

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kualitas udara yang dipergunakan untuk kehidupan tergantung dari lingkungannya. Udara mengandung sejumlah oksigen, yang merupakan komponen esensial bagi kehidupan, baik manusia maupun makhluk hidup lainnya. Udara merupakan campuran dari gas, yang terdiri atas sekitar 78 % nitrogen, 20 % oksigen, 0,93 % argon, 0,03 % karbon dioksida (CO_2) dan sisanya terdiri atas neon (Ne), helium (He), metana (CH_4) dan hidrogen (H_2) (Messayu, 2008).

Akibat aktivitas manusia, udara sering kali menurun kualitasnya. Perubahan kualitas ini dapat berupa perubahan sifat-sifat fisis maupun sifat-sifat kimiawi. Perubahan kimiawi dapat berupa pengurangan maupun penambahan salah satu komponen kimia yang terkandung dalam udara, yang lazim dikenal sebagai pencemaran udara. Jenis-jenis pencemaran udara dibedakan menurut ; bentuk (gas, partikel), tempat (ruangan, udara bebas), gangguan kesehatan (*iritansia*, *asfiksia*, *anestesia*, *toksis*) dan menurut asal (primer, sekunder). Pencemar udara berbentuk gas dapat dibedakan menjadi 4 golongan yaitu belerang (SO_2 , H_2S) dan *sulfat aeros*, nitrogen (N_2O , NO, NH_3 , NO_2), karbon (CO_2 , CO, hidrokarbon), gas berbahaya (benzena, vinyl klorida, uap air raksa) (Justiana, 2006).

Pencemaran gas golongan nitrogen bersumber dari berbagai jenis pembakaran, gas buang kendaraan bermotor, peledak serta pabrik pupuk. Efek pencemaran gas ini yaitu mengganggu sistem pernapasan, melemahkan sistem pernapasan paru dan saluran nafas sehingga paru mudah terserang infeksi (Justiana, 2006).

Penanggulangan pencemaran udara dapat dilakukan dengan cara mengurangi polutan dengan alat-alat, mengubah, melarutkan dan mendispersikan polutan. Penanggulangan N_2O , NO dan NO_2 dilakukan dengan absorpsi. Dalam proses adsorpsi dipergunakan bahan padat yang dapat menyerap polutan. Berbagai tipe adsorben yang dipergunakan antara lain karbon aktif dan silikat. Adsorben mempunyai daya kejenuhan sehingga selalu diperlukan pergantian, bersifat disposal (sekali pakai buang) atau dibersihkan kemudian dipakai kembali (Messayu, 2008).

Dalam kimia koordinasi, NO dan NO_2 dapat berperan sebagai ligan, sehingga dapat mengalami substitusi membentuk senyawa kompleks dengan beberapa logam transisi. Beberapa contoh kompleks dengan NO atau NO_2 sebagai ligannya yaitu kompleks $[Co(NH_3)_5NO]Br_2$, dan $[Fe(CN)_5NO]^{2-}$ (Cotton dan Wilkinson, 1989). Sehingga kimia koordinasi terapan dapat dimanfaatkan untuk mengatasi polutan ini.

Kimia koordinasi merupakan bagian ilmu kimia yang mempelajari senyawa-senyawa koordinasi atau kompleks. Senyawa kompleks merupakan senyawa yang mengandung ion logam yang dikelilingi oleh sejumlah ion atau molekul yang mampu menyumbangkan sepasang elektron atau lebih kepada kation logam sebagai atom pusat dan berikatan melalui ikatan kovalen koordinasi (Cotton dan

Wilkinson, 1989). Senyawa kompleks merupakan hasil dari interaksi antara asam dan basa lewis. Atom atau ion logam yang bertindak sebagai ion pusat memiliki orbital-orbital kosong bertindak sebagai asam, menerima pasangan elektron yang bertindak sebagai basa (Miller, 1984).

Beberapa ligan dapat dideretkan dalam suatu seri, sesuai dengan kekuatan medannya yang disebut *spectrochemical series*. Urutan ini tidak bergantung dari ion pusat dan bentuk geometrinya. Urutan tersebut adalah : $\text{CO} > \text{CN}^- > \text{NO}_2^- > \text{phen} > \text{dipy} > \text{en} > \text{NH}_3 \sim \text{py} > \text{NCS} > \text{H}_2\text{O} > \text{RCO}_2 > \text{OH}^- > \text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$ (Sukardjo, 1989).

Reaksi pergantian ligan dalam kompleks bujur sangkar dan oktahedral melibatkan aspek stereokimia terutama adanya efek trans. Secara sterik terdapat dua kemungkinan produk reaksi dengan orientasi *cis* dan *trans* sangat beragam terhadap ligan L. Suatu deret ligan telah disusun berdasarkan kemampuannya mensubstitusi dalam posisi trans terhadapnya. Fenomena tersebut dikenal dengan efek trans. Urutan pengaruh trans yang makin naik untuk reaksi substitusi pada pembentukan kompleks Pt (II) adalah : $\text{CO}, \text{CN}, \text{C}_2\text{H}_4 > \text{PR}_3, \text{NO} > \text{CH}_3^-, \text{SC}(\text{NH}_2)_2 > \text{C}_6\text{H}_5^-, \text{NO}_2^-, \text{I}^-, \text{SCN}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{NH}_3, \text{py}, \text{RNH}_2, \text{F}^- > \text{OH}^- > \text{H}_2\text{O}$ (Day dan Selbin, 1993).

Fenantrolin (phen) merupakan ligan bidentat dan sianida (CN^-) adalah ligan monodentat, kedua ligan yang akan berikatan dengan logam pusat Co (II) merupakan ligan yang kuat pada deret spektrokimia. Posisi kedua ligan yang berdekatan dalam deret spektrokimia menunjukkan bahwa kemampuan kedua

ligan untuk berikatan dengan logam pusat adalah hampir sama (Huheey et al., 1993).

Beberapa penelitian tentang kompleks kobalt (II) yang telah dikembangkan adalah sintesis kompleks kobalt (II) dengan menggunakan ligan fenantrolin yang mempelajari sifat-sifat kimia kompleks α -amin-rodanida dalam kompleks campuran Co(II) dan Mn(II) terhadap ligan fenantrolin dan dimetilfenantrolin dengan ligan rodanida (NCS) (Simamora, 1997). Sintesis kompleks campuran $[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2\text{EtOH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ untuk mempelajari struktur kristal serta stabilitas termal kompleks tersebut dengan menggunakan metode analisis termal (Fangfang, 2004). Sintesis kobalt (II) dengan fenantrolin dan sianida untuk mengetahui formulasi, sifat dan stabilitas termalnya (Dermawanti, 2004). Sintesis *cis*- $\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2$ (Defrianti, 2006), interaksi *cis*- $\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2$ dengan gas NO_2 (Mastuti, 2008).

Dalam penelitian terakhir yang dilakukan oleh Mastuti, diketahui bahwa telah terjadi interaksi antara kompleks *cis*- $\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2$ dengan gas NO_2 yang ditunjukkan dengan terjadinya perubahan warna dari kuning (sebelum interaksi) menjadi *orange* (sesudah interaksi). Dari data spektrofotometer inframerah terjadi serapan pada $1382,96\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan karakteristik ikatan M- NO_2 . Dari spektrofotometer *DTA-TG* diperoleh data pada rentang suhu $299,78\text{--}386,07^\circ\text{C}$ terjadi kehilangan berat sebesar 47,3125% yang setara dengan 2 molekul NO_2 dan C_2Co (Mastuti, 2008).

Kompleks kelat kobalt (II) bidentat lebih stabil terhadap oksidasi daripada kompleks kobalt (II) monodentat (Simamora, 1997). *Cis*- $\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2$

merupakan senyawa kompleks kobalt bidentat yang jika direaksikan dengan gas NO_2 dapat dengan mudah dilihat perubahan reaksinya melalui pengamatan terjadinya perubahan warna dan reaksinya dapat terjadi pada suhu ruang. Senyawa kompleks *Cis*- $\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2$ ini juga dapat berfungsi sebagai adsorben polutan NO_2 . Dalam penelitian ini dipelajari lebih lanjut interaksi antara senyawa kompleks *cis*- $\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2$ dengan gas NO_2 meliputi aspek kinetika reaksinya yaitu suhu, energi aktivasi, pH dan konsentrasi.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pengaruh pH laju interaksi senyawa kompleks *cis*- $[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ dengan gas NO_2 .
2. Mempelajari pengaruh temperatur terhadap laju interaksi senyawa kompleks *cis*- $[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ dengan gas NO_2 .
3. Menentukan energi aktivasi dari reaksi senyawa kompleks *cis*- $[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ dengan gas NO_2 .

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan pembuatan dan pemanfaatan senyawa kompleks untuk adsorpsi polutan NO_2 , sehingga dapat meminimalisir pencemaran udara oleh gas NO_x .

II. TINJAUAN PUSTAKA

Kimia koordinasi merupakan bagian ilmu kimia yang mempelajari senyawa-senyawa koordinasi atau kompleks. Senyawa kompleks merupakan senyawa yang mengandung ion logam yang dikelilingi oleh sejumlah ion atau molekul yang mampu menyumbangkan sepasang elektron atau lebih kepada kation logam sebagai atom pusat dan berikatan melalui ikatan kovalen koordinasi (Cotton dan Wilkinson, 1989).

Senyawa kompleks merupakan hasil dari interaksi antara asam dan basa lewis. Atom atau ion logam yang bertindak sebagai ion pusat memiliki orbital-orbital kosong bertindak sebagai asam, menerima pasangan elektron yang bertindak sebagai basa (Miller, 1984).

2.1 Logam Kobalt

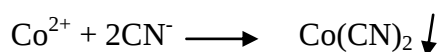
Kobalt adalah logam yang relatif kurang reaktif, mempunyai kilat biru keperakan, seperti baja, bersifat ferromagnetik, dipakai secara luas sebagai alloy dengan logam-logam nikel, besi, aluminium, dan lain-lain (Simamora, 1997). Mudah larut dalam asam-asam mineral encer membentuk ion Co^{2+} dan gas hidrogen, dalam asam nitrat membentuk ion Co^{2+} dan gas NO. Kobalt memiliki titik leleh 1495°C , titik didih 2870°C , nomor atom 27 dan berat molekul 58,933. Tingkat oksidasi (II) dan (III) adalah tingkat oksidasi yang paling stabil dari kobalt. Ion kobalt (III)

tidak stabil, tetapi kompleks-kompleksnya stabil. Kompleks kobalt (II) dapat dioksidasi dengan mudah menjadi kompleks kobalt (III). Kompleks aquo kobalt (III) lebih stabil daripada kompleks aquo kobalt (II) yaitu karena konfigurasi elektron spin rendah. Kompleks kobalt (II) dapat teroksidasi, sehingga untuk mengisolasi dihindari keadaan yang terlalu basa. Kobalt (II) membentuk kompleks yang lebih stabil dengan ligan-ligan yang letaknya tidak terlalu tinggi dalam deret spektrokimia. Kobalt (II) dapat membentuk kompleks dengan bilangan koordinasi 4, 5, dan 6 dengan konfigurasi stereokimia masing-masing tetrahedral, segi empat datar, trigonal bipiramidal, dan oktahedral. Kompleks kelat kobalt (II) bidentat lebih stabil terhadap oksidasi daripada kompleks kobalt (II) monodentat. Ligan-ligan bidentat misalnya etilendiamin, bipyridin dan fenantrolin (Simamora, 1997). Kristal biru (titik leleh 735°C dan titik didih 1049°C) memiliki struktur $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. CoCl_2 bersifat higroskopik dan menjadi merah muda bila mengabsorpsi air. CoCl_2 juga larut dalam etanol dan aseton. Heksahidratnya berwarna merah dan merupakan senyawa koordinasi dengan air merupakan ligan. Tingkat oksidasi dan stereokimia senyawa kobalt dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Tingkat oksidasi dan stereokomia senyawa kobalt

Biloks	Bilangan Koordinasi	Struktur Geometri	Contoh
Co^{-1}	4	Tetrahedral	$[\text{Co}(\text{CO})_4]^-$, $[\text{Co}(\text{CO})_3\text{NO}]^-$
Co^0	4	Tetrahedral	$\text{K}_4[\text{Co}(\text{CN})_4]$, $\text{Co}(\text{PMe}_3)_4$
Co^1	4	Tetrahedral	$\text{CoBr}(\text{PR}_3)_3$
	5	TBP	$[\text{Co}(\text{CO})_3(\text{PR}_3)_2]^+$
	5	SP	$[\text{Co}(\text{NCPh})_5]\text{ClO}_4$
	6	Oktahedral	$[\text{Co}(\text{bipy})_3]^+$
Co^{II}	2	Linier	$\text{Co}(\text{N}(\text{SiMe}_3)_2)_2$
	4	Tetrahedral	$[\text{CoCl}_4]^{2-}$
	5	TBP	$[\text{Co}(\text{Me}_6\text{tren})\text{Br}]^+$
	5	SP	$[\text{Co}(\text{CN})_5]^{3-}$
	6	Oktahedral	CoCl_2 , $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$
Co^{III}	8	Dodekahedral	$[\text{Ph}_4\text{As}]_2[\text{Co}(\text{NO}_3)_4]$
	4	Tetrahedral	Dalam 12-heteropolitungstate
	5	SP	$\text{Co}(\text{corrole})\text{PPh}_3$
Co^{IV}	6	Oktahedral	$[\text{Coen}_2\text{Cl}_2]^+$, CoF_3 , $[\text{CoF}_6]^{3-}$
	4	Tetrahedral	$\text{Co}(\text{1-norbornyl})_4$
	6	Oktahedral	$[\text{CoF}_6]^{2-}$
Co^{V}	4	Tetrahedral	K_3CoO_4

Reaksi pengompleksan ion kobalt dengan sianida dan nitrit.

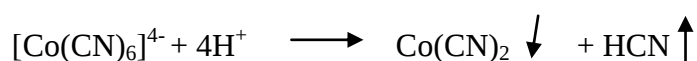


Endapan melarut dalam regensia berlebih, terbentuk larutan heksasianokobaltat

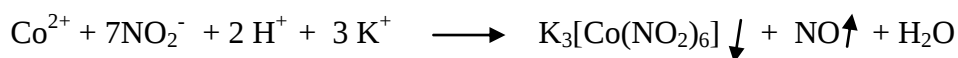
(II):



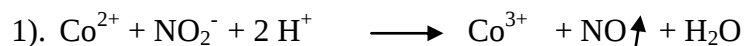
Dengan mengasamkan dalam keadaan dingin dengan asam klorida encer, endapan muncul kembali:



Jika dididihkan atau ditambahkan sedikit hidrogen peroksida akan membentuk kompleks heksasianokobaltat (III), $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$. Sedangkan reaksi kobalt dengan nitrit :



reaksi ini terbagi menjadi 2 tahap :



(Svehla, 1985)

2.2 Ligan

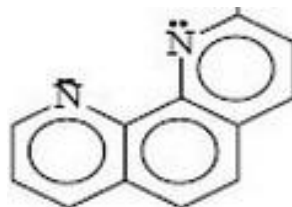
Sebagian besar ligan adalah zat netral atau anionik tetapi kation, seperti kation tropilium juga dikenal. Ligan netral, seperti amonia, NH_3 , atau karbon monoksida, CO , dalam keadaan bebas pun merupakan molekul yang stabil, sementara ligan anionik, seperti Cl^- atau C_5H_5^- , distabilkan hanya jika dikoordinasikan ke atom logam pusat. Ligan umum atau yang dengan rumus kimia rumit diungkapkan dengan singkatannya. Ligan dengan satu atom pengikat disebut ligan monodentat, dan yang memiliki lebih dari satu atom pengikat disebut ligan polidentat, yang juga disebut ligan khelat. Jumlah atom yang diikat pada atom pusat disebut dengan bilangan koordinasi (Cotton dan Wilkinson, 1989).

Beberapa ligan dapat dideretkan dalam suatu seri, sesuai dengan kekuatan medannya yang disebut *spectrochemical series*. Urutan ini tidak bergantung dari ion pusat dan bentuk geometrinya. Urutan tersebut adalah : $\text{CO} > \text{CN} > \text{NO}_2 > \text{phen} > \text{dipy} > \text{en} > \text{NH}_3 \sim \text{py} > \text{NCS} > \text{H}_2\text{O} > \text{RCO}_2 > \text{OH}^- > \text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$ (Sukardjo, 1992)

Reaksi penggantian ligan dalam kompleks bujur sangkar dan oktahedral melibatkan aspek stereokimia terutama adanya efek trans. Secara sterik terdapat dua kemungkinan dua produk reaksi dengan orientasi cis dan trans sangat beragam terhadap ligan L. Perbandingan relatif produk cis trans sangat beragam terhadap ligan L. Suatu deret ligan telah disusun berdasarkan kemampuannya mensubstitusi dalam posisi trans terhadapnya. Phenomena tersebut dikenal dengan efek trans. Urutan pengaruh trans yang makin naik untuk reaksi substitusi pada pembentukan kompleks Pt(II) adalah : $\text{CO}, \text{CN}, \text{C}_2\text{H}_4 > \text{PR}_3, \text{NO} > \text{CH}_3^-$, $\text{SC}(\text{NH}_2)_2 > \text{C}_6\text{H}_5^-, \text{NO}_2^-, \text{I}^-, \text{SCN}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{NH}_3, \text{py}, \text{RNH}_2, \text{F}^- > \text{OH}^- > \text{H}_2\text{O}$ (Day dan Selbin, 1993).

2.2.1 Fenantrolin

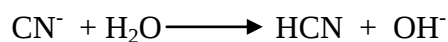
Fenantrolin merupakan ligan bidentat dan sianida adalah ligan monodentat, kedua ligan yang akan berikatan dengan logam pusat Co (II) merupakan ligan yang kuat pada deret spektrokimia. Posisi kedua ligan yang berdekatan dalam deret spektrokimia menunjukkan bahwa kemampuan kedua ligan untuk berikatan dengan logam pusat adalah hampir sama (Huheey et al., 1993).



Gambar 1. 1,10 - fenantrolin

2.2.2 Ligan Sianida dan NO₂

Sianida dari alkali dan alkali tanah yang larut dalam air, larutan ini bereaksi basa disebabkan oleh hidrolisis.



Banyak sianida logam melarut dalam larutan kalium sianida dengan menghasilkan garam-garam kompleks (Svehla, 1985).

NO_x merupakan kelompok gas yang terdapat di atmosfer, terdiri dari NO dan NO₂, dimana gas NO tidak berwarna sedangkan gas NO₂ berwarna coklat kemerahmerahan dan berbau tajam. NO dibentuk dalam banyak reaksi yang menyangkut reduksi asam nitrat dan larutan nitrat atau nitrit. Interaksi kuantitas stokimetrik NO dan NO₂ menghasilkan oksida N₂O₃ yang terdapat murni hanya pada suhu tinggi dan dengan mudah terdisosiasi (Sastrawijaya, 1991).

NO dan NO₂ merupakan bahan-bahan pencemar yang akhir-akhir ini menjadi masalah serius. Pencemaran polutan NO_x yang terbesar berasal dari buangan kendaraan bermotor (49%), pembangkit listrik (27%), industri (19%), dan sumber lain (5%). NO_x hasil buangan tersebut merupakan emisi dari hasil pembakaran bahan bakar yang di dalamnya terdapat unsur nitrogen (Sastrawijaya, 1991).

Ion nitrat, NO₃⁻, dan ion nitrit, NO₂⁻, membentuk berbagai macam koordinasi bila menjadi ligan dalam senyawa kompleks logam transisi. Asam nitrit, HNO₂, walaupun tidak dapat diisolasi sebagai senyawa murni, larutan asam nitrit dalam air adalah larutan asam lemah (pK_a = 3.15 pada 25°C) dan merupakan reagen yang penting. NaNO₂ digunakan dalam industri untuk produksi hidroksilamin

(NH_2OH) dan juga digunakan untuk diazotisasi amin aromatik, senyawa ini sangat penting untuk pembuatan pewarna dan obat azo. Asam nitrit terdekomposisi pada suhu $87,8^\circ\text{C}$ (Glenn, 1953). Di antara berbagai bentuk koordinasi NO_2^- kini telah dikenal isomernya, ligan monodentat nitro (N yang berkoordinasi) dan nitrito (O yang berkoordinasi) telah ditemukan di abad ke-19. Pada spektrofotometer ultra ungu tampak, NO_2^- menunjukkan serapan pada panjang gelombang 540 nm.

