

Perancangan Awal Sistem Kontrol Dan Proteksi Reaktor: Studi Kasus Reaktor *Dimethylformamide*

Muhammad Pebri Pratama¹, Eko Ariyanto^{1*}, Muhammad Abimas Halimzikri¹, Rizanti Fadilah¹, Nanda Shafira¹, Elsa Wardani¹, Gita Sintya¹, Ismi Islamiyati Remuso¹

¹Program Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang

^{*} Corresponding email: eko_ariyanto@um-palembang.ac.id

Abstrak

Keselamatan kerja di industri kimia merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan untuk mencegah kecelakaan dan memastikan lingkungan kerja yang aman. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan ulang dan merumuskan rekomendasi konkrit yang dapat meningkatkan kondisi kerja yang aman dan mengurangi potensi insiden atau kecelakaan di Reaktor *dimethyl formamide* (DMF) pada Pabrik Kimia Polytex Chemical Industries. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, observasi langsung, dan analisis data. Hasil penelitian menunjukkan adanya kekurangan dalam sistem keselamatan kerja di reaktor DMF, yang menyebabkan terjadinya kecelakaan pada Reaktor 105. Faktor-faktor penyebab kecelakaan meliputi dekomposisi termal DMF, peningkatan suhu dan tekanan yang tidak terkendali, serta kurangnya sistem proteksi yang memadai. Rekomendasi yang diberikan untuk meningkatkan keselamatan kerja meliputi penggunaan temperature transmitter, pressure transmitter, level transmitter, dan sistem alarm sebagai bagian dari sistem proteksi yang dapat memantau kondisi operasional, mendeteksi kondisi berbahaya, dan memberikan peringatan dini kepada operator. Implikasi penelitian ini adalah perlunya perbaikan dalam perancangan reaktor dan implementasi sistem proteksi yang efektif di industri kimia. Dengan mengoptimalkan penggunaan temperature transmitter, pressure transmitter, level transmitter, dan sistem alarm, diharapkan dapat meningkatkan keselamatan kerja, mengurangi risiko kecelakaan, dan memastikan operasi reaktor berjalan dengan aman dan efisien.

Kata Kunci: Keselamatan Kerja, Reaktor DMF, Temperature Transmitter, Pressure Transmitter, Level Transmitter

PENDAHULUAN

Industri kimia merupakan salah satu sektor industri yang memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan kerja (Winarto et al., 2016). Salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri kimia adalah Pabrik Kimia Polytex Chemical Industries. Pada tanggal 15 April 2022, perusahaan ini mengalami kecelakaan kerja yang mengakibatkan kematian 6 (enam) pekerja (Prabhune, 2022). Kejadian ini menunjukkan adanya kekurangan dalam sistem keselamatan kerja di perusahaan tersebut dan menimbulkan keprihatinan terhadap keselamatan kerja di industri kimia. Kecelakaan tersebut terjadi akibat ledakan di Reaktor 105 yang disebabkan oleh dekomposisi termal DMF selama proses distilasi untuk pemulihan bahan kimia tersebut (_____, 2022). Pemicu ledakan di Reaktor 105 disebabkan residu dari batch sebelumnya tidak dibersihkan dengan benar, karena tidak ada operasional prosedur pembersihan residu tersebut, dan pada saat pengisian bahan kimia di reaktor tersebut telah terjadi peningkatan volume sehingga menyebabkan peningkatan suhu dan menyebabkan ledakan dan kebakaran (_____, 2022). Menurut bahwa Øpstad et al., (2009) ledakan dapat terjadi dalam situasi temperatur dan konsentrasi tertentu, jika DMF terpapar dengan bahan kimia yang bersifat basa.

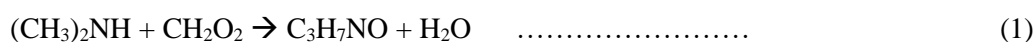
DMF dikenal sebagai bahan kimia yang sangat reaktif dan mudah terbakar, dan pemulihannya dari pelarut bekas setiap batch memerlukan pembersihan yang tepat untuk menghindari reaksi kimia yang tidak diinginkan dari bahan yang tidak cocok dan dekomposisi komponennya (Heravi et al., 2018; Jordan et al., 2022). Gas buang yang mengandung DMF sulit untuk diolah dengan metode pengolahan gas buang tradisional seperti adsorpsi, absorpsi, dan biodegradasi karena sifat kimianya

yang stabil (Hu et al., 2021; Sánchez-Soto et al., 2001; Tian et al., 2018). Jika dibuang ke lingkungan alami, DMF akan menyebabkan pencemaran lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia (Fan et al., 2022).

