

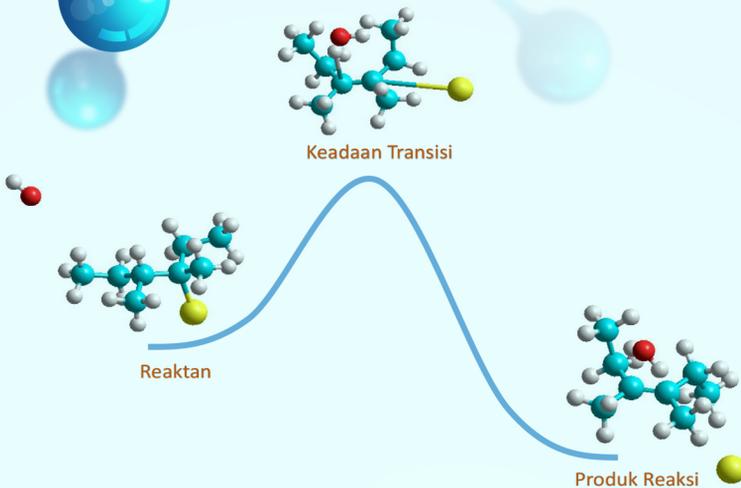
ISBN 978-602-285-263-6
e-ISBN 978-602-285-264-3



Kampus
Merdeka
INDONESIA JAYA

MODUL DIGITAL KIMIA ORGANIK FISIK

PROGRAM BANTUAN PENGEMBANGAN
INOVASI MODUL DIGITAL TAHUN 2020
DIREKTORAT BELMAWA
DIREKTORAT JENDRAL PENDIDIKAN TINGGI
KEMDIKBUD



Editor
Prof. Dr. Edy Cahyono, M.Si.
Jurusan Kimia FMIPA
Universitas Negeri Semarang

MODUL DIGITAL KIMIA ORGANIK FISIK

Prof. Dr. Edy Cahyono, M.Si. (Editor)
Dr. Nanik Wijayati, M.Si.
Samuel Budi Kusumawardhana, M.Sc., Ph.D
Dr. Sri Mursiti, M.Si.
Dante Alighiri, M.Sc.
Dr. Agung Tri Prasetya, M.Si.
Harjono, M.Si.
Drs. Kasmui, M.Si.

Penerbit:



Hak Cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang Penerbitan.
Hak Penerbitan pada UNNES PRESS.
Dicetak oleh UNNES Press. Jl. Kelud Raya No. 2 Semarang 50237
Telp./Tax. (024) 8415032.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari penerbit.

MODUL DIGITAL KIMIA ORGANIK FISIK

Prof. Dr. Edy Cahyono, M.Si (Editor)
Dr. Nanik Wijayati, M.Si.
Samuel Budi Kusumawardhana, M.Sc., Ph.D
Dr. Sri Mursiti, M.Si.
Dante Alighiri, M.Sc.
Dr. Agung Tri Prasetya, M.Si.
Harjono, M.Si.
Drs. Kasmui, M.Si.

Desain Cover & Layout:
Munta'alim Unnes Press

xii + 220 hal. 23,5 cm.

Cetakan Pertama, Desember 2020

ISBN 978-602-285-263-6
e-ISBN 978-602-285-264-3

Sanksi Pelanggaran Pasal 72 Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barangsiapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/ atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima Milyar).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual, kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/ atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,00 (limapuluh juta rupiah).

MODUL DIGITAL KIMIA ORGANIK FISIK

PROGRAM BANTUAN PENGEMBANGAN
INOVASI MODUL DIGITAL TAHUN 2020
DIREKTORAT BELMAWA
DIREKTORAT JENDRAL PENDIDIKAN TINGGI
KEMDIKBUD

Editor
Prof. Dr. Edy Cahyono, M.Si.
Jurusan Kimia FMIPA
Universitas Negeri Semarang

Penerbit:



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
PANDUAN PENGGUNAAN MODUL DIGITAL KIMIA ORGANIK FISIK	ix
PEMBELAJARAN BERBASIS PROYEK (PROJECT-BASED LEARNING) (SUATU PENGANTAR)....	1
MODUL 1 REAKSI SUBSTITUSI NUKLEOFILIK.....	21
MODUL 2 REAKSI ELIMINASI.....	73
MODUL 3 REAKSI RADIKAL BEBAS	91
MODUL 4 REAKSI ADISI	117
MODUL 5 REAKSI PERISIKLIK	145
OPTIMASI MOLEKUL/SPESI REAKSI UNTUK MENG GAMBAR DIAGRAM ENERGI REAKSI ORGANIK.	173
JAWABAN SOAL LATIHAN.....	177
GLOSARIUM	197

MODUL 2

REAKSI ELIMINASI

Capaian Pembelajaran

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK)

- 1) Menganalisis mekanisme reaksi organik berdasar konsep sifat-sifat intramolekuler, energetika, kinetika, katalisis dan stereokimianya
- 2) Terampil menggunakan program aplikasi kimia untuk menjelaskan mekanisme reaksi organik

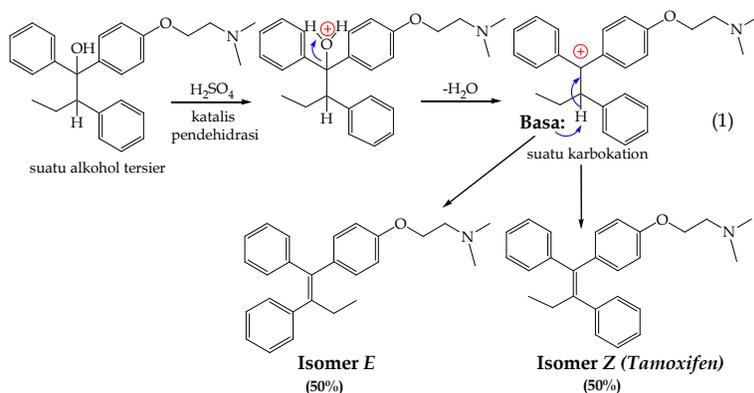
Menganalisis mekanisme reaksi organik berdasar konsep sifat-sifat intramolekuler, energetika, kinetika, katalisis dan stereokimianya.