Dalam kimia koordinasi, NO dan NO_2 dapat berperan sebagai ligan sehingga membentuk senyawa kompleks dengan beberapa logam transisi. Beberapa contoh kompleks dengan NO atau NO_2 sebagai ligan yaitu kompleks $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}]\text{Br}_2$, dan $[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]^{2-}$ (Cotton dan Wilkinson, 1989). Walaupun demikian, NO atau NO_2 adalah bahan pencemar berbahaya dan memerlukan penanggulangan.

Beberapa cara telah ditempuh untuk mengurangi pencemaran NO_x , diantaranya dengan menggunakan katalis berupa Rh/ CeO_2 -ZrO₂ (Planaphy, 2002), Cu/ZSM-5 dan Co/ZMS-5 (Fornasiero, 1995), yang bekerja melalui proses adsorpsi dan reaksi katalitik oksidasi-reduksi.

2.3 Reaksi kompleks

Reaksi kompleks diklasifikasikan ke dalam reaksi substitusi ligan, reaksi konversi ligan dan reaksi redoks logam. Reaksi substitusi dan redoks khususnya telah dipelajari dengan detil (Saito, 1996).

2.3.1 Reaksi substitusi ligan

Reaksi substitusi ligan kompleks :



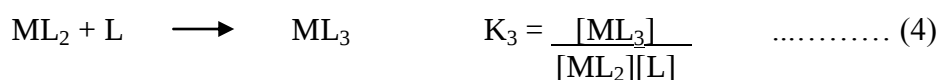
Dengan ;

M = Logam X = ligan yang keluar
L = ligan lain Y = ligan yang masuk
N = jumlah

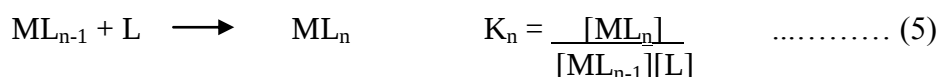
Reaksi substitusi ligan kompleks sangat penting untuk preparasi berbagai turunan kompleks. Kondisi detil ligan dan kompleks yang memungkinkan reaksi ini telah dipelajari untuk memahami stereokimianya dan mencapai laju reaksi substitusi yang praktis. Seperti juga pada jenis reaksi yang lain, kita perlu memahami kesetimbangan dan laju reaksinya (Saito, 1996).

a. Konstanta pembentukan

Konstanta kesetimbangan reaksi substitusi ligan disebut dengan konstanta kestabilan atau pembentukan. Konstanta kesetimbangan penggantian ion terhidrasi M dengan ligan lain L dalam larutan air adalah :



.....

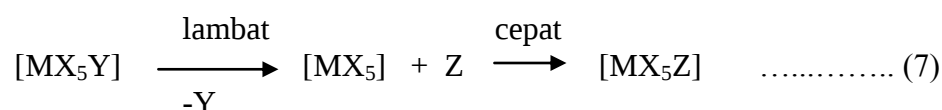


dan konstanta pembentukan overall β_n adalah:

$$\beta_n = \frac{[ML_n]}{[M][L]^n} = K_1 K_2 K_3 \dots K_n \quad \dots\dots\dots (6)$$

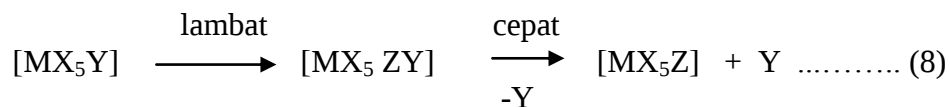
Kestabilan termodinamika produk substitusi menjadi lebih besar jika konstanta pembentukannya meningkat. Di pihak lain, pemahaman efek ligan yang keluar, X, dan ligan yang masuk, Y, pada laju substitusi dan spesi senyawa antara yang dibentuk penting untuk mengelucidasi reaksi kompleks logam. Khususnya bermanfaat untuk merangkumkan struktur elektronik logamnya, stereokimia kompleksnya dan korelasi antara parameter yang mewakili sterik senyawa dan laju reaksi (Saito, 1996).

Dua kemungkinan mekanisme ditinjau dari reaksi pergantian ligan adalah mekanisme SN1 (substitusi nukleofilik unimolekuler) dimana kompleks terdisosiasi, melepaskan ligan yang akan diganti dan kekosongan dalam kulit koordinasi akan diisi oleh ligan yang baru (Saito, 1996). Reaksi substitusi kompleks oktahedral dapat dituliskan sebagai berikut :



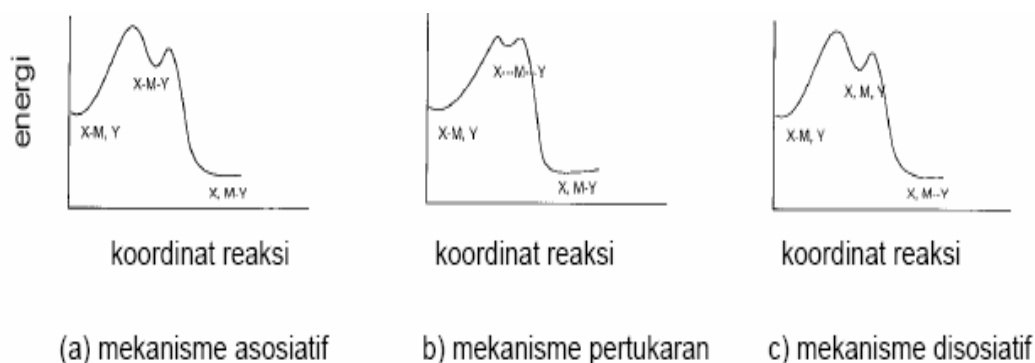
Hal yang penting disini adalah bahwa reaksi tahap pertama dimana salah satu ligan dilepaskan berlangsung relatif lambat. Bila kompleks antara terbentuk yang hanya terkoordinasi lima akan segera bereraksi dengan ligan baru. Laju reaksi berbanding langsung dengan konsentrasi kompleks antara tetapi tidak tergantung pada konsentrasi ligan baru. Mekanisme lain yaitu SN2 (substitusi nukleofilik bimolekuler). Dalam hal ini ligan baru menyerang kompleks asli secara langsung

membentuk kompleks teraktifkan berkoordinasi tujuh yang kemudian melepaskan ligan yang ditukar seperti ditunjukkan dalam mekanisme berikut :



Laju sebanding dengan konsentrasi pereaksi kompleks dan ligan pengganti.

Umumnya mekanisme reaksi dapat diklasifikasikan menjadi mekanisme asosiatif, pergantian dan disosiatif bergantung pada perbedaan senyawa antaranya (Saito, 1996).



Gambar 2. Kestabilan senyawa antara substitusi ligan

1. Mekanisme asosiatif

Bila laju substitusi ligan kompleks bergantung pada ligan, Y, yang berkoordinasi dengan logam pusat dan tidak sensitif pada ligan yang keluar, X, reaksinya mengikuti mekanisme asosiatif yang meningkatkan bilangan koordinasi. Reaksi substitusi semacam ini sering diamati pada kompleks Pt (II) planar tetra-koordinat, dan spesi senyawa antaranya adalah kompleks penta-koordinat bipiramidal segitiga. Reaksinya akan berorde satu pada baik kompleks tetra-koordinatnya maupun pada Y, dan secara keseluruhan orde kedua. Karena reaksi

ini disertai dengan reduksi spesi molekular dalam tahap antara, pengukuran termodinamik reaksi mengindikasikan entropi aktivasi, ΔS -nya bernilai negatif. Spesi senyawa antara dalam kasus mekanisme asosiatif heksa-koordinat adalah kompleks hepta-koordinat.

2. Mekanisme pertukaran

Bila waktu hidup senyawa antara sangat pendek, reaksi berlangsung melalui mekanisme pertukaran, ketika koordinasi Y dan eliminasi X berlangsung bersamaan.

3. Mekanisme disosiatif

Reaksi substitusi yang sangat sensitif pada identitas ligan yang keluar, X, dan praktis tidak sensitif pada identitas ligan yang masuk, mengikuti mekanisme disosiatif dengan penurunan bilangan koordinasi di spesi senyawa antaranya. Mekanisme ini sering dijumpai dalam kompleks heksa-koordinat, dan senyawa antaranya adalah kompleks penta-koordinat yang terbentuk dengan eliminasi X. Karena eliminasi diikuti dengan peningkatan spesi molekular dalam tahap senyawa antaranya, aktivasi entropinya, ΔS , bernilai positif (Saito, 1996).

2.3.2 Reaksi redoks

Bilangan oksidasi logam dalam senyawa logam transisi dapat bervariasi dari rendah ke tinggi. Bilangan oksidasi ini dapat berubah dengan reaksi redoks. Akibat hal ini, jarak ikatan dan sudut ikatan antara logam dan unsur yang terkoordinasi, atau antar logam, berubah dan pada saat tertentu keseluruhan struktur kompleks dapat terdistorsi secara dramatik atau bahkan senyawanya

dapat terdekomposisi. Reaksi senyawa logam transisi dengan berbagai bahan oksidator atau reduktor juga sangat penting dari sudut pandang sintesis. Khususnya, reaksi reduksi digunakan dalam preparasi senyawa organologam, misalnya senyawa kluster atau karbonil logam. Sementara itu, studi transfer elektron antar kompleks, khususnya reaksi redoks senyawa kompleks logam transisi telah berkembang. Taube mendapat hadiah Nobel pada tahun 1983 untuk studi reaksi transfer elektron dalam kompleks logam transisi dan mengklasifikasikan reaksi ini dalam dua mekanisme. Mekanisme transfer elektron dengan ligan jembatan digunakan bersama antara dua logam disebut dengan mekanisme koordinasi dalam, dan mekanisme reaksi yang melibatkan transfer langsung antar logam tanpa ligan jembatan disebut mekanisme koordinasi luar (Saito, 1996).

Mekanisme koordinasi dalam bila $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ direduksi dengan $[\text{Cr}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$, suatu kompleks senyawa antara, $[(\text{NH}_3)_5\text{Co}-\text{Cl}-\text{Cr}(\text{OH}_2)_5]^{4+}$, terbentuk dengan atom khlor membentuk jembatan antara kobal dan khromium. Sebagai akibat transfer elektron antara khromium ke kobal melalui khlor, terbentuk $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^+$, dengan kobal direduksi dari trivalen menjadi divalen, dan $[\text{Cr}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$, dengan khromium dioksidasi dari divalen menjadi trivalen. Reaksi seperti ini adalah jenis reaksi redoks melalui mekanisme koordinasi dalam. Anion selain halogen yang cocok untuk pembentukan jembatan semacam ini adalah SCN^- , N_3^- , CN^- , dsb. Mekanisme koordinasi luar bila $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{3+}$ (phen adalah ortophenantrolin) direduksi dengan $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, tidak ada jembatan ligan antar logam dan elektron berpindah dari homo Fe(II) ke lumo Fe(III) dalam aktu yang sangat singkat dan kontak langsung antar dua kompleks. Akibat transfer elektron

ini, terbentuk $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ dan $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$. Reaksi seperti ini adalah reaksi redoks melalui mekanisme koordinasi luar, dan karakteristik sistem kompleks yang memiliki laju substitusi ligan yang sangat lambat dibandingkan dengan laju transfer elektron, khususnya dalam sistem yang memiliki ligan yang sama tetapi bilangan oksidasi yang berbeda, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ dan $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ yang memiliki laju transfer elektron yang besar (Saito, 1996).

2.4 Stabilitas Ion Kompleks

Stabilitas ion kompleks dalam larutan mempunyai arti penting baik di laboratorium, dalam industri, ataupun dalam keadaan sehari-hari. Stabilitas dari ion kompleks selalu dipelajari didalam larutan air (*aqueous solvent*). Hanya dalam beberapa hal saja tidak digunakan pelarut bukan air (*non-aqueous solvent*). Ada 2 jenis kestabilan pada pembentukan senyawa kompleks yaitu : kestabilan termodinamik dan kestabilan kinetika. Kestabilan termodinamik menyangkut tenaga ikatan antara logam dan ligan, tetapan kestabilan dan beberapa tetapan termodinamika lainnya yang diturunkan dari kedua besaran diatas. Kestabilan kinetika khususnya senyawa ion kompleks dalam larutan yang berhubungan dengan laju reaksi, mekanisme reaksi kimia serta besaran-besaran yang terlibat dalam pembentukan kompleks (Ilim, 1989). Dari segi kinetika , senyawa kompleks lebih tepat dikatakan inert atau labil daripada stabil. Suatu senyawa kompleks stabil secara termodinamika, dapat bersifat labil secara kinetika. Kestabilan termodinamika optimum dari suatu jenis senyawa kompleks terjadi pada keadaan setimbang :



Tetapan kesetimbangan :

$$K = \frac{[ML]}{[M][L]} \dots\dots\dots (10)$$

Reaksi logam dengan ligan membentuk khelat biasanya menghasilkan kompleks larut dalam pelarut tertentu. Harga konstanta kestabilan ini sangat penting dalam menentukan konsentrasi dan jenis kompleks yang terbentuk pada campuran kesetimbangan spesifik (Saito, 1996).

Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas kompleks antara lain :

a. Sifat ion logam

1. Besar dan muatan dari ion logam.

Semakin kecil ion logamnya dan semakin besar medan listriknya maka ion kompleks yang terbentuk akan semakin stabil.

2. Faktor CSFE (*Crystal Field stabilization Energy*)

Untuk kompleks high spin dari Mn^{2+} - Zn^{2+} dengan ligan tertentu urutan stabilitasnya sesuai dengan urutan jari-jari yang semakin kecil.

Ion	Mn^{2+}	Fe^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}
Elektron d	d^5	d^6	d^7	d^8	d^9	d^{10}
Jari-jari ion (Å)	0,91	0,83	0,82	0,78	0,69	0,74

3. Faktor distribusi muatan

Logam-logam yang bersifat elektropositif membentuk kompleks yang stabil dengan ligan yang atom donornya N, O, atau F. Logam-logam yang elektronegatif dan unsur-unsur transisi akan membentuk kompleks yang stabil jika berikatan dengan atom donor yang lebih berat dari N, O, F seperti atom P, S dan I (Sukardjo, 1989).

b. Pengaruh ligan

Pengaruh ligan terhadap stabilitas ion kompleks antara lain :

1) Besar dan muatan dari ion

Semakin besar muatan dan semakin kecil jari-jari dari ligan maka kompleks yang terbentuk akan semakin stabil

2) Sifat basa

Semakin besar sifat basa dari ligan maka kompleks yang terbentuk akan semakin stabil. Basa yang dimaksud adalah teori asam basa menurut Lewis.

3) Faktor pembentukan khelat

Pada pembentukan kompleks khelat, golongan donor melepaskan H^+ untuk membentuk basa yang bersesuaian. Ligan-ligan multidentat akan membentuk kompleks yang stabil dibanding ligan-ligan monodentat.

4) Faktor kompleks siklik (ligan multidentat)

Jika ligan yang membentuk kompleks adalah ligan multidentat maka akan memungkinkan membentuk siklik dengan logam. Untuk ligan yang tidak berikatan rangkap kompleks yang paling stabil adalah lingkaran lima, tapi untuk ligan yang memiliki ikatan rangkap maka kompleks yang paling stabil adalah lingkaran enam.

5) Faktor ruang

Ligan yang terlalu besar dan banyak cabangnya akan memberikan rintangan sterik yang besar sehingga kompleks yang terbentuk cenderung kurang stabil dibandingkan ligan yang sederhana (Sukardjo, 1989).

2.5 Kinetika Kimia

Kinetika kimia adalah studi membahas tentang laju reaksi dan mekanisme terjadinya suatu reaksi. Laju reaksi adalah perubahan (pengurangan) konsentrasi pereaksi atau penambahan konsentrasi hasil reaksi dalam satuan waktu. Reaksi dapat berlangsung dengan laju yang bervariasi, ada yang serta merta, perlu cukup waktu (pembakaran) atau waktu yang sangat lama seperti penuaan, pembentukan batu bara dan beberapa reaksi peluruhan radioaktif. Pada kondisi tertentu masing-masing reaksi memiliki karakteristik laju masing-masing yang ditentukan oleh sifat kimia reaktan. Laju reaksi dapat ditentukan dengan cara mengikuti perubahan sifat selama reaksi. Dengan menganalisis campuran reaksi dalam selang waktu tertentu, maka konsentrasi pereaksi dan produk reaksi dapat dihitung (Petrucchi, 1987).

Orde reaksi adalah jumlah atom atau molekul dari reaktan yang konsentrasinya memegang peranan penting dalam menentukan laju reaksi. Jika suatu reaksi, lajunya tergantung pada pangkat satu dari salah satu reaktan dikatakan berorde satu, sedangkan laju reaksi yang tergantung pada pangkat dua dari salah satu reaktan atau masing-masing berpangkat satu terhadap reaktan dikatakan berorde dua (Petrucchi, 1987). Secara umum dapat ditulis :

$$v = k [A]^m [B]^n \dots\dots\dots(11)$$

Orde total dari reaksi dapat dinyatakan $L = m + n$

Reaksi tersebut dikatakan berorde m terhadap A dan berorde n terhadap B dan seterusnya. Reaksi yang lajunya tidak ditentukan oleh konsentrasi reaktannya dikatakan berorde nol (0). Reaksi berorde nol terhadap salah satu pereaksinya

apabila perubahan konsentrasi pereaksi tersebut tidak mempengaruhi laju reaksi.

Suatu reaksi dikatakan berorde satu terhadap salah satu pereaksi itu. Jika konsentrasi pereaksi ini dapat dilipatgandakan maka laju reaksi akan menjadi peningkatan. Suatu orde pereaksi itu dilipatgandakan maka laju reaksinya akan mulai berjalan. Suatu reaksi dikatakan berorde dua dari pereaksi jika laju reaksi merupakan pangkat dua dari konsentrasi pereaksi itu sendiri. Salah satu cara untuk menentukan orde reaksi adalah dengan metode isolasi (Petrucchi, 1987).

Dimana pada reaksi : $a A + b B + c C \longrightarrow P$

Orde reaksi totalnya adalah $a + b + c$, dimana nilai masing-masing dapat ditentukan sebagai berikut :

Untuk menentukan nilai a, dibuat seri reaksi kimia dimana (B) dan (C) berada dalam jumlah yang konstan kemudian (A) divariasikan, sehingga didapatkan :

$$dx/dt = k_a[A]^a, \text{ dimana } k_a = k[B]^b[C]^c \quad \dots\dots\dots(12)$$

(Petrucchi, 1987)

Untuk menentukan nilai B, dibuat (A) dan (C) dalam jumlah konstan dan (B) divariasikan, sedangkan untuk nilai c, dibuat (A) dan (B) dalam jumlah konstan dan (C) divariasikan. Laju reaksi kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ dapat ditulis seperti persamaan :

$$V = k[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]^m[\text{NO}_2]^n \quad \dots\dots\dots(13)$$

Dengan menggunakan metode isolasi dapat ditentukan orde reaksi m untuk kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dan orde reaksi n untuk NO₂.

Logaritma dari persamaan (13) akan didapatkan :

$$\text{Log } v = \text{log } k + m \text{ log } [\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2] + n \text{ log } [\text{NO}_2] \quad \dots\dots\dots(14)$$

Pada konsentrasi $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ konstan, persamaan (14) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\log v = \log k' + n \log [\text{NO}_2] \quad \dots\dots\dots(15)$$

dimana $k' = k [\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$. Grafik antara $\log v$ vs $\log [\text{NO}_2]$ akan menghasilkan garis lurus dimana n sebagai koefisien arah dari garis dan memberikan orde reaksi untuk NO_2 . Dengan cara yang sama jika dibuat grafik antara $\log v$ vs $\log [\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ untuk konsentrasi NO_2 konstan, akan didapatkan garis lurus dengan koefisien arahnya sebagai m dan memberikan orde reaksi untuk senyawa kompleks $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$.

