

**PENGARUH TOLUENA DIISOSIANAT DALAM PEMBUATAN
BUSA POLIURETAN CV. GESALUNDA FOAM
SIDOARJO - JAWA TIMUR**

Laporan Studi Ekskursi



Disusun oleh :

Kelompok Kimia / XI MIPA 6

**Program Studi Ekskursi Kelas XI
SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya
Tahun Pelajaran 2021/2022**

**PENGARUH TOLUENA DIISOSIANAT DALAM PEMBUATAN
BUSA POLIURETAN CV. GESALUNDA FOAM
SIDOARJO - JAWA TIMUR**

Laporan Studi Ekskursi sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Nilai Kognitif dan Psikomotor
Mata Pelajaran Kimia dan Bahasa Indonesia Kelas XI
SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya



Disusun oleh :

Kelompok Kimia / XI MIPA 6

Program Ekskursi Kelas XI


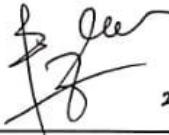

SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya

Tahun Pelajaran 2021/2022

Laporan Studi Ekskursi Bidang Studi Kimia berjudul "Pengaruh Toluena Diisosiyanat dalam Pembuatan Busa Poliuretan CV. Gesalunda Foam Sidoarjo - Jawa timur" yang disusun oleh:

1. Calista Gabrielle / 28901 / 03
2. Debby Deriena / 28958 / 05
3. Hans Christian Cakrawangsa / 29035 / 10
4. Ie Keith Ferdinand Ijaya / 29044 / 11
5. Janice Audrey Leang / 29054 / 12
6. Laurensia Jovanie Irmawan / 29132 / 18
7. Nicholas Santoso / 29218 / 26
8. Timothy Vincent Lee / 29276 / 34
9. Valentino Febrian Kencono / 29281 / 35

telah disetujui dan disahkan pada tanggal ...

| Guru Pembimbing | Tanda Tangan |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F. X. Novan Ali, ST |  21/3/22 |
| MG. Ika Yuliasuti, S. Pd. |  21/3/22 |
| Benedicta Vredeswinda Putri K.W., S.Pd. |  21/3/22 |

Mengetahui,

Kepala SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya



Wahjoeni Hadi, S.

Kata Pengantar

Puji dan syukur dihaturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan penelitian yang berjudul “Pengaruh Toluena Diisosiyanat dalam Pembuatan Busa Poliuretan CV. Gesalunda Foam Sidoarjo - Jawa Timur” dapat terselesaikan. Laporan ini disusun guna menemukan cara mengatasi masalah lingkungan yang disebabkan penggunaan bahan aditif TDI dalam pembuatan busa poliuretan di CV. Gesalunda Foam.

Halangan dan hambatan tentu terjadi dalam proses penelitian dan penulisan proposal ini. Dalam kesempatan ini, ucapan rasa terima kasih diberikan kepada bantuan segala pihak dalam pembuatan proposal, khususnya kepada:

1. Dra. Sri Wahjoeni Hadi S. selaku kepala SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya.
2. F. Asisi Subono, S.Si., M.Kes., selaku Wakil Kepala Sekolah bidang Kurikulum.
3. Maria Anita Kurniyasih, S.Si. selaku Ketua Pelaksana Studi Ekskursi.
4. MG. Ika Yuliasuti, S. Pd. selaku guru pembimbing bidang Bahasa Indonesia.
5. F. X. Novan Ali, ST selaku guru pembimbing bidang Kimia.
6. Benedicta Vredeswinda Putri K.W., S.Pd. selaku guru pembimbing bidang Bahasa Inggris
7. Elisabeth Grani Larasati, S.Pd. selaku guru kelas XI MIPA 6, dan guru pendamping studi ekskursi.
8. Anindito Marcellus G. Osok, S.Pd. selaku guru pendamping studi ekskursi.
9. Bapak Sugiarto Sutanto sebagai pimpinan CV. GESALUNDA FOAM yang telah memberi kesempatan dan izin kunjungan dalam kegiatan Studi Ekskursi.
10. Bapak/Ibu Orang Tua peserta didik kelas XI MIPA 6 yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama studi ekskursi.
11. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung terselenggaranya kegiatan ini.

Laporan ini disusun sebagai karya terbaik yang telah dipersembahkan. Namun, laporan ini jauh dari sempurna dan rawan akan kesalahan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diperlukan dari berbagai pihak yang dapat membantu kesempurnaan laporan ini. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang terkait serta pembaca pada umumnya.

Surabaya, 14 Februari 2022

Kelompok Kimia XI MIPA 6

THE IMPACT OF TOLUENE DIISOCYANATE TO THE PRODUCTION OF CV. GESALUNDA FOAM'S POLYURETHANE FOAM

(Gabrielle, C., Deriena, D., Santoso, N., et al)

ABSTRACT

To make foams, it is necessary to have polyurethane as the main ingredient. However, polyurethane also requires other materials that can be harmful to the environment. Thus, a study was conducted to analyze the materials that are included in the production of foams. There are a few approaches that are used in this study. Scientific journals, reports, encyclopedias, and other types of scientific texts are used in order to get information regarding the chemical components. For further factual information, an excursion was done at CV. Gesalunda Foam. The trip was in the form of passive participant observation. Questions were asked in a semi-structured interview. Once the data are ready, data reductions, display, and verification are done. The first step of making foams is mixing these 5 ingredients: polyurethane, toluene diisocyanate, calcium carbonate, plastic dye, a mixture of silicon with amine catalyst, and methyl chloride. Once the foams are ready, they are put in a machine to be cut. If the results are undesirable, they can either be recycled or burned. If they are not able to be used again, the producer will burn the foams, leaving no waste behind. The chemical component TDI can be very dangerous because it creates carbon monoxide that could potentially cause cancer or bronchitis after a chemical reaction with air. In conclusion, the production of foams can be dangerous when the waste is burnt, releasing dangerous gas into the air. It is better for foam manufacturers to dispose of their chemical waste with a safer method.

Keywords: polyurethane (PU), toluene diisocyanate (TDI), foam

Daftar Isi

| | |
|--------------------------------------|-----|
| Halaman Judul | i |
| Halaman Pengesahan | ii |
| Kata Pengantar..... | iii |
| Abstract..... | v |
| Daftar Isi..... | vi |
| Daftar Gambar... .. | vii |
| I. Pendahuluan... .. | 1 |
| A. Latar belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 2 |
| C. Tujuan..... | 3 |
| D. Manfaat..... | 3 |
| II. Kajian Pustaka | 4 |
| A. Polimer | 4 |
| B. Poliuretan..... | 4 |
| C. Kimia Poliuretan (PU)..... | 10 |
| D. Pembentukan Busa Poliuretan | 14 |
| E. Pembentukan Poliuretan Foam..... | 14 |
| III. Metode Penelitian | 17 |
| A. Waktu Penelitian | 17 |
| B. Metode Pengambilan Data..... | 17 |
| C. Teknik Analisis Data | 18 |
| D. Langkah-Langkah Observasi..... | 19 |
| IV. Hasil Pengamatan | 20 |
| A. Hasil Penelitian..... | 20 |
| B. Pembahasan Penelitian | 22 |
| V. Penutup..... | 26 |
| A. Kesimpulan..... | 26 |
| B. Saran | 26 |
| References | 28 |

Daftar Gambar

| Nomor Gambar | Judul Gambar | Halaman |
|--------------|---------------------------------------------------------|---------|
| Gambar 1 | Isosianat umum | 6 |
| Gambar 2 | Resonansi dalam isosianat | 6 |
| Gambar 3 | Resonansi dalam isosianat aromatik | 7 |
| Gambar 4 | Isosianat lainnya | 7 |
| Gambar 5 | Reaksi biskloroformat dengan diamina | 11 |
| Gambar 6 | Reaksi diisosianat dengan senyawa di atau poli hidroksi | 11 |
| Gambar 7 | Reaksi adisi primer isosianat | 11 |
| Gambar 8 | Reaksi adisi sekunder isosianat | 12 |
| Gambar 9 | Reaksi adisi diri dari isosianat | 13 |
| Gambar 10 | Reaksi isosianat dengan senyawa hidrogen | 13 |
| Gambar 11 | Kalsium karbonat | 20 |
| Gambar 12 | Toluena diisosianat | 20 |
| Gambar 13 | Metil klorida | 21 |
| Gambar 14 | Pewarna plastik | 21 |
| Gambar 15 | Campuran silikon dengan katalis amina | 21 |
| Gambar 16 | <i>Stannous Octoate.</i> | 21 |

