



KIMIA BERKELANJUTAN

DASA-DASAR DAN APLIKASINYA



Dwi Indah Lestari, S.Tr.T., M.Eng.
Zeolita Prabu Putri, S.T., M.T.
Rara Eka Dyla Putri, S.ST., M.T.
Isma Uly Maranggi, S.Tr.T., M.Eng.
Debi Anggun Sari, M.T.

KIMIA BERKELANJUTAN: DASAR-DASAR DAN APLIKASINYA

Dwi Indah Lestari, S.Tr.T., M.Eng.

Zeolita Prabu Putri, S.T., M.T.

Rara Eka Dyla Putri, S.ST., M.T.

Isma Uly Maranggi, S.Tr.T., M.Eng.

Debi Anggun Sari, M.T.



KIMIA BERKELANJUTAN: DASAR-DASAR DAN APLIKASINYA

Penulis:

Dwi Indah Lestari, S.Tr.T., M.Eng.

Zeolita Prabu Putri, S.T., M.T.

Rara Eka Dyla Putri, S.ST., M.T.

Isma Uly Maranggi, S.Tr.T., M.Eng.

Debi Anggun Sari, M.T.

Editor:

Syifa Ismayanti

Layouter :

Tim Kreatif PRCI

Cover:

Rusli

Cetakan Pertama : Mei 2025

Hak Cipta 2025, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151

Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2025 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

All Right Reserved

- Cet. I - : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2025
; 18 x 25 cm

ISBN

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang

Hak Cipta Pasal 72

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada kami sehingga kami berhasil menyelesaikan Buku dengan judul Kimia Berkelanjutan: Dasar-Dasar Dan Aplikasinya sesuai yang ditargetkan.

Buku ini menyajikan kajian komprehensif mengenai berbagai aspek kimia hijau, mulai dari sejarah perkembangan, definisi, hingga prinsip-prinsip yang mendasarinya. Kami juga membahas aplikasi kimia hijau di berbagai sektor, serta teknologi dan inovasi yang mendukung keberlanjutan. Tantangan dan solusi dalam penerapan kimia hijau akan dibahas, berserta studi kasus global dan lokal yang relevan. Kami berharap buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, peneliti, dan masyarakat umum yang ingin memahami peranan penting kimia berkelanjutan dalam menciptakan masa depan yang lebih ramah lingkungan.

Kami menyadari bahwa Buku ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu kami harapkan demi kesempurnaan buku ini.

Akhir kata, kami sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan Buku ini dari awal sampai akhir. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa meridhoi segala usaha kita. Amin.

Mei 2025, Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB 1 KIMIA HIJAU – KIMIA RAMAH LINGKUNGANBAGI MASA DEPAN	1
A. Sejarah Perkembangan Kimia Hijau	1
B. Definisi Kimia Hijau	5
C. Prinsip - Prinsip Kimia Hijau	7
D. Aplikasi Kimia Hijau di Berbagai Sektor	9
E. Teknologi dan Inovasi Kimia Hijau	12
F. Tantangan dan Solusi	14
G. Studi Kasus Global, Lokal, Serta Tujuan Pembangunan Berkelanjutan	16
H. Peran Penting kimia Hijau	19
I. Kesimpulan dan Rekomendasi	20
 BAB II STRUKTUR ATOM FAKTA DI BALIK MATERI	 22
A. Teori Atom Mekanika Kuantum	22
B. Struktur Atom	26
C. Sistem Periodik Unsur	32
D. Sifat Periodik Unsur	35
 BAB III STOIKIOMETRI	 40
A. Pengertian Stoikiometri	41
B. Massa Atom Relatif dan Massa Molekul Relatif	42
C. Konsep Mol	45
D. Rumus Kimia	50
E. Persamaan Reaksi Kimia	54
F. Hukum Dasar Kimia	58
G. Inti Sari	64
H. Latihan Soal	64
 BAB IV LAJU REAKSI	 68
A. Konsep Laju Reaksi	69
B. Teori Tumbukan dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi	71
C. Persamaan Laju reaksi	77
D. Orde Reaksi	78
E. Penentuan Laju Reaksi	79
F. Rangkuman	81
G. Latihan Soal	82

BAB V KESETIMBANGAN KIMIA	86
A. Pendahuluan	86
B. Konsep Dasar Keseimbangan Kimia	86
C. Sifat-Sifat Keseimbangan Kimia	88
D. Prinsip Le Chatelier	90
DAFTAR PUSTAKA	96