Sub CPMK

- 1) Menerapkan konsep kinetika, termodinamika, dan stereokimia dalam menjelaskan mekanisme dan selektifitas reaksi eliminasi
- 2) Menganalisis struktur, pereaksi, dan kondisi reaksi untuk menentukan mekanisme reaksi eliminasi.

A. Pendahuluan

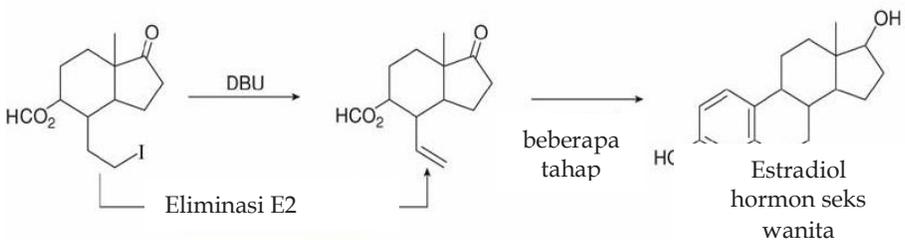
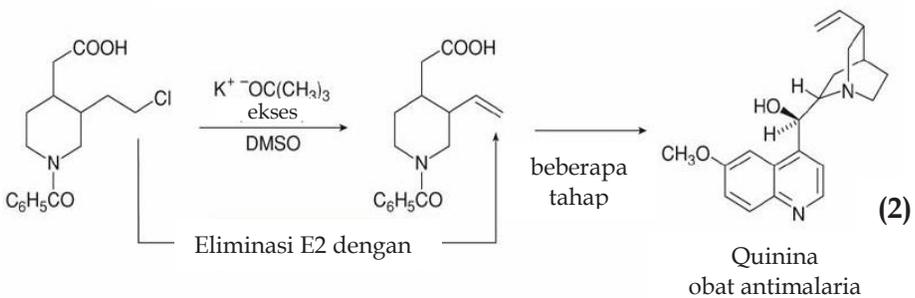
Reaksi eliminasi merupakan reaksi yang disertai pelepasan molekul sederhana dari suatu substrat.



Dalam industry kimia dan farmasi tahapan reaksi eliminasi sering dilakukan untuk menghasilkan suatu produk senyawa yang

diinginkan. Sebagai contoh dalam sintesis suatu anti estrogen. *Tamoxifen* adalah obat yang sangat terkenal yang memiliki fungsi sebagai antagonis anti-estrogen untuk mengobati kanker payudara dengan reseptor estrogen positif. Senyawa ini bekerja dengan mengikat reseptor estrogen pada sel kanker sehingga menghentikan pertumbuhan sel yang tidak terkendali yang dipicu oleh aktivitas estrogen. Salah satu tahap sintesis senyawa ini melalui mekanisme reaksi eliminasi E1. Setelah terbentuk karbokation, lepas atom H diikuti pembentukan ikatan rangkap dari pasangan elektron ikatan C-H. (<http://goodmolecules.blogspot.com/2013/10/elimination-reactions-in-pharmacy.html>).

Contoh lain adalah pembentukan quinin sebagai obat anti malaria dan pembentukan hormon seks perempuan estradiol. Keduanya melibatkan mekanisme reaksi eliminasi E2.



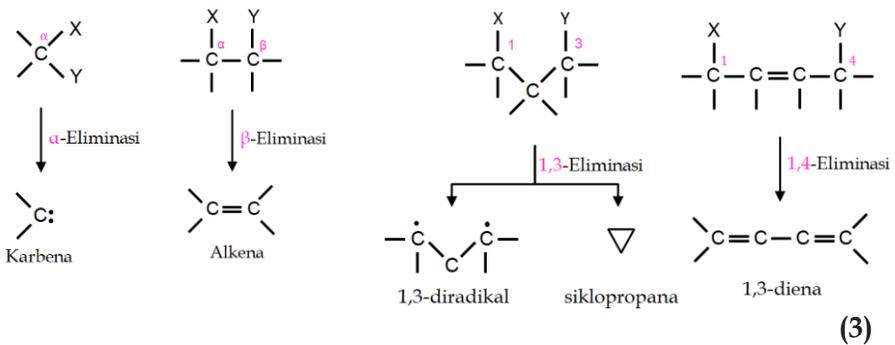
Jika kita perhatikan contoh contoh pembuatan tamoksifen, quinin, dan estradiol, manakah tahapan yang melibatkan reaksi eliminasi?

B. Pengertian Reaksi Eliminasi

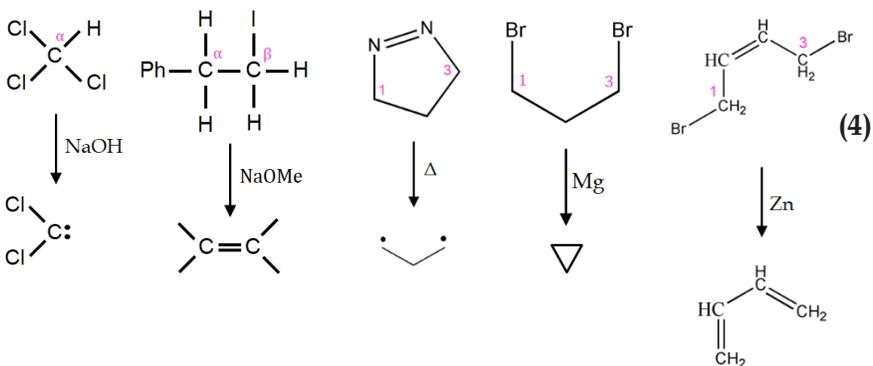
Reaksi eliminasi dapat terjadi melalui :