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi kimia :

1. Sifat dasar pereaksi dan luas permukaan

Laju terjadinya suatu reaksi tergantung pada sifat kimia dan fisika dari reaktan. Berdasarkan mudahnya ikatan putus atau terbentuk ikatan baru bila suatu reaksi berlangsung maka dapat diperkirakan pereaksi mana yang bereaksi lebih dahulu atau yang lebih cepat. Reaksi-reaksi spontan yang menyangkut ion umumnya lebih cepat dari pada reaksi yang berikatan kovalen. Pada umumnya, semakin kecil partikel pereaksi maka semakin luas permukaan pereaksi yang bersentuhan dalam reaksi sehingga reaksi semakin cepat (Petrucchi, 1987).

2. Konsentrasi pereaksi

Bila konsentrasi pereaksi diperbesar dalam suatu reaksi, berarti kerapatannya bertambah dan akan memperbanyak kemungkinan tabrakan sehingga akan mempercepat laju reaksi. Bila partikel makin banyak, akibatnya lebih banyak

kemungkinan partikel saling bertumbukan yang terjadi dalam suatu larutan sehingga reaksi bertambah cepat (Petrucchi, 1987).

3. Intensitas radiasi

Sinar matahari atau sinar lampu juga dapat mempengaruhi laju reaksi. Umumnya pengaruh ini sedikit diperhatikan hanya untuk mempelajari pengaruh fotokimia.

Kekuatan sinar di dalam spektrofotometri yang menggunakan sinar monokromatik tidak diharapkan. Tetapi jika berkas sinar putih jatuh lurus ke atas sampel seperti didalam dioda spektrofotometer perlu diperhatikan.

4. Sifat-sifat pelarut

Laju reaksi tergantung dari kepolaran pelarut, viskositas, jumlah donor elektron, dan sebagainya. Penambahan suatu elektrolit dapat memperkecil atau menaikkan suatu laju reaksi (pengaruh garam), dan demikian pula adanya buffer.

5. Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang mampu mempengaruhi laju reaksi suatu reaksi tanpa dirinya mengalami perubahan kimia yang permanen. Suatu katalis mempengaruhi kecepatan reaksi dengan pembentukan senyawa antara atau dengan adsorpsi/katalis heterogen. Jenis katalis adalah spesifik terhadap suatu reaksi. Ada dua macam katalis yaitu katalis positif (katalisator) yang berfungsi mempercepat reaksi dan katalis negatif (inhibitor) yang berfungsi memperlambat reaksi laju reaksi. Katalis positif berperan menurunkan energi pengaktifan dan membuat orientasi molekul sesuai untuk terjadinya tumbukan (Keenan, dkk, 1979).

Berdasarkan sifat dari katalis, maka katalis dapat dibedakan menjadi katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen adalah katalis bersama reaktan membentuk satu fase, sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang membentuk lebih dari satu fase dengan reaktan. Peranan katalis dalam suatu reaksi kompleks Cr-EDTA dapat memperkecil energi aktivasi reaksi (Ilim, 1989).

6. Temperatur

Jika temperatur dinaikkan maka laju reaksi semakin besar pada reaksi endoterm dan laju akan semakin kecil pada reaksi eksoterm. Perubahan laju reaksi sebagai akibat perubahan temperatur tidak merubah persamaan laju tetapi yang berubah adalah konstanta laju reaksi (k). Secara matematis harga konstanta laju reaksi (k) mempunyai peranan penting dalam reaksi kimia. Harga k akan berubah jika jenis reaktan berbeda, suhu berbeda dan faktor lain yang mempengaruhi sifat dari reaktan. Dimana harga k akan bertambah besar dengan naiknya suhu. Harga k mengalami kenaikan apabila temperatur naik dan harga k berkurang dengan turunnya temperatur (Ilim, 1989). Berdasarkan penelitian Van't Hoff dan Arrhenius menghasilkan hubungan antara konstanta laju (k) dengan suhu absolut (T) dalam bentuk ;

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad \dots\dots\dots (16)$$

atau dalam bentuk logaritma menjadi ;

$$\log k = \log A - E_a/2,303 RT \quad \text{(Petrucchi, 1987)} \quad \dots\dots\dots (17)$$

dimana :

k = konstanta laju

A = faktor frekuensi

T = suhu absolut

E_a = energi aktivasi dalam J/mol

R = tetapan gas dinyatakan sebagai 8,314 J /mol·K

Hanya molekul yang memiliki energi kinetik diatas E_a yang mampu bereaksi. Peningkatan temperatur dapat meningkatkan fraksi molekul yang memiliki energi melebihi energi aktivasi. Energi aktivasi (E_a) adalah energi minimum yang harus dimiliki oleh partikel pereaksi sehingga akan menghasilkan tumbukan yang efektif. Semua reaksi eksoterm atau endoterm memerlukan energi aktivasi. Reaksi yang dapat berlangsung pada temperatur rendah berarti memiliki energi aktivasi yang rendah. Sebaliknya, reaksi yang memiliki energi aktivasi besar hanya dapat berlangsung pada suhu tinggi. Kenaikan temperatur juga menyebabkan molekul-molekul bergerak lebih cepat sehingga meningkatkan frekuensi tumbukan (Petrucchi, 1987). Persamaan dibawah ini untuk memperlihatkan pengaruh temperatur terhadap laju reaksi :

$$\text{Log } \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2,303R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \right) \dots\dots\dots(18)$$

Dalam persamaan diatas, dimana diketahui :

T_2 dan T_1 : suhu dalam kelvin

k_2 dan k_1 : tetapan laju pada kedua suhu tersebut (Petrucchi, 1987).

Energi aktifasi untuk reaksi dapat ditentukan dengan mengukur laju reaksi sebagai fungsi dari suhu pada keadaan konsentrasi kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dan konsentrasi gan NO₂ konstan. Dari persamaan (7) dibuat grafik antara log k vs 1/T akan menghasilkan garis lurus dengan koefisien arahnya $-E_a/2,303 RT$ dan perpotonga garis ini dengan ordinatnya memberikan harga log A untuk reaksi (Ilim,1989).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Mei 2009 sampai dengan Desember 2009 di Laboratorium Kimia Anorganik Fakultas MIPA Unila. Analisis dengan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Biomass FMIPA Unila dan Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman Fakultas Pertanian Unila. Analisis dengan spektrofotometer Inframerah dilakukan di Laboratorium Biomass FMIPA Unila.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas yang umum digunakan dalam laboratorium, pengukur waktu, neraca analitis, pH meter, Peralatan termostat (*transistor relay*, *termoregulator*, *dinamix stirer*, *heater*, *termometer*, *chamber*), spektrofotometer UV-Vis (*GenesysTM 10 Series Spectrophotometers*) dan spektrofotometer IR.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂], buffer, aquabides, serbuk Cu, asam nitrat (HNO₃), dimetil sulfoksida (DMSO).

3.3 Cara Kerja

Dalam penelitian ini diperlukan kondisi yang baik terutama suhu, karena suhu yang tidak konstan akan mempengaruhi kinetika reaksi. Untuk itu percobaan dilakukan dalam termostat.

3.3.1 Penentuan panjang gelombang maksimum kompleks sebelum dan sesudah berinteraksi dengan gas NO₂

3.3.1.1. Penentuan panjang gelombang maksimum kompleks sebelum berinteraksi dengan gas NO₂

0,0001 gram kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] EtOH·H₂O hasil sintesis dilarutkan dalam 10 mL DMSO kemudian ditentukan panjang gelombang maksimumnya pada rentang 200-800 nm menggunakan spektrofotometer *UV-Vis*.

3.3.1.2 Penentuan panjang gelombang maksimum kompleks sesudah berinteraksi dengan gas NO₂

0,54735 gram (0,001 mol, 10mL) senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dilarutkan dalam 25 mL DMSO dan direaksikan dengan 0,0004 mol NO₂ (0,038 gram serbuk Cu dalam 0,5 mL HNO₃), kemudian didiamkan selama 24 jam (waktu tak berhingga). Larutan yang terbentuk ditentukan panjang gelombang maksimumnya pada rentang 200-800 nm menggunakan spektrofotometer *UV-Vis*. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.3.2 Pengaruh pH terhadap Laju Reaksi Senyawa Kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan Gas NO₂

Untuk mengetahui pengaruh keasaman (pH) terhadap laju reaksi maka pada percobaan ini dilakukan dengan memvariasikan pH 5, 7 dan 8, serta memvariasikan konsentrasi kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] yaitu dari $6,67 \times 10^{-4}$ M sampai $3,3 \times 10^{-5}$ M, sedangkan konsentrasi gas NO₂ dibuat konstan. Gas NO₂ dibuat dengan mereaksikan 0,038 gram serbuk Cu dengan 0,5 mL HNO₃. Untuk menentukan pengaruh pH terhadap laju reaksi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ dilakukan percobaan sebagai berikut :

1. Senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dilarutkan dalam pelarut DMSO dan diatur keasaman (pH) larutan dengan menambahkan larutan buffer sehingga pH larutan 5 (Tabel 2).
2. Larutan *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] direaksikan dengan gas NO₂, pada saat ini dicatat sebagai waktu nol ($t = 0$).
3. Campuran dibiarkan selama 2,5 jam, kemudian diukur serapannya dengan selang waktu 60 menit sampai reaksi berjalan selama 6,5 jam (A_t) pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh pada percobaan 3.3.1.2.
4. Setelah pengukuran A_t , campuran di atas dibiarkan selama 24 jam, kemudian baru diukur serapannya ($A_{\sim}$) pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh pada percobaan 3.3.1.2.
5. Data yang diperoleh digunakan untuk menentukan laju reaksi, orde reaksi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂], konstanta reaksi dan hukum laju reaksi gas NO₂ dengan kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂].

6. Hal yang sama dilakukan untuk variasi konsentrasi kompleks *Cis*-
[Co(phen)₂(CN)₂] pada pH 7 dan pH 8 (Tabel 3 dan 4).
7. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 2. Reaksi *Cis*- [Co(phen)₂(CN)₂] dengan NO₂ dengan variasi konsentrasi pada pH 5 pada suhu 27 °C.

No	[Co(phen) ₂ (CN) ₂]		NO ₂		Volume (mL)
	(M)	mol	(M)	mmol	
1	3,3 x10 ⁻⁵	0,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
2	1,64 x10 ⁻⁴	2,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
3	3,29 x10 ⁻⁴	5,0 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
4	5,03 x10 ⁻⁴	7,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
5	6,67 x10 ⁻⁴	10 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL

Tabel 3. Reaksi *Cis*- [Co(phen)₂(CN)₂] dengan NO₂ dengan variasi konsentrasi pada pH 7 pada suhu 27 °C.

No	[Co(phen) ₂ (CN) ₂]		NO ₂		Volume (mL)
	(M)	mol	(M)	mmol	
1	3,3 x10 ⁻⁵	0,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
2	1,64 x10 ⁻⁴	2,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
3	3,29 x10 ⁻⁴	5,0 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
4	5,03 x10 ⁻⁴	7,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
5	6,67 x10 ⁻⁴	10 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL

Tabel 4. Reaksi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan NO₂ dengan variasi konsentrasi pada pH 8 pada suhu 27 °C.

No	[Co(phen) ₂ (CN) ₂]		NO ₂		Volume (mL)
	(M)	mol	(M)	mmol	
1	3,3 x10 ⁻⁵	0,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
2	1,64 x10 ⁻⁴	2,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
3	3,29 x10 ⁻⁴	5,0 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
4	5,03 x10 ⁻⁴	7,5 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL
5	6,67 x10 ⁻⁴	10 x10 ⁻⁶	2,67 x10 ⁻²	0,4	15mL

3.3.3 Pengaruh Suhu terhadap Laju Reaksi Senyawa Kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂

Untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap laju reaksi maka reaksi dilakukan pada suhu yang bervariasi yaitu 27, 50, 60 dan 70°C. Pada reaksi ini konsentrasi kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] yaitu $6,67 \times 10^{-4}$ M dan gas NO₂ 0,4 mol. Untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap laju reaksi ini maka dilakukan percobaan sebagai berikut :

1. Suhu diatur dengan menggunakan termostat dan keasaman larutan diatur pada pH optimum sesuai hasil percobaan 3.3.2.
2. Dalam termostat, larutan *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] direaksikan dengan gas NO₂, pada saat ini dicatat sebagai waktu nol ($t = 0$).
3. Campuran dibiarkan selama 2,5 jam, kemudian diukur serapannya dengan selang waktu 60 menit sampai reaksi berjalan selama 6,5 jam (A_t) pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh pada percobaan 3.3.1.2.
4. Setelah pengukuran A_t , campuran di atas dibiarkan selama 24 jam, kemudian baru diukur serapannya (A_{∞}) pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh pada percobaan 3.3.1.2.
5. Dari data yang diperoleh ditentukan laju, orde reaksi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂], konstanta reaksi dan energi aktivasi reaksinya.
6. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.3.4 Penentuan Gugus Fungsional Dalam Senyawa Kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] Setelah Berinteraksi dengan Gas NO₂ dengan Menggunakan Spektrofotometer Inframerah

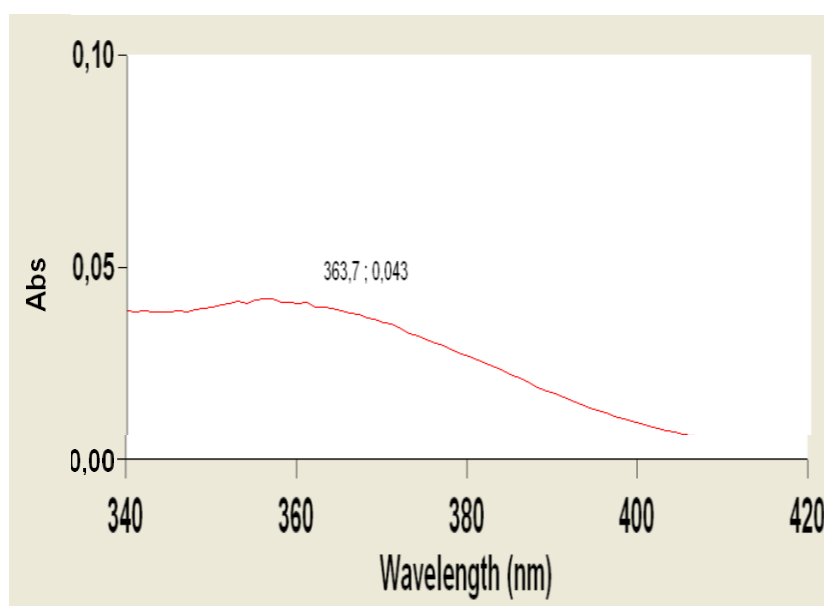
Hasil interaksi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ yang optimum pada percobaan 3.3.3 dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer inframerah untuk mengetahui bagaimana interaksi yang terjadi antara senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ yang bisa dilihat dari data gugus fungsional senyawa kompleks hasil interaksi dengan gas NO₂.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Kompleks Sebelum dan Sesudah Berinteraksi dengan Gas NO₂

4.1.1. Penentuan panjang gelombang maksimum kompleks sebelum berinteraksi dengan gas NO₂

0,0001 gram kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] EtOH·H₂O hasil sintesis dilarutkan dalam 10 mL DMSO kemudian ditentukan panjang gelombang maksimumnya pada rentang 200 – 800 nm menggunakan spektrofotometer *UV-Vis*. Hasil spektrum menunjukkan serapan maksimum pada panjang gelombang 363,7 nm seperti pada Gambar 3.

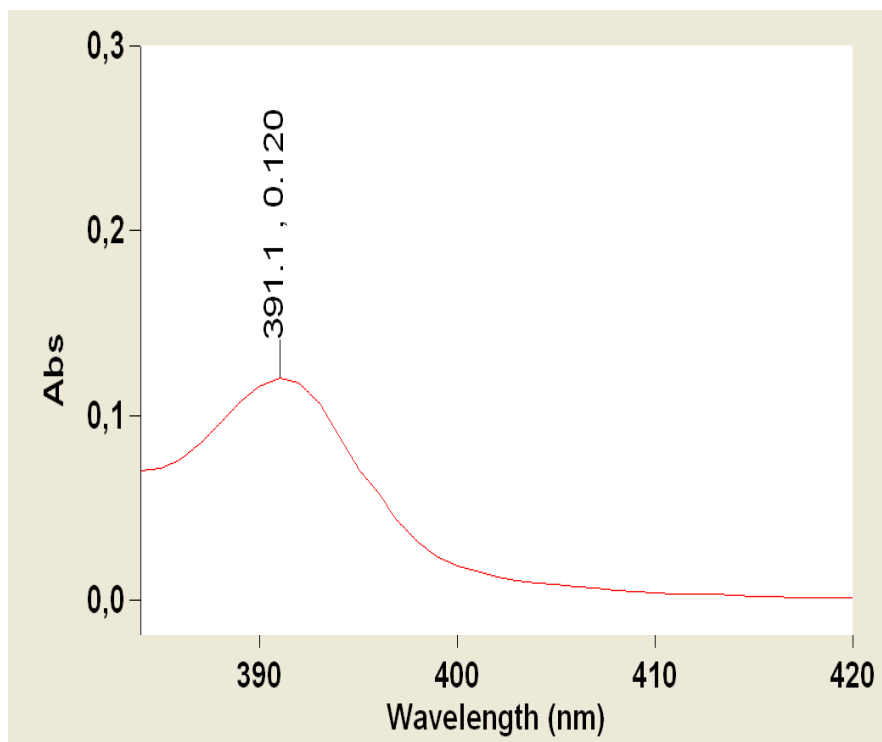


Gambar 3. Spektrum serapan senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂]

Spektrum kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] menunjukkan serapan pada panjang gelombang yang besar hal ini dikarenakan atom N pada ligan phenantrolin yang terkoordinasi dalam senyawa kompleks relatif kaya akan elektron dengan kerapatan elektron yang semakin besar. Selain itu adanya perpindahan muatan dari logam ke ligan yang membentuk cincin segilima mengakibatkan sistem π ligan akan berkoordinasi pada atom yang lebih banyak yaitu dengan ikut sertanya ion pusat Co(II). Hal ini menyebabkan transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ ligan terkoordinasi membutuhkan energi yang lebih kecil sehingga akan menghasilkan serapan pada panjang gelombang yang lebih besar. Seperti diketahui transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ dapat terjadi dengan adanya gugus fungsional tak jenuh yang dapat menyediakan orbital π dan transisi tersebut terjadi pada daerah serapan antara 200 – 800 nm.

4.1.2. Penentuan panjang gelombang maksimum kompleks sesudah berinteraksi dengan gas NO₂

0,0689 gram (0,0001 mol, 10 mL) senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dilarutkan dalam 10 mL DMSO direaksikan dengan 0,0004 mol NO₂ (0,038 gram serbuk Cu dalam 0,5mL HNO₃) kemudian didiamkan selama 24 jam (waktu tak berhingga), kemudian ditentukan panjang gelombang maksimumnya pada rentang 200 – 800 nm menggunakan spektrofotometer *UV-Vis*. Hasil spektrum menunjukkan serapan maksimum pada panjang gelombang 391 nm seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum serapan senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] setelah berinteraksi dengan gas NO₂.

Spektrum serapan kompleks sebelum dan sesudah bereaksi dengan gas NO₂ menunjukkan bahwa telah terjadi pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih panjang (batokromik) sebesar 27,4 nm. Pergeseran ini dapat disebabkan adanya suatu auksokrom. Substituen nitrogen seperti NO₂ adalah auksokrom, yaitu suatu substituen pada kromofor yang menghasilkan pergeseran serapan ke arah panjang gelombang yang lebih besar. Selain itu, pergeseran panjang gelombang juga disertai dengan hasil pengamatan secara visual dari warna senyawa kompleks dalam pelarut DMSO sebelum dan sesudah berinteraksi dengan gas NO₂ yaitu dari kuning agak keruh menjadi kuning terang (Gambar 5).