BAB I

Pendahuluan

A. Latar belakang

Poliuretan pertama kali ditemukan oleh Otto Bayer dan asistennya di laboratorium I.G. Farben di kota Leverkusen, Jerman pada tahun 1937. Pada awalnya, penelitian ini difokuskan pada produk poliuretan yang diperoleh dari diisosianat alifatik dan poliurea pembentuk diamin hingga ditemukannya sifat menarik poliuretan yang diperoleh dari pencampuran diisosianat alifatik dan glikol. Secara umum, poliuretan (PU) adalah polimer yang terdiri atas sebuah rantai unit organik yang dihubungkan oleh tautan uretana (karbamat). Polimer poliuretan dibentuk oleh reaksi sebuah monomer yang mengandung setidaknya dua gugus alkohol yang didorong dengan katalis. Perumusan poliuretan meliputi kekakuan, kekerasan, serta kepadatan yang amat beragam. Poliuretan memiliki dua komponen penting, komponen penting pertama adalah isosianat. Molekul yang mengandung dua gugus isosianat disebut diisosianat. Molekul diisosianat juga dikaitkan dengan monomer, karena molekul tersebut digunakan untuk menghasilkan isosianat polimerik yang mengandung tiga atau lebih gugus fungsional isosianat. Komponen penting kedua adalah poliol, molekul yang mengandung dua gugus hidroksil disebut diol, molekul dengan tiga gugus hidroksil disebut triol. Dalam praktik, poliol dibedakan dari rantai pendek atau pemuai rantai glikol dengan berat molekul yang rendah dan pertautan silang.

Salah satu sifat poliuretan yang disukai adalah kemampuannya diubah menjadi busa. Busa poliuretan merupakan polikondensasi dari senyawa poli-hidroksi (poliol) dengan isosianat. Fenomena busa terjadi ketika sejumlah kecil bahan peniup (blowing agent) dan air ditambahkan selama proses polimerisasi. Air bereaksi dengan kelompok isosianat memberikan asam karbamat yang secara spontan menyebabkan hilangnya CO₂,

sehingga menghasilkan gelembung busa. Busa merupakan salah satu produk komersial yang paling penting dari poliuretan. Busa poliuretan diklasifikasikan sebagai busa fleksibel, semi-kaku atau kaku tergantung pada sifat mekanik dan kerapatannya. Busa poliuretan adalah bahan penyerap yang sangat baik karena luas permukaannya yang tinggi, mudah diperoleh dan murah biaya. Selain itu, busa poliuretan juga stabil dalam larutan asam dan basa serta tidak mengalami perubahan struktur ketika dipanaskan sampai temperatur 180°C.

Namun seiring perkembangan teknologi pada bidang kimia, pembuatan busa poliuretan memerlukan bahan aditif sebagai penunjang produksi terutama untuk mengontrol reaksi, memodifikasi kondisi reaksi, dan juga untuk menyelesaikan atau memodifikasi produk akhir. Salah satu contoh bahan aditif yang digunakan adalah toluena diisosianat (TDI). TDI tidak boleh ditambahkan pada saat awal pembuatan busa poliuretan karena akan bereaksi dengan air membentuk amina dan CO₂. Karena TDI tidak larut dalam air, TDI dapat terbawa oleh CO₂ dan terhirup ke dalam saluran pernapasan manusia sehingga menyebabkan bronkitis dan kanker serta bisa menyebabkan polusi udara bagi lingkungan sekitar.

Oleh karena itu, penelitian yang akan dilakukan di CV. Gesalunda Foam akan berfokus pada cara CV. Gesalunda Foam mengatasi masalah lingkungan yang disebabkan penggunaan bahan aditif TDI dalam pembuatan busa poliuretan.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penggunaan bahan kimia dalam pembuatan busa di CV. Gesalunda Foam?
2. Bagaimana dampak buruk asap pembakaran busa bagi kesehatan?
3. Apakah proses pengolahan busa di CV. Gesalunda Foam sudah ramah lingkungan?

C. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan penggunaan bahan kimia dalam proses pembuatan busa di CV. Gesalunda Foam.
2. Mendeskripsikan dampak buruk asap pembakaran busa bagi kesehatan.
3. Mengidentifikasi proses pengolahan busa di CV. Gesalunda Foam sudah ramah lingkungan atau belum.

D. Manfaat

Adapun manfaat yang diberikan sebagai berikut.

1. Masyarakat dapat mengetahui bahan aditif yang digunakan dalam pembuatan busa.
2. Masyarakat dapat mengenal CV. Gesalunda Foam dan proses pembuatan busa di tempat tersebut.
3. Masyarakat dapat mengetahui dampak dari pembuatan foam bagi lingkungan sekitar.
4. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai sumber penelitian kimia lainnya.

Bab II

Kajian Pustaka

A. Polimer

Kata polimer berasal dari kata Yunani klasik *poli* yang berarti "banyak" dan *meros* yang berarti "bagian". Secara sederhana, polimer adalah molekul rantai panjang yang terdiri dari sejumlah besar unit berulang dengan struktur identik. Polimer dapat diklasifikasikan berdasarkan kinetika polimerisasinya. Menurut skema klasifikasi ini, polimerisasi *step-growth* didefinisikan sebagai polimerisasi yang melibatkan reaksi acak antara dua molekul yang dapat berupa kombinasi monomer, oligomer, atau molekul rantai lebih panjang. Polimer dengan berat molekul tinggi hanya terbentuk di dekat akhir polimerisasi ketika sebagian besar monomer telah habis. Dalam polimerisasi *chain-growth*, satu-satunya reaksi perpanjangan rantai adalah pengikatan monomer ke rantai "aktif". Ujung aktif dapat berupa radikal bebas atau situs ionik (yaitu, anion atau kation). Berbeda dengan polimerisasi *step-growth*, polimer dengan berat molekul yang tinggi terbentuk pada tahap awal polimerisasi pertumbuhan rantai.

Polimer *step-growth* yang paling penting dalam hal ukuran pasar komersial adalah poliamida atau nilon alifatik (misalnya, nilon-6, nilon-6,6, dan nilon-6,10) dan poliester (misalnya, poli(etilena tereftalat)). Polimer *step-growth* khusus atau yang digunakan dalam bidang teknik meliputi polikarbonat (misalnya, Lexan), poliamida aromatik (misalnya, Nomex dan Kevlar), polimida (misalnya, Kapton), polisulfon (misalnya, Udel), poliuretan, dan poli(2,6dimetil-1,4-fenilen oksida) (PPO)

B. Poliuretan

Poliuretan (PU) dibentuk oleh reaksi kimia antara diisocianat atau poliisocianat dan diol atau polioliol, membentuk gugus uretana berulang, umumnya dengan adanya pemanjangan rantai, katalis, dan/atau aditif lainnya. Ester, eter, urea dan cincin aromatik

seringkali juga hadir bersama dengan hubungan uretana di tulang punggung PU.

