

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Lishawati dengan judul skripsi “Kemampuan Siswa dalam Menyelesaikan Soal-Soal uraian Terstruktur Materi Kalor Kelas X Semester II SMA Negeri 1 Dusun Tengah Tahun Ajaran 2009/2010” yang menyatakan bahwa ketuntasan individu peserta didik adalah sebesar 75% dan ketuntasan klasikalnya tidak tuntas karena hanya masih dibawah 85%. Hasil belajar yang rendah disebabkan karena peserta didik mengalami kesulitan belajar, lebih tepatnya pada kesulitan menyelesaikan soal uraian terstruktur yang secara umum terletak pada kurangnya pemahaman konsep dan kurangnya penguasaan operasi hitungan. Kesamaan peneliti dengan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil belajar atau prestasi belajar peserta didik dengan menggunakan tes uraian terstruktur dan untuk mengetahui kesulitan peserta didik dalam menjawab soal-soal uraian terstruktur yang diberikan. Perbedaan dengan penelitian ini adalah sampel yang digunakan dalam masing-masing penelitian berbeda sehingga kemampuan kognitif peserta didik juga akan berbeda dan kesulitannya pun kemungkinan akan berbeda pula dan strategi yang digunakan dalam pembelajaran pun berbeda. Kekurangannya penelitian ini hanya menyajikan soal-soal uraian terstruktur pada ranah kognitif tingkat penerapan saja, sehingga kemampuan peserta didik yang terukur hanya pada tingkat kognitif C3. Hal ini membuat peneliti menggunakan soal uraian terstruktur untuk semua

tingkat kognitif agar dapat mengukur kemampuan peserta didik untuk semua ranah kognitifnya¹

Penelitian yang dilakukan oleh Arie Rahman dengan judul skripsi “Penerapan Model Pengajaran Langsung (*Direct Intruction*) Dengan Menggunakan Strategi Belajar Peta Konsep (*Concept Mapping*) Pada Materi Pokok Teori Kinetik Gas Kelas XI Semester II SMA Negeri 4 Palangka Raya Tahun Ajaran 2012/2013” menyatakan bahwa materi teori kinetik gas berisi konsep-konsep fisika seperti rumusan, hitungan, fakta yang harus diingat, kosakata khusus, besaran mikroskopik yang tidak dapat diukur secara langsung dilaboratorium dan hukum-hukum yang mengaitkan satu ide dengan ide yang lain serta konsep fisika yang bersifat abstrak. Model pengajaran langsung (*Direct Intruction*) secara keseluruhan mampu meningkatkan hasil tes pemahaman konsep peserta didik dan hasil belajar peserta didik sebesar 66,67%. Perbedaannya adalah variabel yang ingin dicapai yaitu pemahaman konsep sedangkan pada penelitian ini adalah kesulitan peserta didik dalam menyelesaikan soal uraian terstruktur. Kekurangannya adalah guru dituntut agar lebih mengarahkan dan memperhatikan peserta didik dalam belajar. Hal ini memuat peneliti untuk memperhatikan hasil belajar yang dikerjakan peserta didik dan bagaimana memperlakukan peserta didik dengan baik.²

¹ Lishawati, “Kemampuan Siswa dalam Menyelesaikan Soal-Soal Uraian Terstruktur Materi Kalor Kelas X Semester II SMA Negeri 1 Dusun Tengah Tahun Ajaran 2009/2010,” Skripsi, Palangka Raya: Universitas Palangka Raya, 2009, t.d.

² Arie Rahman, “Penerapan Model Pengajaran Langsung (*Direct Intruction*) Dengan Menggunakan Strategi Belajar Peta Konsep (*Concept Mapping*) Pada Materi Pokok Teori Kinetik Gas Kelas XI Semester II SMA Negeri 4 Palangka Raya Tahun Ajaran 2012/2013,” Skripsi, Palangka Raya: Universitas Palangka Raya, 2013, t.d.

Penelitian yang dilakukan oleh Eka Larasati dengan judul skripsi “Keterampilan Berkomunikasi Sains Siswa Melalui Metode Eksperimen pada Pembelajaran Fisika Pokok Bahasan Gerak Lurus Kelas X MAN Model Palangka Raya Tahun Ajaran 2013/2014” yang menyatakan bahwa Peserta didik di MAN Model Palangka Raya masih mengalami kesulitan dalam mengerjakan soal-soal yang berkaitan dengan penguasaan konsep. Hal itu juga terlihat dari hasil observasi awal yang peneliti lakukan di MAN Model. Perbedaan dari penelitian ini adalah terletak dari metode yang digunakan dalam pembelajaran dikelas dan variabel penelitian yang berupa keterampilan berkomunikasi sains berbeda dengan yang peneliti lakukan. Kekurangan dari penelitian ini adalah soal-soal yang digunakan pada kegiatan evaluasi hampir sama dengan soal-soal ulangan atau tes. Hal ini membuat peneliti untuk membuat soal-soal evaluasi yang berbeda dan lebih bervariasi dengan soal-soal ulangan.³

Penelitian yang dilakukan oleh Gede Bandem Samudra, I Wayan Suastra, Ketut Suma dengan judul jurnal “Permasalahan-Permasalahan yang Dihadapi Siswa SMA di Kota Singaraja dalam Mempelajari Fisika” yang menyatakan bahwa peserta didik banyak mengalami kesulitan dalam belajar fisika karena materi fisika itu padat, menghafal, dan menghitung serta pembelajaran fisika dikelas yang tidak kontekstual. Materi fisika yang memiliki materi cukup padat, berisi hafalan dan menghitung salah satunya adalah materi teori kinetik gas, dimana hal ini memiliki kesamaan dengan pemikiran peneliti. Hal yang berbeda dari penelitian ini adalah teknik pengumpulan data penelitian ini menggunakan

³ Eka Larasati, “*Keterampilan Berkomunikasi Sains Siswa Melalui Metode Eksperimen pada Pembelajaran Fisika Pokok Bahasan Gerak Lurus Kelas X MAN Model Palangka Raya Tahun Ajaran 2013/2014*,” Skripsi, Palangka Raya: Sekolah Tinggi Agama Islam, 2014, t.d.

metode survey, observasi partisipatif pasif dan wawancara sedangkan peneliti menggunakan teknik observasi data tes uraian terstruktur. Kekurangan dari penelitian ini adalah hanya mencari masalah kesulitan dalam belajar secara umum dan universal saja sehingga tidak terlalu spesifik terhadap materi fisika. Kelebihannya adalah sampel yang digunakan lebih dari 1 sekolah sehingga lebih banyak sampel akan lebih menguatkan hasil penelitian.⁴

Penelitian yang dilakukan oleh Ani Rusilowati dengan judul jurnal “Profil Kesulitan Belajar Fisika Pokok Bahasan Kelistrikan Siswa SMA di Kota Semarang” menyatakan bahwa kesulitan belajar kelistrikan antara lain disebabkan oleh rendahnya penguasaan konsep, lemahnya kemampuan matematis, dan kekurangmampuan mengkonversi satuan. Penyebab kesulitan belajar dalam pengetahuan terstruktur adalah rendahnya kemampuan: verbal, menggunakan skema, strategi pemecahan masalah dan membuat algoritma. Kesamaan dalam penelitian ini adalah meneliti kesulitan dalam belajar walaupun kesulitan disini bukan kesulitan dalam menyelesaikan soal uraian terstruktur tetapi teknik pengumpulan data ini dengan memberikan tes kepada peserta didik. Perbedaan antara penelitian Ani Rusilowati dengan peneliti adalah pada Ani tidak diberi perlakuan kepada peserta didik sedangkan pada peneliti memberikan perlakuan pada pembelajaran disekolah, sehingga dapat diketahui bagaimana hasil belajar peserta didik tersebut dan kesulitan dalam menyelesaikan soal uraian terstruktur.⁵

⁴ Gede Bandem Samudra dkk, “Permasalahan-Permasalahan yang Dihadapi Siswa SMA di Kota Singaraja dalam Mempelajari Fisika,” e-Journal Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesa Program Studi IPA, Vol. 4, 2014.

⁵ Ani Rusilowati, “Profil Kesulitan Belajar Fisika Pokok Bahasan Kelistrikan Siswa SMA di Kota Semarang,” Jurnal Pend. Fisika Indonesia, Vol. 4, No. 2, 2006.