BAB 1

KIMIA HIJAU – KIMIA RAMAH LINGKUNGAN BAGI MASA DEPAN

A. Sejarah Perkembangan Kimia Hijau

Rachel Carson menulis buku ilmiah arus utama, *Silent Spring* pada tahun 1962. Buku tersebut menguraikan kehancuran yang disebabkan oleh bahan kimia tertentu pada ekosistem lokal. Di dalam buku terdapat fungsi peringatan bagi masyarakat dan ilmuwan, serta mengilhami gerakan lingkungan modern. Pada tahun 1969, Kongres mengakui pentingnya masalah tersebut dan mengesahkan Undang-Undang Kebijakan Lingkungan Nasional (NEPA). Tujuan undang-undang tersebut adalah untuk "menciptakan dan memelihara kondisi yang memungkinkan manusia dan alam dapat hidup dalam harmoni yang produktif," dan menyerukan dibentuknya Dewan Presiden tentang Kualitas Lingkungan.



Gambar 1. Rachel Carson

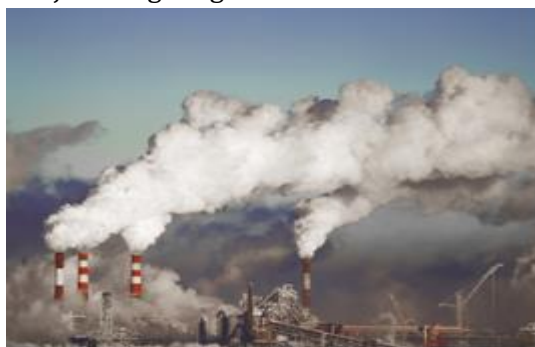
Pada tahun 1970, Presiden Richard Nixon mendirikan Badan Perlindungan Lingkungan AS (EPA), sebuah badan regulasi federal yang dikhususkan untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan. Keputusan besar pertama EPA adalah melarang penggunaan DDT dan pestisida kimia lainnya. Kongres mengesahkan serangkaian undangundang regulasi untuk membendung dampak polusi terhadap lingkungan, seperti UndangUndang Air Minum yang Aman pada tahun 1974. Pada akhir tahun 1970-an, penemuan dan publisitas seputar Kanal Cinta di Air Terjun Niagara, NY membuat industri kimia terguncang. Di lokasi ini dan lokasi lainnya, ribuan tong berisi limbah kimia - yang telah dikubur oleh perusahaan kimia selama beberapa dekade sebelumnya - berkarat, membocorkan bahan kimia beracun ke dalam tanah dan mencemari air tanah. "EPA didirikan pada tahun 1970; Undang-undang lingkungan yang

signifikan disahkan; Bencana Kanal Cinta menyebabkan undang-undang "Superfund" tahun 1980."



Gambar 2. Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (EPA)

Hingga tahun 1980-an, industri kimia dan EPA berfokus terutama pada pembersihan polusi dan racun yang nyata, tetapi pergeseran paradigma besar mulai terjadi di kalangan ahli kimia. Para ilmuwan, yang tumbuh dewasa selama beberapa dekade tumbuhnya kesadaran lingkungan, mulai meneliti cara-cara pencegahan polusi sejak awal. Para pemimpin dalam industri dan pemerintahan memulai percakapan internasional untuk mengatasi masalah dan mencari solusi pencegahan. Organisasi Kerjasama Ekonomi dan Pembangunan (OECD), sebuah badan internasional memiliki anggota lebih dari 30 negara industri, mengadakan pertemuan sepanjang tahun 1980-an untuk mengatasi masalah lingkungan. Mereka membuat serangkaian rekomendasi internasional yang berfokus pada perubahan kooperatif dalam proses kimia yang ada dan pencegahan polusi. Kantor Pencegahan Polusi dan Racun didirikan di dalam EPA pada tahun 1988 untuk memfasilitasi tujuan lingkungan ini.



Gambar 3. Industri Kimia di Amerika Serikat pada Tahun 1980

Selanjutnya, pada dekade ini menandai penerimaan yang semakin cepat terhadap pencegahan polusi dan pembentukan kimia hijau sebagai bidang ilmiah yang sah. Undang-Undang Pencegahan Polusi tahun 1990 menandai perubahan kebijakan regulasi dari pengendalian polusi menjadi pencegahan polusi sebagai

strategi yang paling efektif untuk masalah lingkungan ini. Direktur Kimia di National Science Foundation (NSF) saat itu, Kenneth G. Hancock, menegaskan untuk secara terbuka mendukung pendekatan ini sebagai strategi yang layak secara ekonomi. Ahli kimia di seluruh dunia sepakat bahwa ini dapat membalikkan kecenderungan industri terhadap kerusakan lingkungan. Pada awal 1990-an,

