



## Integration of the Urea Fertilizer Industry Process Safety Index

Mahfud<sup>1</sup>, Chaidir Rahman<sup>2\*</sup>

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem,  
Institut Teknologi Sepuluh November

**Corresponding Author:** Chaidir Rahman [chaidirrahman73@gmail.com](mailto:chaidirrahman73@gmail.com)

---

### ARTICLE INFO

*Keywords:* IPSV, Urea, Index Value, Process Safety Assessment

*Received :* 4 November

*Revised :* 17 November

*Accepted:* 23 Desember

©2023 Mahfud, Rahman: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



### ABSTRACT

The chemical industry has different stages of the production process, depending on the materials used and the products produced. Typically, previous approaches only use one or two parameters. The focus of this study is on a safety assessment metric called the Index Process Safety Value (IPSV). The evaluation process using IPSV involves initially identifying parameters, evaluating each parameter using IPSV, and then integrating the assessments. Integration assessments can be used to ascertain the level of risk involved in the standardization process. Standardization is carried out to ensure the specific attributes of each industrial process flow. Where in this standardization there are variations in index values and levels of potential danger. This main and initial process is the core of the Urea production process stages. Of the several stages of the urea production process, the one with the highest level of danger is during the production of Urea in the synthesis process, namely in the Reactor (DC101) with an index value of 0.4, while the lowest is in the urea synthesis process, namely in the Condenser (EA101) with the average index value is 0.28. This IPSV method can be used to analyze process safety, especially for the urea synthesis unit at Factory 5 of PT Pupuk Kaltim

## Integrasi Indeks Process Safety Industri Pupuk Urea

Mahfud<sup>1</sup>, Chaidir Rahman<sup>2</sup>

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem,  
Institut Teknologi Sepuluh November

**Corresponding Author:** Chaidir Rahman [chaidirrahman73@gmail.com](mailto:chaidirrahman73@gmail.com)

---

### ARTICLE INFO

*Kata Kunci:* IPSV, Urea, Nilai Indeks, Penilaian Process Safety

*Received :* 4 November

*Revised :* 17 November

*Accepted:* 23 Desember

©2023 Mahfud, Rahman: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



### ABSTRAK

Industri kimia memiliki tahapan proses produksi yang berbeda-beda, tergantung material yang digunakan serta produk yang dihasilkan. Biasanya, pendekatan sebelumnya hanya menggunakan satu atau dua parameter. Fokus studi ini adalah pada metrik penilaian keselamatan yang disebut Index Process Safety Value (IPSV). Proses evaluasi menggunakan IPSV melibatkan identifikasi parameter pada awalnya, mengevaluasi setiap parameter menggunakan IPSV, dan kemudian mengintegrasikan penilaian. Penilaian integrasi dapat digunakan untuk memastikan tingkat risiko yang terlibat dalam proses standardisasi. Standarisasi dilakukan untuk memastikan atribut spesifik dari setiap aliran proses industri. Dimana dalam standarisasi ini terdapat variasi nilai indeks dan tingkat potensi bahaya. Proses utama dan awal ini merupakan inti dari tahapan proses produksi Urea. Dari beberapa tahapan proses pembuatan urea tersebut yang memiliki tingkat bahaya yang paling tinggi adalah saat produksi Urea di proses sintesa yakni pada alat Reaktor (DC101) dengan indeks nilai 0,4 sedangkan yang paling rendah pada proses sintesa urea yaitu pada alat Kondensor (EA101) dengan rata-rata nilai indeks pada 0,28. Metode IPSV ini dapat digunakan untuk menganalisis keselamatan proses khususnya untuk unit sintesa urea Pabrik 5 PT Pupuk Kaltim