B. Belajar

1. Pengertian Belajar

Belajar adalah suatu kata yang sudah akrab dengan semua lapisan masyarakat. Bagi para peserta didik dan mahasiswa kata belajar merupakan kata yang tidak asing, bahkan sudah merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari semua kegiatan peserta didik dalam menuntut ilmu di lembaga pendidikan formal. Kata belajar ada pengertian yang tersimpan didalamnya. Pengertian dari kata belajar itulah yang perlu diketahui dan dihayati, sehingga tidak melahirkan pemahaman yang keliru mengenai masalah belajar. Para ahli psikologi dan pendidikan mengemukakan rumusan yang berlainan sesuai dengan bidang keahlian mereka masing-masing.⁶

Belajar menurut kamus besar Bahasa Indonesia, artinya berusaha (berlatih dan sebagainya) supaya mendapatkan sesuatu kepandaian. Definisi tersebut dapat diartikan bahwa belajar adalah suatu proses pertumbuhan dalam diri seseorang yang ditampakkan dalam bentuk peningkatan kualitas dan kuantitas tingkah laku seperti peningkatan pengetahuan, kecakapan, daya pikir, kebiasaan, dan lain-lain. W.S. Winkel mengartikan belajar sebagai:

Suatu aktivitas mental/psikis yang berlangsung dalam interaksi aktif dengan lingkungan, yang menghasilkan perubahan-perubahan dalam pengetahuan-pemahaman, keterampilan dan nilai-sikap. Perubahan itu bersifat secara relatif konstan dan berbekas.

Bobbi Deporter mengartikan belajar sebagai tempat yang mengalir, dinamis, penuh resiko, dan menggairahkan. Sedangkan Arnie Fajar mengemukakan bahwa:

⁶ Syaiful Bahri Djamarah, *Psikologi Belajar*, Jakarta: Rineka Cipta, 2011, h.12.

Belajar merupakan suatu proses kegiatan aktif peserta didik dalam membangun makna atau pemahaman, maka peserta didik perlu diberi waktu yang memadai untuk melakukan proses itu. Artinya memberikan waktu yang cukup untuk berpikir ketika peserta didik menghadapi masalah sehingga peserta didik mempunyai kesempatan untuk membangun sendiri gagasannya.⁷

Skinner, seperti yang dikutip Barlow (1985) dalam bukunya *Educational Psychology: The Teaching-Learning Process*, berpendapat bahwa belajar adalah proses adaptasi atau penyesuaian tingkah laku yang berlangsung secara progresif. Pendapat ini diungkapkan dalam pernyataan ringkasnya, bahwa belajar adalah . . . *a process of progressive behavior adaptation*. B.F. Skinner percaya bahwa proses adaptasi tersebut akan mendatangkan hasil yang optimal apabila ia diberi penguat (*reinforcer*). Chaplin dalam *Dictionary of Psychology* membatasi belajar dengan dua macam rumusan. Rumusan pertama berbunyi: . . . *acquisition of any relatively permanent change in behavior as a result of practice and experience*. Belajar adalah perolehan perubahan tingkah laku yang relatif menetap sebagai akibat praktik dan pengalaman. Rumusan kedua *Process of acquiring responses as a result of special practice*, belajar ialah proses memperoleh respon-respon sebagai akibat adanya pelatihan khusus.

Hintzman dalam bukunya *The Psychology of Learning and Memory* berpendapat *Learning is a change in organism due experience which can affect the organism's behavior*. Artinya belajar adalah suatu perubahan yang terjadi

⁷ Sulistyorini, *Evaluasi Pendidikan dalam Meningkatkan Mutu Pendidikan*, Yogyakarta: Teras, 2009, h. 5.

dalam diri organisme (manusia atau hewan) disebabkan oleh pengalaman yang dapat mempengaruhi tingkah laku organisme tersebut.⁸

Gagne dalam bukunya *The Conditions of Learning* (1977) menyatakan bahwa belajar terjadi apabila suatu situasi stimulus bersama dengan isi ingatan mempengaruhi peserta didik sedemikian rupa sehingga perbuatannya (*performance*-nya) berubah dari waktu sebelum peserta didik mengalami situasi itu ke waktu sesudah peserta didik mengalami situasi tadi. Witherington dalam buku *Educational Psychology* mengemukakan bahwa belajar adalah suatu perubahan di dalam kepribadian yang menyatakan diri sebagai pola baru daripada reaksi yang berupa kecakapan, sikap, kebiasaan, kepandaian, atau suatu pengertian.⁹ Lyle E. Bourne, JR., Bruce R. Ekstrand mengemukakan bahwa *Learning as a relatively permanent change in behaviour traceable to experience and practice*. Belajar adalah perubahan tingkah laku yang relatif tetap yang diakibatkan oleh pengalaman dan latihan.

Clifford T. Morgan mengemukakan bahwa *Learning is any relatively permanent change in behaviour that is a result of past experince*. Belajar adalah perubahan tingkah laku yang relatif tetap yang merupakan hasil pengalaman yang lalu. Dr. Musthofa Fahmi menyatakan bahwa belajar itu adalah ungkapan yang menunjukkan aktivitas yang menghasilkan perubahan-perubahan tingkah laku atau pengalaman. Guilford mengemukakan bahwa *Learning is any change in behaviour resulting from stimulation*. Belajar adalah perubahan tingkah laku yang

⁸ Muhibbin Syah, *Psikologi Pendidikan dengan Pendekatan Baru*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2010, h. 88.

⁹ Ngalim Purwanto, *Psikologi Pendidikan*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2007, h. 84.

dihasilkan dari rangsangan.¹⁰ James O. Whittaker merumuskan belajar sebagai proses di mana tingkah laku ditimbulkan atau diubah melalui latihan atau pengalaman. Cronbach berpendapat bahwa *learning is shown by change in behavior as a result of experience*. Belajar sebagai suatu aktivitas yang ditunjukkan oleh perubahan tingkah laku sebagai hasil dari pengalaman.

Howard L. Kingskey mengatakan bahwa *learning is the process by which behavior (in the broader sense) is originated or changed through practice or training*. Belajar adalah proses di mana tingkah laku (dalam arti luas) ditimbulkan atau diubah melalui praktik atau latihan. Drs. Slameto juga merumuskan pengertian tentang belajar yang menurutnya belajar adalah suatu proses usaha yang dilakukan individu untuk memperoleh suatu perubahan tingkah laku yang baru secara keseluruhan, sebagai hasil pengalaman individu itu sendiri dalam berinteraksi dengan lingkungannya.¹¹

Belajar ialah suatu proses usaha yang dilakukan oleh seseorang untuk memperoleh suatu perubahan tingkah laku yang baru secara keseluruhan, sebagai hasil pengalamannya sendiri dalam interaksi dengan lingkungannya.¹² Para ahli psikologi dan pendidikan mengemukakan rumusan tentang pengertian belajar, sehingga dari pengertian-pengertian itu dapat ditarik kesimpulan bahwa belajar adalah suatu upaya yang dilakukan seseorang sehingga terjadi perubahan tingkah laku dalam dirinya yang relatif tetap melalui serangkaian latihan atau pengalaman masa lalu. Tingkah laku yang mengalami perubahan karena belajar menyangkut

¹⁰ Mustaqim, *Psikologi Pendidikan*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2008, h. 33-34.

¹¹ Syaiful Bahri Djamarah, *Psikologi Belajar*, Jakarta: Rineka Cipta, 2011, h.12-13.

¹² Slameto, *Belajar dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya*. Jakarta : Rineka Cipta, 2010, h. 2.

berbagai aspek psikis maupun fisik seperti berpikir, keterampilan, kecakapan, kebiasaan atau sikap.

2. Ciri-ciri Belajar

Seseorang dikatakan telah belajar kalau sudah terdapat perubahan tingkah laku dalam dirinya. Perubahan tersebut terjadi sebagai akibat dari interaksi dengan lingkungannya, tidak karena pertumbuhan fisik atau kedewasaan, tidak karena kelelahan, penyakit atau pengaruh obat-obatan.

Kesimpulan diatas menunjukkan bahwa ciri-ciri belajar adalah adanya kemampuan baru atau perubahan, baik perubahan tingkah laku bersifat pengetahuan (kognitif), keterampilan (psikomotor), maupun nilai dan sikap (afektif); perubahan itu tidak berlangsung sesaat saja, melainkan menetap atau dapat disimpan; perubahan itu tidak terjadi begitu saja, melainkan harus dengan usaha dan perubahan terjadi akibat interaksi dengan lingkungan; dan perubahan tidak semata-mata disebabkan oleh pertumbuhan fisik atau kedewasaan, tidak karena kelelahan, penyakit atau pengaruh obat-obatan.¹³

3. Tujuan Belajar

Belajar melibatkan proses internal yang meliputi ranah kognitif, afektif dan psikomotorik. Siswa yang belajar berarti menggunakan kemampuan kognitif, afektif dan psikomotorik. Para ahli yang mendalami ranah-ranah kognitif, afektif dan psikomotorik diantaranya adalah Bloom, Krathwohl dan Simpson.