1. pelepasan atom/gugus X dan Y dari satu karbon α menghasilkan suatu karbena
2. pelepasan atom/gugus X dan Y dari karbon α dan karbon β menghasilkan alkena
3. pelepasan atom/gugus X dan Y dari karbon 1 dan karbon 3 menghasilkan dua radikal dalam satu molekul atau siklopropana
4. pelepasan atom/gugus X dan Y dari karbon 1 dan karbon 4 dari 2 alkena menghasilkan 1,3-alkadiena

ELIMINASI



Contoh Reaksi



Bergantung pada jarak antara atom atau gugus X dan Y yang dilepas dari substrat, reaksi eliminasi memiliki sebutan yang berbeda. Jika X dan Y adalah geminal, disebut eliminasi- α . Jika pelepasan X dan Y visinal disebut eliminasi- β . Jika X dan Y terpisah satu sama lain lainnya oleh atom n, disebut eliminasi-1, n, seperti eliminasi-1,3, eliminasi-1,4 dan seterusnya.

Eliminasi α dapat terjadi pada pembentukan diklorokarbena dari kloroform dan basa. Eliminasi-1,3 terjadi dalam pembuatan dipol-1,3 seperti diazoalkana atau α -diazoketon dan oksida nitril. Pada modul ini diskusi dibatasi pada eliminasi yang paling penting, yang merupakan pembentuk alkena, eliminasi- β . Perhatikan pula bahwa eliminasi- β di mana pada setidaknya satu dari gugus keluar dikeluarkan dari heteroatom yang dianggap oksidasi.

C. Reaksi Eliminasi Bimolekular (E2)

1. Mekanisme Reaksi E2

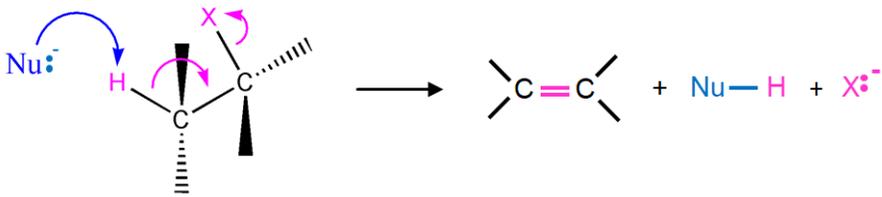
Pada bagian ini dibahas reaksi eliminasi- β beta pada alkil halida. Alkil halida terpolarisasi pada ikatan karbon-halida oleh efek induksi yang menyebabkan karbon menjadi kekurangan elektron, elektrofil. Pada sisi lain ikatan C β -H juga menjadi lebih polar yang menyebabkan H juga menjadi lebih mudah dilepaskan oleh pengaruh basa. Karena itu jika suatu alkil halida memiliki H pada posisi β diserang oleh pereaksi yang kaya electron (nukleofil) dapat terjadi serangan pada C α dan H β . Nukleofil mengganti halida pada ikatan C-X (sebagai basa Lewis), terjadilah reaksi substitusi. Jika nukleofil yang memiliki pasangan electron bebas sebagai basa Brønsted kuat dapat menarik H β , diikuti pelpasan halida menghasilkan produk eliminasi.

Substitusi

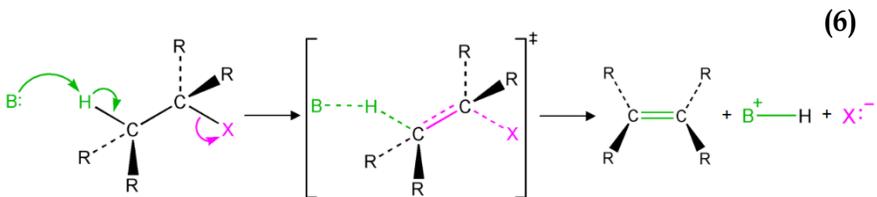


(5)

Eliminasi



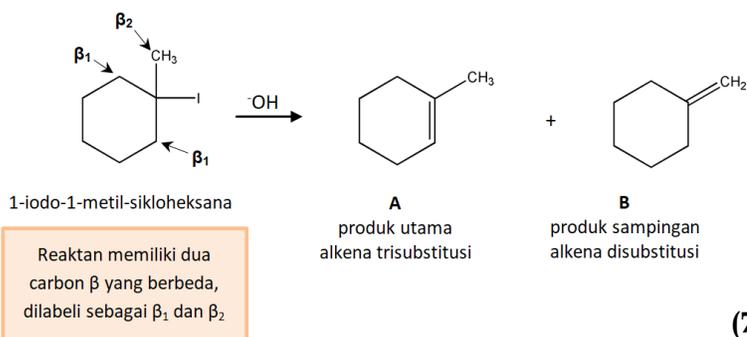
Proton terikat pada basa pada saat yang sama gugus pergi mulai putus. Keadaan transisi merupakan kombinasi pelepasan X dan transfer H pada basa. Produk alkena terbentuk secara stereospesifik.



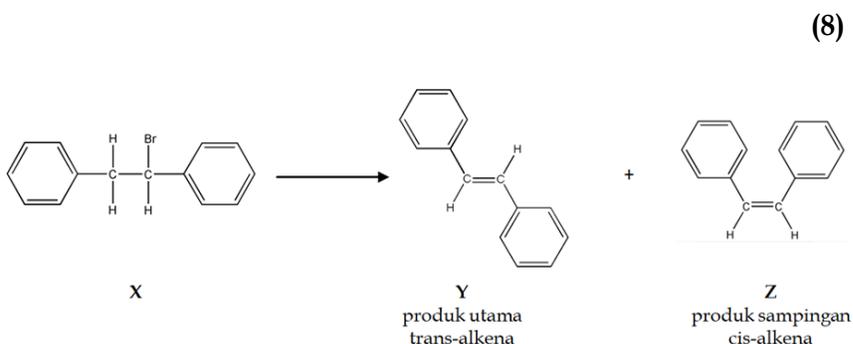
(6)

Aturan Zaitsev (Saytzeff)

Ketika suatu alkil halide memiliki dua karbon beta yang berbeda maka akan terbentuk lebih dari dua alkena. Produk utama yang terbentuk adalah alkena yang lebih tersubstitusi alkil pada ikatan rangkapnya. Fenomena ini disebut sebagai aturan Zaitsev.