(a)



(b)

Gambar 5. (a). Larutan kompleks $Cis-[Co(phen)_2(CN)_2]$ sebelum diinteraksikan dengan gas NO_2 . (b). Larutan kompleks $Cis-[Co(phen)_2(CN)_2]$ sesudah diinteraksikan dengan gas NO_2

4.2 Pengaruh pH terhadap Laju Reaksi Senyawa Kompleks $Cis-[Co(phen)_2(CN)_2]$ dengan Gas NO_2

4.2.1 Laju Reaksi

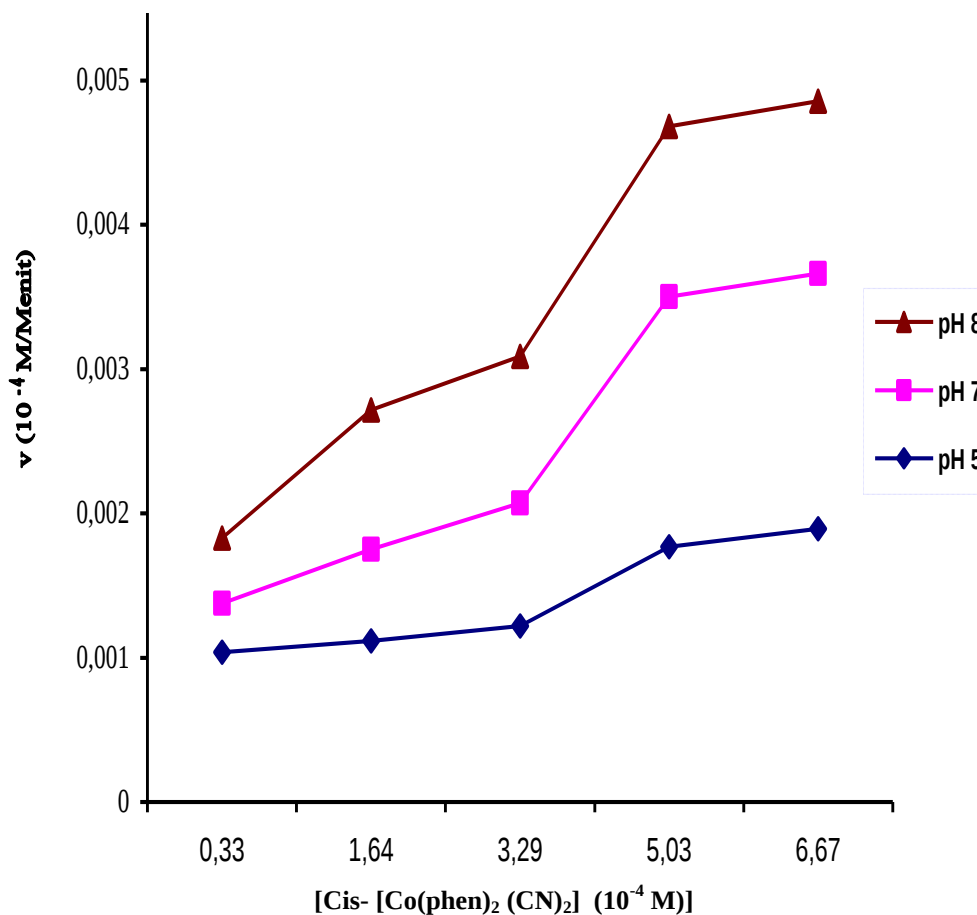
Kinetika kimia adalah studi membahas tentang laju reaksi dan mekanisme terjadinya suatu reaksi. Laju reaksi adalah perubahan (pengurangan) konsentrasi pereaksi atau penambahan konsentrasi hasil reaksi dalam satuan waktu. Laju reaksi dapat ditentukan dengan cara mengikuti perubahan sifat selama reaksi. Dengan menganalisis campuran reaksi dalam selang waktu tertentu, maka konsentrasi pereaksi dan produk reaksi dapat dihitung. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk mempelajari kinetika reaksi senyawa kompleks $Cis-[Co(phen)_2(CN)_2]$ dengan gas NO_2 adalah metode spektrofotometri. Metode ini telah digunakan pada studi kinetika kompleks paladium (II) dengan 2-(5-bromo-2-pyridylazo)5-diethylaminophenol oleh Shraydeh dan Zuhri dengan menggunakan variasi suhu 16, 20, 25, 31, dan 36°C dengan pH optimum sebesar

3,53 pada panjang gelombang maksimum (λ) sebesar 590 nm. Pada penelitian ini didapatkan bahwa reaksi lebih cepat pada suhu 25 °C (Shraydeh and Abu Zuhri, 1987). Metode yang sama juga telah dilakukan pada penelitian reaksi senyawa kompleks Cr^{2+} dengan EDTA oleh Ilim dengan menggunakan variasi pH 3,8, 4,4 dan 5,8 dengan variasi suhu 27, 30, 35 dan 40°C pada panjang gelombang 545 nm. Pada penelitian ini didapatkan bahwa orde reaksi $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$ adalah satu dan orde reaksi H_2Y^{-2} adalah nol (Ilim, 1989).

Untuk mempelajari kinetika reaksi maka dalam penelitian ini reaksi dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi kompleks, suhu, serta pH larutan. Laju reaksi dari pembentukan kompleks ini merupakan laju terbentuknya *Cis-Co(phen)₂(CN)₂* yang ditentukan dari koefisien arah tg x dari grafik antara ($A_{\infty} - A_t$) terhadap waktu. Dimana orde reaksi ditentukan dengan metode reaksi isolasi yaitu konsentrasi kompleks divariasikan sedangkan konsentrasi gas NO_2 dibuat konstan. Tabel 6 dan Gambar 5 adalah hubungan antara konsentrasi kompleks *Cis-Co(phen)₂(CN)₂* dengan laju reaksi pada variasi pH 5, 7, 8 dengan suhu 27 °C. Tabel 6 di dapatkan dari perhitungan data pengamatan pada Lampiran 2, 3 dan 4 (Tabel 11 – 25).

Tabel 6. Hasil perhitungan untuk menentukan laju reaksi, pada pH 5, 7 dan 8, suhu 27°C dan λ 391 nm

No	Konsentrasi (M)		Laju reaksi (M/menit)		
	$\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2$	NO_2	pH 5	pH 7	pH 8
1	$3,3 \times 10^{-5}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,04 \times 10^{-3}$	$3,38 \times 10^{-4}$	$4,5 \times 10^{-4}$
2	$1,64 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,12 \times 10^{-3}$	$6,32 \times 10^{-4}$	$9,7 \times 10^{-4}$
3	$3,29 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,22 \times 10^{-3}$	$8,55 \times 10^{-4}$	$10,2 \times 10^{-4}$
4	$5,03 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,77 \times 10^{-3}$	$17,32 \times 10^{-4}$	$11,8 \times 10^{-4}$
5	$6,67 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,89 \times 10^{-3}$	$17,7 \times 10^{-4}$	$11,9 \times 10^{-4}$



Gambar 6. Kurva hubungan laju reaksi dengan konsentrasi *Cis*- [Co(phen)₂(CN)₂] untuk reaksi antara senyawa kompleks *Cis*- [Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ pada suhu 27°C dan pH 5, 7 dan 8.

Dari Tabel 6 dan Gambar 6 terlihat bahwa pada pH 7 semakin besar konsentrasi reaktan maka laju reaksi semakin besar. Hal ini terjadi karena jika konsentrasi pereaksi diperbesar dalam suatu reaksi, berarti kerapatan partikelnya bertambah dan akan memperbanyak kemungkinan terjadinya tumbukan efektif sehingga akan mempercepat laju reaksi (Petrucchi,1987).

4.2.2 Orde reaksi

Orde reaksi adalah jumlah atom atau molekul dari reaktan yang konsentrasinya memegang peranan penting dalam menentukan laju reaksi. Orde reaksi dapat berupa bilangan bulat kecil atau pecahan kecil. Dalam penelitian ini, orde reaksi ditentukan dengan metode isolasi yaitu dengan memvariasikan konsentrasi kompleks dan membuat konstan konsentrasi gas NO_2 . Tabel 7, 8 dan 9 adalah data hasil penentuan orde reaksi senyawa kompleks *Cis*- $[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ pada penelitian pengaruh suhu terhadap laju reaksi senyawa kompleks *Cis*- $[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ dengan gas NO_2 . Tabel 7, 8 dan 9 diperoleh dari perhitungan data pengamatan pada Lampiran 8 (Tabel 41 – 43).

Tabel 7. Hasil perhitungan untuk menentukan laju reaksi, orde reaksi dan konstanta laju reaksi pada pH 5, suhu 27°C dan λ 391 nm

No	Konsentrasi		v	Orde Reaksi	k'
	$\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2$	NO_2			
1	$3,3 \times 10^{-5}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,037 \times 10^{-3}$	0,1932	$1,24 \times 10^{-3}$
2	$1,64 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,117 \times 10^{-3}$		$1,38 \times 10^{-3}$
3	$3,29 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,218 \times 10^{-3}$		$0,83 \times 10^{-3}$
4	$5,03 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,769 \times 10^{-3}$		$0,98 \times 10^{-3}$
5	$6,67 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$1,893 \times 10^{-3}$		$3,36 \times 10^{-3}$

Tabel 8. Hasil perhitungan untuk menentukan laju reaksi, orde reaksi dan konstanta laju reaksi pada pH 7, suhu 27°C dan λ 391 nm

No	Konsentrasi		v	Orde Reaksi	k'
	$\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2$	NO_2			
1	$3,3 \times 10^{-5}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$3,38 \times 10^{-4}$	0,5615	$0,46 \times 10^{-3}$
2	$1,64 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$6,32 \times 10^{-4}$		$0,2 \times 10^{-3}$
3	$3,29 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$8,55 \times 10^{-4}$		$0,14 \times 10^{-3}$
4	$5,03 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$17,32 \times 10^{-4}$		$1,48 \times 10^{-3}$
5	$6,67 \times 10^{-4}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$17,7 \times 10^{-4}$		$1,73 \times 10^{-3}$

Tabel 9. Hasil perhitungan untuk menentukan laju reaksi, orde reaksi dan konstanta laju reaksi pada pH 8, suhu 27°C dan λ 391 nm

No	Konsentrasi		v	Orde Reaksi	k'
	Co(phen) ₂ (CN) ₂	NO ₂			
1	3,3 x10 ⁻⁵	2,67 x10 ⁻²	4,5 x10 ⁻⁴	0,3237	1,02 x10 ⁻³
2	1,64 x10 ⁻⁴	2,67 x10 ⁻²	9,7 x10 ⁻⁴		0,63 x10 ⁻³
3	3,29 x10 ⁻⁴	2,67 x10 ⁻²	10,2 x10 ⁻⁴		0,65 x10 ⁻³
4	5,03 x10 ⁻⁴	2,67 x10 ⁻²	11,8 x10 ⁻⁴		2,34 x10 ⁻³
5	6,67 x10 ⁻⁴	2,67 x10 ⁻²	11,9 x10 ⁻⁴		1,72 x10 ⁻³

Secara matematis orde reaksi dapat ditentukan dengan persamaan regresi linier :

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum (x^2) - (\sum x)^2} \dots\dots\dots 19)$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \dots\dots\dots 20)$$

$$y = a + b \cdot x \dots\dots\dots 21)$$

dimana :

$$x = \log [\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$$

$$y = \log v$$

n = jumlah variasi konsentrasi

b = orde reaksi kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂]

Sehingga persamaan laju reaksi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ dapat dituliskan ;

$$\frac{d [\text{Produk}]}{dt} = k' [\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]^b \dots\dots\dots 22)$$

$$\text{dimana } k' = k [\text{NO}_2]^x \dots\dots\dots 23)$$

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa orde reaksi untuk kompleks *Cis*-

[Co(phen)₂(CN)₂] pada pH 5 adalah 0,1932 dan pada pH 8 adalah 0,3237 (Tabel

9). Nilai ini sangat kecil mendekati nilai nol, hal ini dapat diartikan bahwa

perubahan konsentrasi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] tidak banyak

mempengaruhi laju reaksi. Sehingga pada pH 5 dan 8 bukanlah kondisi yang terbaik untuk reaksi senyawa kompleks $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ dengan gas NO_2 .

Pada Tabel 8 terlihat bahwa pada pH 7 orde reaksi kompleks $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ bernilai 0,5615, nilai ini bila dibulatkan maka nilai terdekat pembulatanannya adalah satu. Ini menunjukkan bahwa laju reaksi tergantung pada pangkat satu dari konsentrasi senyawa kompleks $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ yang berarti bahwa jika konsentrasi senyawa kompleks ini dilipatkan maka laju reaksi akan menjadi meningkat.

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh pH terhadap laju reaksi senyawa kompleks $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ dengan gas NO_2 maka didapatkan hukum laju reaksi pada pH 7 sebagai berikut :

$$v = k' [\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]] \quad (\text{M/menit}) \quad \dots\dots\dots 24)$$

dimana : $k' = k [\text{NO}_2]^x$

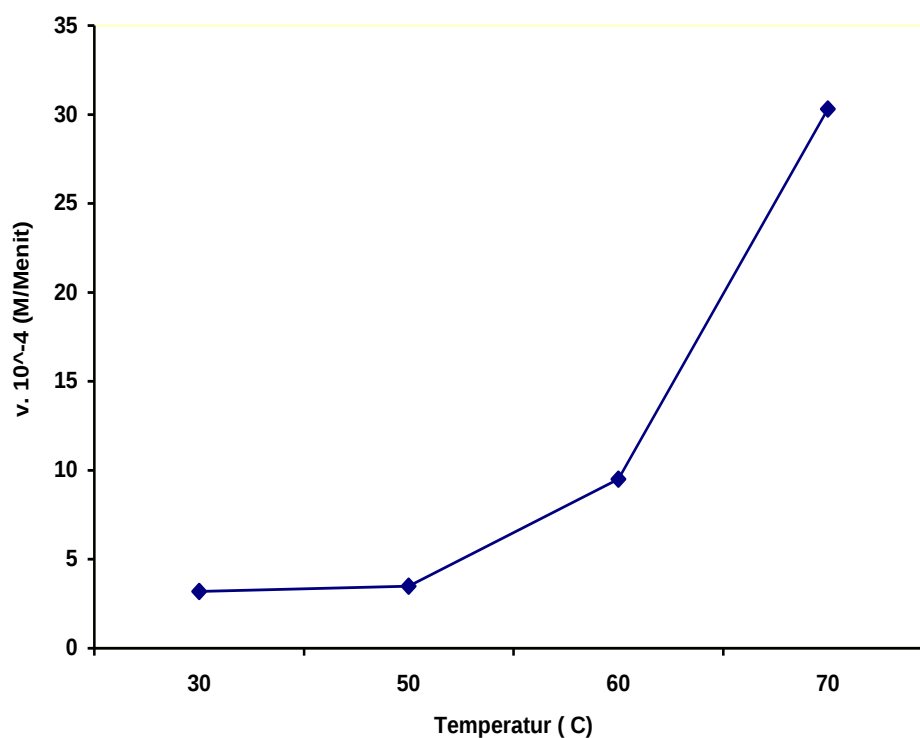
4.3. Pengaruh Suhu terhadap Laju Reaksi Senyawa Kompleks $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ dengan Gas NO_2

Untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap laju reaksi maka reaksi dilakukan dengan variasi pada suhu 27, 50, 60, dan 70 °C, masing-masing dilakukan pada pH 7 dan dengan konsentrasi $[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ $6,7 \times 10^{-4}\text{M}$ dan gas NO_2 4×10^{-4} mol. Reaksi ini dilakukan dalam termostat untuk mengkondisikan agar suhu tetap stabil sesuai pada suhu yang diinginkan. Rangkaian termostat dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian termostat untuk mereaksikan senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ pada suhu bervariasi dan pH 7

Jika temperatur dinaikkan maka laju reaksi semakin besar pada reaksi endoterm dan laju akan semakin kecil pada reaksi eksoterm. Berdasarkan penelitian Van't Hoff dan Arrhenius, perubahan laju reaksi sebagai akibat perubahan temperatur yang berubah adalah konstanta laju reaksi (k). Harga k mengalami kenaikan apabila temperatur naik dan harga k berkurang dengan turunnya temperatur. Secara matematis harga konstanta laju reaksi (k) mempunyai peranan penting dalam reaksi kimia. Harga konstanta laju reaksi didapatkan dari koefisien arah grafik antara $\log (A_{\infty} - A_t)$ terhadap waktu. Data pengamatan dan hasil perhitungan laju, konstanta laju reaksi dan energi aktivasi reaksi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ pada pH 7 dengan variasi suhu dapat dilihat pada Tabel 10 yang diperoleh dari perhitungan data pengamatan pada Lampiran 9 dan 10 (Tabel 44 – 52).



Gambar 8. Kurva hubungan laju dengan temperatur reaksi senyawa kompleks *Cis*- [Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ pada pH 7.

Tabel 10. Hasil perhitungan untuk menentukan k' dan energi aktivasi (Ea) pada 391 nm dan pH 7.

No	T (°C)	v	k'	Ea (kkal/mol·K)
1	27	3,2 x10 ⁻⁴	1,1 x10 ⁻⁴	6,3682
2	50	3,5 x10 ⁻⁴	1,7 x10 ⁻⁴	
3	60	9,5 x10 ⁻⁴	2,6 x10 ⁻⁴	
4	70	30,3x10 ⁻⁴	4,7 x10 ⁻⁴	

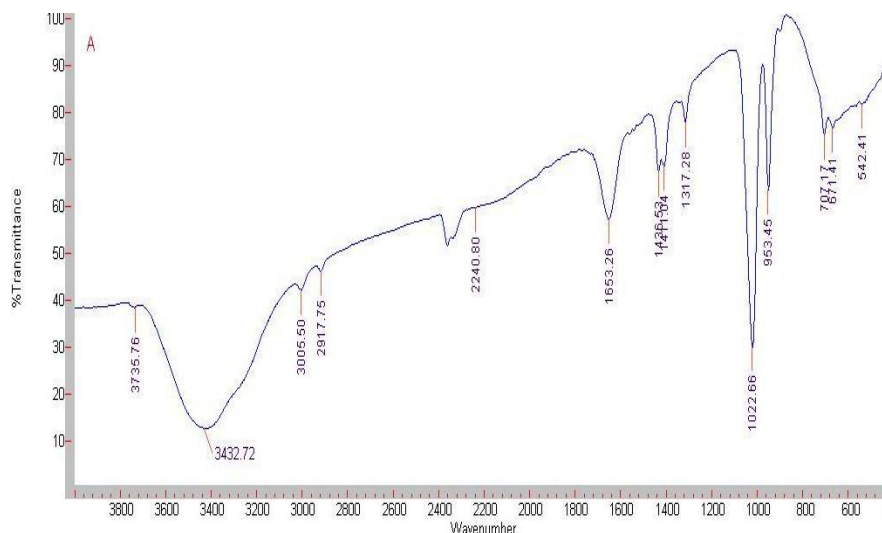
Dari hasil penelitian ini didapatkan pada Tabel 10 dan Gambar 8 terlihat bahwa konstanta laju reaksi kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] meningkat dengan meningkatnya suhu reaksi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Van't Hoff dan Arrhenius bahwa harga k akan berubah jika jenis reaktan berbeda, suhu berbeda dan faktor lain yang mempengaruhi sifat dari reaktan, dimana harga k akan

bertambah besar dengan naiknya suhu. Pada Tabel 10 terlihat bahwa nilai konstanta reaksi meningkat dengan meningkatnya suhu reaksi.

Harga energi aktivasi didapatkan dari koefisien arah grafik $\log k'$ Vs $1/T$. Hasil perhitungan energi aktivasi reaksi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ dapat dilihat pada Tabel 10 yang diperoleh dari perhitungan data pengamatan pada Lampiran 10 (Tabel 52).

Berdasarkan persamaan laju (Persamaan 11) dan persamaan Arrhenius (Persamaan 16), pada berbagai suhu maka dengan mengukur laju reaksi dapat ditentukan nilai energi aktivasi. Energi katifikasi untuk Cr⁺³ dan Rh⁺³ adalah 27 – 33 kkal/mol·K, sedangkan Ni²⁺, Cu²⁺ dan Co²⁺ adalah 5 - 10 kkal/mol·K. Dari data pengamatan dan hasil perhitungan pada percobaan ini diperoleh nilai energi aktivasi reaksi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan Gas NO₂ adalah 6,3682 kkal/mol·K. Ini berarti bahwa energi minimum yang harus diberikan agar reaksi antara senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ dapat berlangsung adalah 6,3682 kkal/mol·K.