## PENDAHULUAN

Peristiwa-peristiwa mengerikan ini menewaskan banyak orang dan menghancurkan banyak properti: kasus Flixborough pada Juni 1974; Seveso pada Juli 1976; Bhopal pada Desember 1984; Piper Alpha pada Juli 1988; dan masih banyak lagi (Didi, 2021). Menemukan bahaya proses, mengevaluasi dan mengendalikan risiko dengan cara yang sistematis adalah langkah pertama untuk membuat proses produksi menjadi aman. Keamanan proses adalah tentang menjaga material yang sedang dikerjakan tetap berada di wadah aslinya dan hanya mengeluarkannya dengan cara yang terkendali. Hal ini dapat dilakukan melalui desain, operasi, inspeksi, dan perbaikan yang baik (Rossi, 2018). Proses Safety pada suatu industri melibatkan banyak hal yang kompleks, sehingga penanganannya pun, harus secara terintegrasi/ kompleks juga. Tidak hanya pengamanan pada saat operasional normal, tapi juga harus dimulai saat pabrik di rancang, harus dipastikan telah memiliki rancangan yang aman (safe design). Juga pengamanan pada kondisi tidak normal atau Emergency (Hendra, 2022). Manajemen Keselamatan Proses dalam industri kimia dirancang untuk menghindari dan mengurangi dampak emisi bahan kimia berbahaya di dalam pabrik dan area sekitarnya. Mengembangkan program Manajemen Keselamatan Proses yang efektif sangat penting untuk memastikan perlindungan karyawan, kontraktor, dan pengunjung di fasilitas tersebut. Industri yang tercakup di dalamnya adalah petrokimia, farmasi, cat, perekat dan sealant, pengolahan makanan, industri organik dan anorganik, serta pabrik kertas (Fahrudin, 2021).

## TINJAUAN PUSTAKA

Penerapan metode seperti Dow dan Hazard and Operability Study (analisis HAZOP) adalah metodologi yang umum digunakan untuk memastikan keamanan dalam pengembangan sistem baru atau modifikasi dengan mengidentifikasi dan mengatasi bahaya atau masalah apa pun. Sistem ini berfungsi dengan mengenali dan menilai potensi bahaya dalam prosedur yang dimaksudkan, namun pendekatan ini masih mencakup temuan umum yang kurang spesifik. Oleh karena itu muncul metode baru yang lebih terperinci dalam menganalisis keamanan proses industri kimia. Teknik-teknik ini terdiri dari Prototype Inherent Safety Index (PIIS) yang dibuat oleh Edwards dan Lawrence pada tahun 1993, dan Inherent Safety Index (ISI) yang diperkenalkan oleh Heikkilä pada tahun 1999. Kedua solusi ini masih memiliki keterbatasan. Analisis akan berfokus pada aspek-aspek utama seperti bahan kimia yang digunakan, peralatan proses, dan kondisi proses. Peralatan proses yang diteliti meliputi Reaktor, Kondensor, dan Stripper. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis produksi pupuk di unit sintesis Urea Pabrik 5, khususnya berfokus pada Hazard and Operability Analysis (HAZOP) yang dilakukan oleh PT. Pupuk Kalimantan Timur.

## METODOLOGI

anyak metodologi yang telah didokumentasikan oleh para peneliti lain. Selanjutnya, penelitian akan dilakukan dengan menggunakan strategi integrasi yang diuraikan dalam penelitian ini. Penelitian ini didasarkan pada studi kasus Urea Sintesis yang dilakukan di Pabrik 5 Pupuk Kaltim, serta temuan Hazard and Operability Study (HAZOP) dari unit Urea Sintesis..

Data yang diperoleh dari tinjauan literatur selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metodologi yang digunakan oleh para peneliti sebelumnya. Penelitian ini mencakup tiga parameter utama. Tiga parameter yang tercakup dalam konteks ini adalah keamanan bahan kimia (material), peralatan yang digunakan selama proses (inventaris), dan kondisi keamanan yang dipertahankan selama proses produksi. Ketiga karakteristik utama tersebut masih dikategorikan bersama dengan berbagai parameter tambahan. Keamanan bahan kimia mencakup empat kategori utama: mudah terbakar, ledakan, toksisitas, dan reaktivitas. Keamanan proses produksi dikategorikan ke dalam tiga aspek: suhu, tekanan, dan produk sampingan. Kedua karakteristik tersebut dievaluasi berdasarkan peringkat keamanan peralatan seperti reaktor, kondensor, dan penukar panas. Selanjutnya, menggunakan data yang diperoleh dari hasil HAZOP nyata di unit sintesis urea PT Pupuk Kaltim untuk tujuan validasi.