Ketika campuran stereoisomer terbentuk dalam suatu reaksi dan hanya satu stereoisomer yang lebih dominan, maka reaksi demikian disebut **stereoselektif**. Reaksi E2 dapat pula bersifat stereosektif, jika 1-bromo-1,2-difeniletana mengalami eliminasi bimolekular, akan menghasilkan produk cis-alkena dan trans-alkena. Produk trans lebih disukai karena energi molekulnya yang lebih rendah.

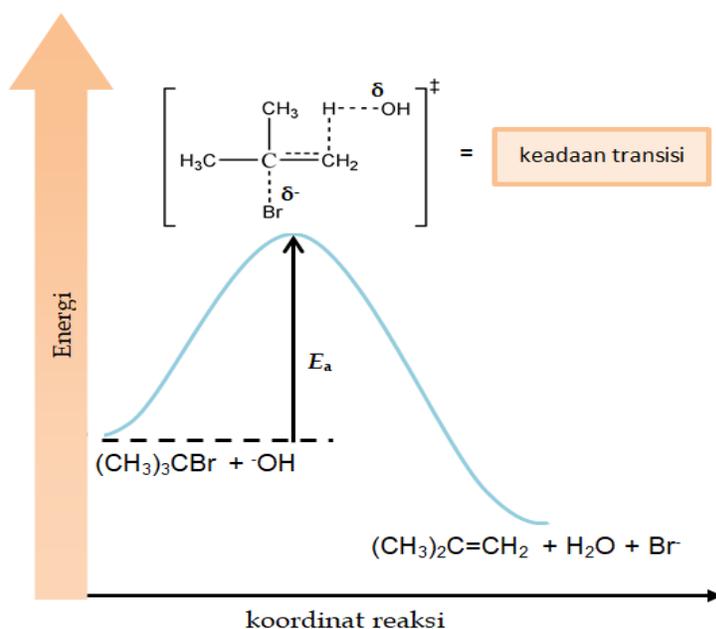


2. Kinetika dan Energetika E2

Reaksi eliminasi lebih banyak berlangsung dengan mekanisme E2 dengan kinetika reaksi berorde 2. Persamaan laju reaksi eliminasi bimolekular t-butyl bromida sebagai berikut:

$$\text{laju} = k[(\text{CH}_3)_3\text{CBr}][\text{OH}^-]$$

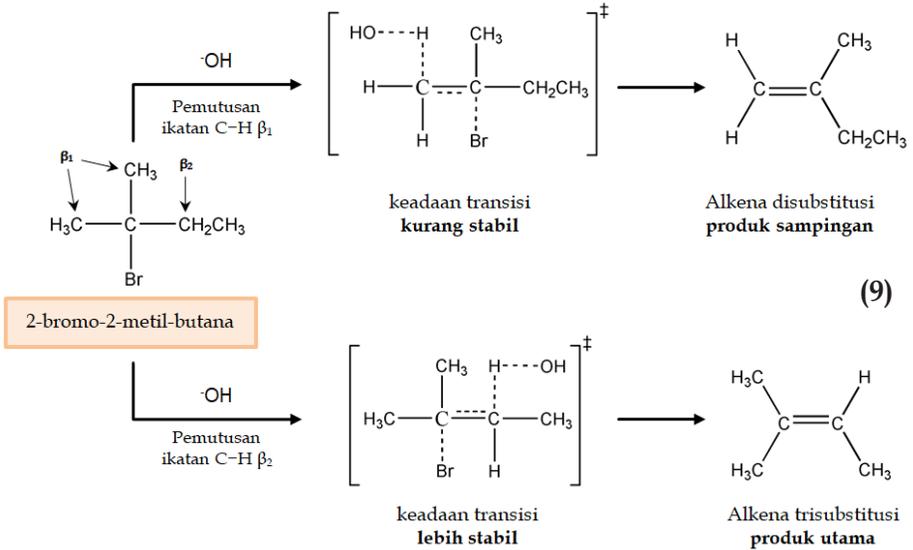
Reaksi berlangsung serempak dalam satu tahap, tahap penentu laju adalah pembentukan keadaan transisi dimana basa OH⁻ berinteraksi dengan H-β akan membentuk ikatan sigma dan akan terputusnya ikatan sigma C-H-β dan akan membentuk ikatan rangkap antara dua karbon, disertai dengan polarisasi ikatan C-Br yang siap putus jika energi tercukupi. Gambaran terbentuknya keadaan transisi dan perubahan energinya digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram energi reaksi eliminasi bimolekular

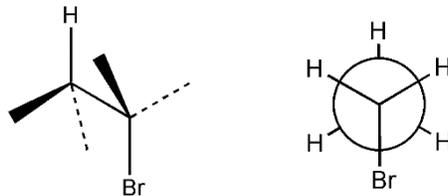
Penjelasan aturan Saytsev terkait regioselektifitas reaksi E2 dapat digambarkan melalui pembentukan dua struktur keadaan transisi yang berbeda. Stabilitas keadaan transisi cenderung dipengaruhi oleh stabilitas produk yang dihasilkan. Produk mayor adalah alkena lebih tersubstitusi, maka keadaaan transisinya juga

memeiliki energi aktivasi yang lebih rendah. Kondisi demikian disebut reaksi terkontrol termodinamika (kesetimbangan).