Dewan Kimia Komunitas Eropa menerbitkan makalah tentang subjek tersebut, termasuk karya yang berpengaruh, "Kimia untuk Dunia yang Bersih." Simposium pertama yang didasarkan pada ide-ide ini, "Benign by Design: Desain Sintetis Alternatif untuk Pencegahan Polusi," diadakan pada tahun 1994 di Chicago dan disponsori oleh Divisi Kimia Lingkungan dari American Chemical Society. Staf Kantor Pencegahan Polusi dan Racun EPA, menciptakan frasa "Kimia Hijau" dan menabur benih kolaborasi produktif antara pemerintah, industri, dan akademisi. Pada tahun 1995, EPA AS menerima dukungan dari Presiden Bill Clinton untuk menyelenggarakan program penghargaan tahunan yang menyoroti inovasi ilmiah di bidang akademis dan industri yang memajukan Kimia Hijau.

Ini menciptakan *Presidential Green Chemistry Challenge Awards* tahunan. University of Massachusetts di Boston mendirikan program *Ph.D. Green Chemistry* pertama di bidang ini pada tahun 1997. Pada tahun yang sama, Dr. Joe Breen, seorang pensiunan anggota staf EPA selama 20 tahun, dan Dr. Dennis Hjeresen mendirikan Green Chemistry Institute (GCI) sebagai lembaga nirlaba independen yang didedikasikan untuk memajukan kimia hijau. GCI mendirikan Green Chemistry & Engineering Conference pada tahun 1997, yang terus diadakan setiap tahun. Paul Anastas dan John C. Warner menulis bersama buku inovatif, *Green Chemistry: Theory and Practice* pada tahun 1998. 12 Prinsip Kimia Hijau yang diuraikan dalam karya ini menyatakan sebuah filosofi yang memotivasi ilmuwan akademis dan industri pada saat itu dan terus memandu gerakan kimia hijau.



Gambar 4. Pembentukan kimia hijau yang sah

Pada tahun 2001, Green Chemistry Institute menjadi bagian dari American Chemical Society, perkumpulan ilmiah profesional dan organisasi keanggotaan terbesar bagi para ahli kimia di dunia. Penghargaan Nobel dalam bidang Kimia dimenangkan untuk penelitian di bidang kimia yang sebagian besar dianggap sebagai kimia hijau pada tahun 2001 (Knowles, Noyori, Sharpless) dan 2005 (Chauvin, Grubbs, Schrock). Nobel ini membantu memperkuat pentingnya penelitian dalam kimia hijau dan membantu menciptakan kesadaran yang lebih tinggi di antara para ilmuwan bahwa masa depan kimia harus lebih hijau.

Pada tahun 2005, ACS GCI membentuk meja bundar industri untuk industri Farmasi, untuk mengkatalisasi dan memungkinkan rekayasa dan hijau menjadi bisnis kimia. Sejak saat itu, dua meja bundar tambahan untuk manufaktur kimia dan meja bundar perumus telah didirikan. Kelompok, jurnal, dan konferensi kimia hijau diluncurkan di seluruh dunia, seperti:

1. Jaringan Negara-negara Mediterania untuk Kimia Hijau (MEGREC)
2. Jurnal Green Chemistry milik Royal Society of Chemistry (Inggris)
3. Jaringan Kimia Hijau dan Berkelanjutan di Jepang (ko-penyelenggara Konferensi AsiaOseania tentang Kimia Hijau dan Berkelanjutan)
4. Pusat Kimia Hijau Universitas Monash di Australia

Tautan ke lebih banyak organisasi, sekolah, dan konferensi dapat ditemukan di seluruh situs web ACS GCI saat ini. Kurikulum pendidikan dan penelitian tersedia di banyak sekolah, dari taman kanak-kanak hingga pascasarjana. Pada tahun 2005, ACS GCI membentuk meja bundar industri untuk industri Farmasi guna mengkatalisasi dan memungkinkan kimia dan rekayasa hijau menjadi bisnis kimia. Sejak saat itu, empat meja bundar tambahan untuk manufaktur kimia, perumus, rekahan hidrolik, dan teknologi biokimia telah dibentuk. Banyak perusahaan wirausaha yang sukses, yang produknya didasarkan pada penerapan kimia dan rekayasa hijau telah didirikan, menjual segala hal mulai dari lem 'hijau' hingga solusi pemrosesan air yang berkelanjutan.



Gambar 5. ACS GCI membentuk meja bundar industri

B. Definisi Kimia Hijau

Saat ini, kimia hijau dijadikan pendekatan global untuk mencapai keberlanjutan yang dikategorikan dalam tiga kategori seperti sosial, ekonomi, dan lingkungan. Kimia hijau (*green chemistry*) atau kerap disebut kimia berkelanjutan, merupakan cabang ilmu kimia yang memiliki fokus pada perancangan proses dan produk kimia yang lebih aman bagi manusia serta ramah lingkungan. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi atau menghilangkan penggunaan dan penciptaan bahan berbahaya dalam proses kimia. Kimia hijau sangatlah penting bagi dunia industri modern karena dapat mengurangi polusi dan limbah berbahaya bagi lingkungan sekitar.