Pada penelitian ini dilakukan kajian untuk merancang ulang reaktor tersebut, sehingga dapat dikendalikan dan aman. Tujuan kajian ini adalah untuk melakukan analisis awal terhadap keselamatan kerja di reaktor DMF tersebut. Dengan kajian studi kasus penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik tentang pentingnya keselamatan kerja di industri kimia, khususnya dalam pengoperasian reaktor DMF. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai landasan untuk perbaikan sistem keselamatan kerja di reaktor sejenis, sehingga dapat mengurangi risiko kecelakaan kerja, melindungi kesehatan dan keselamatan personel, serta memastikan operasi reaktor berjalan dengan aman dan efisien.

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dilakukan dengan merancang mekanisme kontrol dan proteksi reaktor DMF diharapkan proses berjalan aman, efektif, dan efisien. Diketahui reaksi dimetilamina dan asam format menghasilkan DMF pada tekanan 7 bar dan 225 °C sebagai berikut (_____, 2022):



Pengendalian proses pada reaksi diatas yaitu dengan menjaga operasi yang stabil sehingga mengoptimalkan produksi DMF. Pengendalian suhu dan tekanan dalam reaktor dilakukan sebagai berikut:

1. Pengendalian Suhu: Menggunakan sensor suhu yang akurat dan sistem pengendalian PID untuk menjaga suhu operasi tetap stabil pada 225°C. Sistempemanas dan pendingin yang dikendalikan harus terpasang untuk mengatur suhu operasi sesuai dengan *set point* yang diinginkan.
2. Pengendalian Tekanan: Menggunakan sistem pengendalian tekanan yang tepat, seperti katup pengatur tekanan (*pressure control valve*), untuk menjaga tekanan operasi tetap stabil pada 7 bar.
3. Sistem Keamanan dan Keselamatan Kerja: Penting untuk memiliki sistem keamanan dan keselamatan yang memadai dalam desain proses pembuatan DMF demi menghindari kemungkinan kecelakaan kerja. Beberapa langkah yang dapat diambil meliputi:
 - Instalasi sistem deteksi kebocoran untuk mendeteksi kebocoran gas atau bahan kimia berbahaya.
 - Pemasangan sistem ventilasi yang baik untuk mengontrol pembuangan gasberacun dan menghindari akumulasi uap berbahaya.
 - Penyediaan sistem pemadam kebakaran yang efektif dan pemadaman yangcepat, termasuk sprinkler dan alat pemadam api yang sesuai.

Menetapkan prosedur operasional yang aman, serta melibatkan pelatihan danpemahaman yang baik bagi personel yang terlibat dalam operasi reaktor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Awal Reaktor DMF

Reaktor DMF terbuat dari *stainless steel* tipe 316L, yang merupakan jenis bahan yang sangat tahan terhadap suhu dan tekanan tinggi. *Stainless steel* tipe 316L dikenal karena ketahanannya terhadap korosi dan reaksi kimia yang umumnya terjadi dalam lingkungan industri kimia. Reaktor ini dirancang untuk bekerja pada tekanan operasi maksimum sebesar 7 bar. Hal ini berarti reaktor ini mampu menanganikan tekanan internal hingga 7 bar, yang merupakan parameter penting dalam menjaga integritas struktural dan keamanan operasional reaktor. Suhu operasi yang diperbolehkan untuk reaktor ini adalah hingga 225°C. Hal ini menunjukkan bahwa reaktor dapat beroperasi pada suhu tinggi hingga batas yang telah ditentukan. Oleh karena itu, sistem pengendalian suhu dan pendingin yang efektif menjadi penting untuk menjaga kondisi operasional yang aman dan efisien. Kapasitas reaktor ini adalah sebesar 1000 liter, yang mengindikasikan volume maksimum bahan yang dapat diolah dalam satu siklus reaksi. Kapasitas ini akan mempengaruhi kecepatan reaksi dan distribusi bahan di dalam reaktor.

Beberapa potensi penyebab ledakan adalah berasal dari Residu DMF. Residu dari DMF yang berasal dari reaksi sebelumnya tidak dihilangkan dengan baik dari reaktor, kemungkinan terjadi interaksi yang tidak diinginkan dengan bahan-bahan baru yang dimasukkan dalam reaktor selanjutnya. Jika DMF mengalami dekomposisi pada suhu tinggi, hal ini dapat menyebabkan pelepasan gas-gas berbahaya yang dapat meningkatkan tekanan dan suhu di dalam reaktor. Residu DMF yang ada dalam reaktor berinteraksi dengan bahan baru yang dimasukkan dalam reaktor, hal ini bisa mengakibatkan reaksi kimia tidak terkendali. Reaksi ini berlangsung dengan cepat, dapat menghasilkan pelepasan panas dan gas yang berpotensi menyebabkan tekanan dan suhu naik secara drastis, yang pada gilirannya dapat menyebabkan ledakan.