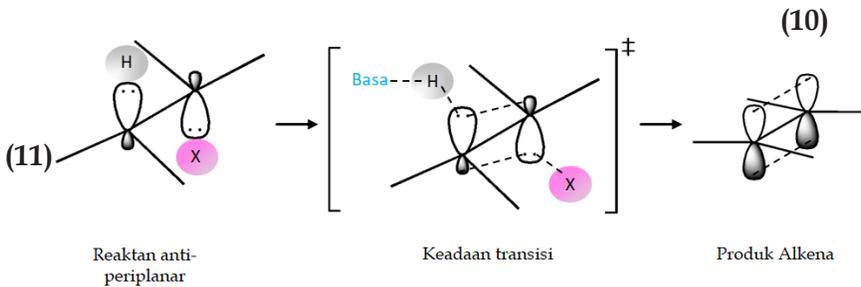


3. Stereokimia E2

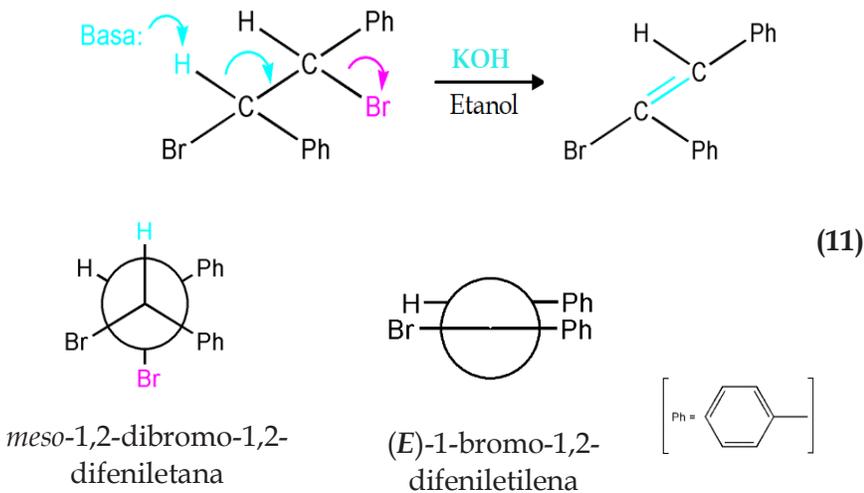
Reaksi E2 terjadi dengan mekanisme antiperiplanar yang berarti H- β yang berinteraksi dengan basa berada pada posisi yang berlawanan dari gugus pergi untuk meminimalkan interaksi steriknya. Proyeksi Newman dapat memperjelas keadaan ini.



Tumpang tindih untuk membentuk ikatan π pada keadaan transisi memerlukan geometri periplanar artinya ikatan C-H sejajar dengan C-Br. Pada saat H dan Br lepas terbentuklah ikatan rangkap.



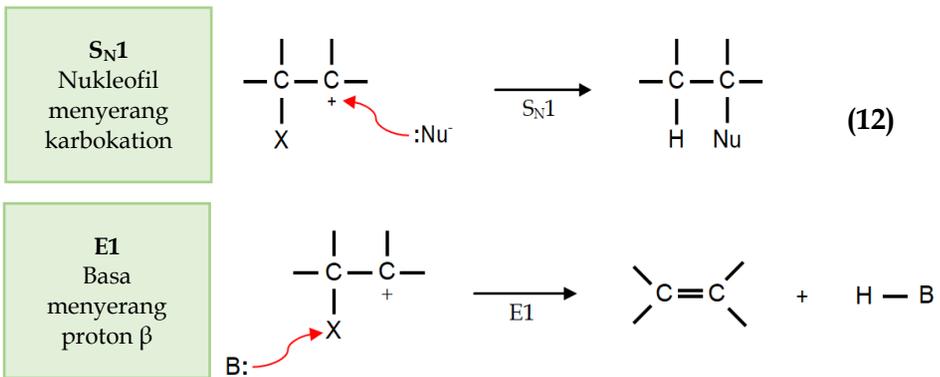
Reaksi E2 merupakan reaksi stereospesifik, dapat dibuktikan ketika senyawa meso-1,2-dibromo-1,2-difeniletana direaksikan dengan basa kuat akan menghasilkan produk cis 1,2-difenil etena. Tetapi jika (R,R) atau (S,S) 1,2-dibromo-1,2-difeniletana direaksikan dengan basakuat pula akan menghasilkan produk trans 1,2-difenil.



D. Reaksi Eliminasi Unimolekular (E1)

1. Mekanisme Reaksi E1

Reaksi eliminasi unimolekular terjadi mirip seperti mekanisme S_N1 . Diawali dengan pelepasan gugus pergi membentuk karbokation, perbedaannya pada tahap berikutnya basa mengambil H beta dan terbentuk ikatan rangkap, sedang pada substitusi pereaksi nukleofil menyerang pada karbokation untuk menghasilkan produk substitusi.



Dalam reaksi S_N1 , nukleofil menyerang karbokation, menghasilkan produk substitusi

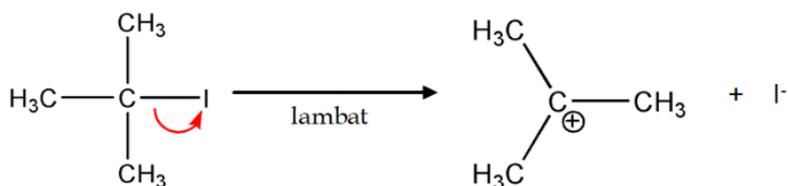
Dalam reaksi E1, basa melepas proton, membentuk ikatan π baru

Sebagai contoh reaksi eliminasi pada t-butyl iodide dalam air. Tahap pertama terjadi pelepasan gugus pergi I⁻ melalui keadaan transisi dengan energi yang tinggi, dimana ikatan C-I akan putus. Tahap ini merupakan tahap penentu laju. Setelah I⁻ dilepaskan terbentuk karbokation t-butyl sebagai suatu hasil antara.