4.4. Penentuan Gugus Fungsional dalam Senyawa Kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] Setelah Berinteraksi dengan Gas NO₂ dengan Menggunakan Spektrofotometer Inframerah



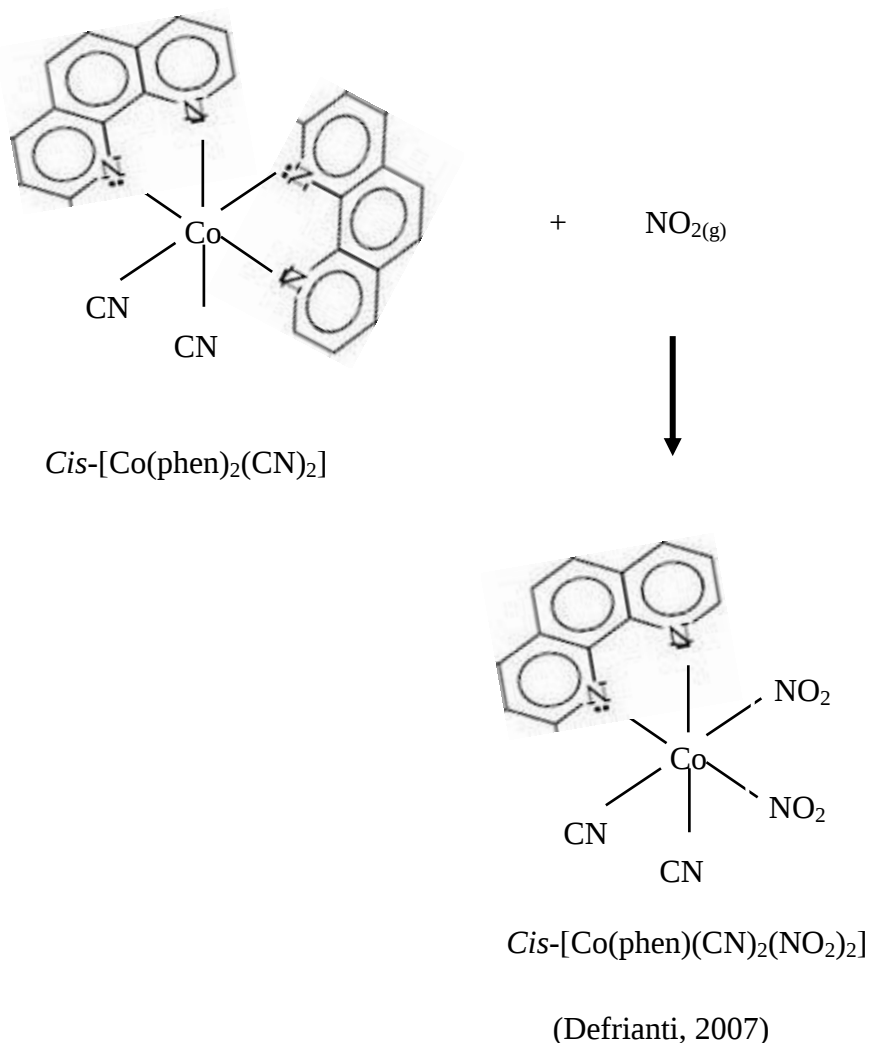
Gambar 9. Spektrum inframerah kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] setelah berinteraksi dengan gas NO₂

Dari Gambar 9 terlihat bahwa spektrum inframerah kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] setelah berinteraksi dengan gas NO₂ menunjukkan karakterisasi ikatan yang kuat pada 1653,26 cm⁻¹ (teori 1600-1700 cm⁻¹) untuk C=C, 1436,53 cm⁻¹ (teori 1400 – 1500 cm⁻¹) untuk C=N, 2917,75 cm⁻¹ (teori 2850 - 3000 cm⁻¹) untuk C-H dan 2240 cm⁻¹ (teori di daerah 2200 cm⁻¹) untuk C≡N. Ikatan pada 707,17 cm⁻¹ (teori 700 - 800 cm⁻¹) untuk cincin piridin pada ligan fenantrolin yang terkoordinasi, 1411,04 cm⁻¹ (teori 1400 - 1600 cm⁻¹) untuk NO₂, dan 3432,72 cm⁻¹ (teori 320 - 3600 cm⁻¹ tajam dan lebar) menunjukkan O-H dari molekul etanol yang terhidrat. Spektrum inframerah kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] setelah berinteraksi dengan gas NO₂ menunjukkan karakterisasi ikatan M-NO₂ pada 1411,04 cm⁻¹ (teori 1400 - 1600 cm⁻¹), ikatan ini menandakan bahwa logam Co berikatan langsung pada gugus NO₂ (Sujadi, 1983). Berdasarkan

hasil analisis gugus fungsi dengan menggunakan spektrofotometer inframerah maka dapat disimpulkan bahwa hasil interaksi kompleks $Cis-[Co(phen)_2(CN)_2]$ dengan gas NO_2 adalah senyawa kompleks $[Co(phen)(CN)_2(NO_2)_2] EtOH \cdot H_2O$.

Dalam deret spektrokimia, NO_2 merupakan ligan yang lebih lemah dari sianida dan ligan yang lebih kuat dari fenantrolin, sehingga NO_2 dapat menggantikan fenantrolin. Adanya efek trans memungkinkan reaksi substitusi pada kompleks $[Co(phen)_2(CN)_2]$ dengan gas NO_2 .

Kemungkinan reaksi yang terjadi antara senyawa kompleks $Cis-[Co(phen)_2(CN)_2]$ dengan gas NO_2 adalah :



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan :

1. Laju reaksi senyawa kompleks *cis*- [Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ merupakan reaksi orde pertama pada pH 7, dan reaksi orde nol pada pH 5 dan 8.
2. Semakin tinggi temperatur maka semakin cepat laju reaksi, dimana suhu optimum reaksi senyawa kompleks *cis*- [Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ adalah 70 °C
3. Energi aktivasi dari reaksi senyawa kompleks *cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ adalah 6,36822 kkal/mol·K

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, perlu dipelajari lebih lanjut bagaimana memanfaatkan kompleks *cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] ini sebagai adsorben polutan gas NO₂.

DAFTAR PUSTAKA

- Cotton, F. A. dan G. Wilkinson. 1989. Kimia anorganik dasar. Penterjemah S.Suharto. Universitas Indonesia Press. Jakarta. 665 hlm.
- Day, M. C. Jr. dan J. Selbin. 1987. Kimia Anorganik Teori. Terjemahan W. Susetyo. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 823 hlm
- Defrianti, D. 2007. Sintesis dan karakterisasi kompleks Co(II) menggunakan ligan 1,10-phenantrolin dan Sianida.(Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 71 pp.
- Dermawati, D. 2005. Sintesis, karakterisasi sifat magnet dan analisis termal kompleks $ML'L''$ ($M = Co(II)$, $L' = phen$, $L'' = CN$). Jurnal Ilmiah MIPA, Vol VIII, No. 2. pp1-5.
- Fangfang, J., H. Xiao, L. Li, P. Sun. 2003. Syntesis, crystal structure and thermal stability of bis (1,10-Phenantroline) Cobalt(II) Cyanide Etanol Solvate Dihydrate. J. Coord Chemistry. Vol 57. No.13, P. 1131-1137.
- Glenn D. R, Jr. 1953 . Some physico-chemical propertise of the system nitric acid-nitrogen diokside-water. California Institute of Technology. California
- Huheey, J.E., E.A. Keiter, R.L Keiter. 1993. Inorganic chemistry principles of structure and reactivity. 4th edition. Harper Collins. New York. 964 hlm
- Ilim. 1989. Studi kinetika reaksi pembentukan senyawa kompleks krom-etilen diamin terta asetat (CrEDTA) dengan metode spektrofotometri. FMIPA Andalas. Padang.
- Jolly, W. L. 1991. Modern inorganic chemistry. Mc Graw-Hill Book, Inc. Singapore. 655 hlm.
- Justiana S. 2006. Konverter katalitik, kurangi kadar emisi gas buang. Pikiran rakyat 27 april 2006.

- Khopkar, S. M. 1990. Konsep Dasar Kimia Analitik. Universitas Indonesia Press. Jakarta. 429 hlm.
- Keenan, dkk. 1986. Kimia Untuk Universitas. Penterjemah Aloysius Hadyana Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta. Hal: 686 hlm.
- Mastuti, O. 2008. *Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Co(II) Menggunakan Ligan Fenantrolin, Sianida dan NO₂*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 83 PP
- Messayu, P., S. Yogie, B. Hari. 2008. Magic Box Sebagai Pereduksi Polutan Udara. Lomba Inovasi Teknologi lingkungan. IPB. Bogor.
- Miller, F. M. 1984. Chemistry : Structure and Dynamic. Mc. Graw-Hill. Inc. New York. Hlm 773-796
- Nayak, S.C, P. K. Das, K. K. Sahoo. 2002. *Synthesis and Characterization of Some Cobalt(III) Complexes Containing Heterocyclic Nitrogen Donor Ligands*. chemistry. Pap. 57 (2) . pp 91- 96.
- Nugraheni, D. 2008. *Studi Pengaruh Waktu, Konsentrasi, pH, dan Temperature dalam Reaksi Kompleks [Fe(phen)₂(CN)₂] dengan Gas NO₂*. FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Petrucchi, Ralph. H. 1987. Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern Jilid 2. Erlangga. Jakarta. 365 hlm.
- Planaph, R. P. G. P. 2002. *Novel Cytotoxic Chelators That Bind Iron (II) Selectively Over Zinc (II) Under Aqueous Aerobic Condition*. Biochemical Society Transaction. Dept. of Chem. University of Hampshire. USA, Vol 30, Part 4. Pp. 758-762
- Purcell, K.F. dan Kotz, J.C. 1980. An Introduction to Inorganic Chemistry. Sounders College. New York. 619 hlm.
- Saito, T. 1996. Buku Teks Online Kimia Anorganik. Iswanami shoten. Tokyo. 202 hlm.
- Sastrawijaya, T. 1991. Pencemaran Lingkungan. Rineka Cipta. Jakarta. hlm 165-201
- Shryadeh, B.F. and Abuzuhri, A. 1987. *Kinetic Study of the Complexation of Palladium (II) with 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-diethylaminophenol*. Vol 1 No 4, hal 12- 19
- Simamora, A. 1997. *Studi Pengompleksan Co(II) dan Mn(II) dengan Ligan 1,10-Fenantrolin-4,7-dimetil-1,10 fenantrolin dan Rodanida*. Karya Utama Magister Ilmu Kimia. Universitas Indonesia. Jakarta

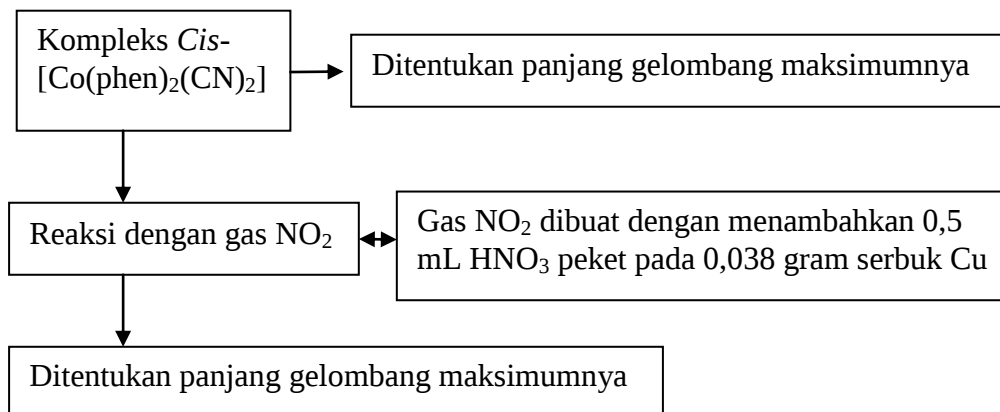
Sujadi. 1983. Penentuan Struktur Senyawa Organik. Ghalia Indonesia. Jakarta.

Sukardjo. 1989. Kimia Koordinasi. Rineka Cipta. Jakarta. 152 hlm.

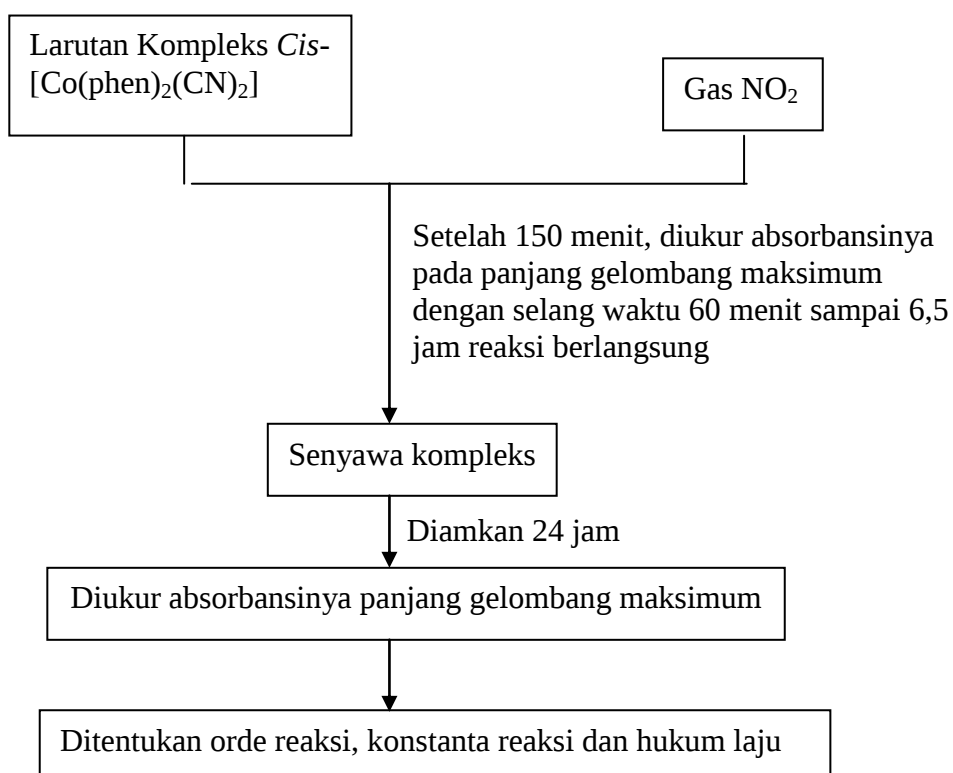
Svehla, G. 1985. Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. PT. Kalman Media Pustaka ; Jakarta

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.

L.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Senyawa Kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] Sebelum dan Sesudah Berinteraksi Dengan Gas NO₂



L.2. Pengaruh pH dan Suhu Terhadap Laju Reaksi Senyawa Kompleks *cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] Dengan Gas NO₂



Lampiran 2. Data Pengamatan reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 5 suhu 27°C

1. Menentukan laju reaksi.

Laju reaksi ditentukan dengan cara membuat grafik antara $(A_\infty - A_t)$ vs t , dimana koefisien arah ($\text{tg } \alpha$) dari grafik menyatakan laju reaksi (v). Salah satu contoh adalah untuk konsentrasi $\text{Cis-}[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27°C .

Tabel 11. Laju reaksi pada konsentrasi $\text{Cis-}[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M}$ pH 5

No	t (min)	A_t	$A_\infty - A_t$	$t(A_\infty - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,149	0,290	43,50	22500	$-1,0367 \times 10^{-3}$
2	210	0,157	0,282	59,22	44100	
3	270	0,258	0,181	48,87	72900	
4	330	0,329	0,110	36,30	108900	
5	390	0,374	0,065	25,35	152100	
6	~	0,439				
Tot	1350	1,267	0,928	213,24	400500	
Rata	270	0,253	0,186	42,648	80100	

Perhitungan – perhitungan :

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{n \sum(xy) - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum(x^2) - (\sum x)^2} \\
 &= \frac{n \sum(t(A_\infty - A_t)) - \sum t \cdot \sum (A_\infty - A_t)}{n \cdot \sum(t^2) - (\sum t)^2} \\
 &= \frac{5(213,24) - (1350 \cdot 0,928)}{5(400500) - (1350)^2} \\
 &= -1,0367 \times 10^{-3} \text{ M/menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{y} - b \cdot \bar{x} \\
 &= (\overline{A_\infty - A_t}) - b \cdot \bar{t} \\
 &= 0,186 - (-1,0367 \times 10^{-3}) \cdot 270 \\
 &= 0,46591
 \end{aligned}$$

$$y = a + b \cdot X$$

$$= 0,46591 + (-1,0367 \times 10^{-3}) \cdot x$$

$$y = 0,46591 + (-1,0367 \times 10^{-3}) \cdot t$$

dengan : $x = t$ dan $y = (A_{\infty} - A_t)$

n = jumlah pengukuran sampel

- b = laju reaksi (M/menit)

Jadi laju reaksi untuk konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-5}$ M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 5 suhu 27 °C adalah $1,0367 \times 10^{-3}$ M/menit. Dengan cara yang sama dapat ditentukan laju reaksi untuk data yang lain.

Tabel 12. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $1,6 \times 10^{-4}$ M pH 5

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,263	0,309	46,35	22500	$-1,1167 \times 10^{-3}$
2	210	0,318	0,254	53,34	44100	
3	270	0,419	0,153	41,31	72900	
4	330	0,492	0,080	26,40	108900	
5	390	0,511	0,061	23,79	152100	
6	~	0,572	-			
Tot	1350	2,003	0,857	191,19	400500	
Rata	270	0,401	0,171	38,24	80100	

Tabel 13. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-4}$ M pH 5

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,441	0,449	67,35	22500	$-1,2183 \times 10^{-3}$
2	210	0,509	0,381	80,01	44100	
3	270	0,589	0,301	81,27	72900	
4	330	0,640	0,250	82,50	108900	
5	390	0,741	0,149	58,11	152100	
6	~	0,890				
Tot	1350	3,810	1,530	369,24	400500	
Rata	270	0,584	0,306	73,85	80100	

Tabel 14. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M pH 5

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	Laju reaksi (b)
1	150	0,976	0,596	89,40	22500	1,7689x10 ⁻³
2	210	1,150	0,422	88,62	44100	
3	270	1,179	0,393	106,11	72900	
4	330	1,393	0,179	59,07	108900	
5	390	1,470	0,102	39,78	152100	
6	~	1,572	-			
Tot	1350	3,305	1,411	284,13	139500	
Rata	270	1,234	0,338	76,60	80100	

Tabel 15. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4}$ M pH 5

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	Laju reaksi (b)
1	150	1,080	0,437	65,55	22500	-1,8933 x10 ⁻³
2	210	1,222	0,295	61,95	44100	
3	270	1,413	0,104	28,08	72900	
4	330	1,504	0,013	4,29	108900	
5	390	1,507	0,010	3,90	152100	
6	~	1,517	-	-	-	
Tot	1350	6,726	0,859	163,77	400500	
Rata	270	1,345	0,172	32,75	80100	

Lampiran 3. Data Pengamatan reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 7 suhu 27°C

Tabel 16. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M}$ pH 7

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,306	0,189	28,35	22500	$-3,38 \times 10^{-4}$
2	210	0,346	0,149	31,29	44100	
3	270	0,355	0,140	37,80	72900	
4	330	0,373	0,122	40,26	108900	
5	390	0,394	0,101	39,39	152100	
6	~	0,495				
Tot	1350	2,269	0,701	177,09	400500	
Rata	270	0,355	0,140	35,42	80100	

Tabel 17. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $1,6 \times 10^{-4} \text{ M}$ pH 7

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,135	0,674	101,10	22500	$-6,32 \times 10^{-4}$
2	210	0,148	0,661	138,81	44100	
3	270	0,184	0,625	168,75	72900	
4	330	0,205	0,604	199,32	108900	
5	390	0,296	0,513	200,07	152100	
6	~	0,809	-			
Tot	1350	0,968	3,077	808,05	400500	
Rata	270	0,194	0,615	161,61	80100	

Tabel 18. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-4} \text{ M}$ pH 7

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,220	1,275	191,25	22500	$-8,55 \times 10^{-4}$
2	210	0,248	1,247	261,87	44100	
3	270	0,270	1,225	330,75	72900	
4	330	0,317	1,178	388,74	108900	
5	390	0,442	1,053	410,67	152100	
6	~	1,495	-			
Tot	1350	1,497	5,978	1583,30	400500	
Rata	270	0,299	1,196	316,66	80100	

Tabel 19. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M pH 7

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,992	0,462	69,30	22500	$-1,7317 \times 10^{-3}$
2	210	1,028	0,426	89,46	44100	
3	270	1,065	0,389	105,03	72900	
4	330	1,279	0,175	57,75	108900	
5	390	1,386	0,068	26,52	152100	
6	~	1,454	-			
Tot	1350	5,750	1,520	348,06	400500	
Rata	270	1,150	0,304	69,61	80100	