Kriteria utama yang digunakan untuk evaluasi ini mencakup kondisi keselamatan selama prosedur berlangsung dan keselamatan yang berkaitan dengan bahan kimia. Parameter ditentukan dengan menganalisis setiap perangkat yang digunakan dalam proses Sintesis Urea, dengan menggunakan P&ID (Diagram Proses dan Instrumentasi) dari unit Urea di Pabrik-5 PT Pupuk Kalimantan Timur. Parameter reaktor, kondensor, dan peralatan stripping memiliki kontribusi terhadap terjadinya kondisi berbahaya. Persamaan (1) digunakan untuk menghitung Index Process Safety Value (IPSV).

$$IPSV = IPSVC + IPSVP \dots\dots\dots(1)$$

Index Process Safety Value (IPSV) adalah jumlah kumulatif dari semua nilai berbahaya, sedangkan Inherent Process Safety Value Chemical (IPSVC) adalah metrik keamanan yang ditentukan oleh bahan kimia tertentu yang digunakan. Inherent Process Safety Value Process (IPSVP) mengacu pada tingkat keamanan yang dipertimbangkan berdasarkan kondisi operasional yang berlaku.

Parameter ini dikategorikan menjadi dua parameter utama, yaitu IPSVC dan IPSVP. Setiap parameter memiliki sub-parameter yang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut :

Index Process Safety Value (IPSV) adalah jumlah kumulatif dari semua nilai berbahaya, sedangkan Inherent Process Safety Value Chemical (IPSVC) adalah metrik keamanan yang ditentukan oleh bahan kimia tertentu yang digunakan. Inherent Process Safety Value Process (IPSVP) mengacu pada tingkat keamanan yang dipertimbangkan berdasarkan kondisi operasional yang berlaku.

Parameter ini dikategorikan menjadi dua parameter utama, yaitu IPSVC dan IPSVP. Setiap parameter memiliki sub-parameter yang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut : $IPSVC= PSVFL+PSVEXP + PSVTOX \dots(2)$   
 $IPSVC= PSVFL+PSVEXP + PSVTOX \dots(2)$   
 $IPSVP= PSVT+PSVP+PSVHR+PSVI\dots\dots(3)$

- Dimana,
- Flammability : PSVFL
  - Temperatur : PSVT
  - Explosiveness : PSVEXP
  - Tekanan : PSVP
  - Toxicity : PSVTOX
  - Heat Reaction : PSVHR
  - Inventori : PSVI
  - Reactivity : PSVREAC

Setiap tahap disertai dengan standarisasi Melakukan studi tingkat keselamatan untuk mengidentifikasi potensi risiko yang terkait dengan proses produksi yang diusulkan seperti yang diuraikan dalam Tabel 1. Tabel ini dirancang untuk mengevaluasi tingkat risiko yang terkait dengan kondisi operasional pabrik selama proses produksi. Proses produksi pabrik terdiri dari beberapa proses produksi yang berurutan. Proses produksi terdiri dari empat langkah utama: persiapan, reaksi, pemisahan, dan pemurnian. Tabel 1 memfasilitasi penilaian tingkat keparahan kegagalan potensial.

Tabel 1. Karakteristik Penilaian Tingkat Bahaya

<b>Tingkat Bahaya</b>	<b>Indeks</b>	<b>Keterangan</b>
Severe	0,751 - 1	High
Heavy	0,501 - 0,75	Medium High
Moderate	0,251 - 0,50	Medium
Light	0 - 0,25	Low

Jika nilai tabel mendekati satu (x mendekati 1), maka parameter tersebut berkorelasi tinggi, yang mengarah pada terjadinya insiden. Jika nilai korelasi mendekati nol (x mendekati 0), maka parameter tersebut menunjukkan hubungan yang lemah. Oleh karena itu, dapat dilakukan estimasi terhadap daerah atau aktivitas yang akan diprioritaskan untuk memitigasi ketidakamanan. Setiap proses produksi di sebuah pabrik dapat dicirikan oleh serangkaian indeks.



pemurnian. Dalam proses ini, oksigen yang ada dalam gas overhead digunakan sebagai udara pasif untuk DA201. Larutan karbamat, yang telah digunakan untuk adsorpsi amonia dan CO<sub>2</sub> yang tidak terkondensasi dalam Packed Bed, diarahkan ke bagian bawah dari bagian reaksi kondensasi melalui saluran aliran bawah internal, yang difasilitasi oleh gravitasi.

