

GREEN TECHNOLOGY, GREEN CHEMISTRY
MENUJU MITIGASI KERUSAKAN EKOSISTEM

Umar Anggara Jenie

Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPI)

Guru Besar Kimia Medisinal Fakultas Farmasi UGM

Seminar AIPI-HKI-Kimia ITB

“Ekologi, Restorasi dan Kimia Hijau”

Menyambut Tahun 2011 sebagai

The International Year of Chemistry

Kampus ITB, Bandung, 18 Maret 2011

Pidato

Presiden Soesilo Bambang Yudhoyono :

“Pada Abad XXI ini, Indonesia harus menjadi Bangsa Inovasi, sebagaimana Cina, India dan Brazil.

Salah satu teknologi yang harus dikembangkan adalah
Green Technology”

(Pidato SBY di depan para Ilmuwan Indonesia dan anggota AIPI/LIPI
Tg 20 Januari 2010)

ABAD XX : ABAD KIMIA

1. Desain dan Teknologi Sintesis Organik mencapai puncak pencapaiannya.
2. Desain dan Teknologi Sintesis Organik telah memacu lahirnya Revolusi Hijau I, yaitu revolusi di bidang **Teknologi Pangan/Pertanian (*Agriculture*)** dan revolusi di bidang **Teknologi Sintesa Obat (*Medicinal/Medical Technology*)**
3. Hasil-hasil Industri Kimia, a.l.:
 - **Pupuk-sintetik (*synthetic-fertilizers*)**: Urea, ZA, Fosfat, dll
 - **Obat-obat sintetik (*synthetic-medicines*)**: Parasetamol, Turunan Penisilina (amfisilina, amoksisilin), Turunan Statin (lipitor, simvastatin, crestor), Turunan Sartan (captopryl, angioten, micardis)

ABAD XX : ABAD KIMIA

3. Hasil-hasil Industri Kimia, a.l. (*lanjutan...*):
 - *Industrial Products: DDT, Karet Sintetik, Plastik, Chlorofluorocarbon based cooling agents, dll.*



Waste products yang tidak ramah terhadap lingkungan, non-biodegradable, bahkan cenderung merusak lingkungan: ecosystem & biosphere

SOLUSI : *BACK TO NATURE ?*

Back to Nature, menggunakan **bahan bahan baku alami** untuk keperluan yang berkaitan dengan produksi bahan pertanian/pangan, obat-obatan, atau keperluan industri lainnya. Produk ini diharapkan *biodegradable*.

Bahan Baku Alami ini diharapkan ramah terhadap lingkungan: ekosistem maupun biosfer; dan terhadap kesehatan manusia/ masyarakat.

Teknologi yang diharapkan mampu ‘ramah’ dengan lingkungan adalah:

- a. **Green Technology**
- b. **Green Chemistry**

GREEN TECHNOLOGY

Pengertian umum *Green Technology* adalah teknologi yang ramah terhadap lingkungan, dan juga kesehatan manusia atau masyarakat.

Secara lebih khusus, *Green technology* akan melibatkan beberapa terminologi, a.l.:

Bio-inspired technology, teknologi ter-inspirasi hayati

Bio-mimicry technology, teknologi ubahan hayati

Biomimetic technology, teknologi meniru hayati

Teknologi yang meniru alam (*nature*), utamanya alam hayati (*bio-nature*) inilah yang harus dikembangkan ke depan.

(Michael Freedman, NATURE IS THE MODEL FACTORY, **Newsweek**,
June 7, 2010,41-43)

GREEN TECHNOLOGY, GREEN CHEMISTRY & GREEN PHARMACEUTICALS

Examination of the Worldwide Patent Database between 1985-2005 shows the number appearances of the term “bioinspired”, “biomimicry”, and “biomimetics” jumped 93%, compared with a 2.7% increase in patents overall.

(Janine Benyus [Biomimicry Institute & Biomimicry Guild],
NATURE IS THE MODEL FACTORY, Newsweek, June 7, 2010, 41-43)

GREEN CHEMISTRY

Green chemistry is an approach to the design, manufacture and use of chemical products to intentionally reduce or eliminate chemical hazards

The goal of green chemistry is to create *better, safer chemicals while choosing the safest, most efficient ways to synthesize them and to reduce wastes*

(Anastas and Warner, 1998, *Green Chemistry, Theory and Practice*)

12 PRINSIP KIMIA HIJAU


(Anastas & Warner, 2000)

1. *Prevention instead of Remediation*
2. *Atom Efficiency*
3. *Less Hazardous Chemicals*
4. *Design Safer Chemical Products*
5. *Safer Solvents & Auxiliaries*
6. *Energy Efficiency by Design*
7. *Renewable Raw materials*
8. *Shorter Syntheses*
9. *Catalytic Methodologies*
10. *Design for Degradation*
11. *Analysis for Pollution Prevention*
12. *Inherently Safer Chemistry*