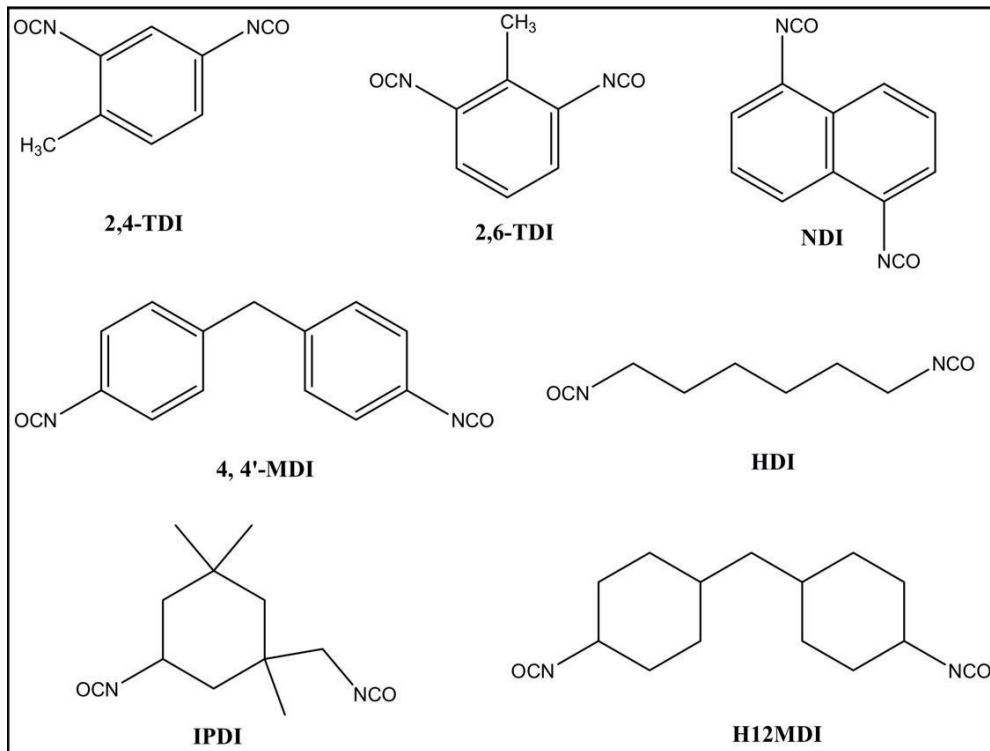
1. Isosianat

Isosianat adalah komponen penting yang diperlukan untuk sintesis PU. Isosianat yang dimaksud adalah isosianat di/polifungsional yang mengandung dua atau lebih dari dua gugus $-NCO$ per molekul. Isosianat ini dapat bersifat alifatik, sikloalifatik, polisiklik atau aromatik seperti TDI, MDI, *xylene diisocyanate* (XDI), *meta-tetramethylxylylene diisocyanate* (TMXDI), *xylene diisocyanate* terhidrogenasi (HXDI), naftalena 1,5-diisosianat (NDI), *pphenylene diisocyanate* (PPDI), *3,3'-dimethyldiphenyl-4, 4'-diisocyanate* (DDDI), *1,6 hexamethylene diisocyanate* (HDI), *2,2,4-trimethylhexamethylene diisocyanate* (TMDI), *isophorone diisocyanate* (IPDI), *4,4'-dicyclohexylmethane diisocyanate* (H_{12} MDI), *norbornane diisocyanate* (NDI), *4,4'-dibenzyl diisocyanate* (DBDI). **Gambar 1** menunjukkan contoh beberapa isosianat umum.

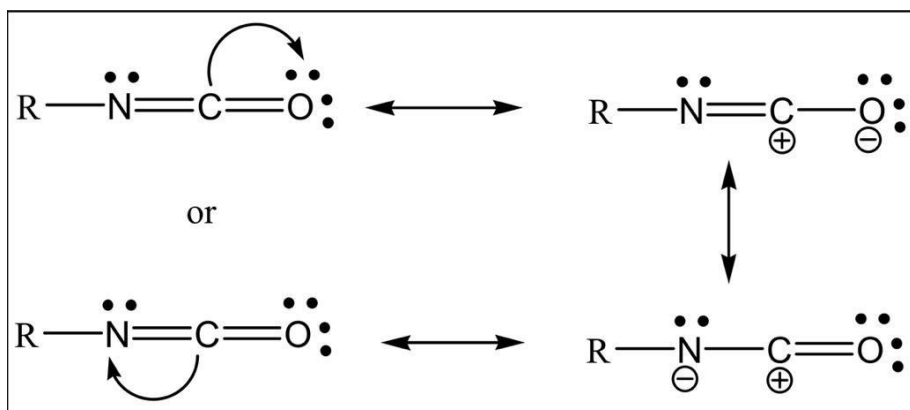
Gugus isosianat memiliki rangkaian ikatan rangkap terakumulasi sebagai $R-N=C=O$. Reaktivitas isosianat tersebut diatur oleh sifat positif atom karbon (**Gambar 2**), yang rentan terhadap serangan nukleofil, serta oksigen dan nitrogen oleh elektrofil.

Jika R adalah gugus aromatik, muatan negatif terdelokalisasi menjadi R (**Gambar 3**). Dengan demikian, isosianat aromatik lebih reaktif daripada isosianat alifatik atau sikloalifatik. Dalam kasus isosianat aromatik, sifat substituen juga menentukan reaktivitas, yaitu substituen penarik elektron pada posisi orto atau para meningkatkan reaktivitas, sedangkan substituen penyumbang elektron menurunkan reaktivitas gugus isosianat. Dalam diisosianat, kehadiran elektron yang menarik isosianat kedua meningkatkan reaktivitas isosianat pertama. Diisosianat aromatik tersubstitusi para lebih reaktif daripada analog ortonya, terutama dikaitkan dengan

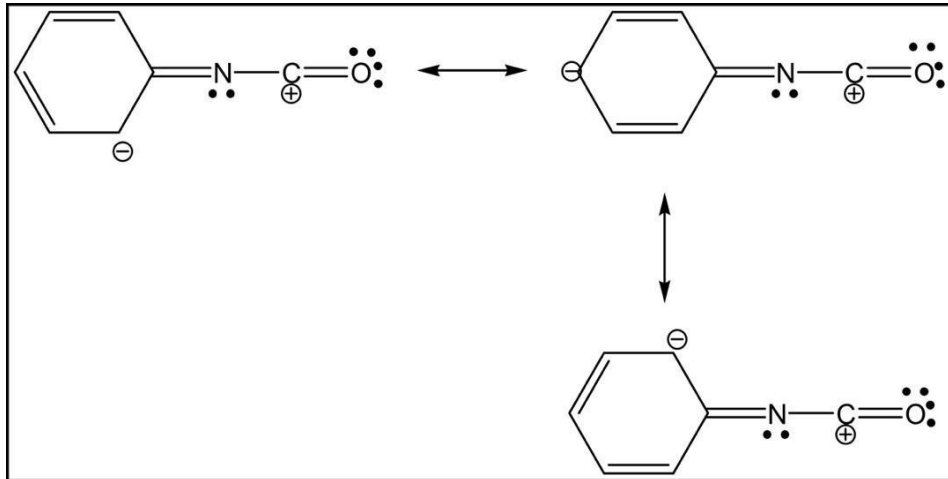
hambatan sterik yang diberikan oleh fungsi –NCO kedua. Reaktivitas gugus dua-NCO dalam isosianat juga berbeda satu sama lain, tergantung pada posisi gugus –NCO. Sebagai contoh, gugus dua-NCO di IPDI berbeda dalam reaktivitasnya karena perbedaan titik lokasi gugus –NCO. TMXDI berfungsi sebagai isosianat alifatik karena dua gugus isosianat tidak berkonjugasi dengan cincin aromatik. Isosianat lain yang semakin diminati adalah isosianat terminasi vinil karena gugus vinil ekstra bersama dengan gugus –NCO menyediakan situs untuk ikatan silang (**Gambar 4**).



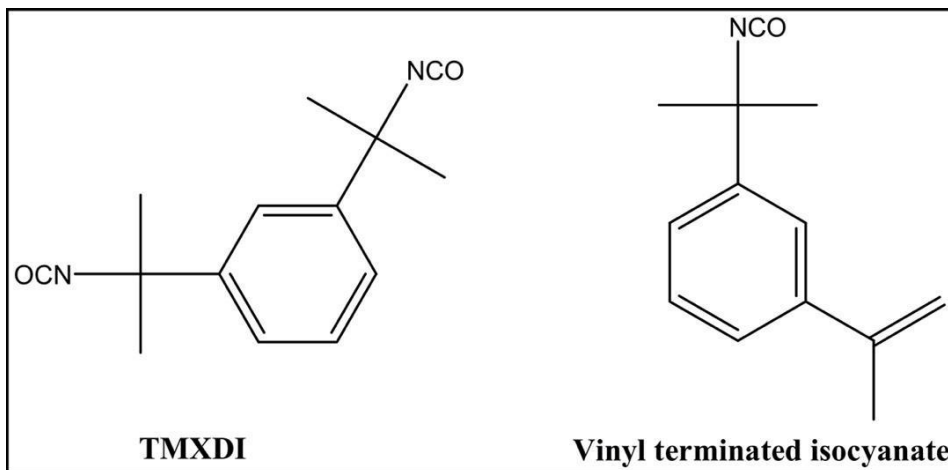
Gambar 1 Isosianat umum



Gambar 2 Resonansi dalam isosianat



Gambar 3 Resonansi dalam isosianat aromatik



Gambar 4 Isosianat lainnya

Poliisosianat seperti triisosianat yang diturunkan sebagai TDI, HDI, dan IPDI dicampur dengan trimetilolpropana (TMP), isosianat dimer yang disebut sebagai *uretdiones*, MDI polimer, dan isosianat yang diblokir (alkohol, fenol, oksim, laktam, dan hidrosilamin sebagai zat penghambat) juga digunakan dalam produksi PU. Akhir-akhir ini, isosianat turunan asam lemak juga dibuat melalui penataan ulang Curtius dengan tujuan untuk menghasilkan PU berbasis bio sepenuhnya. Pilihan isosianat untuk produksi PU diatur oleh sifat yang diperlukan untuk aplikasi penggunaan akhir. Untuk menyiapkan PU kaku, isosianat aromatik dipilih. Namun, PU yang diturunkan dari isosianat ini menunjukkan stabilitas oksidatif dan ultraviolet yang lebih rendah.