*Perhitungan Penentuan Parameter*

Variabel utama yang digunakan dalam investigasi ini adalah kondisi yang berkaitan dengan Keamanan Proses dan keamanan yang melekat pada bahan kimia. Reaktor, kondensor, dan stripper adalah faktor peralatan yang berkontribusi terhadap terjadinya ketidakamanan. Dalam studi kasus penelitian ini peneliti memfokuskan pada unit proses sintesa urea sebagai unit utama proses pembuatan urea granul Pabrik 5 dan juga berdasarkan hasil aktual HAZOP, dan metode lama pada unit tersebut sebagai perbandingan pengaruh metode baru dan metode sebelumnya yang sudah digunakan pada saat ini.

Tabel 2. Penentuan Parameter Safety Chemical Proses Sintesa Urea Pabrik 5 PT Pupuk Kaltim

Peralatan Proses	Material	Chemical			
		Flammabilit y	Explosivenes s	Toxicit y	Reactivit y
Reaktor	NH <sub>3</sub>	0	18	8000	3
Kondensor	NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub>	0	9	8471	3
Stripper	CO <sub>2</sub>	0	0	5000	3

Sumber daya utama Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan amonia (NH<sub>3</sub>) dimasukkan ke dalam reaktor untuk menjalani sintesis dan menjadi urea. Campuran sintesis diarahkan ke Decomposer, biasanya kolom distilasi atau Stripper, untuk memecah sisa amonium karbamat dan amonium karbonat yang belum dikonversi menjadi urea. Gas yang dihasilkan kemudian dikondensasi dalam Kondensor dan menjalani proses daur ulang, di mana gas-gas tersebut dimasukkan kembali ke dalam saluran masuk Reaktor untuk reaksi lebih lanjut. Proses unit sintesa urea ini merupakan langkah awal yang sangat penting didalam proses pembuatan urea dalam bentuk granul dan prill di Pabrik 5 PT Pupuk Kaltim.

Tabel 3. Perhitungan dengan Metode IPSV

Peralatan Proses	Inherent Value Chemical				Inherent Value Process			
	PSVL	PSVEXP	PSVTOX	PSVREAC	PSVT	PSVP	PSVHR	PSVI
Reaktor	0	27	21471	3	182	195,6	157500	3
Kondensor	0	27	21471	2	188	192,5	116000	2
Stripper	0	27	21471,11	3	171	192,5	-157500	2

Selain itu, integrasi dilakukan dengan memanfaatkan data statistik yang saling berhubungan, mengevaluasinya berdasarkan peringkat yang

diasumsikan dari setiap parameter. Peringkat diberikan berdasarkan nilai terendah diberi peringkat 1 dan nilai selanjutnya diberi peringkat yang sesuai (Howell, 1992). Temuan indeks nilai disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Integrasi dengan *Tied* Data Statistik

Peralatan Proses	Inherent Value Chemical				Inherent Value Process			
	PSV L	PSVEX P	PSVTO X	PSVRE AC	PSV T	PSV P	PSVH R	PSV I
Reaktor	1	1	3	3	2	2	3	3
Kondens or Stripper	1	1	3	3	3	1	2	2
Stripper	1	1	3	3	1	1	1	2

Tabel 5 menyajikan nilai IPSV yang diperoleh dari setiap tahap proses produksi sintesis urea, sebagaimana ditentukan oleh persamaan 1. Teknik IPSV akan ditentukan melalui integrasi, seperti yang diuraikan dalam Tabel 4.