Bloom dan kawan-kawan tergolong pelopor yang yang mengkategorikan jenis perilaku hasil belajar untuk mempelajari perilaku dan kemampuan internal

¹³ Eveline Siregar dan Hartini Nara, *Teori Belajar dan Pembelajaran*, Bogor: Ghalia, 2010, h. 5-6.

sebagai akibat belajar. Penggolongan atau tingkatan jenis perilaku belajar terdiri dari tiga ranah atau kawasan, yaitu ranah kognitif, yang menyangkut enam jenis atau tingkatan perilaku (pengetahuan, pemahaman, penerapan, analisis, sintesis, dan evaluasi); ranah afektif, yang menyangkut lima jenis perilaku (penerimaan, partisipasi, penilaian dan penentuan sikap, dan pembentukan pola hidup); dan ranah psikomotor yang terdiri dari tujuh perilaku atau kemampuan psikomotorik (persepsi, kesiapan, gerak terbimbing, gerak terbiasa, gerak kompleks, penyesuaian pola gerakan, dan kreativitas).¹⁴

C. Kemampuan Berpikir

Pendapat para ahli mengenai berpikir itu bermacam-macam. Ahli-ahli psikologi asosiasi menganggap bahwa berpikir adalah kelangsungan tanggapan-tanggapan di mana subjek yang berpikir pasif. Plato beranggapan bahwa berpikir itu adalah berbicara dalam hati. Pendapat Plato ini adalah pendapat yang mengatakan bahwa berpikir adalah aktivitas ideasional. Pada pendapat yang terakhir itu dikemukakan dua kenyataan, yaitu bahwa berpikir itu adalah aktivitas, jadi subjek yang berpikir aktif, dan bahwa aktivitas itu sifatnya ideasional, jadi bukan sensoris dan bukan motoris, walaupun dapat disertai oleh kedua hal itu; berpikir itu mempengaruhi abstraksi-abstraksi atau “ideas”.¹⁵

Berpikir adalah satu keaktifan pribadi manusia yang mengakibatkan penemuan yang terarah kepada suatu tujuan. Berpikir untuk menemukan pemahaman/pengertian yang dikehendaki.¹⁶ Peter Reason (1981) menyatakan bahwa berpikir (*Thinking*) adalah proses mental seseorang yang lebih dari sekedar

¹⁴ Aunurrahman, *Belajar dan Pembelajaran*, Bandung: Alfabeta, 2010, h. 48-49.

¹⁵ Sumadi Suryabrata, *Psikologi Pendidikan*, Jakarta: RajaGrafindo Persada, 2008, h.54.

¹⁶ Ngalim Purwanto, *Psikologi Pendidikan*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2007, h. 43.

mengingat (*remembering*) dan memahami (*comprehending*). Reason juga menyatakan bahwa mengingat dan memahami lebih bersifat pasif daripada kegiatan berpikir (*thinking*). Sifat mengingat hanya melibatkan usaha menyimpan sesuatu berupa memori yang telah dialami, yang suatu saat dapat dikeluarkan kembali jika diperlukan, sedangkan sifat memahami memerlukan pengertian yang lebih dalam dari mengingat karena sesuatu yang didengar dan dibaca harus diketahui benar-benar bahwa sesuatu yang didengar dan dibaca memiliki makna tertentu, tidak hanya sekedar diingat. Berpikir adalah istilah yang lebih dari keduanya. Berpikir menyebabkan seseorang harus bergerak hingga di luar informasi yang didengarnya. Misalnya kemampuan berpikir seseorang untuk menemukan solusi baru dari suatu persoalan yang dihadapi.¹⁷

Kemampuan berpikir memerlukan kemampuan mengingat dan memahami, oleh sebab itu kemampuan mengingat dan memahami adalah bagian terpenting dalam mengembangkan kemampuan berpikir. Seseorang yang memiliki kemampuan mengingat dan memahami belum tentu memiliki kemampuan dalam berpikir, sebaliknya kemampuan berpikir seseorang sudah pasti diikuti oleh kemampuan mengingat dan memahami. Hal ini seperti yang dikemukakan Peter Reason, bahwa berpikir tidak mungkin terjadi tanpa adanya memori. Bila seseorang kurang memiliki daya ingat (*working memory*), maka orang tersebut tidak mungkin sanggup menyimpan masalah dan informasi yang cukup lama. Jika seseorang kurang memiliki daya ingat jangka panjang (*long term memory*), maka orang tersebut dipastikan tidak akan memiliki catatan masa lalu yang dapat

¹⁷ Wina Sanjaya, *Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan*, Jakarta: Kencana, 2009, h. 230.

digunakan untuk memecahkan masalah-masalah yang dihadapi pada masa sekarang.

Berpikir sebagai kegiatan yang melibatkan proses mental memerlukan kemampuan mengingat dan memahami, sebaliknya untuk mengingat dan memahami diperlukan proses mental yang disebut berpikir.¹⁸ Proses mental yang dilakukan adalah memperoleh pengetahuan dan memanipulasi pengetahuan melalui aktivitas mengingat, memahami, menerapkan, menganalisis, mensintesis dan menilai. Proses mental berkaitan dengan proses belajar yang melibatkan aspek kognitif. Ranah kognitif akan berkenaan dengan hasil belajar intelektual atau kecerdasan peserta didik. Kemampuan kognitif peserta didik yang berupa hasil belajar dapat diukur dengan menggunakan instrumen yang tepat, yaitu berupa instrumen tes bentuk soal uraian terstruktur, dimana soal uraian tersebut memuat aspek kognitif. Aspek kognitif yang digunakan pada soal adalah semua aspek kognitif, yaitu soal yang melibatkan aspek pengetahuan, pemahaman penerapan, analisis, sintesis dan evaluasi. Soal-soal uraian terstruktur akan melihat bagaimana kemampuan kognitif peserta didik. Peserta didik yang banyak mengalami ketidaktepatan dalam menjawab soal uraian terstruktur pun dapat dianalisis untuk mengetahui kesulitan peserta didik dalam mengerjakan soal uraian terstruktur.

Orang berpikir menggunakan pikiran (intelekt)-nya. Cepat tidaknya dan terpecahkan atau tidaknya suatu masalah tergantung kepada kemampuan

¹⁸ *Ibid*, h. 231.

intelijensinya. Dilihat dari inteligensinya, dapat dikatakan seseorang itu pandai atau bodoh, pandai sekali/ cerdas (genius) atau pandir/dungu (idiot).

Pernyataan-pernyataan diatas mengenai kemampuan berpikir, maka dapat disimpulkan kemampuan berpikir adalah potensi seseorang untuk bergerak aktif dalam mengingat dan memahami suatu masalah. Seseorang yang memiliki kemampuan mengingat belum tentu memiliki kemampuan berpikir, sedangkan seseorang yang memiliki kemampuan berpikir pasti memiliki kemampuan mengingat dan memahami. Memori juga mempengaruhi kemampuan berpikir seseorang. Daya ingat yang lemah kemungkinan tidak akan menyimpan semua informasi dalam jangka waktu lama. Daya ingat yang kuat memungkinkan untuk menyimpan semua informasi dalam jangka waktu yang lama dan sangat membantu dalam proses kemampuan berpikir seseorang.

Benyamin S. Bloom, dkk. (1956) menyatakan bahwa hasil belajar dapat dikelompokkan ke dalam tiga domain, yaitu kognitif, afektif dan psikomotor. Setiap domain disusun menjadi beberapa jenjang kemampuan, mulai dari hal yang sederhana sampai dengan hal yang kompleks, mulai dari hal yang mudah sampai dengan hal yang sukar, dan mulai dari hal yang konkrit sampai dengan hal yang abstrak. Domain kognitif memiliki rincian adalah sebagai berikut:

1. Pengetahuan (*knowledge*), yaitu jenjang kemampuan yang menuntut peserta didik untuk dapat mengenali atau mengetahui adanya konsep, prinsip, fakta atau istilah tanpa harus mengerti atau dapat menggunakannya. Kata kerja operasional yang dapat digunakan, diantaranya mendefinisikan, memberikan, mengidentifikasi, memberi nama, menyusun daftar,

mencocokkan, menyebutkan, membuat garis besar, menyatakan kembali, memilih, menyatakan.

2. Pemahaman (*comprehension*), yaitu jenjang kemampuan yang menuntut peserta didik untuk memahami atau mengerti tentang materi pelajaran yang disampaikan guru dan dapat memanfaatkannya tanpa harus menghubungkannya dengan hal-hal lain. Kemampuan ini dijabarkan lagi menjadi tiga, yakni menerjemahkan, menafsirkan, dan mengekstrapolasi. Kata kerja operasional yang dapat digunakan, diantaranya mengubah, mempertahankan, membedakan, memprakirakan, menjelaskan, menyatakan secara luas, menyimpulkan, memberi contoh, melukiskan kata-kata sendiri, meramalkan, menuliskan kembali, meningkatkan.
3. Penerapan (*application*), yaitu jenjang kemampuan yang menuntut peserta didik untuk menggunakan ide-ide umum, tata cara ataupun metode, prinsip, dan teori-teori dalam situasi baru dan konkret. Kata kerja operasional yang dapat digunakan, diantaranya mengubah, menghitung, mendemonstrasikan, mengungkapkan, mengerjakan dengan teliti, menjalankan, memanipulasikan, menghubungkan, menunjukkan, memecahkan, menggunakan.
4. Analisis (*analysis*), yaitu jenjang kemampuan yang menuntut peserta didik untuk menguraikan suatu situasi atau keadaan tertentu kedalam unsur-unsur atau komponen pembentuknya. Kemampuan analisis dikelompokkan menjadi tiga, yaitu analisis unsur, analisis hubungan, dan analisis prinsip-prinsip yang terorganisasi. kata kerja operasional yang dapat digunakan, diantaranya menguraikan, membuat diagram, memisah-misahkan,

menggambarkan kesimpulan, membuat garis besar, menghubungkan, merincikan.