Dengan menerapkan prinsip kimia hijau ini, para ilmuwan dan insinyur berusaha untuk menciptakan solusi yang lebih berkelanjutan, tidak hanya efisien secara ekonomi, namun juga aman untuk lingkungan dan kesehatan manusia. Contoh nyata dalam kehidupan seperti menggunakan enzim sebagai bahan pembersih kimia natural menggantikan bahan kimia keras yang terdapat di dalam sabun deterjen, lalu contoh lainnya adalah membuat plastik organik dari bahan alami juga seperti ketela sehingga dapat diuraikan.

Ada 12 prinsip kimia hijau yang dikembangkan secara resmi pada tahun 1998 oleh Prof. Paul Anastas dan Prof. John Warner terkait dengan penerapan bahan kimia, proses, serta produk menjadi lebih bersih sehingga ramah lingkungan. Sejak saat itu, banyak penelitian dan inovasi telah dilakukan untuk menerapkan prinsip kimia hijau dalam berbagai industri. Secara keseluruhan, kimia hijau menawarkan pendekatan yang lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan terhadap produksi penggunaan bahan kimia. Selain itu juga memberikan manfaat yang signifikan bagi lingkungan dan kesehatan makhluk hidup. Hal ini merupakan bidang pening untuk masa depan, terutama bagi generasi muda, termasuk siswa SMK yang menjadi pionir di bidang ini.

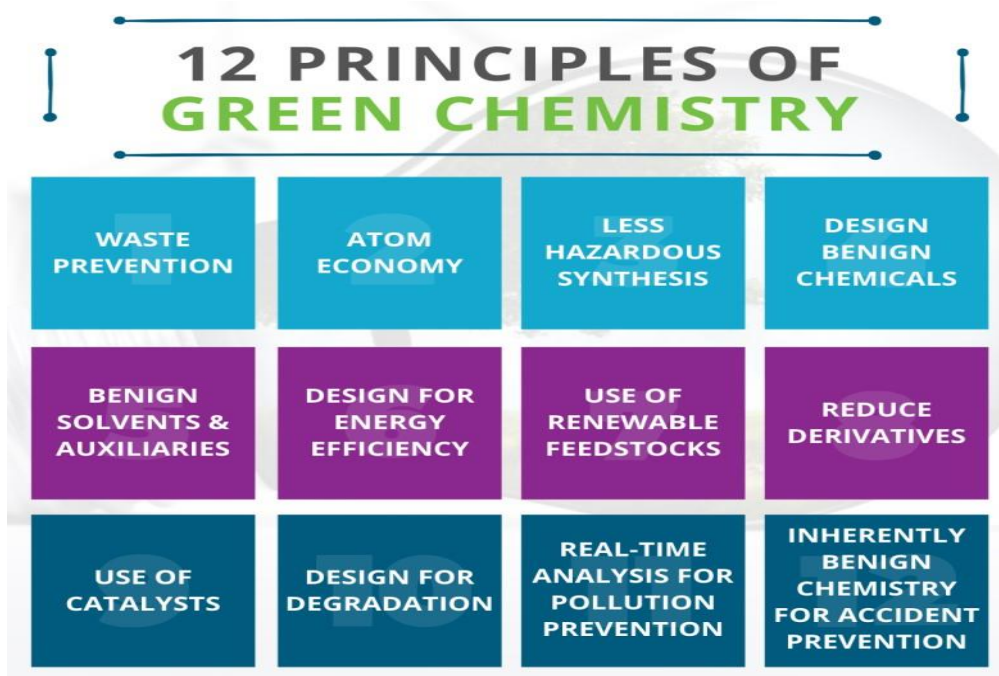
Kalau dijabarkan lebih detail pentingnya Kimia Hijau bagi lingkungan dan kesehatan ada lima, yang pertama yaitu mengurangi penggunaan bahan berbahaya dapat membantu mengurangi pencemaran air, tanah, dan udara. Hal ini sangat penting dalam menjaga ekosistem seimbang dan menghindari kerusakan lingkungan berkelanjutan. Yang kedua penggunaan bahan kimia lebih aman berdampak positif pada kesehatan manusia. Dengan meminimalkan paparan terhadap bahan beracun lalu dapat mengurangi resiko penyakit yang berikatan dengan bahan kimia, seperti gangguan hormonal maupun kanker. Selanjutnya mendorong penggunaan sumber daya terbarukan yang dapat membantu memastikan bahwa sumber daya kita cukup untuk generasi mendatang. Lalu dengan mengadopsi prinsip kimia hijau ini kita dapat mendorong inovasi dalam teknologi serta menciptakan peluang baru di pasar

dengan berfokus pada produk berkelanjutan, sehingga membuka jalan bagi perusahaan untuk bersaing secara global namun dalam industri ramah lingkungan. Dan yang terakhir, kita dapat membangun kesadaran untuk bertindak lebih baik bagi lingkungan yang juga mendorong kebijakan pemerintah lebih proaktif berinisiatif hijau.