2. Polioliol

Zat yang mengandung sejumlah gugus hidroksil disebut sebagai *spolyol*. Zat-zat tersebut mungkin juga mengandung ester, eter, amida, akrilik, logam, metaloid dan fungsi lainnya, bersama dengan gugus hidroksil. *Polyester polyol* (PEP) terdiri dari gugus ester dan hidroksil dalam satu tulang punggung. Mereka umumnya dibuat dengan reaksi kondensasi antara glikol, yaitu, etilena glikol, 1,4-butana diol, 1,6-heksana diol dan asam dikarboksilat/anhidrida (alifatik atau aromatik). Sifat-sifat PU juga bergantung pada derajat ikatan silang serta berat molekul PEP awal. PEP yang sangat bercabang menghasilkan PU yang kaku dengan ketahanan panas dan kimia yang baik, sedangkan PEP yang kurang bercabang menghasilkan PU dengan fleksibilitas yang baik (pada suhu rendah) dan ketahanan kimia yang rendah. Polioliol dengan berat molekul rendah menghasilkan PU yang kaku, sedangkan polioliol rantai panjang dengan berat molekul tinggi menghasilkan PU yang fleksibel. Contoh yang sangat baik dari PEP alami adalah minyak jarak. Minyak nabati lainnya, melalui transformasi kimia, juga menghasilkan PEP. PEP rentan terhadap hidrolisis karena adanya gugus ester. Gugus ester ini juga menyebabkan menurunnya sifat mekanik PEP. Masalah ini dapat diatasi dengan penambahan sedikit karbodiimida. *Polyether polyol* (PETP) lebih murah dibandingkan PEP. Mereka diproduksi oleh reaksi adisi etilena atau propilen oksida dengan alkohol atau *starter* amina atau inisiator dengan adanya katalis asam atau basa. PU yang dikembangkan dari PETP menunjukkan permeabilitas kelembapan tinggi dan Tg rendah, yang membatasi penggunaannya secara ekstensif dalam pelapis dan cat. Contoh lain dari polioliol adalah polioliol akrilat (ACP) yang dibuat dengan polimerisasi radikal bebas hidroksil etil akrilat/metakrilat dengan akrilik lain. ACP menghasilkan PU dengan stabilitas termal yang ditingkatkan dan juga memberikan karakteristik khas akrilik ke PU yang dihasilkan.

PU ini digunakan sebagai bahan pelapis. Poliol dimodifikasi lebih lanjut dengan garam logam (misalnya, asetat logam, karboksilat, klorida) membentuk logam yang mengandung poliol atau poliol hibrid (MHP). PU yang diperoleh dari MHP menunjukkan stabilitas termal yang baik, kilauan dan perilaku anti mikroba. Literatur melaporkan beberapa contoh PEP berbasis VO, PETP, ACP, MHP yang digunakan sebagai bahan pelapis PU. Contoh lain adalah diol dan poliol amida lemak turunan VO, yang telah berfungsi sebagai bahan awal yang sangat baik untuk pengembangan PU. PU ini telah menunjukkan stabilitas termal dan ketahanan hidrolitik yang baik karena adanya gugus amida di tulang punggung diol atau poliol.

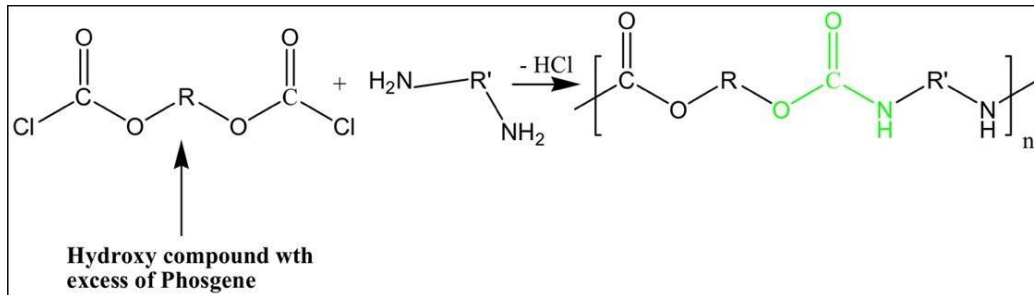
3. Aditif

Seiring dengan poliol dan isosianat, beberapa aditif mungkin juga diperlukan selama produksi PU, terutama untuk mengontrol reaksi, memodifikasi kondisi reaksi, dan juga untuk menyelesaikan atau memodifikasi produk akhir. Aditif ini termasuk katalis, pemanjang rantai, pengikat silang, pengisi, pemulung kelembaban, pewarna dan lain-lain. Dalam produksi PU, katalis ditambahkan untuk mendorong reaksi terjadi pada laju reaksi yang ditingkatkan pada suhu yang lebih rendah dengan tujuan melepaskan isosianat yang terhambat, mengurangi suhu dan waktu pelepasan dan pengawetan. Sejumlah amina alifatik dan aromatik (misalnya, *diaminobicyclooctane-DABCO*), senyawa organologam (misalnya, dibutiltin dilaurat, dibutiltin diasetat), garam logam alkali dari asam karboksilat dan fenol (kalsium, magnesium, strontium, barium, garam heksanoat, oktanoat, naftenat, asam linolenat) digunakan sebagai katalis. Dalam kasus amina tersier, aktivitas katalitiknya ditentukan oleh strukturnya serta kebasaannya. Aktivitas katalitik meningkat dengan meningkatnya kebasaaan dan menurun dengan hambatan sterik pada atom nitrogen amina. Mereka mempromosikan tindakan katalitik dengan

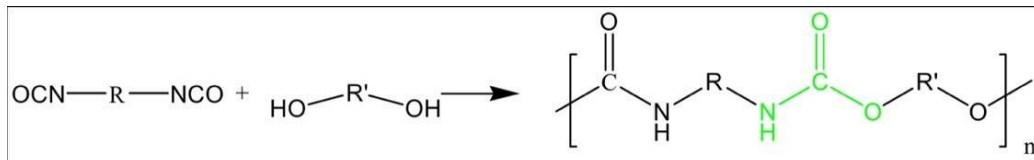
pembentukan kompleks antara amina dan isosianat, dengan menyumbangkan elektron pada atom nitrogen amina tersier ke atom karbon bermuatan positif dari isosianat. Katalis logam memiliki keunggulan dibandingkan amina tersier karena relatif kurang mudah menguap dan kurang beracun. Logam mengkatalisis reaksi isosianat-hidroksil melalui pembentukan kompleks dengan gugus isosianat dan hidroksil. Pusat logam positif berinteraksi dengan atom oksigen kaya elektron dari gugus isosianat dan hidroksil membentuk kompleks perantara, yang dengan penataan ulang lebih lanjut menghasilkan pembentukan ikatan uretana. Diol dengan berat molekul rendah difungsional (etilena glikol, 1,4-butanadiol, 1,6-heksanadiol), sikloheksana dimethanol, diamina, hidroksil-amina (dietanolamin dan trietanolamin) digunakan sebagai pemanjang rantai dalam sintesis PU sedangkan yang dengan fungsionalitas 3 atau > 3 digunakan sebagai pengikat silang. Karena isosianat terlalu sensitif terhadap uap air atau bahkan kelembapan, penyerap kelembapan yang bereaksi lebih mudah dengan air digabungkan untuk memotong atau menghilangkan keterlibatan air selama sintesis PU, misalnya pada proses turunan oksazolidin dan saringan molekuler tipe zeolit. Bahan peniup digunakan untuk menghasilkan busa PU dengan struktur seluler melalui proses pembusaan (misalnya, hidrokarbon, CO₂, hidrazin).