Tabel 20. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4}$ M pH 7

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,986	0,450	67,50	22500	$-1,77 \times 10^{-3}$
2	210	1,042	0,394	82,74	44100	
3	270	1,279	0,157	42,39	72900	
4	330	1,302	0,134	44,22	108900	
5	390	1,387	0,049	19,11	152100	
6	~	1,436	-			
Tot	1350	5,996	1,184	255,96	400500	
Rata	270	0,922	0,237	51,19	80100	

Lampiran 4. Data Pengamatan reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 8 suhu 27°C

Tabel 21. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5}$ M pH 8

No	t (min)	At	$A_\infty - A_t$	$t(A_\infty - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,275	0,151	22,65	22500	$-4,7 \times 10^{-4}$
2	210	0,319	0,107	22,47	44100	
3	270	0,363	0,063	17,01	72900	
4	330	0,375	0,051	16,83	108900	
5	390	0,388	0,038	14,82	152100	
6	~	0,426				
Tot	1350	2,146	0,410	93,78	400500	
Rata	270	0,344	0,082	18,76	80100	

Tabel 22. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $1,6 \times 10^{-4}$ M pH 8

No	t (min)	At	$A_\infty - A_t$	$t(A_\infty - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,246	0,437	65,55	22500	$-9,667 \times 10^{-4}$
2	210	0,331	0,352	73,92	44100	
3	270	0,358	0,325	87,75	72900	
4	330	0,385	0,298	98,34	108900	
5	390	0,509	0,174	67,86	152100	
6	~	0,683	-			
Tot	1350	1,829	1,586	393,42	400500	
Rata	270	0,502	0,317	78,68	80100	

Tabel 23. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-4}$ M pH 8

No	t (min)	At	$A_\infty - A_t$	$t(A_\infty - A_t)$	t^2	Laju reaksi (b)
1	150	0,256	0,440	66,00	22500	$-1,015 \times 10^{-3}$
2	210	0,358	0,338	70,98	44100	
3	270	0,444	0,252	68,04	72900	
4	330	0,459	0,237	78,21	108900	
5	390	0,510	0,186	72,54	152100	
6	~	0,696	-			
Tot	1350	2,027	1,453	355,77	400500	
Rata	270	0,4054	0,2906	71,15	80100	

Tabel 24. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5 x 10⁻⁴M pH 8

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	Laju reaksi (b)
1	150	0,558	0,339	50,85	22500	-1,375 x10 ⁻³
2	210	0,608	0,289	60,69	44100	
3	270	0,704	0,193	52,11	72900	
4	330	0,797	0,100	33,00	108900	
5	390	0,876	0,021	8,19	152100	
6	~	0,897	-			
Tot	1350	3,882	0,942	204,84	400500	
Rata	270	0,776	0,188	40,97	80100	

Tabel 25. Laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 6,7 x 10⁻⁴M pH 8

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	Laju reaksi (b)
1	150	0,696	0,323	48,45	22500	-1,1933 x10 ⁻³
2	210	0,766	0,253	53,13	44100	
3	270	0,838	0,181	48,87	72900	
4	330	0,896	0,123	40,59	108900	
5	390	0,989	0,030	11,70	152100	
6	~	1,019	-			
Tot	1350	4,185	0,910	202,74	400500	
Rata	270	0,837	0,182	40,55	80100	

Lampiran 5. Data Pengamatan dan perhitungan konstanta reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 5 suhu 27°C

2. Menentukan konstanta laju reaksi.

Dari persamaan : $\log (C-W) + \log C = k' \cdot t/2,303$, karena $\log C$ adalah konstan dan $\log (C-W)$ sebanding dengan besaran fisika ($A_\infty - A_t$), maka grafik – $\log (A_\infty - A_t)$ vs t menghasilkan garis lurus dengan koefisien arahnya $k'/2,303$. Salah satu contoh penentuan k' ini adalah untuk konsentrasi $\text{Cis-}[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27°C .

Tabel 26. Konstanta laju reaksi $\text{Cis-}[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M}$ pH 5

No	t (min)	A_t	$-\log(A_\infty - A_t)$	$t \cdot (-\log(A_\infty - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,149	0,5376	80,6403	22500	$2,846 \times 10^{-3}$	$1,236 \times 10^{-3}$
2	210	0,157	0,5498	115,4477	44100		
3	270	0,258	0,7423	200,4268	72900		
4	330	0,329	0,9586	316,3404	108900		
5	390	0,374	1,1871	462,9638	152100		
6	~	0,439					
Tot	1350	1,267	3,9754	1175,8190	400500		
Rata	270	0,253	0,7951	235,1640	80100		

$$b = \frac{n \sum (t \cdot (-\log (A_\infty - A_t))) - \sum t \cdot \sum (-\log (A_\infty - A_t))}{n \cdot \sum (t^2) - (\sum t)^2}$$

$$= \frac{5 (1175,819) - (1350 \cdot 3,9754)}{5 (400500) - (1350)^2}$$

$$= 2,846 \times 10^{-3}$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$= (-\log (A_\infty - A_t)) - b \cdot t$$

$$= 0,7951 - 2,846 \times 10^{-3} \cdot 270$$

$$= 2,655 \times 10^{-2}$$

$$y = a + b \cdot x$$

$$= 2,655 \times 10^{-2} + 2,846 \times 10^{-3} \cdot x$$

b merupakan koefisien arah dari grafik = $k' / 2,303$

$$k' = b \times 2,303 \quad (\text{menit}^{-1})$$

$$= 2,846 \times 10^{-3} \times 2,303$$

$$= 1,236 \times 10^{-3} \text{ menit}^{-1}$$

dengan $x = t$, $y = -\log(A_{\infty} - A_t)$, dan n = jumlah pengukuran sampel.

Jadi konstanta laju reaksi untuk konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-5} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27 °C adalah $1,236 \times 10^{-3} \text{ menit}^{-1}$. Dengan cara yang sama dapat ditentukan konstanta laju reaksi untuk data yang lain.

Tabel 27. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $1,6 \times 10^{-4} \text{ M}$ pH 5

No	t (min)	At	$-\log(A_{\infty} - A_t)$	$t \cdot (-\log(A_{\infty} - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,263	0,5100	76,5062	22500	$3,185 \times 10^{-3}$	$1,383 \times 10^{-3}$
2	210	0,318	0,5952	124,9849	44100		
3	270	0,419	0,8153	220,1333	72900		
4	330	0,492	1,0969	361,9803	108900		
5	390	0,511	1,2147	473,7214	152100		
6	~	0,572	-				
Tot	1350	2,003	4,2321	1257,3260	400500		
Rata	270	0,401	0,8464	251,4652	80100		

Tabel 28. konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-4} \text{ M}$ pH 5

No	t (min)	At	$-\log(A_{\infty} - A_t)$	$t \cdot (-\log(A_{\infty} - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,441	0,3478	52,1630	22500	$1,9 \times 10^{-3}$	$8,26 \times 10^{-4}$
2	210	0,509	0,4191	88,0058	44100		
3	270	0,589	0,5214	140,7870	72900		
4	330	0,640	0,6021	198,6798	108900		
5	390	0,741	0,8268	322,4574	152100		
6	~	0,890					
Tot	1350	3,810	2,7171	802,0930	400500		
Rata	270	0,584	0,5434	160,4186	80100		

Tabel 29. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M
pH 5

No	t (min)	At	-log(A _∞ - At)	t.(-log(A _∞ - At))	t ²	b	k'
1	150	0,976	0,2248	33,713	22500	2,269x10 ³	9,85 x10 ⁻⁴
2	210	1,150	0,3747	78,684	44100		
3	270	1,179	0,4056	109,514	72900		
4	330	1,393	0,7472	246,558	108900		
5	390	1,470	0,9914	386,646	152100		
6	~	1,572	-				
Tot	1350	3,305	1,0051	855,116	400500		
Rata	270	1,234	0,5487	171,023	80100		

Tabel 30. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4}$ M
pH 5

No	t (min)	At	-log(A _∞ - At)	t.(-log(A _∞ - At))	t ²	b	k'
1	150	1,080	0,3595	53,9278	22500	7,728 x10 ⁻³	3,356 x10 ⁻³
2	210	1,222	0,5302	111,3374	44100		
3	270	1,413	0,9830	265,4010	72900		
4	330	1,504	1,8861	622,3987	108900		
5	390	1,507	2,0000	780,0000	152100		
6	~	1,517	-				
Tot	1350	6,726	5,7587	1833,0650	400500		
Rata	270	1,345	1,1517	366,6130	80100		

Lampiran 6. Data Pengamatan dan perhitungan konstanta reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 7 suhu 27°C

Tabel 31. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M}$ pH 7

No	t (min)	At	$-\log(A_\infty - A_t)$	t. $(-\log(A_\infty - A_t))$	t ²	b	k'
1	150	0,306	0,7235	108,5307	22500	$1,052 \times 10^{-3}$	$4,57 \times 10^{-4}$
2	210	0,346	0,8268	173,6309	44100		
3	270	0,355	0,8539	230,5454	72900		
4	330	0,373	0,9136	301,5013	108900		
5	390	0,394	0,9957	388,3147	152100		
6	~	0,495					
Tot	1350	2,269	4,3135	1202,5230	400500		
Rata	270	0,355	0,8627	240,5046	80100		

Tabel 32. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $1,6 \times 10^{-4} \text{ M}$ pH 7

No	t (min)	At	$-\log(A_\infty - A_t)$	t. $(-\log(A_\infty - A_t))$	t ²	b	k'
1	150	0,135	0,1713	25,7010	22500	$4,6 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$
2	210	0,148	0,1798	37,7577	44100		
3	270	0,184	0,2041	55,1124	72900		
4	330	0,205	0,2190	72,2578	108900		
5	390	0,296	0,2899	113,0542	152100		
6	~	0,809	-				
Tot	1350	0,968	1,0641	303,8831	400500		
Rata	270	0,194	0,2128	60,7766	80100		

Tabel 33. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-4} \text{ M}$ pH 7

No	t (min)	At	$-\log(A_\infty - A_t)$	t. $(-\log(A_\infty - A_t))$	t ²	b	k'
1	150	0,220	-0,1055	-15,8265	22500	$3,18 \times 10^{-4}$	$1,38 \times 10^{-4}$
2	210	0,248	-0,0959	-20,1320	44100		
3	270	0,270	-0,0881	-23,7967	72900		
4	330	0,317	-0,0712	-23,4779	108900		
5	390	0,442	-0,0224	-8,7471	152100		
6	~	1,495	-				
Tot	1350	1,497	-0,3831	-91,9802	400500		
Rata	270	0,299	-0,0766	-18,3960	80100		

Tabel 34. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M
pH 7

No	t (min)	At	-log(A _∞ - At)	t.(-log(A _∞ - At))	t ²	b	k'
1	150	0,992	0,3354	50,3037	22500	$3,418 \times 10^{-3}$	$1,484 \times 10^{-3}$
2	210	1,028	0,3706	77,8240	44100		
3	270	1,065	0,4100	110,7136	72900		
4	330	1,279	0,7570	249,7974	108900		
5	390	1,386	1,1675	455,3215	152100		
6	~	1,454	-				
Tot	1350	5,750	3,0404	943,9603	400500		
Rata	270	1,150	0,6081	188,7921	80100		

Tabel 35. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4}$ M
pH 7

No	t (min)	At	-log(A _∞ - At)	t.(-log(A _∞ - At))	t ²	b	k'
1	150	0,986	0,3468	52,0181	22500	$3,991 \times 10^{-3}$	$1,733 \times 10^{-3}$
2	210	1,042	0,4045	84,9458	44100		
3	270	1,279	0,8041	217,1071	72900		
4	330	1,302	0,8729	288,0554	108900		
5	390	1,387	1,3098	510,8235	152100		
6	~	1,436	-				
Tot	1350	5,996	3,7381	1152,95	400500		
Rata	270	0,922	0,7476	230,59	80100		

Lampiran 7. Data Pengamatan dan perhitungan konstanta reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 8 suhu 27°C

Tabel 36. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5}$ M pH 8

No	t (min)	At	$-\log(A_\infty - A_t)$	t. $(-\log(A_\infty - A_t))$	t ²	b	k'
1	150	0,275	0,8210	123,1535	22500	$2,534 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$
2	210	0,319	0,9706	203,8294	44100		
3	270	0,363	1,2007	324,1781	72900		
4	330	0,375	1,2924	426,5018	108900		
5	390	0,388	1,4202	553,8844	152100		
6	~	0,426					
Tot	1350	2,146	5,7050	1631,5470	400500		
Rata	270	0,344	1,1410	326,3094	80100		

Tabel 37. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $1,6 \times 10^{-4}$ M pH 8

No	t (min)	At	$-\log(A_\infty - A_t)$	t. $(-\log(A_\infty - A_t))$	t ²	b	k'
1	150	0,246	0,3596	53,9278	22500	$1,54 \times 10^{-3}$	$6,31 \times 10^{-4}$
2	210	0,331	0,4535	95,2260	44100		
3	270	0,358	0,4881	131,7915	72900		
4	330	0,385	0,5258	173,5086	108900		
5	390	0,509	0,7594	296,1858	152100		
6	~	0,683	-				
Tot	1350	1,829	2,5863	750,6397	400500		
Rata	270	0,502	0,5173	150,1279	80100		

Tabel 38. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-4}$ M pH 8

No	t (min)	At	$-\log(A_\infty - A_t)$	t. $(-\log(A_\infty - A_t))$	t ²	b	k'
1	150	0,256	0,357	53,482	22500	$1,503 \times 10^{-3}$	$6,53 \times 10^{-4}$
2	210	0,358	0,471	98,928	44100		
3	270	0,444	0,599	161,622	72900		
4	330	0,459	0,625	206,333	108900		
5	390	0,510	0,731	284,890	152100		
6	~	0,696	-				
Tot	1350	2,027	2,782	805,254	400500		
Rata	270	0,405	0,556	161,051	80100		

Tabel 39. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M
pH 8

No	t (min)	At	$-\log(A_{\infty} - A_t)$	t. $(-\log(A_{\infty} - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,558	0,4698	70,4700	22500	$4,795 \times 10^{-3}$	$2,082 \times 10^{-3}$
2	210	0,608	0,5391	113,2115	44100		
3	270	0,704	0,7144	192,8995	72900		
4	330	0,797	1,0000	330,0000	108900		
5	390	0,876	1,6778	654,3345	152100		
6	~	0,897	-				
Tot	1350	3,882	4,4011	1360,9150	400500		
Rata	270	0,776	0,8802	272,1831	80100		

Tabel 40. Konstanta laju reaksi pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4}$ M
pH 8

No	t (min)	At	$-\log(A_{\infty} - A_t)$	t. $(-\log(A_{\infty} - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,696	0,4908	73,6196	22500	$3,962 \times 10^{-3}$	$1,72 \times 10^{-3}$
2	210	0,766	0,5969	125,345	44100		
3	270	0,838	0,7423	200,4268	72900		
4	330	0,896	0,9101	300,3313	108900		
5	390	0,989	1,5229	593,9227	152100		
6	~	1,019	-				
Tot	1350	4,185	4,2630	1293,6450	400500		
Rata	270	0,837	0,8526	258,7290	80100		

Lampiran 8. Menentukan orde reaksi kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂]

Dari persamaan laju : $v = k [\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]^x \cdot [\text{NO}_2]^y$

Jika dalam bentuk logaritma : $\log v = \log k + x \log [\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2] + y \log$

[NO₂]. Salah satu contoh penentuan orde reaksi untuk konsentrasi *Cis*-

[Co(phen)₂(CN)₂] bervariasi pada pH 5 suhu 27 °C. Dari grafik log v vs log

[Co(phen)₂(CN)₂] menghasilkan garis lurus dengan koefisien arahnya menyatakan

orde untuk [Co(phen)₂(CN)₂] dan berpotongan garis dengan sumbu y (intersep) =

$k_{\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2}$.

Tabel 41. Data perhitungan orde reaksi pada pH 5

[Co(phen) ₂ (CN) ₂]	$\frac{v}{[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]}$	$\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$	y	x.y	x ²
3,3 x10 ⁻⁵	1,0367 x10 ⁻³	-4,4815	-2,9844	13,3744	20,0837
16,4 x10 ⁻⁵	1,1167 x10 ⁻³	-3,7852	-2,9521	11,1741	14,3274
32,9 x10 ⁻⁵	1,2183 x10 ⁻³	-3,4828	-2,9142	10,1498	12,1299
50,3 x10 ⁻⁵	1,7689 x10 ⁻³	-3,2984	-2,7523	9,0783	10,8796
66,7 x10 ⁻⁵	1,8933 x10 ⁻³	-3,1759	-2,7228	8,6472	10,0862
Total	7,0338 x10 ⁻³	-18,2238	-14,3258	52,4237	67,5069
Rata-rata	1,4068 x10 ⁻³	-3,6448	-2,8652	10,4847	13,5014

$$y = -2,16083 + 0,193244 \cdot x \quad (b = \text{orde Rx} = 0,193244)$$

Perhitungan :

$x = \log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$, dan $y = \log v$

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum (x^2) - (\sum x)^2}$$

$$= \frac{n \sum ((\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]) \cdot \log v) - \sum \log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2] \cdot \sum \log v}{n \cdot \sum ((\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2])^2) - (\sum \log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2])^2}$$

$$= \frac{5 (52,4237) - (-18,2238) \cdot (-14,3258)}{5 \cdot (67,5069) - (-18,2238)^2}$$

$$= 0,193244$$

(b = orde reaksi)

$$\begin{aligned}
 a &= y - b \cdot x \\
 &= \overline{\log v} - b \cdot (\overline{\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]}) \\
 &= -2,8652 - (0,193244) \cdot (-3,6448) \\
 &= -2,16083
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= a + b \cdot x \\
 &= -2,16083 + 0,193244 \cdot x
 \end{aligned}$$

Jadi orde reaksi untuk *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] pada pH 5 suhu 27 °C adalah 0,193244. Dengan cara yang sama dapat ditentukan orde reaksi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] pada pH 7 dan 8.