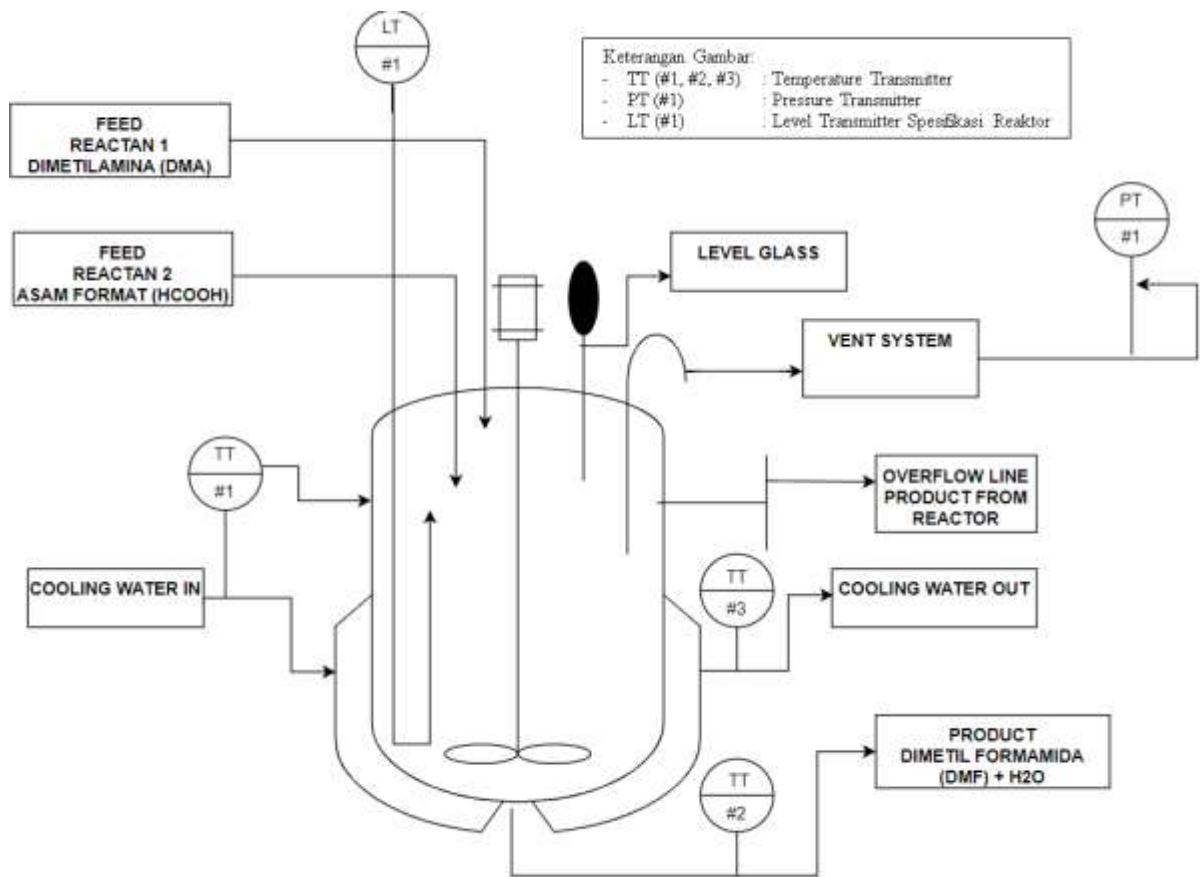
Proses perancangan tahap awal reaktor difokuskan pada sistem proteksi pada reaktor DMF yang meliputi penggunaan *temperature transmitter* (Yang et al., 2020), *pressure transmitter* (KIM et al., 2022), *level transmitter* (Chen et al., 2019), dan sistem *alarm* (T. K. Kim et al., 2019) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Sistem proteksi pada reaktor DMF sangat penting untuk menjaga keamanan proses operasional. Dengan menggunakan *temperature transmitter*, *pressure transmitter*, *level transmitter*, dan sistem alarm yang efektif, risiko kegagalan atau kecelakaan pada reaktor dapat diidentifikasi dan ditangani dengan cepat, mencegah potensi kerusakan dan bahaya yang dapat terjadi (Leveson, 2004; Rathnayaka et al., 2014). *Temperature transmitter*, *pressure transmitter*, dan *level transmitter* digunakan untuk memonitor kondisi operasional yang kritis dalam reaktor. Parameter seperti suhu, tekanan, dan level harus dijaga dalam rentang yang aman dan terkendali untuk memastikan kinerja yang optimal dan menghindari situasi berbahaya. Dengan memfokuskan pada sistem proteksi ini, penelitian dapat mengidentifikasi metode terbaik untuk memantau parameter-parameter ini secara akurat dan reliabel. Sistem alarm berperan penting dalam mendeteksi dini kegagalan atau anomali dalam kondisi operasional reaktor (I. S. Kim, 1994).