Gambar 6. Prof. Paul Anastas dan Prof. John Warner

(sumber : <https://www.su.se/stockholm-university-center-for-circular-and-sustainable-systems/news/celebrating-25-years-of-green-chemistry-theory-and-practice-1.643345>)



Gambar 7.12 Prinsip Kimia Hijau

(sumber : <https://www.su.se/stockholm-university-center-for-circular->

Dari gambar 1.2 di atas dapat kita baca dari kiri atas ke kanan pada 12 prinsip – prinsip kimia hijau yang dikembangkan dan menjadi panduan ilmuwan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. **Pencegahan**, yaitu lebih baik mencegah limbah daripada membersihkannya.
2. **Ekonomi Atom**, metode yang harus memaksimalkan penggunaan semua bahan baku dalam produk akhir.
3. **Sintesis Kimia yang Lebih Aman**, membuat bahan yang tidak berbahaya dalam menghasilkan reaksi kimia.
4. **Merancang Bahan Kimia yang Lebih Aman**, produk kimia harus efektif tetapi meminimalisir toksisitas.
5. **Pelarut dan Bahan Pembantu yang Lebih Aman**, menghindari penggunaan pelarut dan agen pemisah yang berbahaya.
6. **Efisiensi Energi**, mengurangi konsumsi energi dengan menggunakan kondisi ambient.
7. **Penggunaan Bahan Baku Terbarukan**, prioritaskan biomassa daripada bahan bakar fosil.
8. **Mengurangi Derivatif**, hindari langkah sintesis yang tidak perlu untuk mengurangi limbah.
9. **Katalisis**, menggunakan reagen katalitik yang lebih efisien daripada reagen stoikiometri.
10. **Rancangan untuk Degradasi**, bahan kimia harus bisa terurai menjadi produk samping yang tidak berbahaya.
11. **Analisis Waktu Nyata untuk Pencegahan Polusi**, memantau atau mendeteksi proses sejak dini untuk mencegah produk samping berbahaya.
12. **Kimia yang Lebih Aman untuk Mencegah Kecelakaan**, memilih zat yang meminimalkan resiko kecelakaan seperti menghindari penggunaan bahan peledak.

C. Prinsip - Prinsip Kimia Hijau

1. Pengurangan Limbah dan Emisi

Dalam hal ini menekankan pentingnya meminimalkan jumlah limbah dan emisi yang dihasilkan selama berlangsungnya proses kimia. Salah satu cara untuk mencapainya adalah dengan mengadakan perencanaan proses kimia tersebut dengan lebih efisien sehingga menghasilkan produk yang lebih banyak

dengan bahan baku sedikit. Di dalam praktiknya dapat dilakukan dengan memilih reaksi yang lebih selektif, mengoptimalkan kondisi reaksi, serta menerapkan teknologi yang dapat mengolah kembali limbah menjadi produk yang bermanfaat. Dengan mengurangi limbah dan emisi ini maka dampak negative terhadap lingkungan dapat diminimalisir.

2. Desain untuk Degradasi

Fokus degradasi atau penguraian pada pengembangan bahan kimia yang dapat terurai secara natural setelah digunakan. Bahan-bahan ini dirancang sehingga dapat kembali ke lingkungan tanpa menyebabkan pencemaran. Misalnya, pengembangan plastik biodegradable yang dapat terurai menjadi komponen aman seperti air dan karbon dioksida setelah masa pakai mereka berakhir. Prinsip ini sangat penting untuk mengatasi masalah limbah plastik yang menjadi perhatian global saat ini.

3. Penggunaan Bahan Baku yang Berkelanjutan

Penggunaan bahan baku yang berkelanjutan berarti menggunakan sumber daya yang dapat diperbaharui dan tidak merusak lingkungan. Ini termasuk bahan-bahan yang diperoleh dari sumber alami, seperti tanaman dan limbah organik, yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk proses kimia. Dengan menggunakan bahan yang berkelanjutan, kita tidak hanya mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil, tetapi juga mendukung praktik pertanian yang ramah lingkungan dan menjaga keanekaragaman hayati.