Tabel 42. Data perhitungan orde reaksi pada pH 7

[Co(phen) ₂ (CN) ₂]	$\frac{v}{[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]}$	$\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$	y	x.y	x ²
3,3 x10 ⁻⁵	3,383 x10 ⁻⁴	-4,4815	-3,4707	15,5537	20,0837
16,4 x10 ⁻⁵	6,317 x10 ⁻⁴	-3,7852	-3,1995	12,1106	14,3274
32,9 x10 ⁻⁵	8,550 x10 ⁻⁴	-3,4828	-3,0680	10,6854	12,1299
50,3 x10 ⁻⁵	17,317 x10 ⁻⁴	-3,2984	-2,7615	9,1087	10,8797
66,7 x10 ⁻⁵	17,700 x10 ⁻⁴	-3,1759	-2,7520	8,7401	10,0862
Total	53,267 x10 ⁻⁴	-18,2238	-15,2518	56,1986	67,5069
Rata-rata	10,653 x10 ⁻⁴	-3,6448	-3,0504	11,2397	13,5014

$$y = -1,00395 + 0,561465 \cdot x \quad (b = \text{orde Rx} = 0,5615)$$

Tabel 43. Data perhitungan orde reaksi pada pH 8

[Co(phen) ₂ (CN) ₂]	$\frac{v}{[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]}$	$\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$	y	x.y	x ²
3,3 x10 ⁻⁵	4,53 x10 ⁻⁴	-4,4815	-3,3436	14,9842	20,0837
16,4 x10 ⁻⁵	9,67 x10 ⁻⁴	-3,7852	-3,0147	11,4112	14,3274
32,9 x10 ⁻⁵	10,15 x10 ⁻⁴	-3,4828	-2,9935	10,4259	12,1299
50,3 x10 ⁻⁵	11,80 x10 ⁻⁴	-3,2984	-2,9281	9,6582	10,8796
66,7 x10 ⁻⁵	11,93 x10 ⁻⁴	-3,1759	-2,9232	9,2839	10,0862
Total	4,53 x10 ⁻⁴	-4,4815	-3,3436	14,9842	20,0837
Rata-rata	9,67 x10 ⁻⁴	-3,7852	-3,0147	11,4112	14,3274

$$y = -1,8609 + 0,3237 \cdot x \quad (b = \text{orde Rx} = 0,3237)$$

**Lampiran 9. Data Pengamatan dan perhitungan untuk konsentrasi *Cis*-
[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4}$ M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 7
dan suhu bervariasi**

L.9.1. Laju Reaksi

Tabel 44. Laju reaksi pada suhu 27°C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	Laju reaksi (b)
1	150	0,260	0,899	134,9	22500	$-5,0 \times 10^{-4}$
2	210	0,330	0,830	174,3	44100	
3	270	0,364	0,796	214,9	72900	
4	330	0,370	0,790	260,7	108900	
5	390	0,390	0,770	300,3	152100	
6	~	1,160				
Tot	1350	1,720	4,085	1085	400500	
Rata	270	0,270	0,817	217	80100	

Tabel 45. Laju reaksi pada suhu 50°C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	Laju reaksi (b)
1	150	0,190	1,161	174,2	22500	$-9,5 \times 10^{-4}$
2	210	0,250	1,102	231,4	44100	
3	270	0,290	1,065	287,6	72900	
4	330	0,370	0,980	323,4	108900	
5	390	0,410	0,938	365,8	152100	
6	~	1,350				
Tot	1350	2,870	5,246	1382	400500	
Rata	270	0,300	1,049	276,5	80100	

Tabel 46. Laju reaksi pada suhu 60°C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	Laju reaksi (b)
1	150	0,310	1,169	175,4	22500	$-1,39 \times 10^{-3}$
2	210	0,330	1,144	240,2	44100	
3	270	0,440	1,036	279,7	72900	
4	330	0,510	0,971	320,4	108900	
5	390	0,640	0,840	327,6	152100	
6	~	1,480				
Tot	1350	3,700	5,160	1343	400500	
Rata	270	0,440	1,032	268,7	80100	

Tabel 47. Laju reaksi pada suhu 70°C

No	t (min)	At	A _∞ -At	t(A _∞ -At)	t ²	Laju reaksi (b)
1	150	0,354	0,894	134,10	22500	3,03x10 ⁻³
2	210	0,489	0,759	159,39	44100	
3	270	0,574	0,674	181,98	72900	
4	330	0,738	0,510	168,30	108900	
5	390	0,970	0,278	108,42	152100	
6	~	1,248	-			
Tot	1350	3,125	2,327	475,47	139500	
Rata	270	0,625	0,623	150,44	80100	

L.9.2. Konstanta laju reaksi

Tabel 48. Konstanta laju reaksi pada suhu 27°C

No	t (min)	At	-log(A _∞ - At)	t.(-log(A _∞ - At))	t ²	b	k'
1	150	0,260	4,6240 x10 ⁻³	6,9360	22500	2,6 x10 ⁻⁴	1,1 x10 ⁻⁴
2	210	0,330	8,0922 x10 ⁻³	16,9936	44100		
3	270	0,364	9,9087 x10 ⁻³	26,7535	72900		
4	330	0,370	10,2373 x10 ⁻³	33,7831	108900		
5	390	0,390	11,3509 x10 ⁻³	44,2686	152100		
6	~	1,160					
Tot	1350	1,720	44,2130 x10 ⁻³	128,7348	400500		
Rata	270	0,270	8,8430 x10 ⁻³	25,7470	80100		

Tabel 49. Konstanta laju reaksi pada suhu 50°C.

No	t (min)	At	-log(A _∞ - At)	t.(-log(A _∞ - At))	t ²	b	k'
1	150	0,190	64,83 x10 ⁻³	9,7248	22500	- 4,0 x10 ⁻⁴	1,7 x10 ⁻⁴
2	210	0,250	42,18 x10 ⁻³	8,8581	44100		
3	270	0,290	27,35 x10 ⁻³	7,3844	72900		
4	330	0,370	-8,77 x10 ⁻³	-2,8954	108900		
5	390	0,410	-27,8 x10 ⁻³	-10,8409	152100		
6	~	1,350					
Tot	1350	2,870	97,79 x10 ⁻³	12,2311	400500		
Rata	270	0,300	19,56 x10 ⁻³	2,4462	80100		

Tabel 50. Konstanta laju reaksi suhu 60°C

No	t (min)	At	$-\log(A_{\infty} - A_t)$	$t \cdot (-\log(A_{\infty} - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,310	$6,781 \times 10^{-2}$	10,1722	22500	-6×10^{-4}	$2,6 \times 10^{-4}$
2	210	0,330	$5,843 \times 10^{-2}$	12,2695	44100		
3	270	0,440	$1,536 \times 10^{-2}$	4,1471	72900		
4	330	0,510	$-1,278 \times 10^{-2}$	-4,2176	108900		
5	390	0,640	$-7,572 \times 10^{-2}$	-29,5311	152100		
6	~	1,480					
Tot	1350	3,700	$5,310 \times 10^{-2}$	-7,1600	400500		
Rata	270	0,440	$1,062 \times 10^{-2}$	-1,4320	80100		

Tabel 51. Konstanta laju reaksi suhu 70°C

No	t (min)	At	$-\log(A_{\infty} - A_t)$	$t \cdot (-\log(A_{\infty} - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,354	$4,8662 \times 10^{-2}$	7,2994	22500	$10,9 \times 10^{-4}$	$4,7 \times 10^{-4}$
2	210	0,489	$11,9758 \times 10^{-2}$	25,1492	44100		
3	270	0,574	$17,1340 \times 10^{-2}$	46,2618	72900		
4	330	0,738	$29,2430 \times 10^{-2}$	96,5018	108900		
5	390	0,970	$55,5955 \times 10^{-2}$	216,8225	152100		
6	~	1,248	-				
Tot	1350	3,125	$33,9761 \times 10^{-2}$	392,0348	400500		
Rata	270	0,625	$23,7629 \times 10^{-2}$	78,4070	80100		

Lampiran 10. Menentukan nilai Energi Aktivasi (Ea)

Dari persamaan archenius : $k = A \cdot e^{-E_a/RT}$, dalam bentuk logaritma : $\log k = \log A - E_a / 2,303 \cdot RT$. Jika dibuat grafik antara $\log k$ vs $1/T$ akan menghasilkan garis lurus dengan koefisien arahnya = $-E_a / 2,303 \cdot R$ dan perpotongan garis dengan sumbu y (intersep) = $\log A$. Salah satu contoh adalah penentuan E_a dengan konsentrasi $Cis-[Co(phen)_2(CN)_2]$ 5×10^{-4} M + 4×10^{-4} mol NO_2 pada pH 7 dan suhu bervariasi.

Tabel 52. Data perhitungan energi aktifasi (E_a)

No	T (K)	k'	log k'	1/T	(1/T) ²	1/T .log k'	Ea(kkal/mol·K)
1	300	$1,13 \times 10^{-4}$	-3,9474	$3,333 \times 10^{-3}$	$11,1 \times 10^{-6}$	$-13,16 \times 10^{-3}$	6,3682
2	323	$1,71 \times 10^{-4}$	-3,7671	$3,096 \times 10^{-3}$	$9,6 \times 10^{-6}$	$-11,66 \times 10^{-3}$	
3	333	$2,60 \times 10^{-4}$	-3,5850	$3,003 \times 10^{-3}$	$9,0 \times 10^{-6}$	$-10,77 \times 10^{-3}$	
4	343	$4,72 \times 10^{-4}$	-3,3260	$2,916 \times 10^{-3}$	$8,5 \times 10^{-6}$	$-9,70 \times 10^{-3}$	
Tot	1299	$10,16 \times 10^{-4}$	-14,6256	$12,348 \times 10^{-3}$	$38,0 \times 10^{-6}$	$-45,28 \times 10^{-3}$	
Rata2	325	$2,54 \times 10^{-4}$	-3,6564	$3,087 \times 10^{-3}$	$9,5 \times 10^{-6}$	$-11,32 \times 10^{-3}$	

$x = 1/T$ (T dalam Kelvin), dan $y = \log k'$, n = jumlah variasi suhu,

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum (x^2) - (\sum x)^2}$$

$$= \frac{4 (-45,28 \times 10^{-3}) - (12,348 \times 10^{-3}) \cdot (-14,6256)}{4 (38,0 \times 10^{-6}) - (12,348 \times 10^{-3})^2}$$

$$= -1391,639$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$= -3,6564 - (-1391,639) \cdot (3,087 \times 10^{-3})$$

$$= 0,639586$$

$$y = a + b \cdot x$$

$$= 0,639586 - 1391,639 \cdot x$$

$$E_a = -b \times 2,303 \times R \quad (\text{dengan } R = 1,987)$$

$$= -(-1391,639) \cdot 2,303 \cdot 1,987$$

$$= 6,3682 \quad (\text{kkal/ Mol}\cdot\text{K})$$

Jadi energi aktivasi (E_a) reaksi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ pada pH 7 adalah 6,3682 kkal/ Mol·K.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran 2. Data Pengamatan reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 5 suhu 27°C

Tabel 11. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27°C

No	t (min)	At	$A_\infty - A_t$	$t(A_\infty - A_t)$	t^2	b	$-\log(A_\infty - A_t)$	$t \cdot (-\log(A_\infty - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,149	0,290	43,50	22500		0,5376	80,6403	22500		
2	210	0,157	0,282	59,22	44100		0,5498	115,4477	44100		
3	270	0,258	0,181	48,87	72900	$-1,0367 \times 10^{-3}$	0,7423	200,4268	72900	$2,846 \times 10^{-3}$	$1,236 \times 10^{-3}$
4	330	0,329	0,110	36,30	108900		0,9586	316,3404	108900		
5	390	0,374	0,065	25,35	152100		1,1871	462,9638	152100		
6	~	0,439									
Tot	1350	1,267	0,928	213,24	400500		3,9754	1175,8190	400500		
Rata	270	0,253	0,186	42,648	80100		0,7951	235,1640	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = - 0,46591, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = $2,655 \times 10^{-2}$

Perhitungan – perhitungan :

2. Menentukan laju reaksi.

Laju reaksi ditentukan dengan cara membuat grafik antara $(A_\infty - A_t)$ vs t, dimana koefisien arah ($\text{tg } \alpha$) dari grafik menyatakan laju reaksi

(v). Salah satu contoh adalah untuk konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27°C .

$$b = \frac{n \sum (xy) - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum (x^2) - (\sum x)^2}$$

dengan : x = t dan y = $(A_\infty - A_t)$, serta n = jumlah pengukuran sampel

$$= \frac{n \sum (t(A_{\infty} - A_t)) - \sum t \cdot \sum (A_{\infty} - A_t)}{n \cdot \sum (t^2) - (\sum t)^2}$$

$$= \frac{5 (213,24) - (1350 \cdot 0,928)}{5 (400500) - (1350)^2}$$

$$= -1,0367 \times 10^{-3} \text{ M/menit}$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$= (\overline{A_{\infty} - A_t}) - \bar{b} \cdot t$$

$$= 0,186 - (-1,0367 \times 10^{-3}) \cdot 270$$

$$= 0,46591$$

$$y = a + b \cdot X$$

$$= 0,46591 + (-1,0367 \times 10^{-3}) \cdot x$$

$$y = 0,46591 + (-1,0367 \times 10^{-3}) \cdot t$$

- b = laju reaksi (M/menit)

Jadi laju reaksi untuk konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-5} \text{ M}$ + $4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27 °C adalah $1,0367 \times 10^{-3}$

M/menit. Dengan cara yang sama dapat ditentukan laju reaksi untuk data yang lain.

2. Menentukan konstanta reaksi.

Dari persamaan : $\log (C-W) + \log C = k' \cdot t/2,303$, karena $\log C$ adalah konstan dan $\log (C-W)$ sebanding dengan besaran fisika ($A_{\infty} - A_t$), maka grafik $-\log (A_{\infty} - A_t)$ vs t menghasilkan garis lurus dengan koefisien arahnya $k'/2,303$. Salah satu contoh penentuan k' ini adalah untuk konsentrasi $Cis-[Co(phen)_2(CN)_2]$ $3,3 \times 10^{-5} M + 4 \times 10^{-4} \text{ mol } NO_2$ pada pH 5 suhu $27^\circ C$.

$$b = \frac{n \sum (t \cdot (-\log (A_{\infty} - A_t))) - \sum t \cdot \sum (-\log (A_{\infty} - A_t))}{n \cdot \sum (t^2) - (\sum t)^2} \quad (\text{dengan } x = t, y = -\log (A_{\infty} - A_t), \text{ dan } n = \text{jumlah pengukuran sampel})$$

$$= \frac{5 (1175,819) - (1350 \cdot 3,9754)}{5 (400500) - (1350)^2}$$

$$= 2,846 \times 10^{-3}$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$= \overline{(-\log (A_{\infty} - A_t))} - b \cdot \bar{t}$$

$$= 0,7951 - 2,846 \times 10^{-3} \cdot 270$$

$$= 2,655 \times 10^{-2}$$

$$y = a + b \cdot x$$

$$= 2,655 \times 10^{-2} + 2,846 \times 10^{-3} \cdot x$$

b merupakan koefisien arah dari grafik = $k' / 2,303$

$$k' = b \times 2,303 \quad (\text{menit}^{-1})$$

$$= 2,846 \times 10^{-3} \times 2,303$$

$$= 1,236 \times 10^{-3} \text{ menit}^{-1}$$

Jadi konstanta laju reaksi untuk konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-5} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27 °C adalah $1,236 \times 10^{-3} \text{ menit}^{-1}$. Dengan cara yang sama dapat ditentukan konstanta laju reaksi untuk data yang lain.

Tabel 12. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $1,6 \times 10^{-4} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A _∞ -At	t(A _∞ -At)	t ²	b	-log(A _∞ -At)	t.(-log(A _∞ -At))	t ²	b	k'
1	150	0,263	0,309	46,35	22500		0,5100	76,5062	22500		
2	210	0,318	0,254	53,34	44100		0,5952	124,9849	44100		
3	270	0,419	0,153	41,31	72900	-1,1167 x10 ⁻³	0,8153	220,1333	72900	3,185x10 ⁻³	1,383x10 ⁻³
4	330	0,492	0,080	26,40	108900		1,0969	361,9803	108900		
5	390	0,511	0,061	23,79	152100		1,2147	473,7214	152100		
6	~	0,572	-				-				
tot	1350	2,003	0,857	191,19	400500		4,2321	1257,3260	400500		
rata	270	0,401	0,171	38,24	80100		0,8464	251,4652	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,4729, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,01353

Tabel 13. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-4}$ M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 5 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A _∞ -At	t(A _∞ -At)	t ²	b	-log(A _∞ -At)	t.(-log(A _∞ -At))	t ²	b	k'
1	150	0,441	0,449	67,35	22500		0,3478	52,1630	22500		
2	210	0,509	0,381	80,01	44100		0,4191	88,0058	44100		
3	270	0,589	0,301	81,27	72900	-1,2183x10 ⁻³	0,5214	140,7870	72900	1,9x10 ⁻³	8,26x10 ⁻⁴
4	330	0,640	0,250	82,50	108900		0,6021	198,6798	108900		
5	390	0,741	0,149	58,11	152100		0,8268	322,4574	152100		
6	~	0,890									
tot	1350	3,810	1,530	369,24	400500		2,7171	802,0930	400500		
rata	270	0,584	0,306	73,85	80100		0,5434	160,4186	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,63495, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = 0,02993

Tabel 14. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 5 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A _∞ -At	t(A _∞ -At)	t ²	b	-log(A _∞ -At)	t.(-log(A _∞ -At))	t ²	b	k'
1	150	0,976	0,596	89,40	22500		0,2248	33,713	22500		
2	210	1,150	0,422	88,62	44100		0,3747	78,684	44100		
3	270	1,179	0,393	106,11	72900	1,7689x10 ⁻³	0,4056	109,514	72900	2,269x10 ⁻³	9,85 x10 ⁻⁴
4	330	1,393	0,179	59,07	108900		0,7472	246,558	108900		
5	390	1,470	0,102	39,78	152100		0,9914	386,646	152100		
6	~	1,572	-				-				
tot	630	3,305	1,411	284,13	139500		1,0051	855,116	400500		
rata	270	1,234	0,338	76,60	80100		0,5487	171,023	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = - 0,1392, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,06379

Tabel 15. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4} \text{ M}$ + $4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 5 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A _∞ -At	t(A _∞ -At)	t ²	b	-log(A _∞ -At)	t.(-log(A _∞ -At))	t ²	b	k'
1	150	1,080	0,437	65,55	22500		0,3595	53,9278	22500		
2	210	1,222	0,295	61,95	44100		0,5302	111,3374	44100		
3	270	1,413	0,104	28,08	72900	-1,8933 x10 ⁻³	0,9830	265,4010	72900	7,728 x10 ⁻³	3,356 x10 ⁻
4	330	1,504	0,013	4,29	108900		1,8861	622,3987	108900		
5	390	1,507	0,010	3,90	152100		2,0000	780,0000	152100		
6	~	1,517	-	-	-		-				
tot	1350	6,726	0,859	163,77	400500		5,7587	1833,0650	400500		
rata	270	1,345	0,172	32,75	80100		1,1517	366,6130	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,683, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,93483

Lampiran 3. Data Pengamatan reaksi untuk konsentrasi [Co(phen)₂(CN)₂] bervariasi dan konsentrasi NO₂ konstan pH 7 suhu 27°C

Tabel 16. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-5} \text{ M}$ + $4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 7 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A _∞ -At	t(A _∞ -At)	t ²	b	-log(A _∞ -At)	t.(-log(A _∞ -At))	t ²	b	k'
1	150	0,306	0,189	28,35	22500		0,7235	108,5307	22500		
2	210	0,346	0,149	31,29	44100		0,8268	173,6309	44100		
3	270	0,355	0,140	37,80	72900	-3,38 x10 ⁻⁴	0,8539	230,5454	72900	1,052x10 ⁻³	4,57 x10 ⁻⁴
4	330	0,373	0,122	40,26	108900		0,9136	301,5013	108900		
5	390	0,394	0,101	39,39	152100		0,9957	388,3147	152100		

6	~	0,495						
tot	1350	2,269	0,701	177,09	400500	4,3135	1202,5230	400500
rata	270	0,355	0,140	35,42	80100	0,8627	240,5046	80100

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,23155, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = 0,5788

Tabel 17. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $1,6 \times 10^{-4}$ M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 7 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	b	-log(A~- At)	t.(-log(A~- At))	t ²	b	k'
1	150	0.135	0.674	101,10	22500		0,1713	25,7010	22500		
2	210	0.148	0.661	138,81	44100		0,1798	37,7577	44100		
3	270	0.184	0.625	168,75	72900	-6,32 x10 ⁻⁴	0,2041	55,1124	72900	4,6 x10 ⁻⁴	2,0 x10 ⁻⁴
4	330	0.205	0.604	199,32	108900		0,2190	72,2578	108900		
5	390	0.296	0.513	200,07	152100		0,2899	113,0542	152100		
6	~	0.809	-				-				
tot	1350	0.968	3.077	808,05	400500		1,0641	303,8831	400500		
rata	270	0.194	0.615	161,61	80100		0,2128	60,7766	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,78595, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = 0,088509

Tabel 18. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-4}$ M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 7 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	b	-log(A~- At)	t.(-log(A~- At))	t ²	b	k'
1	150	0,220	1,275	191,25	22500		-0,1055	-15,8265	22500		
2	210	0,248	1,247	261,87	44100		-0,0959	-20,1320	44100		
3	270	0,270	1,225	330,75	72900	-8,55 x10 ⁻⁴	-0,0881	-23,7967	72900	3,18 x10 ⁻⁴	1,38x10 ⁻⁴
4	330	0,317	1,178	388,74	108900		-0,0712	-23,4779	108900		
5	390	0,442	1,053	410,67	152100		-0,0224	-8,74706	152100		

6	~	1,495	-	-	-	-	-	-	-	-
tot	1350	1,497	5,978	1583,30	400500	-0,3831	-91,9802	400500	-	-
rata	270	0,299	1,196	316,66	80100	-0,0766	-18,3960	80100	-	-

a (intersep) penentuan laju reaksi = 1,42645, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,16252