5. Sintesis (*synthesis*), yaitu jenjang kemampuan yang menuntut peserta didik untuk menghasilkan sesuatu yang baru dengan cara menggabungkan berbagai faktor. Hasil yang diperoleh dapat tulisan, rencana atau mekanisme. Kata kerja operasional yang dapat digunakan, diantaranya menggolongkan, menggabungkan, memodifikasi, menghimpun, menciptakan, merencanakan, merekonstruksikan, menyusun, membangkitkan, mengorganisasi, merevisi, menyimpulkan, menceritakan.
6. Evaluasi (*evaluation*), yaitu jenjang kemampuan yang menuntut peserta didik untuk dapat mengevaluasi suatu situasi. Keadaan pernyataan atau konsep berdasarkan kriteria tertentu. Hal penting dalam evaluasi ini adalah menciptakan kondisi sedemikian rupa, sehingga peserta didik mampu mengembangkan kriteria atau patokan untuk mengevaluasi sesuatu. Kata kerja operasional yang digunakan, diantaranya menilai, membandingkan, mempertentangkan, mengkritik, membeda-bedakan, mempertimbangkan kebenaran, menyokong, menafsirkan, menduga.¹⁹

Taksonomi Bloom menyatakan bahwa kemampuan peserta didik dapat diklarifikasikan menjadi dua, yaitu tingkat tinggi dan tingkat rendah. Kemampuan tingkat rendah terdiri atas pengetahuan, pemahaman dan aplikasi, sedangkan kemampuan tingkat tinggi meliputi analisis, sintesis, evaluasi dan kreativitas.²⁰

¹⁹ Zainal Arifin, *Evaluasi Pembelajaran*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2011, h. 21-22.

²⁰ *Ibid*, h. 23.

D. Masalah Dalam Belajar

Setiap peserta didik datang ke sekolah tidak lain kecuali untuk belajar di kelas agar menjadi orang yang berilmu pengetahuan di kemudian hari. Sebagian besar waktu yang tersedia harus digunakan oleh peserta didik untuk belajar, tidak mesti ketika di sekolah, di rumah pun harus ada waktu yang disediakan untuk kepentingan belajar. Prestasi belajar yang memuaskan dapat diraih oleh setiap peserta didik jika mereka dapat belajar secara wajar, terhindar dari berbagai ancaman, hambatan dan gangguan. Ancaman, hambatan dan gangguan dapat dialami oleh peserta didik tertentu, sehingga mereka mengalami masalah kesulitan dalam belajar.²¹ Masalah belajar adalah suatu kondisi tertentu yang dialami oleh seseorang peserta didik dan menghambat kelancaran proses belajarnya. Kondisi tertentu itu dapat berkenaan dengan keadaan dirinya yaitu berupa kelemahan-kelemahan yang dimilikinya dan dapat juga berkenaan dengan lingkungan yang tidak menguntungkan bagi dirinya.

Masalah-masalah belajar ini tidak hanya dialami oleh peserta didik yang terbelakang saja, tetapi juga dapat menimpa peserta didik yang pandai atau cerdas.²² Fenomena kesulitan belajar seorang peserta didik biasanya tampak jelas dari menurunnya kinerja akademik atau prestasi belajarnya. Kesulitan belajar juga dapat dibuktikan dengan munculnya kelainan perilaku (*misbehavior*) peserta didik seperti kesukaan berteriak-teriak di dalam kelas, mengusik teman, berkelahi, sering tidak masuk sekolah, dan sering minggat dari sekolah. Faktor-faktor penyebab timbulnya kesulitan belajar terdiri atas dua macam yaitu

²¹ Syaiful Bahri Djamarah, *Psikologi Belajar*, Jakarta: Rineka Cipta, 2011, h. 233.

²² Abdul majid, *Perencanaan Pembelajaran Mengembangkan Standar Kompetensi Guru*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2008, h. 226.

- 1) Faktor intern peserta didik, yakni hal-hal atau keadaan-keadaan yang muncul dari dalam diri peserta didik sendiri; dan
- 2) Faktor ekstern peserta didik, yakni hal-hal atau keadaan-keadaan yang datang dari luar diri peserta didik.

Faktor intern peserta didik meliputi gangguan atau kekurangmampuan psikofisik peserta didik, yakni bersifat kognitif (ranah cipta), antara lain seperti rendahnya kapasitas intelektual/inteligensi siswa; bersifat afektif (ranah rasa), antara lain seperti labilnya emosi yang bersikap; dan bersifat psikomotor (ranah karsa), antara lain seperti terganggunya alat-alat indera penglihat dan pendengar (mata dan telinga). Faktor ekstern peserta didik meliputi semua situasi dan kondisi lingkungan sekitar yang tidak mendukung aktivitas belajar peserta didik.²³

E. Macam-Macam Tes

Tes merupakan salah satu alat untuk melakukan pengukuran, yaitu alat untuk mengumpulkan informasi karakteristik suatu objek. Pembelajaran objek itu bisa berupa kecakapan peserta didik, minat motivasi dan sebagainya. Tes merupakan bagian tersempit dari penilaian.²⁴ Tes juga dapat diartikan sebagai sejumlah pertanyaan yang harus diberikan tanggapan dengan tujuan untuk mengukur tingkat kemampuan seseorang atau mengungkap aspek tertentu dari orang yang dikenai tes.²⁵

Tes dibagi atas dua golongan besar, yaitu tes standar dan tes buatan guru. Tes standar maupun tes buatan guru dibedakan lagi atas dua kelompok, yaitu tes

²³ Muhibbin Syah, *Psikologi Pendidikan dengan Pendekatan Baru*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2010, h. 170-171.

²⁴ Eko Putro Widoyoko, *Evaluasi Program Pembelajaran*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2013, h. 45.

²⁵ *Ibid*, h. 45-46.

uraian dan tes pilihan (tes objektif). Tes uraian masih dibedakan lagi atas dua kelompok, yaitu tes uraian non-objektif (tes uraian bebas) dan tes uraian objektif (tes uraian terbatas). Tes pilihan (tes objektif) dibedakan atas berbagai macam dan variasi, seperti tes pilihan ganda, menjodohkan dan benar-salah.²⁶

Tes objektif adalah bentuk tes yang mengandung kemungkinan jawaban atau respons yang harus dipilih oleh peserta tes. Jawaban atau respons telah disediakan oleh penyusun butir soal. Peserta hanya memilih alternatif jawaban yang telah disediakan. Pemeriksaan atau penskoran jawaban/ respons peserta tes sepenuhnya dapat dilakukan secara objektif oleh pemeriksa. Pekerjaan tersebut dapat dilakukan oleh mesin, misalnya mesin *scanner*, sehingga skor hasil tes dapat dilakukan secara objektif.²⁷ Tes objektif memiliki tiga jenis tipe secara umum, yaitu benar-salah (*true-false*), menjodohkan (*matching*), dan pilihan ganda (*multiple choice*).²⁸

1. Tes Uraian.

a. Pengertian Tes Uraian

Tes uraian secara umum adalah pertanyaan yang menuntut siswa menjawabnya dalam bentuk menguraikan, menjelaskan, mendiskusikan, membandingkan, memberi alasan, dan bentuk lain yang sejenis sesuai dengan tuntutan pertanyaan dengan menggunakan kata-kata dan bahasa sendiri.²⁹ Bentuk uraian disebut juga bentuk subjektif karena dalam pelaksanaannya sering

²⁶ Suke Silverius, *Evaluasi Hasil Belajar dan Umpan Balik*, Jakarta: Grasindo, 1991, h. 54.

²⁷ *Ibid*, h. 64-65.

²⁸ *Ibid*, h. 50.

²⁹ Sulistyorini, *Evaluasi Pendidikan Dalam Meningkatkan Mutu Pendidikan Cet. Pertama*, Yogyakarta: Teras, 2009, h. 93.

dipengaruhi oleh faktor subjektivitas guru. Tes bentuk uraian dilihat dari luas- sempitnya materi yang ditanyakan terbagi menjadi dua bentuk, yaitu uraian terbatas (*restricted responses*) dan uraian bebas (*extended responses*).