Tabel 5. Perhitungan Total Metode IPSV

Peralatan Proses	IPSVC	IPSVP	IPSV
Reaktor	5	9	14
Kondensor	4	7	11
Stripper	6	4	10

Berdasarkan penilaian keselamatan yang disajikan pada Tabel 4.3, tingkat risiko tertinggi terdapat pada tahap awal alat Reaktor, yaitu pada produksi Amonium Karbamat dengan menggunakan NH<sub>3</sub> + CO<sub>2</sub>. Mempertimbangkan atribut penilaian tingkat bahaya Sedang.

Tabel 6. Hasil Karakteristik Penilaian Tingkat Bahaya

Peralatan Proses	Indeks	Karakteristik
Reaktor	0,4000	Moderate
Kondensor	0,3143	Moderate
Stripper	0,2857	Moderate

Peneliti menganalisis data karakteristik IPSV dan membandingkannya dengan metode penilaian tingkat bahaya sebelumnya, seperti yang ditunjukkan pada tabel 7

Tabel 7. Perbandingan Hasil Penilaian dengan Metode Terdahulu Berdasarkan Karakteristik Penilaian Tingkat Bahaya

Peralatan Proses	Metode			
	PIIS	ISI	HAZOP	IPSV (Usulan)
Reaktor	0,3140	0,3361	0,3913	0,4000
Kondensor	0,3256	0,3276	0,3478	0,3143
Stripper	0,3605	0,3362	0,2069	0,2857

Tahap awal dalam Reaktor adalah ketika evaluasi tingkat bahaya mengidentifikasi fitur-fitur yang paling mungkin menyebabkan kemungkinan kegagalan atau bahaya. Tahap yang paling tidak berbahaya dalam Stripper adalah langkah ketiga.

Perbandingan hasil dari nilai indeks metode IPSV metode HAZOP terhadap penilaian risiko terkait probabilitas dan dampaknya di unit sintesa urea.

Dari nilai indeks pada table 6 proses sintesa urea dari metode IPSV diinterpretasikan sebagai tingkat dampak. Jika peneliti asumsikan bahwa nilai 0,4 ini mencerminkan tingkat dampak suatu risiko, kita dapat menggunakan matriks 5x5 sesuai dengan Standar AZ/NZS 4360:2004 tercantum tabel berikut:

Tabel 7. Tingkat Dampak dan Probabilitas Integrasi Nilai Indeks dengan Risk Matriks 5x5 Standar Az/Nzs 4360:2004

Level risiko	Dampak				
	Sangat Rendah (1)	Rendah (2)	Sedang (3)	Tinggi (4)	Sangat Tinggi (5)
Hampir Pasti Terjadi (5)	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
Sering Terjadi (4)	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40
Mungkin Terjadi (3)	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60
Jarang Terjadi (2)	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80
Sangat Jarang Terjadi (1)	0.20	0.40	0.60	0.80	1

Kemudian di simpulkan perbandingan hasil dari nilai indeks metode IPSV dan metode HAZOP yang eksisting digunakan pada saat ini dengan case yang ada pada proses sintesa urea dan skoring risk asesment dari risk matriks diatas yaitu :

Tabel 8. Hasil Perbandingan Probabilitas dan Dampak Metode IPSV dan Metode HAZOP dari Matriks 5x5 Standar Az/Nzs 4360:2004

Hasil Skoring HAZOP		Hasil Skoring IPSV	
Case 1	20E	Case 1	20E
Case 2	16H	Case 2	16H
Case 3	12H	Case 3	16H

Dari perbandingan antara metode yang paling populer digunakan saat ini yaitu metode HAZOP dengan metode usulan IPSV hasilnya dengan perbedaan yang tidak signifikan yaitu ada perbedaan skor lebih rendah metode HAZOP pada case 3 yaitu alat proses stripper namun tetap dengan karakteristik dampak yang sama yakni pada kategori High.

### KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Metode IPSV dapat digunakan untuk menilai suatu proses pembuatan Urea yang berbahan baku Ammonia (NH<sub>3</sub>). Hasil perhitungan keamanan tingkat bahaya yang paling besar untuk studi kasus pembuatan Urea pada unit sintesa urea adalah saat produksi Ammonium Carbamate di Reaktor DC 101. Berdasarkan karakteristik penilaian tingkat bahayanya dengan nilai karakteristik 'Extreme' dan memiliki indeks nilai 0,4. Untuk nilai indeks yang paling rendah dengan tingkat bahaya dengan range yang masih tetap sama yaitu pada saat proses di Stripper DA101 dengan karakteristiknya yang juga 'High' dengan nilai indeks 0,285.

Hasil dari evaluasi IPSV selaras dengan hasil evaluasi ISI, serta teknik kontemporer yang banyak digunakan yang dikenal sebagai HAZOP, yang menunjukkan pola yang sama. Namun demikian, pendekatan IPSV terbatas pada satu proses produksi. Ketidadaan ketepatan dalam mengevaluasi atribut-atributnya disebabkan oleh cara validasinya. Untuk memvalidasi pendekatan IPSV, perlu untuk membandingkan hasil yang diperoleh dengan metode sebelumnya seperti PIIS, ISI, dan HAZOP. Selain itu, rekomendasi harus dibuat sesuai dengan prosedur keselamatan prosedur operasional.

Namun metode ini direkomendasikan untuk digunakan sebagai bentuk penilaian dengan mengintegrasikan kedua parameter utama dari metode yang sudah ada maupun metode terdahulu sehingga metode IPSV ini mencakup secara keseluruhan parameter yang dapat diukur dan dapat meningkatkan keakuratan dalam menganalisa data yang nantinya berdampak pada keselamatan ataupun berhasilnya program Process Safety Management. Metode ini juga mudah untuk diterapkan dan dicontoh sehingga dapat diaplikasikan oleh Engineer Process Safety khususnya pada Industri Pupuk Urea dan umumnya pada Industri Chemical lainnya.

## **PENELITIAN LANJUTAN**

Penelitian ini masih memiliki ketebatasan sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait topik Integration of the Urea Fertilizer Industry Process Safety Index demi menyempurnakan penelitian ini dan menambah wawasan bagi pembaca.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Cave, S.R. and Edward, D.W. (1997), "Chemical Process Route Selection Based On Assessment of Inherent Environmental Hazard", *Computers Chemical Engineering*, Vol.21, S965-S970.
- Chauvel, A., Lefebvre, G. (1998), *Petrochemical Processes: Technical and Economic Characteristics Second Edition*, Gulf Publishing Company, Paris. Dow Chemical Company, (1987).
- Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, sixth ed. American Institute of Chemical Engineers, New York.
- Edwards, D.W., Lawrence, D., (1993). Assessing the inherent safety of chemical process routes: is there a relation between plant costs and inherent safety? *Trans. IChemE* 71 (B), 252-258
- Gupta, J.P., Edwards, D.W. (2003), "A Simple Graphical Method for Measuring Inherent Safety", *J. Hazard. Material* 104, 15-30.
- Heikkila, A.M. (1999), *Inherent Safety Process Plant Design - an Index Based Approach*, Helsinki University of Technology
- Khan, Faisal I., Amyotte, Paul R. (2005), "I2SI: A Comprehensive Quantitative Tool for Inherent Safety and Cost Evaluation", *J. Loss Prevention in the Process Industrial* 18, 310-326.
- Kletz, T. (2009), *Inherently Safer Chemical Processes*, second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Pupuk Kalimantan Timur, PT. (2013), *Piping & Instrument Flow Diagram Synthesis Section (No. DWG K5-02-E1-PD-5A-T)*. Toyo Engineering Corporation

*Mahfud, Rahman*

Pupuk Kalimantan Timur, PT. (2022), Material Safety Data Sheet Urea & Ammonia. Bontang Kalimantan Timur.

Sukardi, Rikho Dhyatmiko., Sri Hartono, Nurmuafix, Dkk. (2014), "Panduan Pengoperasian Pabrik Urea Kaltim 5", PT Pupuk Kalimantan Timur, Bontang.