4. Energi dan Sumber Daya yang Efisien

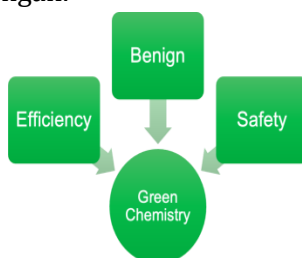
Prinsip ini menekankan pentingnya efisiensi dalam penggunaan energi dan sumber daya dalam proses kimia. Proses yang memerlukan lebih sedikit energi dan sumber daya tidak hanya lebih ekonomis, tetapi juga lebih ramah lingkungan. Contohnya adalah penggunaan teknik pemanasan yang lebih efisien, seperti pemanasan mikrogelombang, yang memerlukan waktu dan energi lebih sedikit dibandingkan metode tradisional. Mengurangi konsumsi energi dan sumber daya membantu menurunkan jejak karbon dalam industri.

5. Meminimalisir Penggunaan Bahan Berbahaya

Prinsip ini mendorong penghindaran bahan kimia berbahaya dalam proses kimia. Hal ini dapat dilakukan dengan mencari pilihan yang lebih aman untuk bahan kimia berbahaya yang sering digunakan. Contoh sederhana adalah mengganti pelarut beracun dengan pelarut yang lebih ramah lingkungan. Menghindari bahan berbahaya tidak hanya melindungi kesehatan para pekerja dan konsumen, tetapi juga mengurangi risiko pencemaran lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh bahan kimia berbahaya.

Prinsip-prinsip kimia hijau ini merupakan dasar penting dalam pengembangan industri yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan

menerapkan prinsip-prinsip ini, kita dapat menciptakan proses dan produk kimia yang tidak hanya efisien tetapi juga aman untuk manusia dan lingkungan. Penerapan kemajuan dalam kimia hijau sangat penting untuk masa depan yang lebih bersih dan ramah lingkungan.



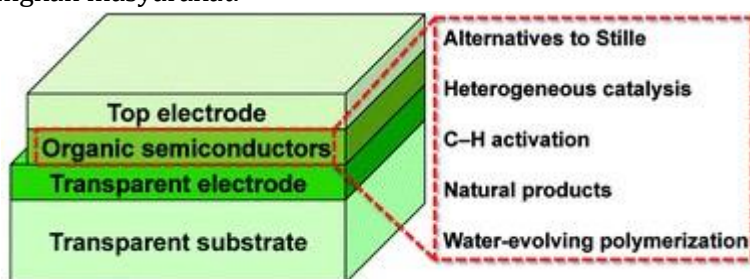
Gambar 8. Efisiensi, jinak, dan keamanan

D. Aplikasi Kimia Hijau di Berbagai Sektor

Agar lebih mudah dimengerti, maka aplikasi kimia hijau dalam berbagai sektor akan penulis digambarkan sedemikian rupa agar lebih mudah dipahami. Kimia hijau dalam ini dapat menyelamatkan bumi menggunakan solusi cerdas dalam berbagai sektor untuk menyelamatkan lingkungan.

1. Sektor Energi: Solar Cell dari Bahan Ramah Lingkungan

Di tengah kepulan asap pabrik, Pixi, seorang ilmuwan material, menemukan cara membuat panel surya berbahan perovskit yang lebih efisien dan ramah lingkungan daripada silikon konvensional. Dengan energi matahari, Hijau Raya perlahan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dengan penemuan Pixi tersebut kota itu dapat menghasilkan listrik tanpa menghasilkan efek lain seperti asap beracun yang tentunya sangat menguntungkan masyarakat.