Tes uraian terbatas adalah butir soal dimana peserta didik diberi kebebasan untuk menjawab soal yang ditanyakan, namun arah jawaban dibatasi sedemikian rupa, sehingga kebebasan tersebut menjadi bebas yang terarah.³⁰ Pembatasan itu bias dari segi ruang lingkungannya, sudut pandang menjawabnya, dan indikator-indikatornya. Ruang lingkup itu bisa dari batasan soal yang digunakan misalkan soal uraian tentang persamaan keadaan gas ideal, soal uraian tentang hukum Boyle atau soal uraian tentang energi kinetik gas. Sudut pandang menjawabnya bisa berupa turunan rumus atau membuktikan rumus dan menghitung. Indikator bisa berupa indikator jawaban seperti menuliskan besaran diketahui pada soal uraian, menuliskan besaran yang ditanya pada soal, dan ketepatan penulisan rumus yang digunakan untuk menyelesaikan soal uraian tersebut. Walaupun kalimat jawaban siswa itu beraneka ragam, tetap harus ada pokok-pokok penting yang terdapat dalam sistematika jawabannya sesuai dengan batas-batas yang telah ditentukan dan dikehendaki dalam soalnya.³¹

Tes uraian bebas adalah butir soal dimana jawaban siswa tidak dibatasi, bergantung pada pandangan siswa itu sendiri.³² Tes uraian bebas menuntut peserta didik untuk bebas menjawab soal dengan cara dan sistematika sendiri. Peserta didik bebas mengemukakan pendapat sesuai dengan kemampuannya, sebab setiap

³⁰ M. Chabib Thoha, *Teknik Evaluasi Pendidikan*, Jakarta: RajaGrafindo Persada, 2003, h. 57.

³¹ Zainal Arifin, *Evaluasi Pembelajaran*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2011, h. 125.

³² Sulistyorini, *Evaluasi Pendidikan Dalam Meningkatkan Mutu Pendidikan*, Yogyakarta: Teras, 2009, h. 95.

peserta didik mempunyai cara dan sistematika yang berbeda-beda. Guru harus tetap mempunyai acuan atau patokan dalam mengkoreksi jawaban peserta didik walaupun tes yang digunakan tes uraian bebas. Hal ini dikarenakan masih ada batasan dalam soal uraian bentuk bebas. Batasan itu adalah bidang materi pelajaran yang digunakan dalam soal uraian sehingga jawaban peserta didik dapat seluas mungkin tetapi masih dalam lingkup soal tersebut. Depdikbud menyebut tes uraian ini dalam istilah lain, yaitu bentuk uraian objektif (BUO) dan bentuk uraian non-objektif (BUNO).

Bentuk BUO dan BUNO merupakan bagian dari bentuk uraian terbatas, karena pengelompokan tersebut hanya didasarkan pada pendekatan/cara pemberian skor. Perbedaan BUO dan BUNO terletak pada kepastian pemberian skor. Soal BUO memiliki kunci jawaban dan pedoman penskorannya lebih pasti. Kunci jawaban disusun menjadi beberapa bagian dan setiap bagian diberi skor, sedangkan pada soal BUNO, pedoman penskoran dinyatakan dalam rentangan (0-4 atau 0-10), sehingga pemberian skor dapat dipengaruhi oleh unsur subjektif.³³

Tes uraian terstruktur termasuk dalam bentuk tes uraian terbatas, karena bentuk pertanyaan soal uraian ini telah distukturkan, sehingga pertanyaan ini memiliki batasan jawaban yang sudah ditetapkan terlebih dahulu pada waktu penyusunan pertanyaan. Tes uraian terstruktur dipandang sebagai bentuk antara soal-soal obyektif dan soal-soal essay. Soal terstruktur merupakan serangkaian soal jawaban singkat sekaligus bersifat terbuka dan bebas menjawabnya. Soal uraian terstruktur sesuai digunakan untuk mengukur kemampuan kognitif peserta

³³ Zainal Arifin, *Evaluasi Pembelajaran*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2011, h. 125-126.

didik yang menyangkup aspek pengetahuan (ingatan), pemahaman, penerapan, analisis, sintesa, penilaian (evaluasi) dan kreativitas.

b. Kelebihan Tes Uraian

Tes uraian terstruktur memiliki kelebihan tertentu yang membedakannya dengan tes objektif. Kelebihan soal bentuk berstruktur antara lain satu soal bisa terdiri atas beberapa subsoal atau pertanyaan; setiap pertanyaan yang diajukan mengacu kepada suatu data tertentu sehingga lebih jelas dan terarah; soal-soal berkaitan satu sama lain dan bisa diurutkan berdasarkan tingkat kesulitannya;³⁴ dapat menghindari sifat terkaan dalam menjawab soal;³⁵ dan dapat menggalakkan siswa untuk mempelajari secara luas konsep-konsep dan generalisasi yang berkaitan dengan topik pembahasan/pengajaran.³⁶ Data yang diajukan dalam soal terstruktur bisa berupa angka, tabel, grafik, gambar, bagan, kasus dan diagram. Bentuk soal terstruktur dapat digunakan untuk mengukur semua aspek kognitif seperti ingatan, pemahaman, aplikasi, analisis, sintesis, dan evaluasi sehingga bentuk ini dapat mengungkapkan banyak aspek yang diinginkan.³⁷

c. Kekurangan Tes Uraian

Tes uraian terstruktur juga memiliki kelemahan yang membuat tes objektif lebih unggul dibandingkan dengan tes uraian terstruktur. Kelemahan yang mungkin terjadi berkisar pada bidang yang diujikan menjadi terbatas; dan kurang

³⁴ Nana Sudjana, *Penilaian Hasil Proses Belajar Mengajar*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2010, h. 39.

³⁵ M. Chabib Thoha, *Teknik Evaluasi Pendidikan*, Jakarta: RajaGrafindo Persada, 2003, h. 56.

³⁶ Suke Silverius, *Evaluasi Hasil Belajar dan Umpan Balik*, Jakarta: Grasindo, 1991, h. 64.

³⁷ Sulistyorini, *Evaluasi Pendidikan Dalam Meningkatkan Mutu Pendidikan*, Yogyakarta: Teras, 2009, h. 97.

praktis sebab satu permasalahan harus dirumuskan dalam pemaparan yang lengkap disertai data yang memadai.³⁸ Data tersebut dapat berupa gambar, angka, tabel, atau kasus yang membantu peserta didik lebih memahami soal uraian tersebut, sehingga jawaban peserta didik tidak keluar dari permasalahan yang dipaparkan dalam soal uraian tersebut. Kelemahan tes uraian terstruktur yang lain adalah sukar di skor secara benar-benar objektif, walaupun itu tes yang dikualifikasi sebagai tes uraian objektif sekalipun; membutuhkan waktu yang lama untuk menjawab satu pertanyaan;³⁹ dan sulit mendapatkan soal yang memiliki standar nasional maupun regional.⁴⁰

F. Teori Kinetik Gas

1. Deskripsi Makroskopis dari Gas Ideal

Kondisi-kondisi kehadiran suatu gas biasanya dirincikan dengan besaran-besaran seperti tekanan, volume, suhu dan massa zat yang disebut sebagai variabel keadaan. Hubungan antara besaran volume V , tekanan P , suhu T dan massa m (atau jumlah mol n) pada suatu gas disebut sebagai persamaan keadaan. Persamaan keadaan ini hanya dipenuhi oleh gas ideal. Persamaan keadaan dapat dibuktikan secara eksperimen. Suatu gas jika berada pada tekanan yang sangat rendah (atau kerapatan yang rendah) maka gas tersebut disebut sebagai gas ideal.

³⁸ Nana Sudjana, *Penilaian Hasil Proses Belajar Mengajar*, Bandung: Remaja Rosdakarya, 2010, h. 39.

³⁹ Suke Silverius, *Evaluasi*, h. 64-65.

⁴⁰ M. Chabib Thoha, *Teknik Evaluasi Pendidikan*, Jakarta: RajaGrafindo Persada, 2003, h.

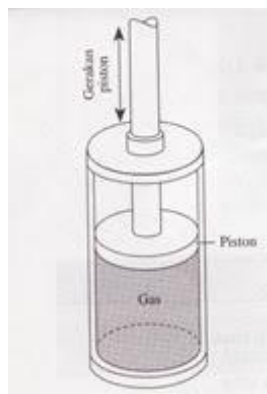
2. Pengertian Mol dan Massa Molekul

Satu mol zat adalah banyaknya zat yang mengandung bilangan Avogadro $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ partikel penyusun (atom atau molekul). Jumlah mol n suatu zat dihubungkan dengan massa zat m melalui persamaan

$$n = \frac{m}{M} \quad (2.1)$$

M (massa molekul/massa atom) adalah massa gas dalam molar. Massa molar dari setiap unsur kimia adalah massa atom yang dinyatakan dalam g/mol atau kg/kmol, sehingga M suatu gas secara sederhana adalah massa gas dalam kilogram per satuan kilomol.⁴¹ Mol merupakan satuan resmi pada sistem SI. Jumlah mol n pada suatu gas sama dengan massanya dalam gram dibagi dengan massa molekul yang dinyatakan sebagai gram per mol.⁴²

3. Penurunan Persamaan Keadaan Gas Ideal



Gambar 2.1 Suatu gas ideal dalam tabung silinder

Suatu gas ideal yang dikurung dalam suatu wadah tabung silinder. Volume gas ideal ini dapat diubah dengan cara menggerakkan piston ke atas dan

⁴¹ Raymond A. Serway dan John W. Jewett, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Buku 2 Edisi 6*, Jakarta: Salemba Teknik, 2010, h. 17.