C. Kimia Poliuretan (PU)

Poliuretan adalah turunan asam karbonat. PU dibentuk oleh reaksi polimerisasi kondensasi biskloroformat dengan diamin (Gambar 5) dan reaksi polimerisasi adisi diisosianat dengan senyawa hidroksi difungsional/polifungsional, atau senyawa lain yang memiliki sejumlah atom hidrogen aktif (Gambar 6). Metode yang terakhir lebih penting dari sudut pandang industri karena dalam metode ini tidak ada produk sampingan yang terbentuk.

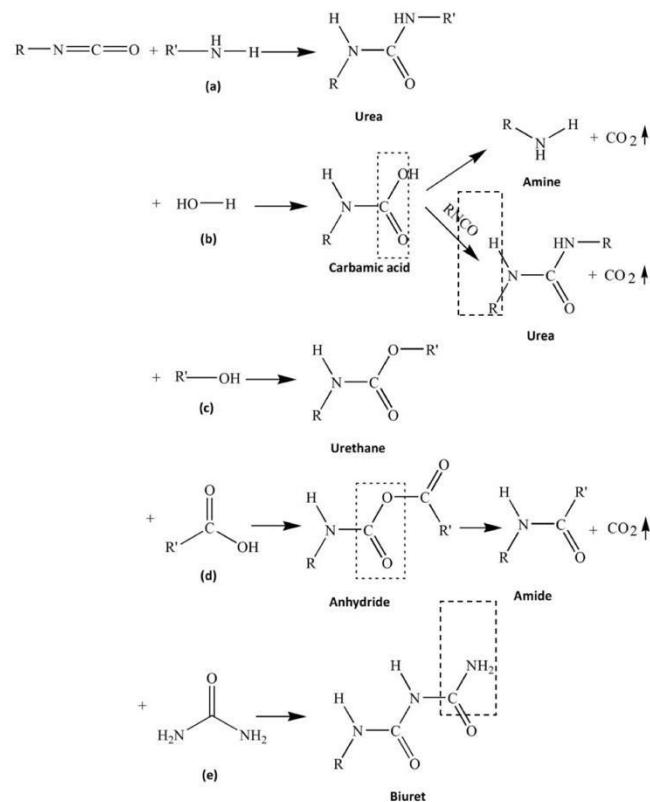


Gambar 5 Reaksi biskloroformat dengan diamina

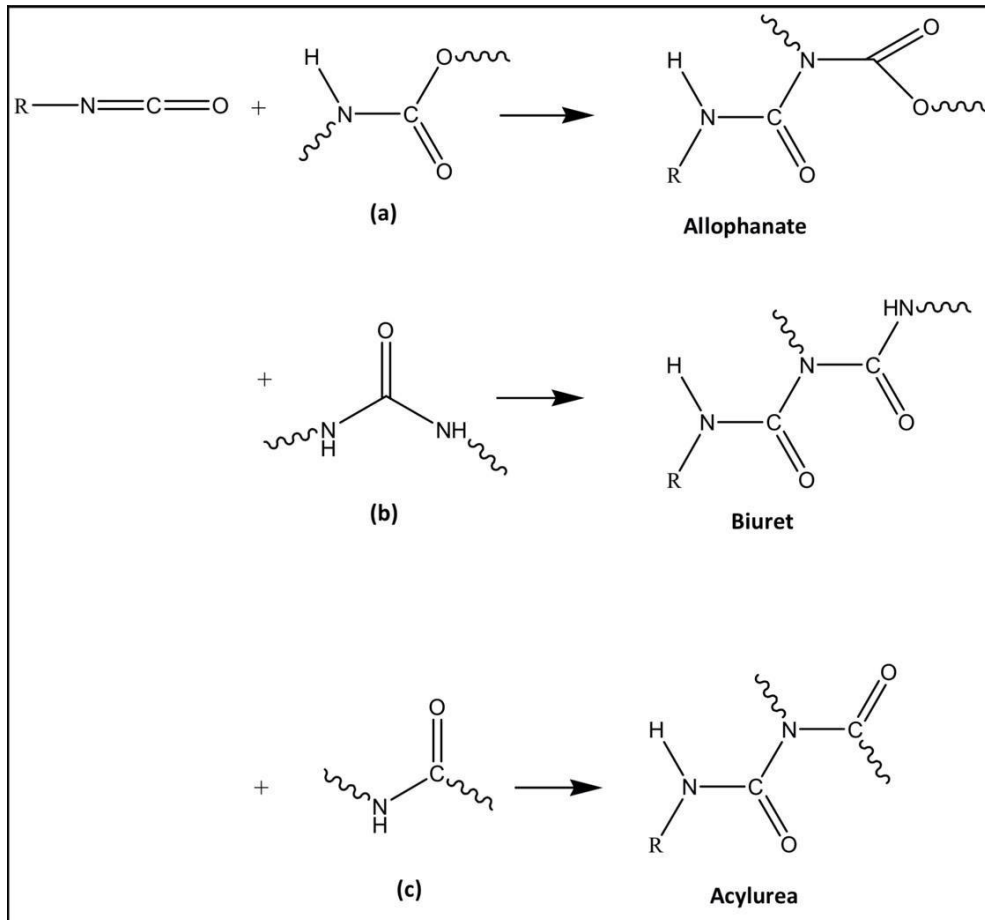


Gambar 6 Reaksi diisocyanat dengan senyawa di atau poli hidroksi

Reaksi isocyanat menawarkan kemungkinan menghasilkan produk polimer yang dibuat khusus mulai dari serat hingga karet. Secara umum, reaksi isocyanat dibagi menjadi dua kelas, (a) reaksi adisi (primer dan sekunder) dengan senyawa yang mengandung hidrogen aktif (Gambar 7 dan 8), (b) reaksi adisi sendiri (Gambar 9). Dalam beberapa reaksi, CO₂ dilepaskan yang membantu pembentukan busa PU.



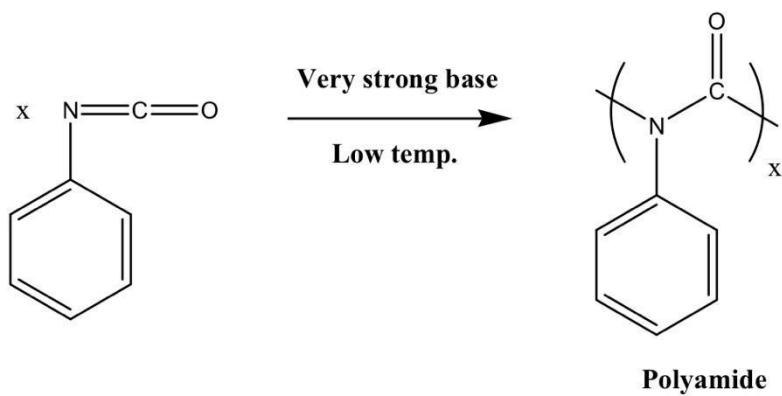
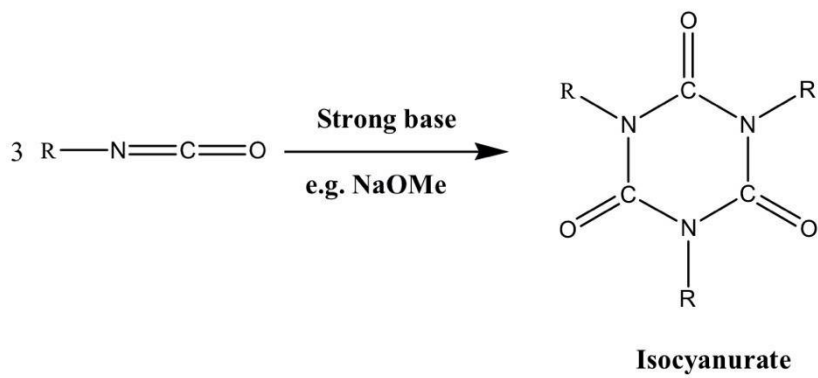
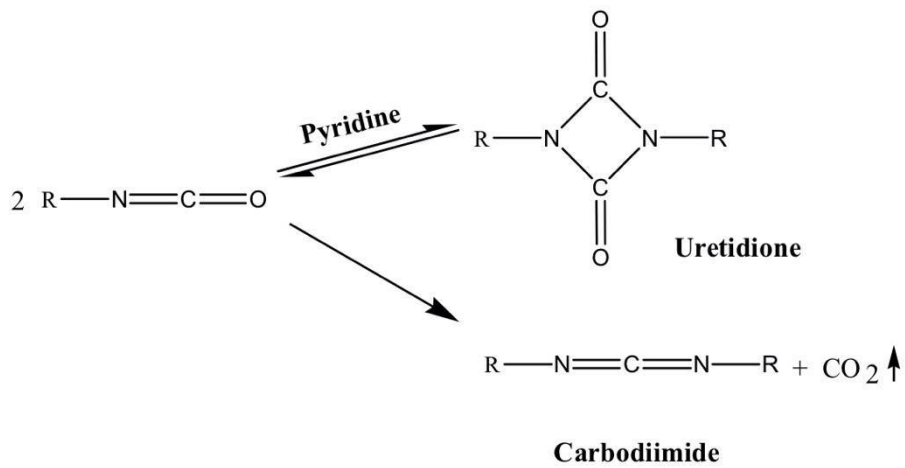
Gambar 7 Reaksi adisi primer isocyanat