Mekanisme Kerja Pengontrolan Reaktor DMF

Proses kerja pengontrolan reaktor DMF dengan menggunakan *temperature transmitter*, *pressure transmitter*, *level transmitter*, dan sistem alarm melibatkan langkah-langkah berikut:

1. Pengumpulan Data: *Temperature transmitter*, *pressure transmitter*, dan *level transmitter* akan terus memantau kondisi suhu, tekanan, dan level bahan kimia yang ada di dalam reaktor DMF secara real-time. Sensor-sensor ini akan mengambil pembacaan dan mengirimkan data ke sistem pengontrol.
2. Analisis Data: Sistem pengontrol akan menganalisis data yang diterima dari transmitter-transmitter tersebut. Data suhu, tekanan, dan level akan dibandingkan dengan set point atau nilai referensi yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai set point pada (tekanan 7 bar, 220°C, dan level 1000 liter).
3. Perbandingan dan Perhitungan: Sistem pengontrol akan membandingkan data aktual dengan set point. Jika terdapat perbedaan signifikan antara data aktual dan set point, sistem pengontrol akan melakukan perhitungan dan menentukan tindakan yang perlu dilakukan.
4. Pengendalian Variabel: Berdasarkan hasil perhitungan, sistem pengontrol akan mengontrol variabel operasional, seperti suhu, tekanan, atau level, untuk menjaga nilai variabel tersebut sesuai dengan set point. Hal ini dapat dilakukan melalui penyesuaian parameter operasional seperti laju aliran pendingin, tekanan reaktor DMF, atau penambahan reaktan dimetilamina dan asam format.
5. Sistem Alarm: Selama proses pengontrolan, sistem alarm akan terus memantau data dari transmitter-transmitter tersebut. Jika nilai suhu, tekanan, atau level melampaui batas yang ditentukan atau terjadi kondisi bahaya lainnya, sistem alarm akan memberikan peringatan kepada operator melalui sinyal visual atau audio. Operator dapat segera mengambil tindakan yang diperlukan untuk mencegah situasi darurat atau merespons perubahan yang signifikan.
6. Pengawasan dan Pemantauan: Selama proses pengendalian, sistem pengontrol dan sistem alarm terus memantau kondisi reaktor. Operator juga dapat memantau data yang ditampilkan oleh transmitter-transmitter dan memonitor keadaan operasional reaktor DMF secara keseluruhan.



Gambar 1. Perancangan Awal Reaktor DMF

Dengan adanya temperature transmitter, pressure transmitter, level transmitter, dan sistem alarm, proses pengontrolan reaktor menjadi lebih terukur, terkontrol, dan responsif terhadap perubahan kondisi operasional. Hal ini membantu menjaga kestabilan, keselamatan, dan kinerja reaktor secara efektif.

Sistem Proteksi Reaktor DMF

Perancangan awal reaktor DMF memastikan proses produksi DMF berjalan dengan aman serta terkendali sehingga diperlukan sistem proteksi yang handal dan lengkap beserta alat dan sistem pendukung lainnya sebagai pengaman agar proses operasinya dapat terkendali serta melindungi dan mengendalikan reaktor DMF dari kondisi kegagalan baik dari kegagalan peralatan dan sistem operasi proses seperti kejadian ledakan dan kebakaran di sistem reaktor. Sistem proteksi pada reaktor DMF sebagai berikut:

1. Temperature Transmitter

Temperature transmitter merupakan bagian penting dari sistem proteksi Reaktor DMF. Temperature transmitter dalam design perancangan reaktor ini memiliki 3 temperature transmitter yang memiliki fungsi dan tujuan tersendiri dalam proteksi sistem reaktor

- Temperature Transmitter (#1), Sensor ini berperan dalam memonitor suhu reaksi (Pers (1)) reaktor DMF secara terus-menerus dan memberikan sinyal untuk *inlet* sistem air pendingin (cooling water) untuk memberikan tindakan menambah jumlah air pendingin jika suhu melampaui batas yang ditentukan kemudian sensor ini akan mengirimkan sinyal untuk mengatur aliran dari sistem air pendingin pada jaket reaktor sehingga temperature reaktor tetap

terjaga.

- Temperatur Transmitter (#2), sensor ini berperan dalam memonitor temperatur keluaran produk DMF. Sensor ini untuk mengetahui temperatur keluaran produk dalam menjaga proteksi reaktor karena produk DMF memiliki sifat reaktif dan mudah terbakar dalam temperatur tinggi (Yang et al., 2020), untuk itu diperlukan pengukuran data temperatur pada outlet produk keluaran reaktor tersebut.
- Temperatur Transmitter (#3), sensor ini berperan dalam menjaga efektifitas dari efisiensi reaktor dalam menghasilkan produk DMF, diperlukan data temperatur pada cooling water outlet dengan tujuan untuk melihat perubahan suhu (ΔT) pada cooling water inlet dan cooling water outlet, dengan tujuan selisih nilainya tidak terlalu jauh.