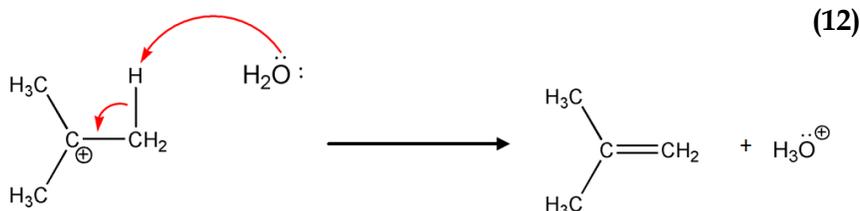
Tahap ke dua adalah pelepasan H beta, diikuti pembentukan ikatan rangkap. Keadaan transisi ke dua terjadi ketika ikatan C-H akan putus dan mendekatnya pasangan electron ikatan C-H tersebut ke C karbokation. Pembentukan ikatan rangkap pada tahap ke dua ini lebih mudah terjadi daripada pembentukan

karbokation, karena itu pembentukan keadaan transisi ke dua bukanlah tahap penentu lajunya.

Tahap [1] Putusnya ikatan C - I



Tahap [2] Ikatan C - H putus dan terbentuknya ikatan π

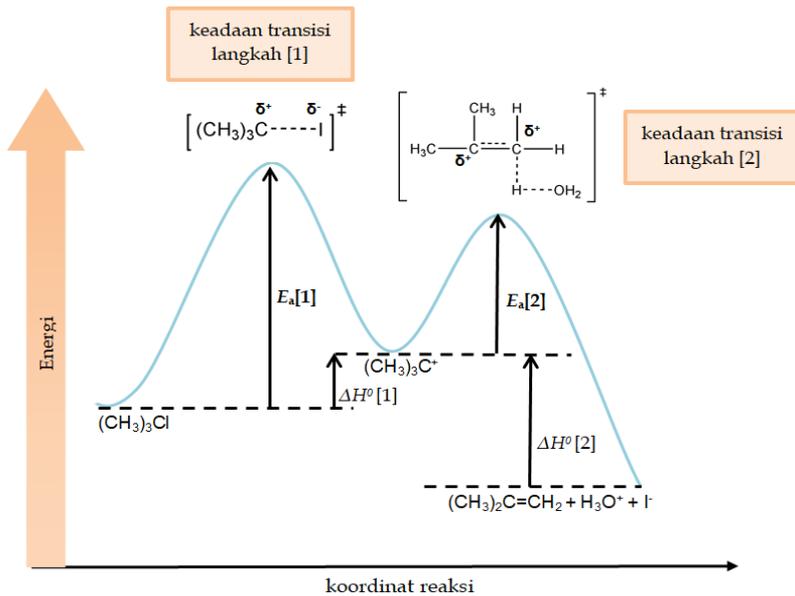


2. Kinetika dan energetika E1

Tahap penentu laju pada reaksi E1 adalah tahap pertama, yaitu tahap pembentukan karbokation. Karena tahap ini hanya melibatkan satu molekul substrat saja, maka mekanisme reaksinya disebut eliminasi unimolecular (E1), sehingga persamaan lajunya adalah sebagai Berikut.

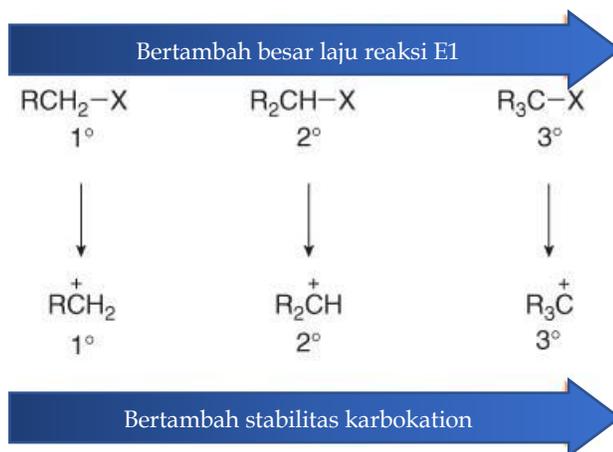
$$\text{Laju} = k [\text{t-butyl Iodida}]$$

Gambar 2 memperlihatkan diagram energi reaksi E1.

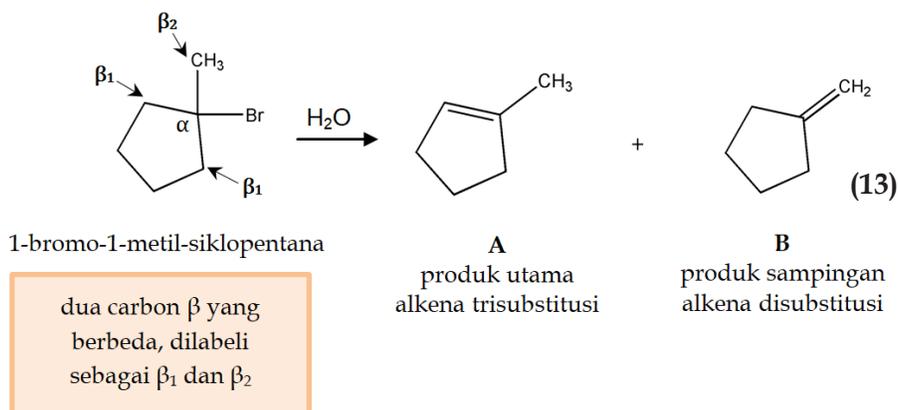


Gambar 2. Diagram Energi E1

Laju reaksi E1 meningkat oleh semakin banyaknya gugus alkil yang terikat, hal ini disebabkan semakin banyak gugus alkil akan memperbesar stabilitas karbokation yang terbentuk oleh faktor induksi maupun hiperkonjugasi.



Reaksi E1 juga bersifat regioselektif E1 reactions are regioselektif, alkena tersubstitusi juga terbentuk lebih dominan, karena itu reaksi E1 juga mengikuti aturan Zaitsev. Alkena yang lebih tersubstitusi, lebih stabil menjadi peroduk dominan.



3. Stereokimia E1

Reaksi E1 tidak sepenting E2 dalam sintesis, karena seringkali bersaing dengan mekanisme S_N1 dan E2. Stereokimia reaksi E1 lebih ditentukan pada bagaimana alkena terbentuk setelah pembentukan karbokation. Hidrogen beta dilepaskan setelah terbentuk karbokation, karena regioselektif maka alkena trans lebih berprioritas.