⁴² Douglas C. Giancoli, *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*, Jakarta: Erlangga, 2001, h. 462.

ke bawah seperti pada Gambar 2.1. Wadah tabung tersebut dianggap tidak bocor sehingga massa (atau jumlah mol) gas akan tetap konstan didalamnya.⁴³ Persamaan keadaan gas ideal dapat diperoleh dengan dua cara yaitu temperatur dijaga konstan sedangkan volume dan tekanan berubah yang disebut hukum Boyle dan tekanan dijaga konstan sedangkan volume dan temperatur berubah yang disebut hukum Gay-Lussac.

a. Hukum Boyle



Gambar 2.2 Pergerakan piston pada tabung silinder

Suatu gas ideal dalam tabung silinder (Gambar 2.2) memiliki temperatur yang dijaga konstan. Saat piston digerakkan ke bawah, gas yang berada didalamnya akan tertekan, sehingga tekanan pada piston tersebut akan bertambah dan volume berkurang dari sebelumnya. Misalkan, tekanan awalnya adalah P_0 akan bertambah menjadi $2P_0$ dan volumenya yang awalnya V_0 akan berkurang menjadi $\frac{1}{2}V_0$. Sebaliknya, saat piston digerakkan ke atas pada temperatur dijaga tetap, maka tekanannya akan berkurang dan volumenya bertambah. Misalkan, tekanan awalnya adalah P_0 akan berkurang menjadi $\frac{1}{2}P_0$ dan volumenya yang awalnya adalah V_0 akan bertambah menjadi $2V_0$. Tekanan gas berubah secara

⁴³ Raymond A. Serway dan John W. Jewett, Fisika, h. 18.

terbalik dengan volumenya pada temperatur konstan. Secara matematis dapat dituliskan:

$$P \propto \frac{1}{V} \quad (2.1)$$

$$PV = \text{konstan} \quad (2.2)$$

Hasil ini ditemukan secara eksperimen oleh Robert Boyle (1627-1691), rekan sezaman yang lebih muda daripada Galileo dan lebih tua daripada Newton, dan dikenal sebagai hukum Boyle. Hukum ini berlaku untuk hampir semua gas ideal.

b. Hukum Gay-Lussac

Gas ideal dalam tabung silinder (Gambar 2.2) yang bervolume konstan akan memiliki temperatur gas ideal yang sebanding dengan tekanan, demikian pula jika tekanan dijaga konstan, maka temperatur gas ideal akan sebanding dengan volume gas ideal. Hasil ini ditemukan secara eksperimen oleh Jacques Charles (1746-1823) dan Gay Lussac (1778-1850). Hasil kali PV hampir sebanding dengan temperatur T pada gas ideal, sehingga dapat dinyatakan secara matematis

$$PV = CT$$
$$\frac{PV}{T} = C \quad (2.3)$$

dengan C adalah konstanta kesebandingan yang sesuai dengan suatu gas tertentu.⁴⁴

⁴⁴ Paul A. Tipler, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 1 Cet. I*, Jakarta: Erlangga, 1998, h. 572.

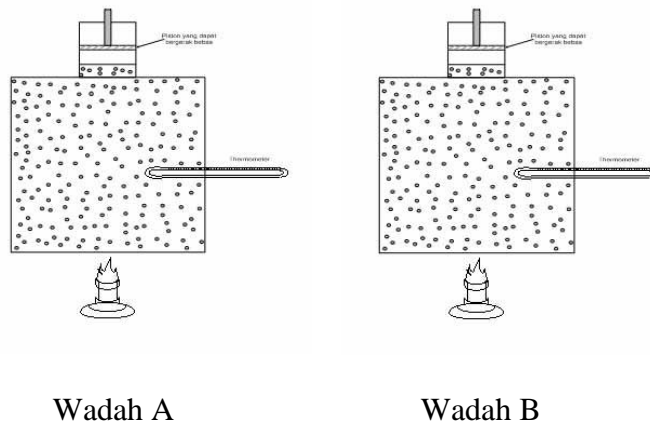
c. Persamaan Boyle-Gay Lussac

Banyak masalah yang melibatkan perubahan tekanan, temperatur, dan volume dari sejumlah gas tertentu. Sejumlah gas dapat memenuhi hukum Boyle dan hukum Gay-Lussac secara bersamaan. $P_1 V_1$ dan T_1 , menyatakan variabel yang bersangkutan pada kondisi awal dan $P_2 V_2$ dan T_2 menyatakan variabel setelah perubahan terjadi, sehingga dapat dituliskan

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2.4)^{45}$$

Persamaan (2.4) disebut sebagai persamaan Boyle-Gay Lussac. Persamaan ini digunakan untuk menyelesaikan soal-soal suatu gas yang jumlah massanya tetap dan mengalami dua keadaan (keadaan 1 dan keadaan 2).

d. Persamaan Keadaan Gas Ideal



Gambar 2.3 Dua wadah yang identik (sama)

Jika terdapat dua wadah yang masing-masing berisi jumlah gas yang sama dari gas yang sama pada temperatur yang sama, maka kedua wadah tersebut

⁴⁵ Douglas C. Giancoli, *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*, Jakarta: Erlangga, 2001, h. 465.

mempunyai volume V yang dapat dinyatakan oleh persamaan (2.3). Kedua wadah tersebut jika digabungkan akan mendapatkan dua kali volume gas pada tekanan P yang sama dengan temperatur T yang sama. Persamaan (2.3) didapatkan bahwa C harus bertambah 2 kali lipat, sehingga C sebanding dengan jumlah gas dan dapat dituliskan

$$C = kN \quad (2.5)$$

dengan N adalah jumlah molekul gas dan k adalah konstanta, maka persamaan (2.3) menjadi

$$PV = NkT \quad (2.6)$$

Konstanta k dinamakan konstanta Boltzmann. Konstanta ini mempunyai nilai yang sama untuk tiap jenis atau jumlah gas secara eksperimen. Nilai k dalam sistem SI adalah

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad (2.7)$$

Satu mol gas ideal adalah banyaknya jumlah gas ideal yang mengandung atom-atom atau molekul-molekul sejumlah bilangan Avogadro. Ilmuwan Itali Amedeo Avogadro (1776-1856) menyatakan bahwa volume gas yang sama pada tekanan dan temperatur yang sama berisi molekul yang jumlahnya sama. Pernyataan ini disebut sebagai hipotesa Avogadro. Hipotesa ini konsisten dengan kenyataan bahwa R sama untuk semua gas.⁴⁶ Bilangan Avogadro N_A didefinisikan sebagai jumlah atom carbon dalam 12 gram ^{12}C . Nilai bilangan Avogadro adalah

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ molekul/mol} \quad (2.8)$$

Suatu zat mempunyai n mol, maka jumlah molekulnya adalah

⁴⁶ Douglas C. Giancoli, *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*, Jakarta: Erlangga, 2001, h. 466.

$$N = nN_A \quad (2.9)$$

Persamaan (2.6) menjadi

$$PV = nN_A kT = nRT \quad (2.10)$$

dengan

$$R = kN_A \quad (2.11)^{47}$$

R adalah sebuah konstanta dan n adalah jumlah mol gas pada sampel.

Eksperimen pada banyak gas menunjukkan bahwa ketika tekanan mendekati nol, nilai PV/nT mendekati nilai R yang sama untuk semua gas. R disebut konstanta gas universal. Tekanan dinyatakan dalam pascal (1 Pa = 1 N/m²) dan volume dalam meter kubik, hasil perkalian PV memiliki satuan newton.meter atau joule, dan R bernilai

$$R = 8,314 \frac{J}{mol} \cdot K \quad (2.12)$$

Saat tekanan dinyatakan dalam atmosfer (1 atm) dan volume dalam liter (1 L = 10³ cm³ = 10⁻³ m³), maka R bernilai

$$R = 0,08214 L \cdot \frac{atm}{mol} \cdot K \quad (2.13)$$

dengan menggunakan nilai R pada persamaan (2.13) dan persamaan (2.11), ditemukan bahwa 1 mol untuk semua jenis gas jika berada pada tekanan 1 atmosfer dan pada suhu 0°C (273 K) akan memiliki volume sebesar 22,4 L.⁴⁸

Tekanan, volume dan temperatur untuk gas ideal dihubungkan oleh

$$PV = nRT \quad (2.14)$$

⁴⁷ Paul A. Tipler, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 1 Cet. I*, Jakarta: Erlangga, 1998, h. 573.

⁴⁸ Raymond A. Serway dan John W. Jewett, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Buku 2 Edisi 6*, Jakarta: Salemba Teknika, 2010, h. 18.