PRINSIP KIMIA HIJAU

Untuk Mitigasi Kerusakan Ekosistem

1. *ATOM EFFICIENCY*
 2. *SHORTER SYNTHESIS PATHWAY*
- 

Prinsip ke-2

ATOM EFFICIENCY

Metoda sintesis harus di-desain untuk memaksimum-kan masuknya (*incorporation*) seluruh material yang digunakan di dalam proses sintesis kedalam produk akhir (*target product*)

Prinsip ke-2

ATOM EFFICIENCY

Abad-XX : (Anastas & Warner, 2000)

- Evaluasi efektivitas dan efisiensi proses sintesis, hanya didasarkan pada “*yield*”.
- *Yield sangat mengabaikan* munculnya produk yang tidak diinginkan, yang sesungguhnya merupakan bagian intrinsik dari proses sintesis itu sendiri.
- Kalkulasi efisiensi *yield* hanya didasarkan pada **Konsep Mol**, yaitu *mole starting-materials vs mole product*
- Artinya: Jika *mole starting-materials* menghasilkan *mole target-product*, maka *yield*-nya adalah 100%, dan proses sintesis itu, dg kalkulasi macam ini, dikatakan efisien.

Prinsip ke-2

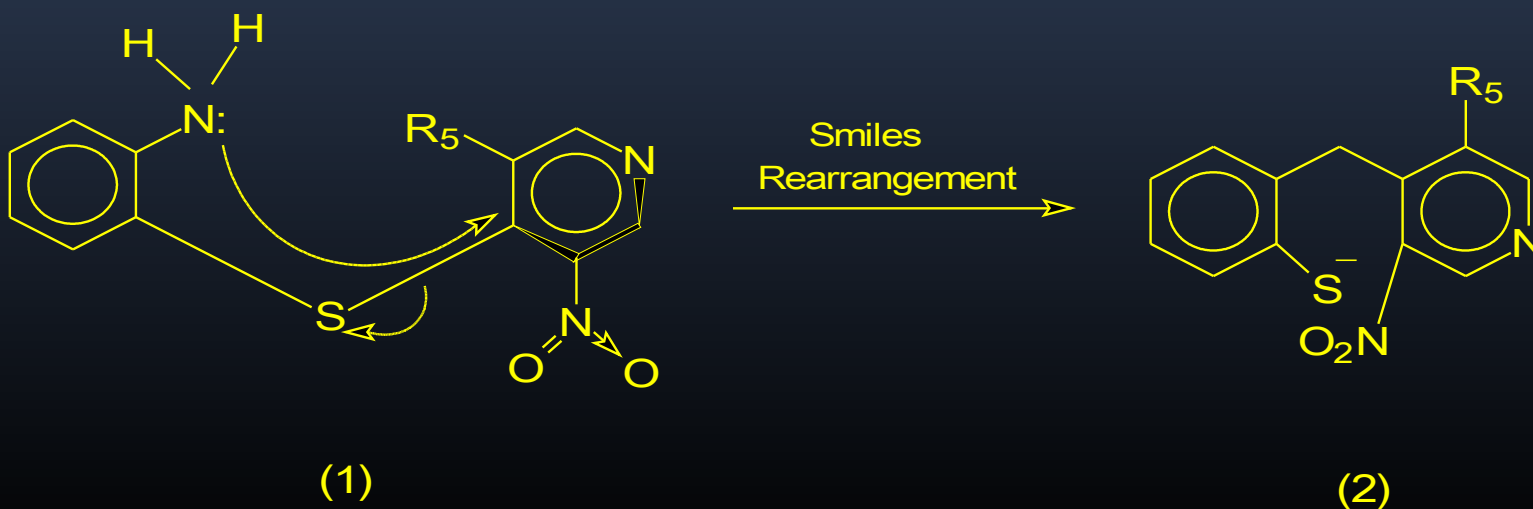
ATOM EFFICIENCY

- Kenyataannya dalam proses sintesis, dapat saja mencapai *yield* 100%, namun pada saat yang sama menghasilkan *waste* yang jauh lebih besar dalam massa maupun volume dibanding produk yang diinginkan.
- Anastas & Warner, Mengusulkan **Konsep Ekonomi Atom** atau **Efisiensi Atom**. Konsep tsb menjelaskan bahwa: **Jika semua reaktan masuk (*incorporated*) kedalam produk secara komplet, maka rute sintesis itu dikatakan 100% atom-ekonomis.**

Prinsip ke-2 ATOM EFFICIENCY

■ Reaksi Penataan Ulang (*Rearrangement*)