E. Rangkuman

Kekuatan basa menjadi faktor terpenting dalam menentukan mekanisme eliminasi. Basa yang kuat mendukung mekanisme E2, sedang basa lemah mendukung mekanisme E1. Reaksi E2 berlangsung serempak dengan bas kuat dengan laju reaksi berorder dua (bimolekular), reaksi berlangsung regioselektif dan stereoselektif.

Reaksi E1 berlangsung dalam dua tahap, tahap pertama adalah pembentukan.

Tabel 1. Ringkasan Karakteristik E2 dan E1.

Karakteristik	E2	E1
Kinetika	Order 2	Order 1
Mekaisme	Satu tahap, serempak	Dua tahap
Substrat	Semakin banyak gugus alkil laju meningkat	Semakin banyak gugus alkil laju meningkat
	$\text{CH}_3\text{X} < \text{RCH}_2\text{X} < \text{R}_2\text{CHX} < \text{R}_3\text{CX}$	
Basa	Kuat seperti OH^- dan OR^-	Lemah seperti H_2O dan ROH
Pelarut	Non polar lebih disukai	Polar lebih disukai

Referensi

Bruckner, R., 2010. *Organic Mechanisms Reactions, Stereochemistry and Synthesis*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Carey, F.A., 2004. *Organic Chemistry*, 4th ed, McGraw Hill, Boston.

Fessenden, Fessenden, 2010, *Kimia Organik 1*, Erlangga, Jakarta

<http://goodmolecules.blogspot.com/2013/10/elimination-reactions-in-pharmacy.html>

Smith, J.G., 2011, *Organic Chemistry*, Third Edition, Published by McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc., 1221

Sykes, P. 1985, *A Guide Book to Mechanism in Organic Chemistry*, Longman Scientific and Technical, New York.

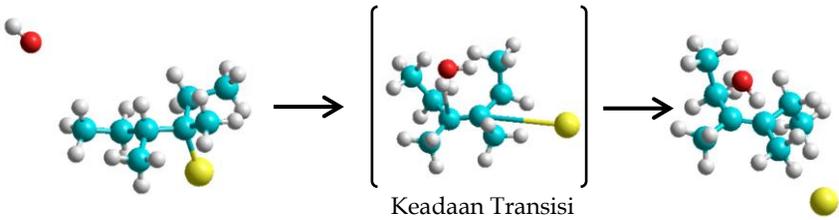
Tautan Video Pembelajaran

<https://www.youtube.com/watch?v=ILo2cMrF-Z0>

Penugasan Proyek

Lakukan dalam kelompok kerja.

1. Lengkapi nama pereaksi dan produk dari hasil optimasi reaktan, keadaan transisi, dan produk reaksi eliminasi berikut



(3...., 4....) 3-bromo-3,4-dimetil heksana 3,4-dimetil-3-heksena

Bagaimana energi hasil optimasi pereaksi, keadaan transisi dan produk jika basa OH⁻ mengeliminasi enantiomer berikut, apakah alkena yang terbentuk?

- (3R,4R) -3-bromo-3,4-dimetil heksana
 - (3S,4S) -3-bromo-3,4-dimetil heksana
 - (3S,4R) -3-bromo-3,4-dimetil heksana
 - (3R,4S) -3-bromo-3,4-dimetil heksana
2. Diskusikan dalam kelompok senyawa *fine chemical* yang disintesis dengan reaksi eliminasi
Tulis mekanisme reaksi, jelaskan pula kinetika, energetika, dan stereokimianya
Modelkan dengan aplikasi Jmol
Buat materi presentasi dalam video berdurasi 15 sd 20 menit.

Soal Latihan

Kerjakan soal latihan Berikut dengan jawaban yang jelas dan benar.

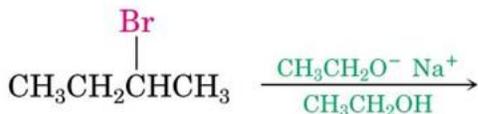
1. Jelaskan mekanisme reaksi eliminasi anti pada eliminasi 2-kloro-3-metil pentana dengan basa kuat -OCH_3 , produk eliminasi apa saja yang mungkin terbentuk? Manakah produk yang dominan? Jika basa diganti dengan $\text{-OC(CH}_3)_3$ apakah yang akan terjadi pada rasio produk yang dihasilkan ?
2. Jelaskan mekanisme reaksi dan tuliskan struktur keadaan transisi dan produk eliminasi (*1R, 2R*)-1-bromo-1,2-difenil propana dengan basa kuat OH^- .
3. Jika *cis* 1-bromo-2-metil sikloheksana dilakukan eliminasi dengan basa kuat, ada berapa atom hidrogen yang mungkin untuk dilepas, produk eliminasi manakah yang lebih dominan?
4. Eliminasi dalam metanol senyawa berikut, manakah yang memiliki laju paling besar? Jelaskan dan tuliskan persamaan lajunya.
 - a. Isopropil iodida
 - b. Isobutil iodida
 - c. *t*-butil iodida

Mekanisme apakah yang diikuti? Gambarkan mekanisme reaksi dari pereaksi yang memiliki laju terbesar, tuliskan persamaan laju dan gambarkan perkiaraan diagram energi umum yang menggambarkan spesi yang terlibat dalam reaksi. Tunukkan pula keadaan transisi dan hasil antaranya.