Persamaan (2.14) disebut sebagai persamaan keadaan gas ideal. Persamaan (2.14) cukup berguna untuk menggambarkan sifat-sifat gas nyata.⁴⁹ Persamaan keadaan gas ideal dapat dinyatakan dalam besaran massa jenis gas (kerapatan gas) ρ . Massa 1 mol dinamakan massa molar M . Massa molar ^{12}C adalah 12 g/mol atau 12×10^{-3} kg/mol.⁵⁰ Massa n mol gas diberikan oleh

$$m = nM \quad (2.15)$$

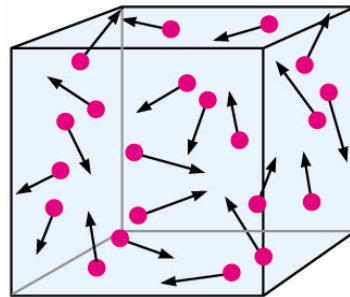
Massa jenis gas (kerapatan gas) ideal ρ adalah

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V}$$

Persamaan (2.14) dapat dituliskan dengan menggunakan $n/V = P/RT$, maka dapat dinyatakan bahwa massa jenis gas ideal adalah

$$\rho = \frac{M}{RT} P \quad (2.16)$$

4. Model Molekuler Gas Ideal



Gambar 2.4 Model gas menurut teori kinetik gas

Besaran tekanan dan suhu dapat dipahami dengan meninjau gerak dari atom-atom atau molekul-molekul dalam suatu wadah/ kubus tertutup (sifat mikroskopik) suatu gas seperti pada Gambar 2.2. Model mikroskopis dari gas

⁴⁹ *Ibid*, h. 574.

⁵⁰ Paul A. Tipler, Fisika, h. 573.

ideal menunjukkan bahwa tekanan yang dinyatakan oleh gas pada dinding wadah merupakan akibat dari tumbukan molekul gas dengan dinding. Pengembangan model tersebut dapat membuat asumsi-asumsi berikut:

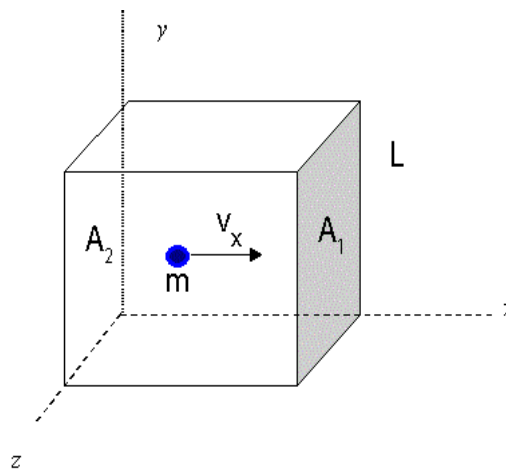
- a. Suatu gas terdiri dari partikel-partikel, yang dinamakan molekul-molekul. Setiap molekul akan terdiri dari sebuah atom atau sekelompok atom. Jika gas tersebut adalah sebuah elemen atau suatu persenyawaan dan berada di dalam suatu keadaan stabil, maka akan meninjau semua molekulnya sebagai molekul-molekul yang identik.⁵¹
- b. Jumlah molekul dalam gas sangatlah besar dan jarak pisah rata-rata antara molekul-molekulnya jauh lebih besar dibandingkan dengan dimensinya. Ini berarti bahwa molekul mengisi volume yang dapat diabaikan dalam wadah. Molekulnya dibayangkan menyerupai titik yang sesuai dengan model gas ideal.
- c. Molekul-molekul mengikuti Hukum Newton tentang gerak, namun dalam skala besar, molekul-molekul bergerak secara acak. Secara “acak” berarti bahwa molekul manapun dapat bergerak ke arah manapun dengan kelajuan berapa pun. Beberapa persen molekul bergerak dengan kelajuan tinggi dan beberapa persen lainnya dengan kelajuan rendah pada waktu kapanpun.
- d. Molekul-molekul hanya memberikan gaya-gaya jika berjarak pendek selama tumbukan lenting. Molekul-molekul tidak saling memberikan gaya-gaya jika berjarak jauh satu sama lain sesuai dengan model gas ideal.⁵²
- e. Molekul bertumbukan lenting dengan dinding.

⁵¹ *Ibid*, h. 765.

⁵² Raymond A. Serway dan John W. Jewett, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Buku 2 Edisi 6*, Jakarta: Salemba Teknika, 2010, h. 90.

- f. Gas yang dipertimbangkan adalah zat murni; yaitu zat yang semua molekulnya identik.

5. Formulasi Tekanan Gas dalam Wadah Tertutup



Gambar 2.5 Kubus tertutup berisi gas ideal

Suatu gas ideal digambarkan sebagai gas yang mengandung satu jenis atom saja. Diasumsikan bahwa sifat suatu molekul gas akan mendekati sifat gas ideal pada tekanan yang rendah dan berada didalam sebuah wadah kotak tertutup dengan panjang sisi L seperti pada Gambar 2.6. Salah satu molekul yang bermassa m dianggap bergerak menjauh hingga komponen kecepatannya pada arah x adalah v_{xi} . Ketika molekul mengalami tumbukan lenting dengan dinding (asumsi 4), komponen kecepatan yang tegak lurus terhadap dinding dibalik karena massa dinding jauh lebih besar daripada massa molekul. Molekul mv_{xi} sebelum terjadi tumbukan dan $-mv_{xi}$ setelah terjadi tumbukan menghasilkan komponen molekul p_{xi} , sehingga perubahan komponen x momentum molekul adalah

$$\Delta p_{xi} = -mv_{xi} - (mv_{xi}) = -2mv_{xi} \quad (2.17)$$

Oleh karena molekul tersebut menaati Hukum Newton (asumsi 2), dapat diaplikasikan teorema impuls-momentum pada molekul tersebut, sehingga didapatkan

$$\bar{F}_{i,\text{pada molekul}} \Delta t_{\text{tumbukan}} = \Delta p_{xi} = -2mv_{xi} \quad (2.18)$$

dimana $\bar{F}_{i,\text{pada molekul}}$ adalah gaya rata-rata yang dikerjakan oleh dinding pada molekul selama tumbukan dan $\Delta t_{\text{tumbukan}}$ adalah durasi tumbukan. Molekul bertumbukan dengan dinding yang sama setelah tumbukan pertama, molekul tersebut haruslah menempuh jarak sepanjang $2L$ pada arah x (melintasi wadahnya kemudian kembali lagi), sehingga selang waktu antara dua tumbukan dengan dinding yang sama adalah

$$\Delta t = \frac{2L}{v_{xi}} \quad (2.19)$$

Gaya yang menyebabkan perubahan dalam momentum molekul saat bertumbukan dengan dinding terjadi hanya selama tumbukan.⁵³ Gaya sepanjang selang waktu yang dibutuhkan oleh molekul untuk bergerak melintasi kubus dan kembali dapat dirata-ratakan. Tumbukan terjadi dalam selang waktu tertentu, sehingga perubahan momentum untuk selang waktu ini sama dengan durasi pendek tumbukannya. Teorema impuls-momentum dapat dituliskan sebagai

$$\bar{F}_i \Delta t = -2mv_{xi} \quad (2.20)$$

dimana \bar{F}_i adalah komponen gaya rata-rata terhadap waktu yang dibutuhkan oleh molekul untuk bergerak melintasi kubus dan kembali.

⁵³ *Ibid*, h. 91.

Persamaan (2.20) dan persamaan (2.19) memungkinkan untuk menuliskan persamaan untuk komponen x dari gaya rata-rata jangka panjang yang dikerjakan oleh dinding pada molekul sebagai

$$\bar{F}_i = \frac{-2mv_{xi}}{\Delta t} = \frac{-2mv_{xi}}{\frac{2L}{v_{xi}}} = \frac{-2mv_{xi}^2}{2L} = \frac{-mv_{xi}^2}{L} \quad (2.21)$$

Komponen x rata-rata yang dikerjakan oleh molekul pada dinding memiliki besar yang sama tetapi arahnya berlawanan sesuai Hukum Newton III:

$$\bar{F}_{i,\text{pada dinding}} = -\bar{F}_i = -\left[\frac{-mv_{xi}^2}{L}\right] = \frac{mv_{xi}^2}{L} \quad (2.22)$$

Gaya rata-rata total \bar{F} yang dikerjakan oleh gas pada dinding dapat dicari dengan cara menambahkan gaya rata-rata yang dikeluarkan masing-masing molekul, sehingga dapat dituliskan

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^N \frac{mv_{xi}^2}{L} = \frac{m}{L} \sum_{i=1}^N v_{xi}^2 \quad (2.23)$$

Panjang kotak dan massa m telah ditiadakan karena asumsi 5 memberitahu bahwa semua molekul adalah identik. Asumsi 1 mengaplikasikan bahwa jumlah molekul sangatlah besar. Gaya tidak akan bernilai nol selama selang waktu yang pendek jika tumbukan sebuah molekul dengan dinding terjadi dan bernilai nol jika tidak ada molekul yang menabrak dinding. Jumlah molekul yang besar, misalnya sejumlah bilangan Avogadro, variasi gaya ini dirata-rata sehingga gaya rata-ratanya adalah sama untuk selang waktu kapan pun. Jadi gaya konstan F pada dinding akibat tumbukan molekul adalah⁵⁴

$$F = \frac{m}{L} \sum_{i=1}^N v_{xi}^2 \quad (2.24)$$

⁵⁴ *Ibid*, h. 92.