2. Pressure Transmitter

Pressure Transmitter merupakan sensor tekanan yang berfungsi untuk mengukur tekanan dalam reaktor DMF, dilengkapi dengan *vent system* pada reaktor sebagai proteksi pada tekanan berlebih dari hasil produk yang dihasilkan melalui reaksi kimia dalam reaktor. *Vent system* harus memenuhi standar keselamatan yang berlaku dan direncanakan dengan mempertimbangkan kemungkinan skenario kegagalan dan risiko potensial yang terkait dengan reaksi kimia yang terjadi di dalam reaktor. Fungsi- dari *vent system* pada reaktor DMF adalah sebagai berikut:

- Pengeluaran Tekanan Berlebih: *Vent system* dirancang untuk mengeluarkan tekanan berlebih yang terbentuk di dalam reaktor DMF. Jika tekanan di dalam reaktor DMF meningkat melebihi batas yang ditentukan, *vent system* akan berfungsi sebagai saluran pengeluaran untuk mengurangi tekanan tersebut dan mencegah terjadinya kegagalan struktural atau ledakan.
- Pengeluaran Gas Berbahaya: Reaktor DMF dapat menghasilkan gas berbahaya atau beracun selama proses reaksi (Fan et al., 2022), seperti jika reaksi berlangsung pada suhu yang terlalu tinggi atau jika terjadi reaksi samping yang tidak diinginkan, gas berbahaya seperti amonia (NH_3), karbon monoksida (CO), atau senyawa hidrogen sianida (HCN) dapat terbentuk (Yang et al., 2020). Oleh karena itu, pengendalian suhu, penggunaan katalis yang sesuai, dan pengawasan proses sangat penting untuk mencegah terbentuknya gas berbahaya yang tidak diinginkan (Fan et al., 2022). *Vent system* digunakan untuk mengalirkan gas-gas berbahaya tersebut ke sistem ventilasi atau alat pengolahan udara yang tepat untuk pengolahan dan penghilangan gas yang aman sebelum dilepaskan ke lingkungan.
- Pemadaman Kebakaran: *Vent system* juga dapat terhubung dengan sistem pemadam kebakaran untuk mengarahkan gas pemadam kebakaran ke dalam reaktor jika terjadi kebakaran atau kondisi berbahaya lainnya. Hal ini membantu memadamkan api atau mencegah penyebaran api secara efektif.

3. Level Transmitter

Sensor level transmitter memiliki peranan untuk mengamati tinggi permukaan fluida di dalam reaktor DMF dengan mengatur bukaan *valve* pada umpan dan produk reaktor untuk mencegah terjadinya *High level* pada reaktor DMF serta dilakukan pembandingan dengan pembacaan pada *level glass* di reaktor DMF. Reaktor DMF dilengkapi juga sistem *overflow* pada reaktor DMF yang berfungsi sebagai proteksi dalam mengatur aliran masukan dan keluaran dalam reaktor serta menjaga tingkat cairan di dalam reaktor tetap stabil. Berikut adalah beberapa fungsi utama dari sistem *overflow* pada reaktor:

- Mengatur Tingkat Ketinggian Cairan: Sistem *overflow* membantu menjaga tingkat ketinggian cairan di dalam reaktor DMF tetap konstan. Ketika aliran reaktan (dimetilamina dan asam format) ke reaktor melebihi kemampuan reaktor DMF untuk mengolahnya, sistem *overflow* akan menyalurkan kelebihan cairan keluar dari reaktor, sehingga menjaga tingkat cairan tetap

dalam kisaran yang diinginkan.