Tabel 19. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 7 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	b	-log(A~- At)	t.(-log(A~- At))	t ²	b	k'
1	150	0,992	0,462	69,30	22500		0,3354	50,3037	22500		
2	210	1,028	0,426	89,46	44100		0,3706	77,8240	44100		
3	270	1,065	0,389	105,03	72900	-1,7317 x10 ⁻³	0,4100	110,7136	72900	3,418 x10 ⁻³	1,484 x10 ⁻³
4	330	1,279	0,175	57,75	108900		0,7570	249,7974	108900		
5	390	1,386	0,068	26,52	152100		1,1675	455,3215	152100		
6	~	1,454	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tot	1350	5,750	1,520	348,06	400500		3,0404	943,9603	400500		
rata	270	1,150	0,304	69,61	80100		0,6081	188,7921	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,77155, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,3147

Tabel 20. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4}$ M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 7 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	b	-log(A~- At)	t.(-log(A~- At))	t ²	b	k'
1	150	0,986	0,450	67,50	22500		0,3468	52,0181	22500		
2	210	1,042	0,394	82,74	44100	-1,77 x10 ⁻³	0,4045	84,9458	44100	3,991 x10 ⁻³	1,733 x10 ⁻³
3	270	1,279	0,157	42,39	72900		0,8041	217,1071	72900		

4	330	1,302	0,134	44,22	108900	0,8729	288,0554	108900
5	390	1,387	0,049	19,11	152100	1,3098	510,8235	152100
6	~	1,436	-			-		
tot	1350	5,996	1,184	255,96	400500	3,7381	1152,95	400500
rata	270	0,922	0,237	51,19	80100	0,7476	230,59	80100

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,7147, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,32987

Lampiran 4. Data Pengamatan reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 8 suhu 27°C

Tabel 21. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ $3,3 \times 10^{-5} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 8 suhu 27 °C

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	b	$-\log(A_{\infty} - A_t)$	$t \cdot (-\log(A_{\infty} - A_t))$	t^2	b	k'
1	150	0,275	0,151	22,65	22500		0,8210	123,1535	22500		
2	210	0,319	0,107	22,47	44100		0,9706	203,8294	44100		
3	270	0,363	0,063	17,01	72900	$-4,7 \times 10^{-4}$	1,2007	324,1781	72900	$2,534 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$
4	330	0,375	0,051	16,83	108900		1,2924	426,5018	108900		
5	390	0,388	0,038	14,82	152100		1,4202	553,8844	152100		
6	~	0,426									
tot	1350	2,146	0,410	93,78	400500		5,7050	1631,5470	400500		
rata	270	0,344	0,082	18,76	80100		1,1410	326,3094	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,2089, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = 0,456899

Tabel 22. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi $\text{Cis-}[\text{Co}(\text{phen})_2(\text{CN})_2]$ $1,6 \times 10^{-4} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 8 suhu 27 °C

No	t (min)	At	$A_{\infty} - A_t$	$t(A_{\infty} - A_t)$	t^2	b	$-\log(A_{\infty} - A_t)$	$t \cdot (-\log(A_{\infty} - A_t))$	t^2	b	k'
----	---------	----	--------------------	-----------------------	-------	---	---------------------------	-------------------------------------	-------	---	----

At)										
1	150	0,246	0,437	65,55	22500		0,3596	53,9278	22500	
2	210	0,331	0,352	73,92	44100		0,4535	95,2260	44100	
3	270	0,358	0,325	87,75	72900	$-9,667 \times 10^{-4}$	0,4881	131,7915	72900	$1,54 \times 10^{-3}$ $6,31 \times 10^{-4}$
4	330	0,385	0,298	98,34	108900		0,5258	173,5086	108900	
5	390	0,509	0,174	67,86	152100		0,7594	296,1858	152100	
6	~	0,683	-			-				
tot	1350	1,829	1,586	393,42	400500		2,5863	750,6397	400500	
rata	270	0,502	0,317	78,68	80100		0,5173	150,1279	80100	

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,5782, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = 0,12478

Tabel 23. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $3,3 \times 10^{-4}$ M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 8 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	b	-log(A~- At)	t.(-log(A~- At)	t ²	b	k'
1	150	0,256	0,44	66	22500		0,356547	53,4821	22500		
2	210	0,358	0,338	70,98	44100		0,471083	98,92749	44100		
3	270	0,444	0,252	68,04	72900	$-1,015 \times 10^{-3}$	0,598599	161,6219	72900	$1,503 \times 10^{-3}$ $6,53 \times 10^{-4}$	
4	330	0,459	0,237	78,21	108900		0,625252	206,333	108900		
5	390	0,51	0,186	72,54	152100		0,730487	284,89	152100		
6	~	0,696	-			-					
tot	1350	2,027	1,453	355,77	400500		2,781969	805,2544	400500		
rata	270	0,4054	0,2906	71,154	80100		0,556394	161,0509	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,56465, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = 0,15047

Tabel 24. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 8 suhu 27 °C

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-	t ²	b	-log(A~- At)	t.(-log(A~- At)	t ²	b	k'
----	---------	----	--------	--------	----------------	---	--------------	-----------------	----------------	---	----

At)										
1	150	0,558	0,339	50,85	22500		0,4698	70,4700	22500	
2	210	0,608	0,289	60,69	44100		0,5391	113,2115	44100	
3	270	0,704	0,193	52,11	72900	$-1,375 \times 10^{-3}$	0,7144	192,8995	72900	$4,795 \times 10^{-3}$ $2,082 \times 10^{-3}$
4	330	0,797	0,100	33,00	108900		1,0000	330,0000	108900	
5	390	0,876	0,021	8,19	152100		1,6778	654,3345	152100	
6	~	0,897	-				-			
tot	1350	3,882	0,942	204,84	400500		4,4011	1360,9150	400500	
rata	270	0,776	0,188	40,97	80100		0,8802	272,1831	80100	

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,55965, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,41436

Tabel 25. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] $6,7 \times 10^{-4}$ M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 8 suhu 27 °C.

No	t (min)	At	A~□-At	t(A~□-At)	t ²	b	-log(A~- At)	t.(-log(A~- At)	t ²	b	k'
1	150	0,696	0,323	48,45	22500		0,4908	73,6196	22500		
2	210	0,766	0,253	53,13	44100		0,5969	125,345	44100		
3	270	0,838	0,181	48,87	72900	$-1,1933 \times 10^{-3}$	0,7423	200,4268	72900	$3,962 \times 10^{-3}$	$1,72 \times 10^{-3}$
4	330	0,896	0,123	40,59	108900		0,9101	300,3313	108900		
5	390	0,989	0,030	11,70	152100		1,5229	593,9227	152100		
6	~	1,019	-				-				
tot	1350	4,185	0,910	202,74	400500		4,2630	1293,6450	400500		
rata	270	0,837	0,182	40,55	80100		0,8526	258,7290	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,5042, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,21723

Lampiran 5. Menentukan orde reaksi kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂]

Dari persamaan laju : $v = k [\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]^x \cdot [\text{NO}_2]^y$

Jika dalam bentuk logaritma : $\log v = \log k + x \log [\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2] + y \log [\text{NO}_2]$

Salah satu contoh penentuan orde reaksi untuk konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi pada pH 5 suhu 27 °C. Dari grafik log v vs log $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ menghasilkan garis lurus dengan koefisien arahnya menyatakan orde untuk $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ dan berpotongan garis dengan sumbu y (intersep) = $k_{\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2}$.

Tabel 26. Data perhitungan orde reaksi pada pH 5

No	konsentrasi		v	log $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$	y	x.y	x2	b
	$\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2$	NO_2						
1	$3,3 \times 10^{-5}$	$2,667 \times 10^{-2}$	$1,0367 \times 10^{-3}$	-4,4815	-2,9844	13,3744	20,0837	0,1932
2	$16,4 \times 10^{-5}$	$2,667 \times 10^{-2}$	$1,1167 \times 10^{-3}$	-3,7852	-2,9521	11,1741	14,3274	
3	$32,9 \times 10^{-5}$	$2,667 \times 10^{-2}$	$1,2183 \times 10^{-3}$	-3,4828	-2,9142	10,1498	12,1299	
4	$50,3 \times 10^{-5}$	$2,667 \times 10^{-2}$	$1,7689 \times 10^{-3}$	-3,2984	-2,7523	9,0783	10,8796	
5	$66,7 \times 10^{-5}$	$2,667 \times 10^{-2}$	$1,8933 \times 10^{-3}$	-3,1759	-2,7228	8,6472	10,0862	
tot	$16960,0 \times 10^{-5}$	$13,333 \times 10^{-2}$	$7,0338 \times 10^{-3}$	-18,2238	-14,3258	52,4237	67,5069	
rata	$33,9 \times 10^{-5}$	$2,667 \times 10^{-2}$	$1,4068 \times 10^{-3}$	-3,6448	-2,8652	10,4847	13,5014	

$$y = -2,16083 + 0,193244 \cdot x \quad (\text{orde Rx} = 0,193244 \text{ dan intersep} = -2,16083)$$

Perhitungan :

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum (x^2) - (\sum x)^2} \quad x = \log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2], \text{ dan } y = \log v$$

$$= \frac{n \sum ((\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]) \cdot \log v) - \sum \log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2] \cdot \sum \log v}{n \cdot \sum ((\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2])^2) - (\sum \log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2])^2}$$

$$= \frac{5 (52,4237) - (-18,2238) \cdot (-14,3258)}{5 \cdot (67,5069) - (-18,2238)^2}$$

$$= 0,193244 \quad (b = \text{orde reaksi})$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$= \overline{\log v} - b \cdot (\overline{\log[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]})$$

$$= -2,8652 - (0,193244) \cdot (-3,6448)$$

$$= -2,16083$$

$$y = a + b \cdot x$$

$$= -2,16083 + 0,193244 \cdot x$$

Jadi orde reaksi untuk *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] pada pH 5 suhu 27 °C adalah 0,193244. Dengan cara yang sama dapat ditentukan orde reaksi

Cis-[Co(phen)₂(CN)₂] pada pH 7 dan 8.

Tabel 27. Data perhitungan orde reaksi pada pH 7

No	konsentrasi		v . Co(phen) ₂ (CN) ₂	log[Co(phen) ₂ (CN) ₂]	y	x.y	x ²	b
	Co(phen) ₂ (CN) ₂	NO ₂						
1	3,3 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	3,383 x10 ⁻⁴	-4,4815	-3,4707	15,5537	20,0837	0,5615
2	16,4 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	6,317 x10 ⁻⁴	-3,7852	-3,1995	12,1106	14,3274	
3	32,9 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	8,550 x10 ⁻⁴	-3,4828	-3,0680	10,6854	12,1299	
4	50,3 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	17,317 x10 ⁻⁴	-3,2984	-2,7615	9,1087	10,8797	
5	66,7 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	17,700 x10 ⁻⁴	-3,1759	-2,7520	8,7401	10,0862	
tot	16960,0 x10 ⁻⁵	13,333 x10 ⁻²	53,267 x10 ⁻⁴	-18,2238	-15,2518	56,1986	67,5069	
rata	33,9 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	10,653 x10 ⁻⁴	-3,6448	-3,0504	11,2397	13,5014	

$$y = -1,00395 + 0,561465 \cdot x \quad (\text{orde } R_x = 0,561465, \text{ dan } a = -1,0040)$$

Tabel 28. Data perhitungan orde reaksi pada pH 8

No	konsentrasi		v .Co(phen) ₂ (CN) ₂	log[Co(phen) ₂ (CN) ₂]	y	x.y	x ²	b
	Co(phen) ₂ (CN) ₂	NO ₂						
1	3,3 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	4,53 x10 ⁻⁴	-4,4815	-3,3436	14,9842	20,0837	0,3237
2	16,4 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	9,67 x10 ⁻⁴	-3,7852	-3,0147	11,4112	14,3274	
3	32,9 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	10,15 x10 ⁻⁴	-3,4828	-2,9935	10,4259	12,1299	
4	50,3 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	11,80 x10 ⁻⁴	-3,2984	-2,9281	9,6582	10,8796	
5	66,7 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	11,93 x10 ⁻⁴	-3,1759	-2,9232	9,2839	10,0862	
tot	16960,0 x10 ⁻⁵	13,333 x10 ⁻²	48,08 x10 ⁻⁴	-18,2237	-15,203	55,7634	67,5069	
rata	33,9 x10 ⁻⁵	2,667 x10 ⁻²	9,62 x10 ⁻⁴	-3,6448	-3,0406	11,1527	13,5014	

$$y = -1,8609 + 0,3237 \cdot x \quad (\text{orde } R_x = 0,3237, \text{ dan } a = -1,8609)$$

Lampiran 6. Data Pengamatan reaksi untuk konsentrasi $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ bervariasi dan konsentrasi NO_2 konstan pH 7 pada suhu 27°C

Tabel 29. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $5 \times 10^{-4} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 7 suhu 27°C

No	t (min)	At	A~ - At	t(A~ -At)	t ²	b	-log (A~ - At)	x.y	t ²	b	k'
1	150	0,260	0,899	134,9	22500	$-5,0 \times 10^{-4}$	$4,6240 \times 10^{-3}$	6,9360	22500	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$
2	210	0,330	0,830	174,3	44100		$8,0922 \times 10^{-3}$	16,9936	44100		
3	270	0,364	0,796	214,9	72900		$9,9087 \times 10^{-3}$	26,7535	72900		
4	330	0,370	0,790	260,7	108900		$10,2373 \times 10^{-3}$	33,7831	108900		
5	390	0,390	0,770	300,3	152100		$11,3509 \times 10^{-3}$	44,2686	152100		
6	~	1,160									
tot	1350	1,720	4,085	1085	400500		$44,2130 \times 10^{-3}$	128,7348	400500		
rata	270	0,270	0,817	217	80100		$8,8430 \times 10^{-3}$	25,7470	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 0,9511, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = $1,823 \times 10^{-2}$

Tabel 30. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*- $[\text{Co(phen)}_2(\text{CN})_2]$ $5 \times 10^{-4} \text{ M} + 4 \times 10^{-4} \text{ mol NO}_2$ pada pH 7 suhu 50°C

No	t (min)	At	A~ - At	t(A~ -At)	t ²	b	-log (A~ - At)	x.y	t ²	b	k'
1	150	0,19	1,161	174,2	22500	$-9,5 \times 10^{-4}$	$64,83 \times 10^{-3}$	9,7248	22500	$-4,0 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$
2	210	0,25	1,102	231,4	44100		$42,18 \times 10^{-3}$	8,8581	44100		
3	270	0,29	1,065	287,6	72900		$27,35 \times 10^{-3}$	7,3844	72900		
4	330	0,37	0,980	323,4	108900		$-8,77 \times 10^{-3}$	-2,8954	108900		
5	390	0,41	0,938	365,8	152100		$-27,8 \times 10^{-3}$	-10,8409	152100		
6	~	1,35									
tot	1350	2,87	5,246	1382	400500		$97,79 \times 10^{-3}$	12,2311	400500		
rata	270	0,30	1,049	276,5	80100		$19,56 \times 10^{-3}$	2,4462	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 1,3048, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = 0,12585

Tabel 31. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 7 suhu 60 °C

No	t (min)	At	A~ - At	t(A~ -At)	t ²	b	-log (A~- At)	x.y	t ²	b	k'
1	150	0,31	1,169	175,4	22500		$6,781 \times 10^{-2}$	10,1722	22500		
2	210	0,33	1,144	240,2	44100		$5,843 \times 10^{-2}$	12,2695	44100		
3	270	0,44	1,036	279,7	72900	$-1,39 \times 10^{-3}$	$1,536 \times 10^{-2}$	4,1471	72900	-6×10^{-4}	$2,6 \times 10^{-4}$
4	330	0,51	0,971	320,4	108900		$-1,278 \times 10^{-2}$	-4,2176	108900		
5	390	0,64	0,840	327,6	152100		$-7,572 \times 10^{-2}$	-29,5311	152100		
6	~	1,48									
tot	1350	3,70	5,160	1343	400500		$5,310 \times 10^{-2}$	-7,1600	400500		
rata	270	0,44	1,032	268,7	80100		$1,062 \times 10^{-2}$	-1,4320	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = 1,4060, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = 0,17184

Tabel 32. Data pengamatan dan perhitungan pada konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M + 4×10^{-4} mol NO₂ pada pH 7 suhu 70 °C

No	t (min)	At	A~ - At	t(A~ -At)	t ²	b	-log (A~- At)	x.y	t ²	B	k'
1	150	0,354	0,894	134,10	22500		$4,8662 \times 10^{-2}$	7,2994	22500		
2	210	0,489	0,759	159,39	44100		$11,9758 \times 10^{-2}$	25,1492	44100		
3	270	0,574	0,674	181,98	72900	$3,03 \times 10^{-3}$	$17,1340 \times 10^{-2}$	46,2618	72900	$10,9 \times 10^{-4}$	$4,7 \times 10^{-4}$
4	330	0,738	0,510	168,30	108900		$29,2430 \times 10^{-2}$	96,5018	108900		
5	390	0,970	0,278	108,42	152100		$55,5955 \times 10^{-2}$	216,8225	152100		
6	~	1,248	-				-				
tot	630	3,125	2,327	475,47	139500		$33,9761 \times 10^{-2}$	392,0348	400500		
rata	270	0,625	0,623	150,44	80100		$23,7629 \times 10^{-2}$	78,4070	80100		

a (intersep) penentuan laju reaksi = -0,1956, dan a (intersep) penentuan konstanta reaksi = -0,056

Lampiran 7. Menentukan nilai Energi Aktivasi (Ea)

Dari persamaan archenius : $k = A \cdot e^{-E_a/RT}$, dalam bentuk logaritma : $\log k = \log A - E_a / 2,303 \cdot RT$. Jika dibuat grafik antara $\log k$ vs $1/T$ akan menghasilkan garis lurus dengan koefisien arahnya = $-E_a / 2,303 \cdot R$ dan perpotongan garis dengan sumbu y (intersep) = $\log A$. Salah satu contoh adalah penentuan E_a pada pH 7.

Tabel 33. Data perhitungan energi aktifasi pada pH 7 suhu 27 °C dengan konsentrasi *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] 5×10^{-4} M + 4×10^{-4} mol NO₂.

No	T (K)	k'	log k'	1/T	(1/T) ²	1/T .log k'	b	Ea(kkal/mol.K)
1	300	$1,13 \times 10^{-4}$	-3,9474	$3,333 \times 10^{-3}$	$11,1 \times 10^{-6}$	$-13,16 \times 10^{-3}$	-1391,639	6,36822
2	323	$1,71 \times 10^{-4}$	-3,7671	$3,096 \times 10^{-3}$	$9,6 \times 10^{-6}$	$-11,66 \times 10^{-3}$		
3	333	$2,60 \times 10^{-4}$	-3,5850	$3,003 \times 10^{-3}$	$9,0 \times 10^{-6}$	$-10,77 \times 10^{-3}$		
4	343	$4,72 \times 10^{-4}$	-3,3260	$2,916 \times 10^{-3}$	$8,5 \times 10^{-6}$	$-9,70 \times 10^{-3}$		
total	1299	$10,16 \times 10^{-4}$	-14,6256	$12,348 \times 10^{-3}$	$38,0 \times 10^{-6}$	$-45,28 \times 10^{-3}$		
rata2	325	$2,54 \times 10^{-4}$	-3,6564	$3,087 \times 10^{-3}$	$9,5 \times 10^{-6}$	$-11,32 \times 10^{-3}$		

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum (x^2) - (\sum x)^2}$$

$x = 1/T$ (T dalam Kelvin), dan $y = \log k'$, $n =$ jumlah variasi suhu,

$$= \frac{4(-45,28 \times 10^{-3}) - (12,348 \times 10^{-3}) \cdot (-14,6256)}{4(38,0 \times 10^{-6}) - (12,348 \times 10^{-3})^2}$$

$$= -1391,639$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$= -3,6564 - (-1391,639) \cdot (3,087 \times 10^{-3})$$

$$= 0,639586$$

$$y = a + b \cdot x$$

$$= 0,639586 - 1391,639 \cdot x$$

$$E_a = -b \times 2,303 \times R \quad (\text{dengan } R = 1,987)$$

$$= -(-1391,639) \cdot 2,303 \cdot 1,987$$

$$= 6,368225 \quad (\text{kkal. Mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

Jadi energi aktivasi (E_a) reaksi senyawa kompleks *Cis*-[Co(phen)₂(CN)₂] dengan gas NO₂ pada pH 7 adalah 6,368225 (kkal. Mol⁻¹.K⁻¹).