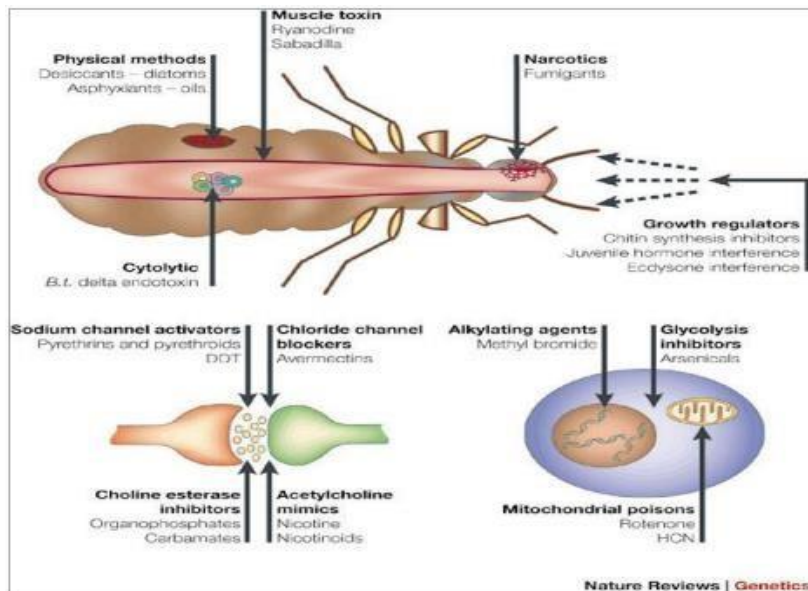


Gambar 9. Solar sel Dari Bahan Alami

2. Sektor Pertanian: Pupuk Organik & Pestisida Alami

Seorang petani bernama Museti terlihat frustrasi karena tanahnya tercemar pupuk kimia (terlalu sering menggunakan pupuk). Namun kemudian, Dr. Alexa memperkenalkan pupuk hayati yang berasal dari mikroba dan pestisida yang dihasilkan dari ekstrak nimba untuk digunakan oleh Pak Museti. Setelah 3 bulan menggunakan pupuk dan mengganti pembunuh hama dengan

pestisida itu hasilnya tanah tersebut kembali subur, tanaman bebas serangga dan racun. Serangga bermanfaat seperti lebah pun kembali hadir di kebun. Dengan menggunakan bahan kimia natural tentunya juga menghasilkan sayuran organik sehat bagi konsumen pula.



Gambar 10. Bentuk Kerja Dari Pestisida Natural

3. Sektor Industri: Cat Air Berbasis Air (Water-Based Paint)

Pabrik cat milik Pak Jack dahulu menghasilkan efek samping berupa limbah berbahaya yang dialirkan atau dibuang ke sungai. Semakin lama tentunya Pak Jack mengimprovisasi terus bahan baku yang ia gunakan untuk membuat cat tersebut. Setelah lima tahun melakukan penelitian yang didukung juga oleh program pemerintah Pak Jack akhirnya beralih memproduksi cat berbasis air. Karena berbasis air, maka cat ini rendah *Volatile Organic Compounds* (VOC). Sehingga menghasilkan manfaat lain juga yaitu udara di sekitar menjadi lebih bersih serta limbah yang dihasilkan dapat diolah kembali menjadi tidak berbahaya bagi lingkungan. Dengan begitu lingkungan sehat, pekerja aman, dan produk tetap laku di pasaran.



Gambar 11. Cat Air Berbasis Air Yang diberi Pigmen Warna Berbeda iv.
Sektor Kesehatan: Obat Hijau (Green Pharmacy)

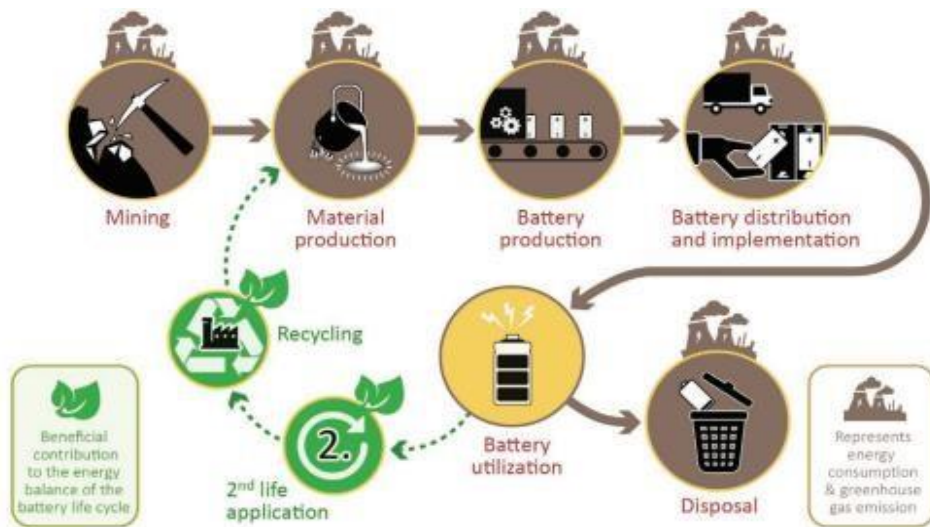
Dr. Maya, seorang farmasis, prihatin dengan limbah obat kimia yang mencemari saluran air. Beliau lalu mulai mengembangkan obat berbahan herbal seperti kunyit dan daun kelor yang mudah diuraikan oleh tubuh manusia. Dengan hal ini, Dr. Maya berhasil menghasilkan obat tanpa efek samping. Obat alami ini juga bukan hanya untuk manusia, tapi juga aman untuk bumi agar tetap hijau.