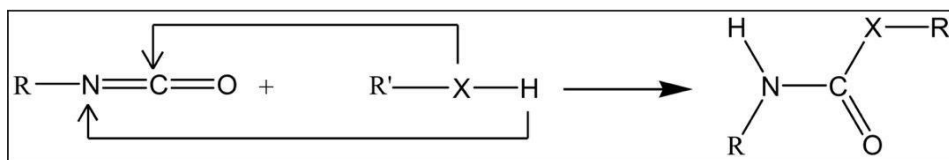
Gambar 8 Reaksi adisi sekunder isosianat

Isosianat memiliki struktur $R-N=C=O$ (R = gugus alkil atau aril) yang bereaksi cepat pada suhu kamar dengan senyawa yang mengandung atom hidrogen aktif, seperti amina, air, alkohol, asam karboksilat, uretan, dan urea (Gambar 10).

PU linier dapat terbentuk ketika diisosianat bereaksi dengan diol, sementara PU bercabang atau ikatan silang menghasilkan reaksi senyawa polihidrat (poliol). PU bercabang atau ikatan silang juga terbentuk ketika senyawa yang mengandung tiga atau lebih gugus isosianat bereaksi dengan diol. Namun, pendekatan ini memiliki kepentingan komersial yang terbatas.



Gambar 9 Reaksi adisi diri dari isosianat



Gambar 10 Reaksi isosianat dengan senyawa hidrogen

D. Pembentukan Busa Poliuretan

Sekitar 70% aplikasi dari poliuretan adalah busa. Busa didefinisikan sebagai substansi yang dibentuk dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan atau padatan. Busa PU diklasifikasikan ke dalam tiga tipe, yaitu *flexible foam*, rigid foam dan semi rigid foam. Perbedaan sifat fisik dari tiga tipe *polyurethane foam* tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul, fungsionalitas polioliol dan fungsionalitas isosianat. Berdasarkan struktur selnya, foam dibedakan menjadi dua, yaitu *closed cell* (sel tertutup) dan *opened cell* (sel terbuka). Foam dengan struktur *closed cell* merupakan jenis *rigid foam* sedangkan foam dengan struktur *opened cell* adalah *flexible foam*. *Polyurethane foam* biasanya dibuat dengan menambahkan sedikit bahan yang mudah menguap yaitu bahan pengembang (*blowing agent*) untuk mereaksikan campuran. Acetone, methylene chloride dan beberapa chlorofluorocarbon (CFC₁₃) yang sering digunakan sebagai bahan pengembang (*blowing agent*) pada pembuatan PU.

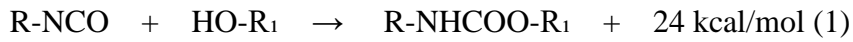
E. Pembentukan Poliuretan Foam

Terdapat dua sistem yang dapat digunakan untuk membentuk polyurethane yaitu sistem *one-step (one-shot process)* dan sistem *two-step (prepolymer process)*. Sistem *one-step* umumnya digunakan dalam pembentukan polyurethane foam, sedangkan sistem *two-step* diaplikasikan pada produksi elastomer. Sistem *one-step (one-shot process)* adalah semua bahan baku untuk menghasilkan polimer dicampur bersama-sama.

Ada dua reaksi kimia penting pada pembentukan busa PU, reaksi pertama adalah antara isosianat dengan polioliol membentuk poliuretan. Reaksi kedua adalah reaksi antara air dan isosianat menghasilkan polyurea dan gas CO₂ sebagai *blowing agent* kimiawi. (Wang, 1998)

Reaksi kimia secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut:

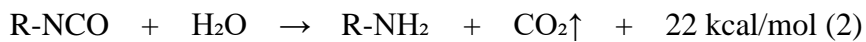
Reaksi pembentukan polyurethane :



Isocyanate alkohol Urethane

Reaksi pembentukan gas dan urea :

Tahap I:



Isocyanate Air Amina Karbondioksida

Tahap II :



Amina Isocyanate Urea

Berdasarkan sifat-sifat yang dimiliki oleh masing-masing bahan yang digunakan, dalam pembuatan polyurethane foam memberikan pengaruh interaksi antar bahan. Oleh karena itu urutan pemasukan bahan dapat menjelaskan mekanisme reaksi yang terjadi diantaranya adalah :

1. Pembentukan emulsi air – polyol (*Polypropylene Glycol*/Minyak Jarak) oleh surfaktan
2. Surfaktan berperan dalam proses pembentukan emulsi. Gugus hidrofil surfaktan akan mendorong molekul – molekul air sedangkan gugus hidrofob memecah tegangan permukaan polyol sehingga terbentuk misel. Dengan terbentuknya misel, air akan mudah tersebar di dalam campuran. Gugus hidrofilik akan memberikan efek proteksi terhadap air karena akan mengurangi difusifitas antar muka (Lim dkk, 2008).
3. Blending emulsi Polioliol dengan *Ethylene Glycol* dan *Triethylene Diamine*
4. Pada sistem misel air - *polyolethylene glycol* akan kalah berkompetisi dalam hal pengaktifan atom hidrogen. Hal ini dikarenakan *ethylene glycol* berjumlah sedikit

dan tidak dapat tercampur sempurna karena *ethylene glycol* lebih bersifat polar dibandingkan polyol yang sudah membentuk sistem emulsi terlebih dahulu. Hal ini disebabkan karena rantai alkana ethylene glycol lebih pendek dan memiliki gugus hidroksil (Fessenden,1986).

Bab III

Metode Penelitian

A. Waktu Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan pada Selasa, 15 Februari 2022 secara luring di CV.

Gesalunda Foam.

B. Metode Pengambilan Data

1. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan langkah penting seorang peneliti yang terdiri dari penetapan topik penelitian, pelaksanaan kajian atau penyelidikan tentang teori yang terkait, lalu pengumpulan informasi sebanyak-banyaknya dari pustaka yang berhubungan. Sumber-sumber pustaka dapat diperoleh dari buku-buku ilmiah, laporan penelitian, karangan-karangan ilmiah, tesis dan disertasi, peraturan-peraturan, ketetapan-ketetapan, buku tahunan, ensiklopedia, dan sumber-sumber tertulis baik tercetak maupun elektronik lain. Studi pustaka juga dapat diartikan sebagai suatu langkah untuk memperoleh informasi dari penelitian yang harus dikerjakan terlebih dahulu tanpa memperdulikan apakah sebuah penelitian tersebut menggunakan penelitian lapangan, laboratorium, maupun dalam museum. Studi pustaka sangatlah penting dalam proses penelitian karena penelitian yang akan dilakukan tidak dapat lepas dari literatur-literatur ilmiah yang didapat.

2. Observasi

Penelitian ini menggunakan observasi partisipasi pasif (*passive participation*). Dalam observasi ini, diperlukan kedatangan di tempat kegiatan yang diamati, tetapi tidak ikut terlibat dalam kegiatan tersebut. Observasi yang dilakukan adalah untuk memperoleh data dan gambaran lengkap mengenai proses pembuatan busa pada Pabrik CV. Gesalunda Foam yang berada di Kabupaten Sidoarjo. Dalam observasi

ini, lokasi yang dijadikan penelitian akan didatangi langsung agar hasil pengumpulan data yang diperoleh akan lebih banyak, informatif, lengkap, akurat, dan terpercaya.