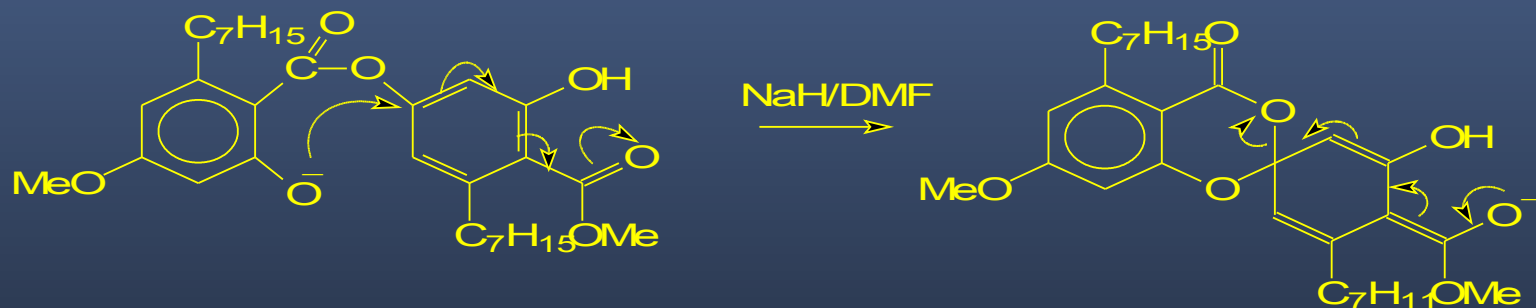
Reaksi penataan ulang *by-definition*, merupakan penataan kembali dari atom-atom atau gugus-gugus fungsional dalam menyusun arsitektur molekul. Oleh karenanya, ia merupakan reaksi yang **100% atom ekonomis**.



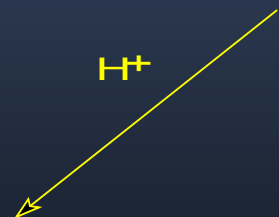
Prinsip ke-2 ATOM EFFICIENCY

CONVERSION OF METHYL PRASINATE INTO METHYL MICAREATE

Elix, JA and Lajide, L., *Aust. J. Chem.*, 1981, **34**,2005 and 1984, **37**,857;
Elix JA, Jones AJ, Lajide L, Coppins BJ and James PW, *Aust. J. Chem.*,
1984, **37**, 2349



p methyl prasinolate
(*m*-Depside derivative)

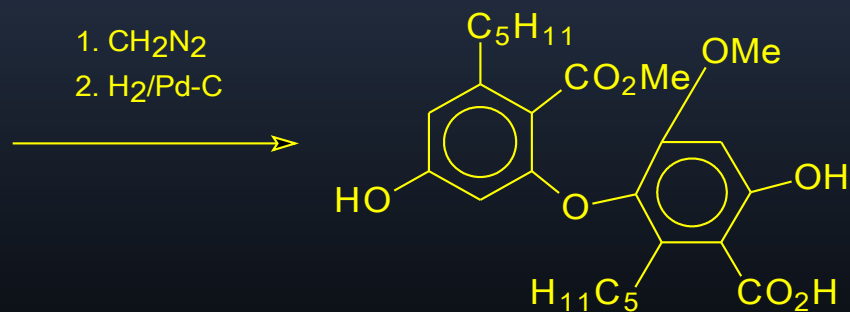
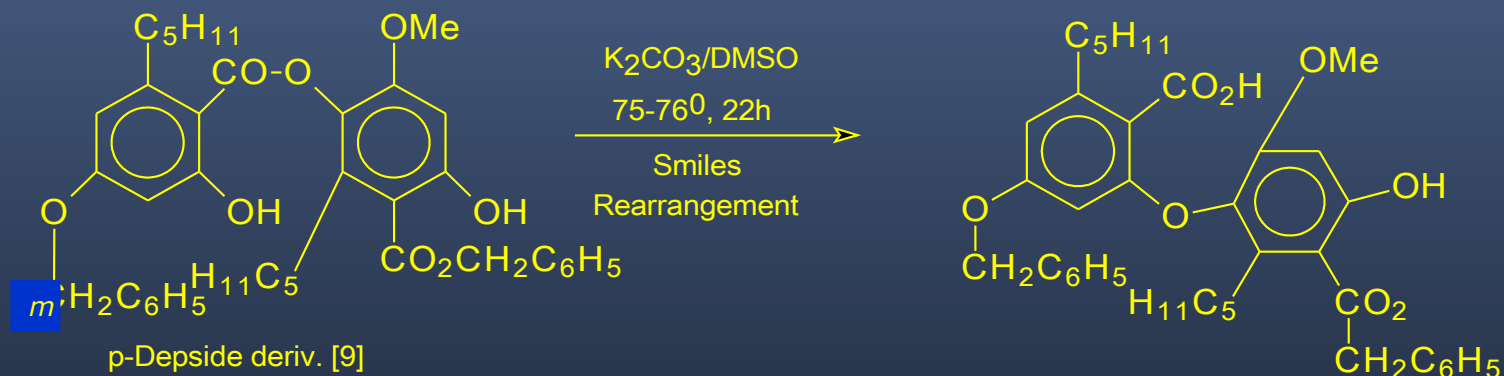