Tes Formatif

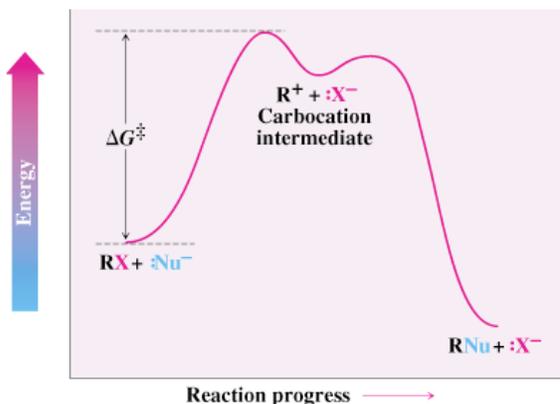
Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat

1. Produk eliminasi sesuai aturan Zeitsyef adalah...

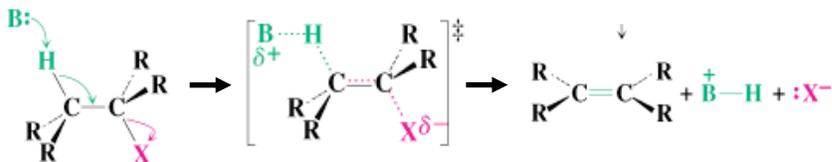


2-Bromobutane

- A. 2-butena
B. 1-butena
C. 2-etoksi butana
D. 2-butanol
2. Mekanisme yang paling mungkin dijalani reaksi *t*-butil bromide dengan NaOH adalah ...
A. S_N2
B. S_N1
C. E2
D. E1
3. Alkena berikut yang paling stabil adalah....
A. 2,3-dimetil-3-heptena
B. 2,2-dimetil-3-heptena
C. 2,3-dimetil-1-sikloheksena
D. 1,2-dimetil-1-sikloheksena
4. Diagram energi berikut sesuai untuk reaksi...

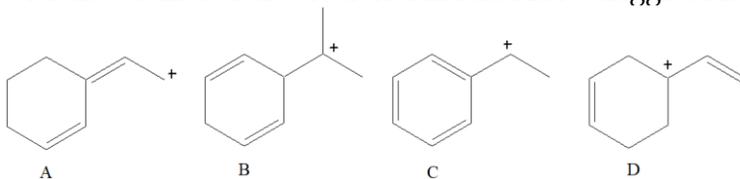


- A. Solvolisis 2-bromo-2-metil-pentana dalam air
 - B. Substitusi etil bromide dengan OH^-
 - C. Eliminasi 2-bromo-2-metil-pentana dengan OCH_3^-
 - D. Eliminasi 2-kloropropana dengan OCH_3^-
5. Berikut adalah mekanisme E2



Jika (1R,2R) 1,2-dibromo-1,2-difeniletana direaksikan basa kuat akan dihasilkan

- A. *Cis*-1-bromo-1,2-difeniletana
 - B. *Cis*-1,2-dibromo-2-feniletana
 - C. *Trans*-1-bromo-1,2-difeniletana
 - D. *Trans*-1,2-dibromo-2-feniletana
6. Faktor yang tidak menentukan mekanisme substitusi dan eliminasi alkil halida adalah
- A. Struktur RX
 - B. Nukleofilitas dan kebasaaan
 - C. Pelarut
 - D. pH
7. Reaksi E2 bersifat...
- A. Regiospesifik
 - B. Stereospesifik
 - C. Regiospesifik dan stereospesifik
 - D. Kemospesifik
8. Urutan stabilitas karbokation dari rendah ke tinggi adalah



- A. A, B, C, D
- B. B, D, A, C
- C. A, D, C, B
- D. D, B, A, C

9. Jika *cis*-1-bromo-2-metil sikloheksana dilakukan eliminasi dengan basa kuat, jumlah atom hidrogen yang mungkin untuk dilepas dan produk eliminasi yang lebih dominan adalah
- A. 2, produk 2-metil-1-sikloheksena
 - B. 2, produk 1-metil-1-sikloheksena
 - C. 3, produk 2-metil-1-sikloheksena
 - D. 3, produk 1-metil-1-sikloheksena
- 10 Tahap penentu laju mekanisme E1 dan S_N1 pada alkil halida
- A. serangan nukleofil/basa
 - B. pembentukan produk dari karbokation
 - C. pelepasan halogen
 - D. serangan nukleofil/basa bersamaan pelepasan halogen



Matakuliah kimia organik fisik membahas tentang mekanisme reaksi organik dengan pendekatan fisika, kinetika, termodinamika dan sifat-sifat intramolekular yang ikut menentukan jalan suatu reaksi. Modul ini menjadi salah satu bahan ajar yang membantu mahasiswa mempelajari konsep sifat-sifat intramolekular, energetika, kinetika, katalisis, dan stereokimia dalam kaitannya dengan mekanisme reaksi organik serta aplikasi konsep green chemistry dalam proses reaksi organik. Reaksi substitusi, radikal bebas, eliminasi, adisi, dibahas berdasarkan aspek mekanisme, stereokimia, kinetika, dan energetika reaksi. Keterampilan menggunakan aplikasi kimia untuk pemodelan mekanisme reaksi memperkuat kemampuan representasi.

Salah satu kendala yang dihadapi mahasiswa dalam mata kuliah kimia organik fisik adalah materi perkuliahan yang bersifat abstrak, utamanya terkait stereokimia dan mekanisme reaksi. Diperlukan kemampuan multi representasi dalam proses belajar mahasiswa. Untuk itu dirancang modul digital pembelajaran yang dapat menguatkan kemampuan representasi mahasiswa dalam pembelajaran berbasis proyek.

Modul digital dirancang untuk memenuhi kebutuhan sumber belajar mahasiswa agar mahasiswa dapat belajar mandiri dan berkolaborasi dalam menyelesaikan proyek yang dirancangnya. Modul ini juga dilengkapi dengan video pembelajaran, soal-soal tes formatif pilihan ganda dan pemodelan reaksi dengan aplikasi kimia.

**Edy Cahyono | Nanik Wijayati | Samuel Budi Kusumawardhana
Sri Mursiti | Dante Alighiri | Kasmui | Harjono**



Hak Cipta © pada Penulis dan dilindungi Undang-Undang Penerbitan.
Hak Penerbitan pada Unnes Press
Dicetak oleh Unnes Press
Jl. Kelud Raya No.2 Semarang 50232 Telp./Fax. (024)8415032

ISBN 978-602-285-263-6



9 786022 852636