3. Wawancara

Teknik wawancara yang digunakan dalam penelitian ini adalah wawancara semi terstruktur (*Semi-Structured Interview*) karena data yang dibawa hanya garis besar permasalahan dan pengembangan data akan dilakukan di tempat penelitian. Jenis wawancara ini sudah termasuk kategori *in-depth interview*. Dalam pelaksanaannya, kategori ini lebih bebas bila dibanding dengan wawancara terstruktur. Tujuan dari wawancara jenis ini adalah untuk menemukan permasalahan secara lebih terbuka antara pewawancara dan pihak yang diwawancarai dalam menyampaikan ide maupun pendapat. Dalam melakukan wawancara, hal yang dikemukakan oleh narasumber perlu didengarkan secara detail dan dicatat. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan wawancara mendalam untuk mendapatkan data-data dari narasumber karena sifatnya yang kualitatif.

C. Teknik Analisis Data

Terdapat tiga proses analisis data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Reduksi Data (*Data Reduction*)

Reduksi data dalam penelitian ini adalah data yang telah diperoleh dari lapangan mengenai proses pembuatan busa pada CV. Gesalunda Foam yang berada di Kabupaten Sidoarjo. Melalui studi pustaka, wawancara, dan observasi, data yang diterima akan dipilih dan fokuskan pada hal- hal yang berkaitan dengan proses pembuatan busa di CV. Gesalunda Foam yang berada di Kabupaten Sidoarjo.

2. Penyajian Data (*Data Display*)

Penyajian data dalam penelitian ini berfungsi untuk membantu memahami data yang diperoleh dari pabrik CV. Gesalunda Foam yang berada di Kabupaten Sidoarjo.

3. Penarikan Kesimpulan (*Conclusion Drawing/Verification*)

Langkah ketiga dalam proses analisis data kualitatif adalah penarikan kesimpulan atau verifikasi. Kesimpulan awal yang dikemukakan masih bersifat sementara, dan akan berubah bila tidak ditemukan bukti–bukti kuat yang mendukung pada tahap pengumpulan data berikutnya. Namun, bila kesimpulan yang dikemukakan pada tahap awal didukung oleh bukti-bukti yang valid dan konsisten, maka kesimpulan yang dikemukakan merupakan kesimpulan yang kredibel.

Dengan demikian, kesimpulan dalam penelitian kualitatif belum tentu dapat menjawab rumusan masalah yang dirumuskan sejak awal karena masalah dan rumusan masalah dalam penelitian kualitatif masih bersifat sementara dan akan berkembang setelah berada di lapangan.

D. Langkah-Langkah Observasi

Langkah-langkah yang dilakukan dalam mengumpulkan data adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data dari sumber-sumber seperti jurnal penelitian, buku, artikel, dan sumber lainnya.
2. Melakukan pengamatan pada instalasi CV. Gesalunda Foam.
3. Memperhatikan dan mencatat poin-poin penting yang disampaikan oleh perwakilan CV. Gesalunda Foam.
4. Melaksanakan sesi tanya jawab dengan perwakilan dari CV. Gesalunda Foam.
5. Menganalisa data yang telah dikumpulkan.
6. Menarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

Bab IV

Hasil Pengamatan

A. Hasil Penelitian

1. Alat dan Bahan

Pembuatan busa di CV. Gesalunda Foam memerlukan bahan berupa poliuretan sebagai bahan utama, toluena diisosianat sebagai *blowing agent*, kalsium karbonat sebagai pematat, pewarna plastik sebagai bahan untuk memberi warna pada busa, campuran silikon dan amine katalis (T₉) sebagai peningkat kepadatan, dan juga Metil Klorida yang juga berfungsi sebagai blowing agent. Alat yang digunakan adalah mesin pengaduk untuk mengaduk bahan-bahan yang sudah disebutkan, mesin pencetak sebagai tempat untuk pengembangan dan pencetakan busa, mesin pemotong untuk menguliti bagian atas dan samping busa, serta mesin penggiling busa sisa pengulitan yang tidak terpakai.

2. Proses pembuatan



Gambar 11. Kalsium Karbonat. **Gambar 12.** Toluena Diisosianat.



Gambar 13. Metil klorida.

Gambar 14. Pewarna plastik.



Gambar 15. Campuran silikon dengan katalis amina. **Gambar 16.** *Stannous Octoate*.

Busa dihasilkan dengan menuangkan poliuretan (gambar 11), kalsium karbonat (gambar 12), toluena diisosianat (gambar 13), metil klorida (gambar 14), pewarna plastik (gambar 15), campuran silikon dengan katalis amina (gambar 16), dan *Stannous Octoate*. Semuanya dimasukkan ke dalam mesin pengaduk. Setelah adonan mengembang, adonan dituang ke mesin pencetak dan dibiarkan mengembang selama 10-15 menit. Dalam proses pengembangan akan terjadi reaksi antara zat aditif toluena diisosianat dengan air yang menghasilkan poliurea dengan gas CO₂. Setelah adonan mengembang menjadi busa, busa dipindahkan ke mesin pemotong untuk memotong bagian samping dan atas busa serta dipotong sesuai pesanan. Untuk busa yang berbentuk kecil-kecil dan busa yang gagal mengembang akan dipindahkan

kedalam mesin penggiling untuk digiling menjadi bahan isian untuk bantal, kasur, dan juga jok kendaraan.

B. Pembahasan Penelitian

1. Tahap Reaksi Toluena Diisosianat (TDI)

Gugus isoisanat yang paling reaktif pada TDI adalah gugus nomor 2 atau yang dekat dengan gugus fungsi toluena yaitu gugus metil. Pada awal TDI dimasukkan ke dalam reaktor, polioliol cenderung hanya bereaksi dengan gugus isosianat yang lebih reaktif. Sedangkan PPG berkompetisi bereaksi dengan TDI menutup gugus isosianat yang ada sehingga akan terbentuk dua jenis dimer urethane. Setelah konsentrasi polioliol berkurang karena bereaksi dengan TDI, ethylene glycol molekul kecil yang dapat bergerak karena adanya tolak menolak dan tarik menarik dari polaritas campuran akan mudah menumbuk TDI untuk bereaksi. Kemudian proteks miscelle pada air akan mulai renggang dan menaikkan difusifitas antar muka sehingga air akan bereaksi dengan TDI membentuk urea. Kedua reaksi tersebut akan membentuk hard segment pada rantai polimer. Dimer polyoliol akan cenderung mencari urea dan beraksi membentuk propolimer. Hal ini disebabkan oleh gaya tarik yang dihasilkan oleh urea lebih besar karena keelektronegatifita atom-atomnya yang tinggi. Sedangkan dimer PPG akan bereaksi dengan ethylene glycol-TDI. Kedua jenis propolimer ini dapat terhubung satu sama lain dengan dijumpatani oleh hard segment urethane linkage dan urea linkage sehingga dapat terbentuk polyurethane.

2. Pengaruh zat aditif

a. Pengaruh Toluena Diisosianat

Busa yang dibuat dengan campuran toluena diisosianat dan poliuretan yang terbuat dari Polipropilena Glikol akan mengalami reaksi eksotermis. Reaksi ini nantinya berguna agar busa dapat lebih berkembang. TDI berfungsi sebagai

sebagai solvent atau juga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi dalam busa, sementara PPG merupakan bahan baku pembuatan poliuretan. PPG ini juga biasa digunakan sebagai referensi dalam penyetelan alat spektrometer. PPG juga biasa digunakan sebagai surfaktan, bahan pengurai, dan agen pembasah pada industri kulit. PPG pada proses pembuatan busa berfungsi sebagai penstabil agar proses *foaming* dapat berjalan dengan sempurna.

b. Pengaruh Metil Klorida

Metil Klorida berfungsi sebagai blowing agent. Blowing agent merupakan bahan yang dapat menyerap panas dari reaksi eksotermis untuk terdamparkan dan menambah kandungan udara di dalam busa. Hal ini menyebabkan busa akan lebih cepat mengembang. Metil Klorida tidak akan membentuk reaksi apapun saat proses pembentukan busa berlangsung. Metil Klorida juga berfungsi sebagai solvent dalam pembentukan busa. Metil Klorida juga dapat membuat rongga-rongga di dalam busa menjadi lebih rata dan lebih terstruktur.

c. Pengaruh Campuran Katalis Amina, Air, dan Silikon

Silikon berfungsi sebagai surfaktan, yaitu bahan yang mengurangi gaya tegang pada lapisan air. Silikon diperlukan karena toluena tidak larut dalam air sedangkan poliuretan larut sehingga pengadukan semakin homogen. Amina berfungsi sebagai bahan utama dalam pembentukan busa ini. Bagian hidrofilik dari bahan ini akan mengikat air saat proses *foaming* terjadi. Bagian hidrofobik akan mengikat gas yang masuk baik itu dari udara maupun dari hasil reaksi kimia. Hal tersebut menyebabkan terbentuknya rongga-rongga saat proses busa mulai memadat. Air berfungsi sebagai pelarut dalam larutan amina.

d. Pengaruh Stannous Octoate (SO)

SO di dalam proses *foaming* dapat meningkatkan densitas dari busa terbentuk.