Methyl micareate
(diphenyl ether derivative)

Prinsip ke-2 ATOM EFFICIENCY

BIOMIMETIC-TYPE SYNTHESIS OF EPIPHORELLIC ACID-1

_Elix, JA. and Jenie, UA, *Aust. J. Chem.*, 1988, **42**,987-994

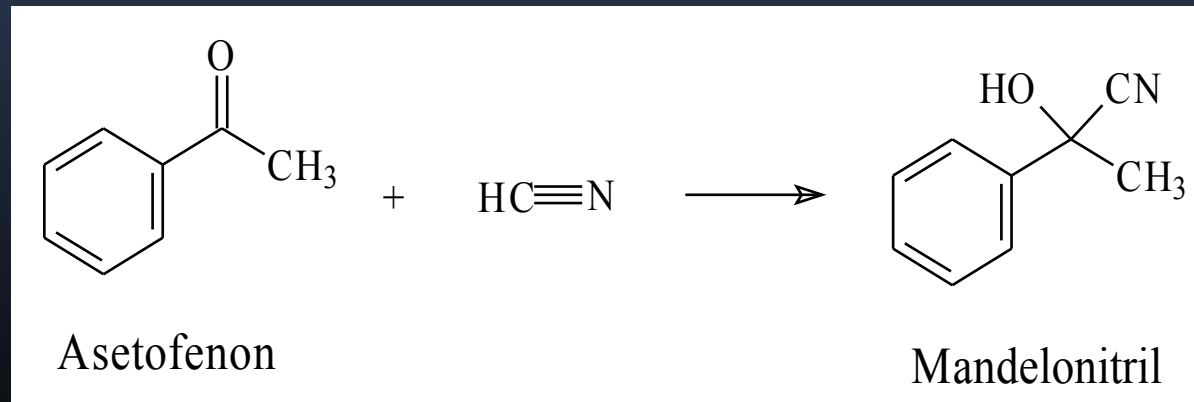


Prinsip ke-2

ATOM EFFICIENCY

- Reaksi Addisi (*Addition*)

Karena Reaksi Addisi, menambah elemen reaktan pada substrat secara inklusif total (misal: Reaksi Sikloaddisi, brominasi pada olefin) maka ia merupakan reaksi yang **100% atom ekonomis**.

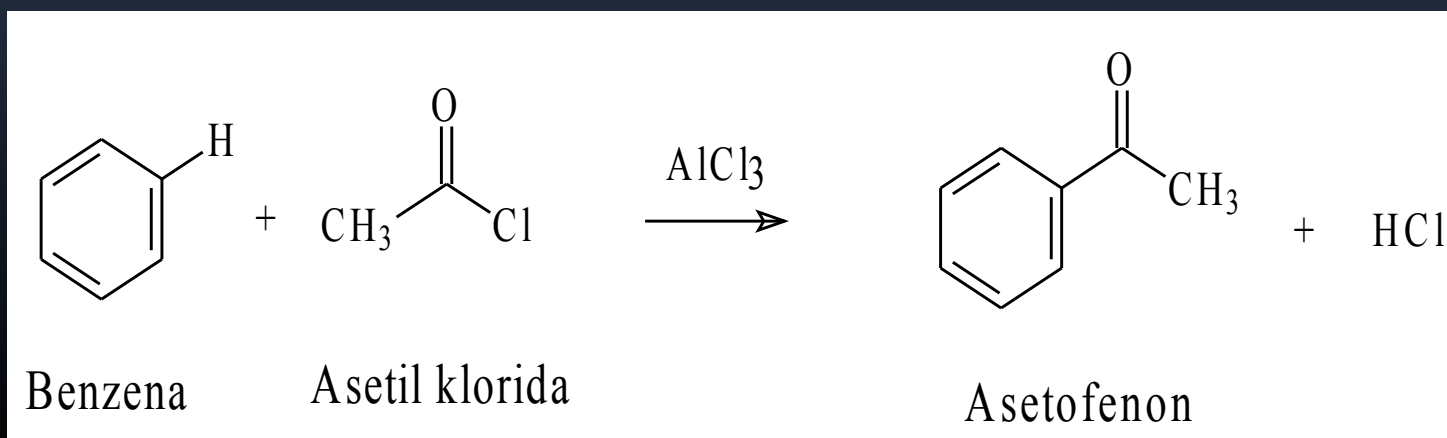


Prinsip ke-2

ATOM EFFICIENCY

- Reaksi Substitusi (*Substitution*)

Pada reaksi substitusi, gugus-substitusi menggantikan gugus-tinggal (*leaving group*). Gugus-tinggal ini tidak merupakan bagian dari produk-target, dan oleh karena itu akan **menurunkan nilai atom-ekonomis** dari proses transformasi pada sintesis. **Derajat ketidak atom-ekonomisnya** tergantung dari pereaksi dan substrat yang digunakan.