- Menghindari Kebocoran atau Kegagalan Struktural: Sistem *overflow* membantu mencegah penumpukan atau peningkatan tekanan yang berlebihan di dalam reaktor. Dengan membuang kelebihan cairan, sistem *overflow* membantu mengurangi risiko kebocoran atau kegagalan struktural yang dapat terjadi jika tekanan di dalam reaktor terlalu tinggi.
- Mengurangi Risiko Reaksi Berlebihan: Dalam beberapa reaksi kimia, reaksi berlebihan dapat terjadi jika aliran masukan atau kecepatan reaksi tidak terkendali. Sistem *overflow* dapat membantu mencegah terjadinya reaksi berlebihan dengan membuang kelebihan bahan reaktan (dimetilamina dan asam format) atau produk reaksi, sehingga menjaga reaksi tetap dalam kisaran yang diinginkan. Dalam studi kasus reaktor DMF, jika reaksi berlangsung secara tidak terkendali atau terjadi penambahan asam format yang berlebihan, dapat terjadi peningkatan suhu yang signifikan di dalam reaktor. Peningkatan suhu yang ekstrem dapat menyebabkan tekanan berlebih, bahaya ledakan, atau kerusakan pada peralatan reaktor. Selain itu, reaksi berlebihan dapat mengubah kondisi reaksi menjadi tidak ideal, yang dapat menghasilkan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan atau tidak stabil. Produk samping ini mungkin beracun, korosif, atau berbahaya bagi lingkungan atau personel yang terlibat dalam proses.
- Menjaga Kualitas Produk: Dalam reaksi kimia, kehadiran produk sampingan atau pengotor yang tidak diinginkan dapat mempengaruhi kualitas produk akhir. Sistem *overflow* membantu mengatur aliran keluaran produk dari reaktor, sehingga memastikan produk yang dihasilkan tetap berkualitas dengan meminimalkan kehadiran produk sampingan atau pengotor.
- Kontrol Laju Reaksi: Sistem *overflow* juga dapat berperan dalam mengendalikan laju reaksi dengan mengatur aliran masukan ke reaktor DMF. Pengontrolan aliran masuk bertujuan mengatur perbandingan stoikiometri antara dimetilamina dan asam format secara bertahap sehingga dapat mengendalikan laju reaksi.

4. Sistem Alarm

Ketiga sistem proteksi transmitter diatas dilengkapi dengan sistem alarm yang akan memberikan pemberitahuan di DCS jika parameter-parameter tersebut sudah melewati batas dari *set point* yang telah ditentukan dalam menjaga keamanan dalam pengoperasian reaktor tersebut. Alarm ini dapat membantu operator dan personel keamanan untuk merespons dengan cepat dan mengambil tindakan yang diperlukan. Penting untuk merancang sistem alarm yang andal dan memastikan bahwa alarm tersebut terhubung ke pusat pemantauan dan pengendalian yang tepat. Sistem alarm harus dilengkapi dengan suara yang jelas dan sinyal visual yang dapat dengan jelas memberi tahu operator dan personel keamanan tentang kondisi yang memerlukan perhatian segera. Selain itu, perlu juga dilakukan pengujian dan pemeliharaan berkala untuk memastikan bahwa sistem alarm berfungsi dengan baik dalam situasi darurat.

Prosedur Start Up Reaktor DMF

Prosedur start-up reaktor DMF dilakukan sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Prakuualifikasi (*Precheck Start up*): Sebelum memulai start-up, lakukan pemeriksaan prakuualifikasi untuk memastikan bahwa semua persyaratan operasional dan keamanan terpenuhi. Periksa peralatan, sistem pengendalian, proteksi, dan sensor untuk memastikan kesiapan mereka.
2. Persiapan Reaktor DMF: Pastikan bahwa reaktor DMF dalam kondisi yang sesuai untuk start-up. Bersihkan dan periksa bagian dalam reaktor serta sistem pendukung seperti sistem pemanas, pendingin, dan pengaduk. Persiapkan bahan kimia dan produk yang diperlukan.
3. Menjalankan sistem pendingin terlebih dahulu sebelum memulai reaktor dengan membuka valve air pendingin masuk dan keluar

4. Pemanasan Reaktor DMF: Nyalakan sistem pemanas dan biarkan reaktor mencapai suhu awal yang dibutuhkan. Ini melibatkan pengawasan dan pengaturan suhu secara bertahap untuk menghindari perubahan suhu yang terlalu cepat yang dapat merusak reaktor.
5. Pengisian Reaktan: Mulailah mengisi reaktor dengan bahan kimia reaktan yang diperlukan. Pastikan aliran masukan dan keluaran teratur dan sesuai dengan perencanaan operasional.
6. Pengaturan Laju Aliran: Secara perlahan, naikkan laju aliran masukan ke reaktor sesuai dengan parameter reaksi yang diinginkan. Pastikan laju aliran sesuai dengan persyaratan reaktor dan mengikuti prosedur keselamatan yang telah ditetapkan.
7. Pemantauan dan Pengendalian: Selama start-up, lakukan pemantauan dan pengendalian yang ketat terhadap suhu, tekanan, level, laju aliran, dan parameter operasional penting lainnya. Gunakan sistem pengendalian yang tepat untuk menjaga kestabilan proses.
8. Verifikasi dan Uji: Setelah start-up, lakukan verifikasi dan uji kinerja reaktor. Lakukan pengujian sesuai dengan rencana operasional dan pastikan bahwa reaktor beroperasi dengan baik sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan.
9. Stabilisasi dan Operasi Normal: Setelah reaktor mencapai kondisi operasional yang stabil dan memenuhi persyaratan operasional, reaktor dapat beroperasi dalam mode normal. Pastikan pemantauan dan pengendalian terus dilakukan selama operasi normal.

