bulk Container), atau tangki stainless steel yang dilapisi bahan anti-karat. Pemilihan bahan kemasan dilakukan dengan tujuan agar wadah tidak bereaksi dengan H_2O_2 , bebas dari kandungan logam berat, serta mampu menjaga kestabilan produk dalam jangka waktu lama. Sebelum proses pengisian ke wadah, H_2O_2 biasanya ditambahkan zat penstabil (stabilizer) seperti natrium stannat atau senyawa fosfat organik dalam jumlah kecil. Penambahan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya penguraian akibat panas, cahaya, atau kontaminasi logam. Proses pengisian dilakukan secara tertutup dan terkendali, dengan memperhatikan suhu, tekanan, dan aspek keselamatan kerja, karena H_2O_2 dengan konsentrasi tinggi bersifat reaktif dan berbahaya apabila tidak ditangani dengan benar.