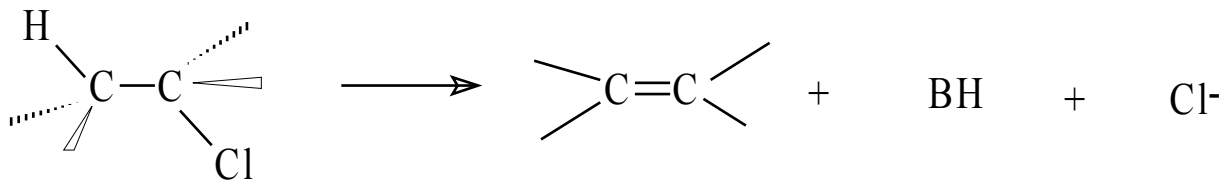
Prinsip ke-2

ATOM EFFICIENCY

- Reaksi Eliminasi (*Elimination*)

Reaksi Eliminasi mengubah substrat dengan cara mengurangi atom-atom penyusunnya untuk menghasilkan produk-target. Dengan demikian, setiap reaktan yang digunakan bukanlah merupakan bagian dari produk-target, sedang atom-atom yang tereliminasi akan lepas sebagai ‘waste’. Oleh karena itu, **reaksi eliminasi ini merupakan jenis reaksi yang paling kecil nilai atom-ekonomis-nya.**

B:

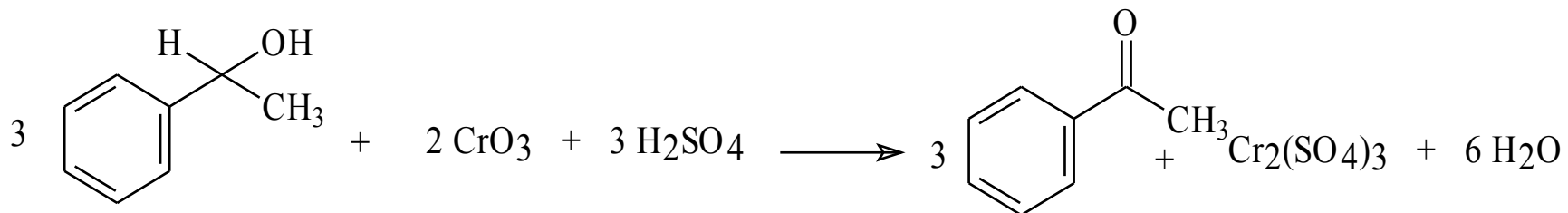


Alkil klorida

Alkena

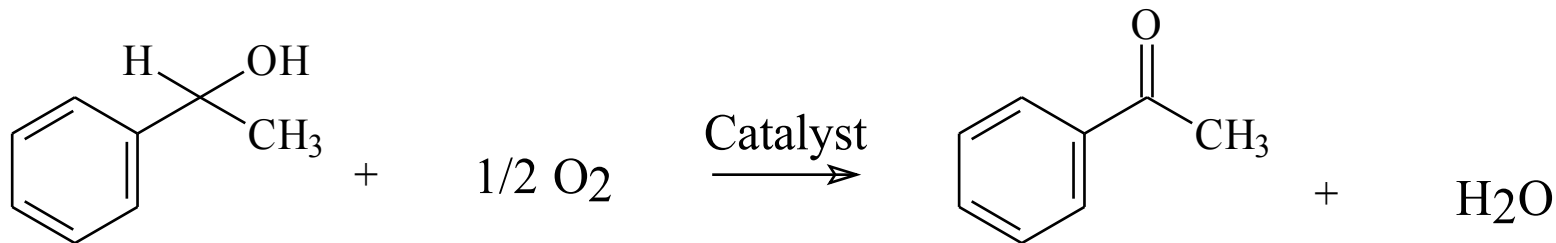
Atom Efficiency: Stoichiometric vs Catalyst

Stoichiometric: The Jones Reagent



$$\text{Atom Efficiency} = 360/860 = 42\%$$

Catalyst



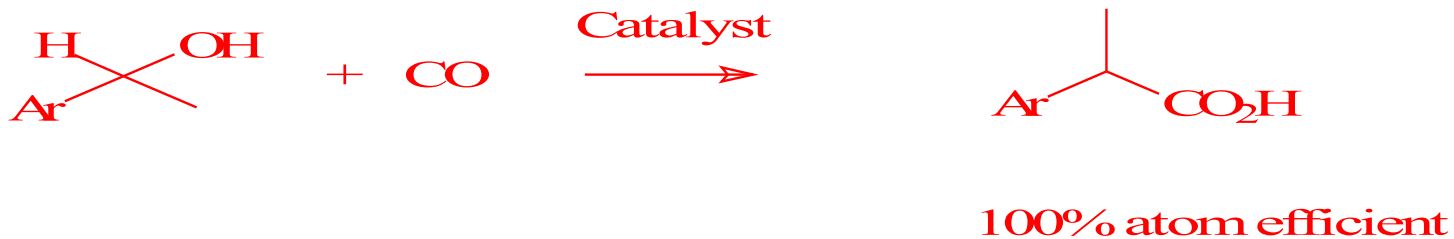
$$\text{Atom Efficiency} = 120/138 = 87\%$$