Setiap langkah dalam prosedur start-up reaktor harus dilakukan dengan hati-hati, mengikuti panduan yang sesuai, dan memperhatikan persyaratan keamanan yang berlaku. Penting untuk mengacu pada instruksi pabrik, pedoman operasional, dan memiliki personel yang terlatih dalam prosedur start-up reaktor.

Prosedur Shut Down Reaktor DMF

Prosedur shutdown reaktor Reaktor DMF ini diperlukan jika akan dilakukan overhaul (Turn around) dan kondisi emergency jika diperlukan pada proses shutdown ini melibatkan serangkaian langkah untuk secara aman dalam menghentikan reaksi kimia dan mematikan sistem reaktor. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses shutdown reaktor DMF:

1. Persiapan Shutdown:
 - a. Pastikan bahwa semua bahan reaktan telah selesai dimasukkan ke dalam reaktor
 - b. Pastikan evaluasi ketersediaan peralatan dan bahan yang diperlukan untuk shutdown, seperti alat pemadam kebakaran, alat pelindung diri, dan bahan penyerap.
2. Lakukan proses dalam mengurangi laju aliran
 - a. Secara bertahap, kurangi laju aliran masukan ke dalam reaktor, baik berupa bahan reaktan maupun bahan pendukung.
 - b. Pastikan aliran keluaran dari reaktor juga dikurangi secara proporsional untuk menjaga keseimbangan aliran.
3. Proses Pendinginan:
 - a. Matikan pemanas dan biarkan reaktor mendingin secara alami. Jika diperlukan, gunakan sistem pendingin untuk mempercepat pendinginan.
 - b. Pastikan suhu reaktor mencapai suhu aman sebelum melanjutkan langkah selanjutnya.
4. Proses Penghentian Pengadukan (Agitator):

Matikan pengadukan atau pengaturan kecepatan pengadukan menjadi sangat rendah. Hal ini membantu menghindari turbulensi dan perubahan kondisi reaksi selama shutdown.
5. Pembuangan Produk:

Buang produk hasil reaksi dari reaktor dengan aman. Gunakan sistem pemisahan atau pembuangan yang sesuai untuk memisahkan produk dari bahan reaktan atau produk sampingan yang tidak diinginkan.

6. Pembersihan dan Perawatan:
 - a. Lakukan pembersihan rutin pada reaktor dan peralatan pendukung. Bersihkan bagian dalam reaktor dari sisa-sisa produk dan bahan reaktan yang mungkin menumpuk.
 - b. Lakukan perawatan rutin pada peralatan seperti pengaduk, sensor, dan sistem pengendalian.
7. Pemantauan dan Verifikasi:
 - a. Pemantauan dan verifikasi penting untuk memastikan bahwa reaktor dan sistem pendukung telah benar-benar dimatikan dan dalam kondisi yang aman.
 - b. Periksa tekanan, suhu, level, dan parameter operasional lainnya untuk memastikan bahwa reaktor berada dalam keadaan mati.
8. Penutupan Reaktor (Isolasi Sistem Reaktor):

Setelah semua langkah shutdown selesai dan verifikasi dilakukan, reaktor dapat ditutup dan dibiarkan dalam keadaan siap untuk operasi berikutnya.

Dengan mempelajari penggunaan temperature transmitter, pressure transmitter, level transmitter, dan sistem alarm, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem proteksi pada reaktor. Dalam jangka panjang, hal ini dapat membantu mengurangi waktu henti, meningkatkan kualitas produksi, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya.