Hal ini dapat membuat struktur busa yang menjadi lebih kaku. SO juga dapat membuat busa lebih tahan terhadap perubahan temperatur.

3. Pengaruh terhadap lingkungan

Dalam reaksi yang terjadi dalam pembuatan busa akibat tidak larutnya TDI dalam air, TDI akan terbawa oleh CO₂ dan terhirup ke dalam saluran pernafasan. Gugus isosianat pada TDI dapat menyebabkan bronkitis dan kanker. Jika ada busa yang gagal (keteledoran dalam meracik bahan) namun tetap bisa diolah, maka busa tersebut akan digiling dan didaur ulang hingga akhirnya menjadi kasur keras atau isian bantal dan guling. Akan tetapi, apabila busa yang gagal tidak bisa diolah lagi, busa tersebut akan digiling lalu dibakar. Kegiatan pembakaran ini akan menghasilkan karbon monoksida (CO) yang bila terhirup manusia dapat mengganggu fungsi kerja hemoglobin dalam sel darah merah yang berfungsi untuk mengangkut dan mengedarkan oksigen (O₂) ke seluruh tubuh. Kekurangan oksigen ini bisa menimbulkan kematian. Selain menghasilkan karbon monoksida, pembakaran busa tersebut juga dapat menghasilkan bahan-bahan kimia beracun lainnya dan juga partikel debu halus / *particulate matter* (PM). Partikel kecil dengan diameter kurang dari 10 mikrometer bisa menimbulkan masalah besar, karena partikel tersebut bisa masuk jauh ke dalam paru-paru, bahkan masuk ke dalam aliran darah.

Selain itu, sebagian besar polimer, termasuk poliuretan, sangat tahan terhadap serangan mikroba. Sifat tersebut membuat busa sangat berguna karena ketahanannya terhadap degradasi, namun juga membuatnya hampir mustahil terurai secara penuh di alam. Sebagai contoh, busa buatan CV. Gesalunda Foam dengan kepadatan yang

lembut ($15-20 \text{ kg/m}^3$) hanya bisa bertahan sekitar 1-2 tahun saja, namun busa dengan kepadatan yang lebih keras (50 kg/m^3) memiliki ketahanan tinggi terhadap degradasi, sehingga bisa bertahan selamanya. Apabila busa tidak ditangani dengan benar, busa akan menumpuk dan dapat mencemari lingkungan serta membahayakan makhluk hidup yang tinggal di lingkungan tersebut.

Bab V

Penutup

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan teknik observasi yang dilaksanakan di CV. Gesalunda Foam tentang pengaruh toluena diisosianat dalam pembuatan foam dapat diambil beberapa kesimpulan. Kesimpulan tersebut dipaparkan sebagai berikut :

1. Toluena diisosianat yang menjadi bahan aditif yang digunakan dalam pembuatan busa, tidak boleh ditambahkan di awal pembuatan busa poliuretan karena akan bereaksi dengan air membentuk amin dan CO₂ .
2. Toluena diisosianat dapat terbawa ke udara oleh CO₂ dan dapat terhirup masuk kedalam saluran pernapasan manusia yang dapat menyebabkan bronkitis hingga kanker.
3. Dampak pembakaran busa yang dilakukan dapat menghasilkan gas Karbon Monoksida (CO) yang dapat mengganggu fungsi kerja hemoglobin dalam pertukaran O₂ di dalam darah.
4. Dampak pembakaran dapat menimbulkan bahan kimia beracun lainnya dan juga memicu debu halus / *particulate matter* (PM) yang dapat menyebabkan masalah terbesar karena dapat masuk jauh kedalam paru-paru dan dapat menyebabkan penyumbatan aliran darah.
5. CV. Gesalunda Foam belum dapat mencontohkan hal yang baik dalam pengelolaan limbah busa.

B. Saran

1. Dalam proses pembuatan busa yang membutuhkan banyak zat kimia disarankan untuk menggunakan alat pelindung diri seperti masker, *face shield*, atau alat pelindung diri lainnya.

2. Limbah hasil pembuatan foam yang gagal dapat dibuang pada tempat pembuangan limbah khusus yang tidak dapat mencemari lingkungan sekitar dan merugikan warga setempat.

References

- Ashida, K (Ed.). (2007). *Polyurethane and related foams: Chemistry and technology*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Fried, J.R (Ed.). (2014). *Polymer science and technology* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Ginting, M. (2010). Pemanfaatan hasil hidrolisis dan alkoksilasi dengan gliserol dari epoksida minyak kemiri sebagai sumber polioliol untuk pembuatan poliuretan. *Repositori*, 1-154. Retrieved from <https://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/43801/048103003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nofiyanti, E., & Wardani, G.A. (2018). Proses konversi minyak goreng bekas menjadi polioliol sebagai bahan baku poliuretan. *Kovalen*, 1-7. Retrieved from <https://bestjournal.untad.ac.id/index.php/kovalen/article/view/10864>
- Rohaeti, E. (2005). Kajian tentang sintesis poliuretan dan karakteristiknya. *Prosiding Semnas Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, 1-9. Retrieved from [https://eprints.uny.ac.id/11707/1/01_Kajian%20Tentang%20Sintesis%20Poliuretan%20Dan%20Karakterisasinya%20\(Eli%20Rohaeti\).pdf](https://eprints.uny.ac.id/11707/1/01_Kajian%20Tentang%20Sintesis%20Poliuretan%20Dan%20Karakterisasinya%20(Eli%20Rohaeti).pdf)
- Sitohang, S.H. (2018). Sintesis poliuretan melalui polimerisasi lignin isolat dari serbuk kayu jati (*tectona grandis* L.f) dengan toluena diisosianat. *Jurnal Sainika*, 1-6. Retrieved from <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/lemlit/article/view/12264>
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan r&d*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2013). *Memahami penelitian kualitatif*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2014). *Metode penelitian kombinasi (mixed methods)*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2015). *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan r&d*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2016). *Metode kualitatif penelitian dan (mixed kuantitatif kombinasi methods)*. Bandung: Alfabeta.
- Sutiani, A., & Marsely, Y. (2015). Pemanfaatan maltosa dan gliserol sebagai sumber polioliol dalam pembuatan perekat poliuretan. *Jurnal Sainika*, 1-8. Retrieved from <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/lemlit/article/view/12393>
- Triwulandari, E., Astrini, N., & Haryono, A. (2014). Pembuatan polioliol berbasis komponen minyak sawit sebagai bahan baku busa poliuretan. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 1-6. Retrieved from <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jsmi/article/view/4332/3793>
- Triwulandari, E., Prihastuti, H., Haryono, A., & Susilo, E. (2007). Synthesis and structure properties of rigid polyurethane foam from palm oil based polyol. *Jurnal Sains*

Materi Indonesia, 1-7. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Evi-Triwulandari/publication/268438912_Synthesis_and_Structure_Properties_of_Rigid_Polyurethane_Foam_From_Palm_Oil_Based_Polyol_Evi_Triwulandari_SYNTHESIS_AND_STRUCTURE_PROPERTIES_OF_RIGID_POLYURETHANE_FOAM_FROM_PALM_OIL_BASED_POLYOL/links/54c88bea0cf22d626a39c0e8/Synthesis-and-Structure-Properties-of-Rigid-Polyurethane-Foam-From-Palm-Oil-Based-Polyol-Evi-Triwulandari-SYNTHESIS-AND-STRUCTURE-PROPERTIES-OF-RIGID-POLYURETHANE-FOAM-FROM-PALM-OIL-BASED-POLYOL.pdf

Zafar, F., & Sharmin, E. (Eds.). (2012). *Polyurethane*. Rijeka: IntechOpen. 10.5772/2416