Gambar 12. Siklus Hidup Produk Kosmetik

4. Sektor Teknologi: Baterai Hijau dari Bahan Terbarukan

Ario, seorang peneliti muda, berhasil menciptakan baterai sodium-ion pengganti lithium yang langka dan beracun. Baterai ini bisa didaur ulang dan lebih aman untuk lingkungan. Dengan energi bersih yang datang dari bahan bersih ini, Ario berhasil menerapkan Kimia Hijau. Hal ini dapat dirasakan dengan udara di kota itu yang semakin bersih, aliran air jernih kembali, dan warganya hidup lebih sehat. Ario membuktikan bahwa kita bisa berinovasi tanpa merusak bumi. Dengan prinsip *Reduce*, *Reuse*, *Recycle*, dan *Renewable*, Kimia Hijau membuktikan bahwa sains dan alam bisa berjalan beriringan.



Gambar 13. Siklus Hidup baterai Litium

E. Teknologi dan Inovasi Kimia Hijau

1. Bioplastik dari Limbah Pertanian

Salah satu terobosan Kimia Hijau adalah bioplastik yang terbuat dari limbah pertanian seperti kulit singkong, jagung, atau rumput laut. Berbeda dengan plastik konvensional yang berasal dari minyak bumi dan tentunya sulit untuk diuraikan, bioplastik ini dapat terkompos secara alami. Perusahaan seperti Avani Eco di Indonesia bahkan sudah memproduksi kantong plastik dari pati singkong yang aman bagi lingkungan. Dengan teknologi ini digunakan oleh setiap perusahaan plastik, maka ke depannya masalah sampah plastik di laut bisa dikurangi secara signifikan.

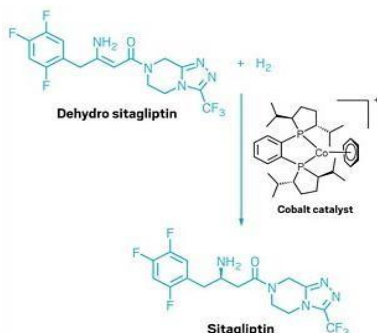


Gambar 14. Serat Flex dan Katun Linter Sebelum Diproses

2. Katalis Ramah Lingkungan untuk Industri

Industri kimia sering menggunakan katalis beracun yang menghasilkan limbah berbahaya. Namun, kini telah dikembangkan katalis hijau seperti enzim atau nanopartikel magnetik yang dapat dipakai berulang kali tanpa menghasilkan polutan. Contohnya, proses biodiesel yang menggunakan katalis

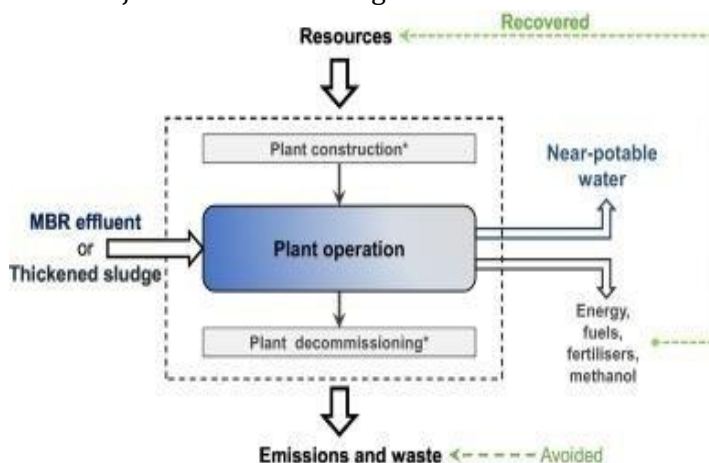
basa dari kulit kerang atau abu sekam padi, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya sekaligus memanfaatkan limbah organik.



Gambar 15. Contoh Katalis Kimia Hijau

3. Teknologi Daur Ulang Air dengan Nanofiltrasi

Di daerah yang kekurangan air bersih, teknologi nanofiltrasi menggunakan membran berbahan graphene oxide dapat menyaring air limbah industri menjadi air yang aman digunakan. Sistem ini lebih efisien daripada metode konvensional karena tidak memerlukan bahan kimia keras seperti klorin. Singapura, melalui proyek NEWater, telah memanfaatkan teknologi serupa untuk mengubah air limbah menjadi air minum, menunjukkan bahwa Kimia Hijau bisa menjadi solusi krisis air global.



Gambar 16. Nanofiltrasi Air Limbah

4. Bahan Bangunan Berbasis Karbondioksida

Perusahaan seperti *CarbonCure* mengembangkan inovasi beton yang menyuntikkan CO_2 hasil tangkapan ke dalam campuran semen. Ketika CO_2 bereaksi dengan mineral dalam beton, ia mengeras dan justru meningkatkan