ATOM EFFICIENT PROCESSES

Hydrogenation



Carbonylation



Oxidation



Prinsip ke-8

SHORTER SYNTHESIS PATHWAY

Metoda sintesis harus di-desain untuk me-minimum-kan jumlah langkah-langkah reaksi, sehingga dapat mengurangi *waste* yang mungkin terbentuk. Metode Sintesis Biomimetika, telah banyak dikembangkan untuk tujuan ini

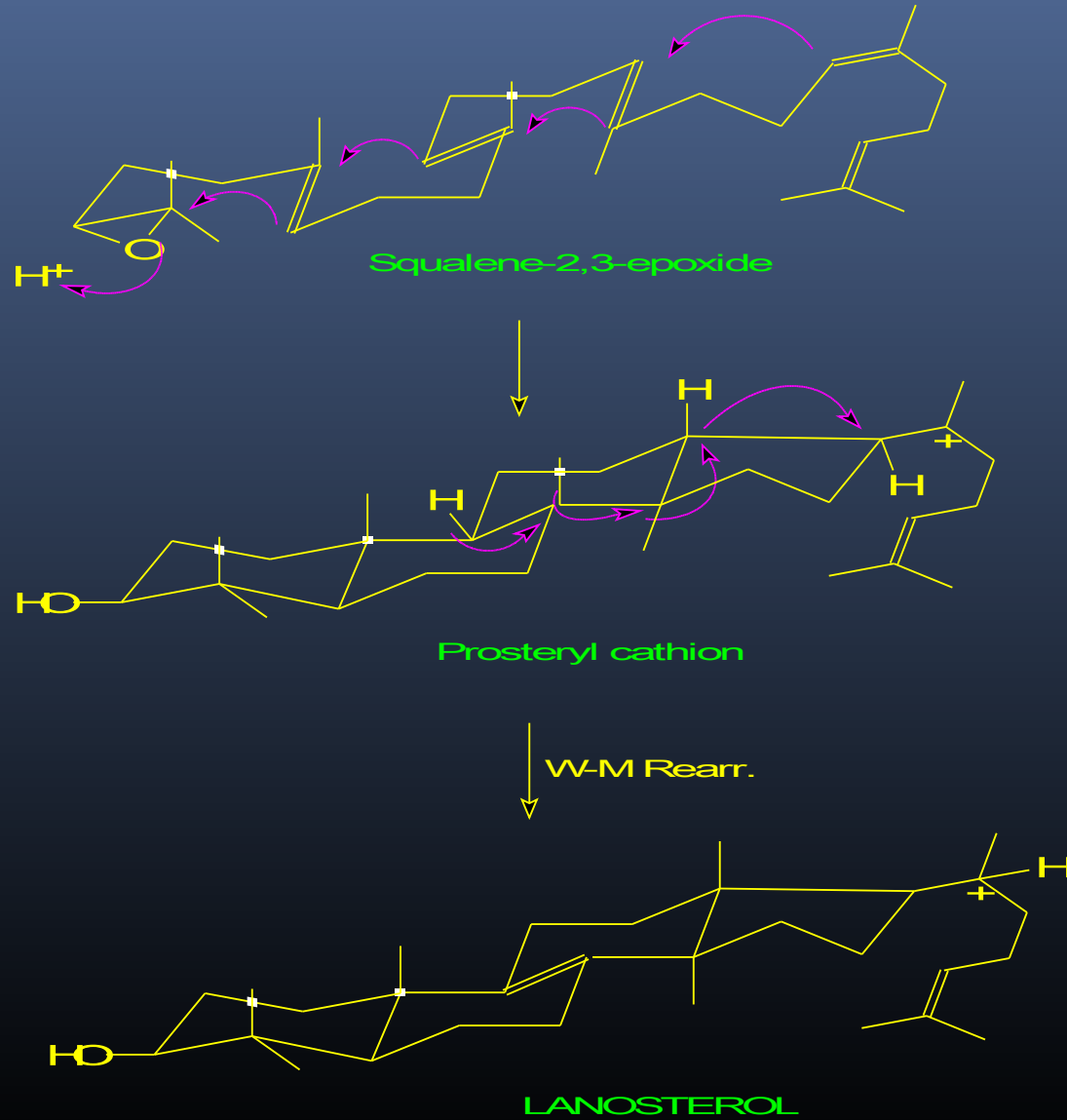
SHORTER SYNTHESIS PATHWAY

PROSES BIOMIMETIKA
berbasis pada Mekanisme Biosintesis

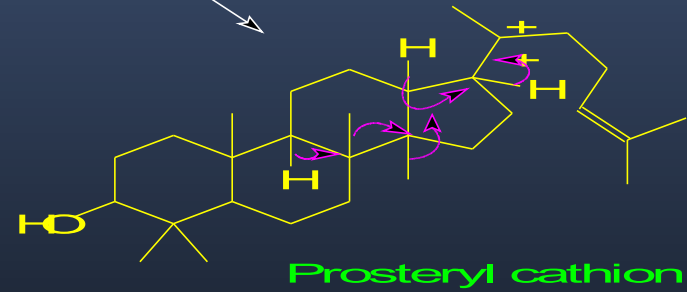
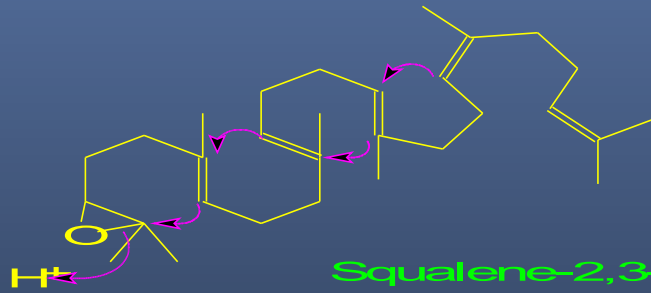
■ **BIOSINTESIS LANOSTEROL**

Biosintesis lanosterol berlangsung melalui Jalur Mevalonat (*Mevalonate Pathway*), dimana *intermediate squalene-2,3-epoxide* mengalami protonasi, diikuti oleh Wagner-Meerwein (WM) *rearrangement* untuk menghasilkan **lanosterol**.