KESIMPULAN

Keselamatan kerja di industri kimia, terutama dalam pengoperasian reaktor, sangat penting untuk mencegah kecelakaan dan memastikan keamanan personel serta lingkungan. Studi ini menyoroti kekurangan sistem keselamatan kerja yang ada di Pabrik Kimia Polytex Chemical Industries yang mengakibatkan kecelakaan pada Reaktor 105 saat memproses dimetil formamida. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap faktor-faktor penyebab kecelakaan, kekurangan dalam sistem keselamatan kerja, serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan keselamatan kerja di masa mendatang. Langkah-langkah yang diusulkan untuk meningkatkan keselamatan kerja di reaktor DMF melibatkan perbaikan dalam perancangan reaktor dan implementasi sistem proteksi yang efektif. Penggunaan temperature transmitter, pressure transmitter, level transmitter, dan sistem alarm merupakan komponen penting dalam sistem proteksi yang dapat memantau suhu, tekanan, level, dan parameter operasional lainnya. Sistem ini membantu dalam mengendalikan variabel-variabel kritis, mendeteksi kondisi berbahaya, memberikan peringatan dini, dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk mencegah kecelakaan atau kerusakan. Dengan menerapkan langkah-langkah pengendalian, melibatkan personel yang terlatih, serta melakukan pemeliharaan dan pemantauan yang teratur, diharapkan keselamatan kerja di industri kimia dapat ditingkatkan secara signifikan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam memahami pentingnya keselamatan kerja di industri kimia dan memberikan landasan untuk perbaikan sistem keselamatan kerja di perusahaan-perusahaan sejenis.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. (2022). *Joint Committee Report*.
- Chen, Y., Xie, Y., Zhou, R., Qiu, H., & Bao, W. (2019). Construction and application of a multivariable comparison model for steam generator level transmitters. *Nuclear Engineering and Design*, 344, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2019.01.031>
- Fan, Z. G., Tian, Z. Y., Li, W., Zheng, Z. H., & Yang, J. Z. (2022). Pyrolysis study of N, N-dimethylformamide at low pressure. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105426>
- Heravi, M. M., Ghavidel, M., & Mohammadkhani, L. (2018). Beyond a solvent: Triple roles of dimethylformamide in organic chemistry. In *RSC Advances* (Vol. 8, Issue 49, pp. 27832–27862). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c8ra04985h>

- Hu, B., Geng, C., Guo, F., Liu, Y., Zong, Y. C., & Hou, X. Y. (2021). GABAA receptor agonist muscimol rescues inhibitory microcircuit defects in the olfactory bulb and improves olfactory function in APP/PS1 transgenic mice. *Neurobiology of Aging*, 108, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2021.08.003>
- Jordan, A., Hall, C. G. J., Thorp, L. R., & Sneddon, H. F. (2022). Replacement of Less-Preferred Dipolar Aprotic and Ethereal Solvents in Synthetic Organic Chemistry with More Sustainable Alternatives. In *Chemical Reviews* (Vol. 122, Issue 6, pp. 6749–6794). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00672>
- KIM, B. Y., LEE, J., CHO, Y., EOH, J., & KIM, H. (2022). Performance test and uncertainty analysis of the FBG-based pressure transmitter for liquid metal system. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(12), 4412–4421. <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.07.021>
- Kim, I. S. (1994). Computerized systems for on-line management of failures: a state-of-the-art discussion of alarm systems and diagnostic systems applied in the nuclear industry*. *Reliability Engineering & System Safety*, 44(3), 279–295.
- Kim, T. K., Park, J. K., Lee, B. H., & Seong, S. H. (2019). Deep-learning-based alarm system for accident diagnosis and reactor state classification with probability value. *Annals of Nuclear Energy*, 133, 723–731. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.07.022>
- Leveson, N. (2004). A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, 42(4), 237–270. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(03\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(03)00047-X)
- Øpstad, C. L., Melø, T. B., Sliwka, H. R., & Partali, V. (2009). Formation of DMSO and DMF radicals with minute amounts of base. *Tetrahedron*, 65(36), 7616–7619. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2009.06.109>
- Prabhune, T. (2022). *Dahej News: Six workers die in explosion at chemical factory in Dahej | Surat News - Times of India*. The Times of India. <https://timesofindia.indiatimes.com/city/surat/gujarat-six-workers-die-in-explosion-at-chemical-factory-in-dahej/articleshow/90771478.cms>
- Rathnayaka, S., Khan, F., & Amyotte, P. (2014). Risk-based process plant design considering inherent safety. *Safety Science*, 70, 438–464. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.06.004>
- Sánchez-Soto, P. J., Avilés, M. A., Del Río, J. C., Ginés, J. M., Pascual, J., & Pérez-Rodríguez, J. L. (2001). Thermal study of the effect of several solvents on polymerization of acrylonitrile and their subsequent pyrolysis. In *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. www.elsevier.com/locate/jaap
- Tian, C., Lin, F., & Doeff, M. M. (2018). Electrochemical Characteristics of Layered Transition Metal Oxide Cathode Materials for Lithium Ion Batteries: Surface, Bulk Behavior, and Thermal Properties. *Accounts of Chemical Research*, 51(1), 89–96. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.7b00520>
- Winarto, S., Denny, H. M., & Kurniawan, B. (2016). Studi Kasus Kecelakaan Kerja pada Pekerja Pengeboran Migas Seismic Survey PT. X di Papua Barat. In *Jurnal Promosi Kesehatan Indonesia* (Vol. 11, Issue 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jpki.11.1.51-65>
- Yang, Q., Sheng, M., & Huang, Y. (2020). Potential Safety Hazards Associated with Using N, N-Dimethylformamide in Chemical Reactions. In *Organic Process Research and Development* (Vol. 24, Issue 9, pp. 1586–1601). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.0c00330>