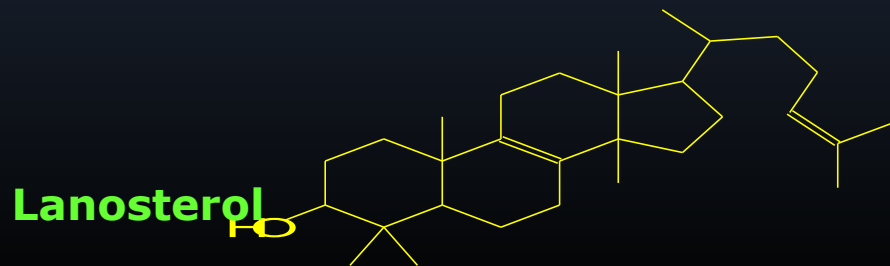
BIOSYNTHESIS LANOSTEROL



BIOSYNTHESIS LANOSTEROL



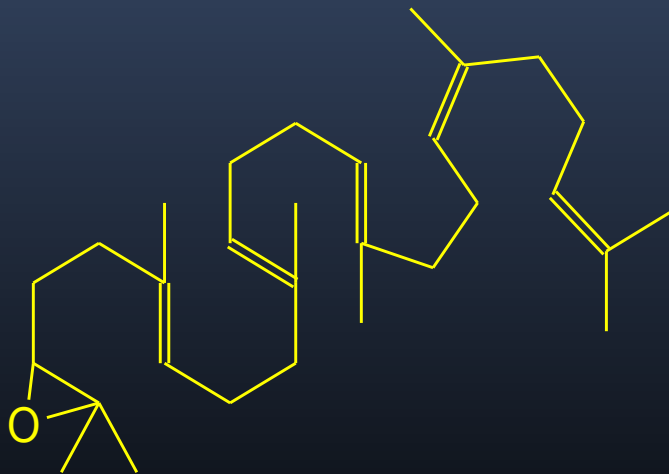
W-M Rearrangement



SHORTER SYNTHESIS PATHWAY

Johnson melakukan konstruksi kerangka karbon triene untuk me-mimik squalen alam: Squalen-2,3-epoksida

Natural Starting material for construction of Triterpene/Steroid



Squalene-2,3-epoxide

Johnson's starting material for construction of Steroid



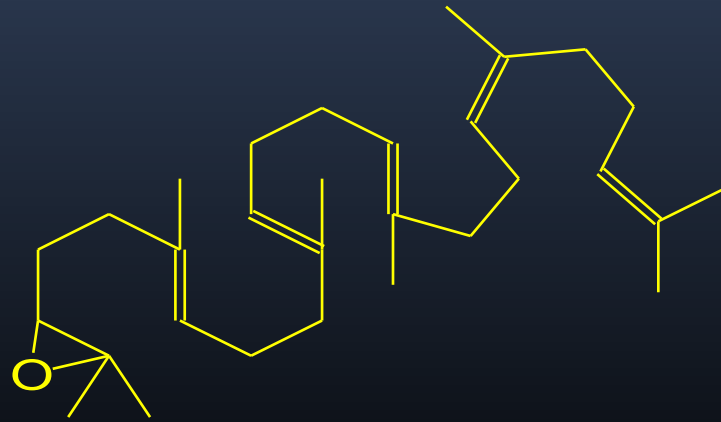
Triene derivative

Prinsip ke-8

SHORTER SYNTHESIS PATHWAY

Natural Starting material for construction of Triterpene/Steroid

Enzyme stabilizing squalene conformation, both in isoprene terminus and in the epoxide moiety

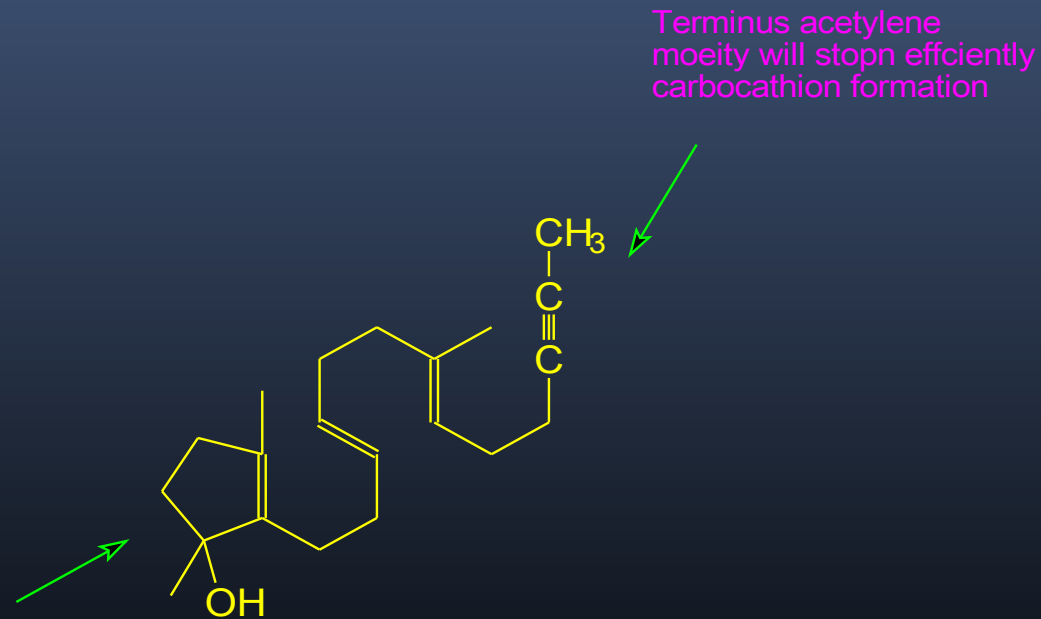


Squalene-2,3-epoxide

Prinsip ke-8

SHORTER SYNTHESIS PATHWAY

Johnson's starting material for construction of Steroid



The cyclopentanoid moiety used to stabilize the triene conformation

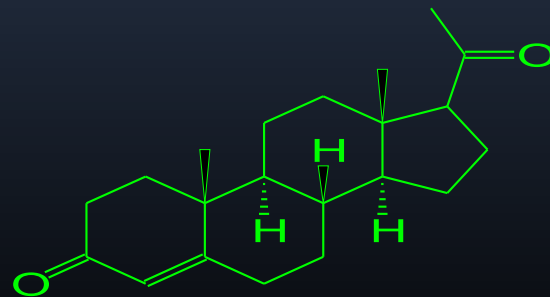
Triene derivative

Prinsip ke-8

SHORTER SYNTHESIS PATHWAY



- 1). MeOH , O_3 , -70°C
- 2). Aq. AcOH , Zn
- 3). Aq. KOH , 20hr



Progesteron

Johnson's Biomimetic
Synthesis of
Progesteron

SHORTER SYNTHESIS PATHWAY

Pengembangan Masa Depan

- Teknik Biomimetika dapat digunakan untuk sintesis suatu molekul biologik kompleks, seperti steroida, dengan langkah reaksi yang lebih pendek (*shorter step of reactions*) dibanding metode konvensional.
- Teknik Biomimetika dapat juga digunakan untuk mengatasi problem stereokimia yang sering dihadapi oleh metode sintesis konvensional.

PENUTUP

- Penerapan Prinsip-prinsip *Green Chemistry* perlu segera dilakukan oleh para ilmuwan kimia, baik bagi mereka yang bekerja di laboratorium penelitian, maupun mereka yang bekerja pada dunia industri.
- Penerapan *Green Chemistry*, berarti: Harus ada inovasi baru dalam pengembangan metode sintesis dengan mempertimbangkan *atom efficiency/ atom economics*.
- Inovasi dan Pengembangan *bio-inspired synthesis*, seperti *biomimetics synthesis* perlu untuk ditingkatkan, dalam rangka mencari *shorter reaction steps* pada proses sintesis.