Nilai rata-rata $\overline{v_x^2}$ adalah jumlah seluruh nilai v_{xi}^2 dibagi dengan banyaknya N , sehingga dapat dituliskan

$$\overline{v_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^N v_{xi}^2}{N} \quad (2.25)$$

Gaya total pada dinding dengan menggabungkan kedua persamaan tersebut dapat dituliskan

$$F = \frac{m}{L} N \overline{v_x^2} \quad (2.26)$$

Teorema Pythagoras menghubungkan kuadrat kelajuan molekul dengan kuadrat komponen kecepatan:

$$v_i^2 = v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2 \quad (2.27)$$

Nilai rata-rata dari v^2 untuk semua molekul dalam wadah dihubungkan dengan nilai rata-rata v_x^2 , v_y^2 dan v_z^2 melalui persamaan

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} \quad (2.28)$$

Asumsi 2 menyatakan bahwa gerak molekul sepenuhnya acak, maka nilai rata-rata $\overline{v_x^2}$, $\overline{v_y^2}$, dan $\overline{v_z^2}$ adalah sama satu sama lainnya, sehingga didapatkan

$$\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2} \quad (2.29)$$

Gaya total yang bekerja pada dinding (Persamaan 2.26) adalah

$$F = \frac{N}{3} \left[\frac{m \overline{v^2}}{L} \right] \quad (2.30)$$

Tekanan total pada dinding dengan menggunakan persamaan (2.30) adalah

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{L^2} = \frac{1}{3} \left[\frac{N}{L^3} m \overline{v^2} \right] = \frac{1}{3} \left[\frac{N}{V} \right] m \overline{v^2}$$

$$P = \frac{2}{3} \left[\frac{N}{V} \right] \frac{1}{2} m \overline{v^2} \quad (2.31)^{55}$$

⁵⁵ *Ibid*, h. 93.

Hasil persamaan (2.31) menunjukkan bahwa tekanan suatu gas sebanding dengan jumlah molekul per satuan volumenya dan sebanding dengan energi kinetik translasi rata-rata dari molekulnya, $\frac{1}{2}m\overline{v^2}$.

Persamaan (2.31) membuktikan beberapa ciri tekanan yang mungkin telah diketahui sebelumnya. Tekanan dalam wadah dapat ditingkatkan, salah satu caranya dengan meningkatkan jumlah molekul per satuan volume, N/V , dalam wadah. Ketika udara ditambahkan ke dalam ban, inilah yang terjadi. Tekanan di dalam ban juga dapat meningkat dengan menambahkan energi kinetik translasi rata-rata molekul udara dalam ban. Tekanan di dalam sebuah ban dapat bertambah ketika ban memanaskan dalam suatu perjalanan yang panjang. Pemelaran kontinu dari ban ketika bergerak sepanjang permukaan jalan berakibat pada usaha yang dilakukan seiring dengan bagian-bagian dari ban berubah bentuk, menyebabkan meningkatnya energi dalam dari ban karet. Suhu karet ban yang meningkat menyebabkan terjadinya perpindahan energi berupa panas ke dalam udara di dalam ban. Perpindahan ini meningkatkan suhu udara, dan peningkatan suhu ini menghasilkan peningkatan tekanan. Selain tekanan, suhu juga dapat dihitung secara matematis dengan menggunakan persamaan-persamaan yang sudah diketahui sebelumnya. Persamaan 2.31 dapat dituliskan dalam bentuk

$$P = \frac{2}{3} \left[\frac{N}{V} \right] \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$
$$PV = \frac{2}{3} N \left[\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right] \quad (2.32)$$

6. Energi Kinetik Rata-rata Molekul Gas

Persamaan (2.32) dibandingkan dengan persamaan keadaan untuk gas ideal (Persamaan 2.3):

$$PV = NkT$$

Persamaan keadaan gas ideal dibuat berdasarkan fakta-fakta eksperimental mengenai sifat makroskopis gas. Sisi kanan dari kedua persamaan ini disetarakan sehingga diperoleh

$$T = \frac{2}{3k_B} \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) \quad (2.33)$$

Hasil persamaan (2.33) memberitahukan bahwa suhu merupakan pengukuran langsung dari energi kinetik molekul rata-rata. Energi kinetik translasi molekul dapat dihubungkan dengan suhu dengan menuliskan kembali persamaan (2.33), yaitu⁵⁶

$$\frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T \quad (2.34)$$

7. Kelajuan Efektif Gas

Akar kuadrat dari $\overline{v^2}$ disebut kelajuan akar kuadrat rata-rata atau *root-mean-square* (rms), dari molekul. Kelajuan rms dapat diketahui dari persamaan (2.34) adalah

$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (2.35)$$

⁵⁶ *Ibid*, h. 94.

di mana M adalah massa molar dalam kilogram per mol dan sama dengan mN_A . Persamaan (2.35) ini menunjukkan bahwa pada suhu tertentu, molekul yang lebih ringan bergerak lebih cepat, secara rata-rata, daripada molekul yang lebih berat.⁵⁷

Tabel 2.1
Kelajuan rms untuk Berbagai Molekul pada Suhu 20°C⁵⁸

Gas	Massa Molar (g/mol)	v_{rms} pada 20°C (m/s)
H ₂	2,02	1902
He	4,00	1352
H ₂ O	18,0	637
Ne	20,2	602
N ₂ atau CO	28,0	511
NO	30,0	494
O ₂	32,0	478
CO ₂	44,0	408
SO ₂	64,1	338

Sumber: Raymond A. Serway dan John W. Jewett, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Buku 2 Edisi 6* (2010: 96)

8. Ekipartisi Energi

Energi kinetik translasi rata-rata per molekul gas ideal adalah $\frac{3}{2}k_B T$.

Sebelumnya diketahui bahwa $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$, sehingga energi kinetik translasi rata-rata gas ideal menjadi

$$\frac{1}{2}m\overline{v_x^2} = \frac{1}{2}k_B T \quad (2.36)$$

Gerak dalam arah y dan z dapat dituliskan

$$\frac{1}{2}m\overline{v_y^2} = \frac{1}{2}k_B T \text{ dan } \frac{1}{2}m\overline{v_z^2} = \frac{1}{2}k_B T \quad (2.37)$$

⁵⁷ *Ibid*, h. 95.

⁵⁸ *ibid*, h. 96.

Setiap derajat kebebasan translasi menyumbang sejumlah energi yang sama yaitu $\frac{1}{2}k_B T$, kepada gas ideal. Pernyataan umum dari hasil ini dikenal sebagai teorema ekuipartisi energi yang menyatakan bahwa

Setiap derajat kebebasan menyumbangkan $\frac{1}{2}k_B T$ kepada energi sistem, di mana derajat kebebasan yang mungkin, selain yang berhubungan dengan translasi muncul dari rotasi dan geratan molekul.

Energi kinetik translasi total dari N molekul gas adalah N dikalikan energi rata-rata per molekul, yang dinyatakan oleh persamaan (2.37):

$$K_{trans \ total} = N \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) = \frac{3}{2} N k_B T = \frac{3}{2} n R T \quad (2.38)$$

di mana telah menggunakan $k_B = R/N_A$ untuk konstanta Boltzmann dan $n = N/N_A$ untuk jumlah mol gas.

Ketika energi ditambahkan pada suatu gas monoatomik dalam wadah bervolume tetap, semua energi yang ditambahkan tersebut digunakan untuk meningkatkan energi kinetik translasi dari atom. Energi dalam E_{dalam} dari N molekul (atau n mol) dari gas monoatomik ideal dari persamaan (2.38) adalah

$$E_{dalam} = K_{trans \ total} = N \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) = \frac{3}{2} N k_B T = \frac{3}{2} n R T \quad (2.39)$$

E_{dalam} untuk gas monoatomik ideal merupakan fungsi dari T saja, dan hubungan fungsional tersebut dinyatakan oleh persamaan (2.39). Energi dalam dari suatu gas ideal secara umum merupakan fungsi dari T saja dan hubungan tepatnya bergantung hanya pada jenis gasnya.⁵⁹

⁵⁹ Raymond A. Serway dan John W. Jewett, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Buku 2 Edisi 6*, Jakarta: Salemba Teknika, 2010, h. 97-98.

Energi dalam bentuk kalor yang dipindahkan ke suatu sistem yang bervolume konstan, maka tidak ada usaha yang dilakukan pada sistem tersebut. Jadi, dari hukum pertama termodinamika, dapat dituliskan

$$Q = \Delta E_{dalam} \quad (2.40)$$

Semua energi yang dipindahkan dalam bentuk kalor digunakan untuk meningkatkan energi dalam dari sistem. Persamaan untuk Q ($Q = nC_vT$) disubstitusikan kedalam persamaan (2.40), maka diperoleh

$$\Delta E_{dalam} = nC_vT \quad (2.41)$$

Energi dalam dari gas ideal jika kalor jenis molarnya konstan adalah

$$E_{dalam} = nC_vT$$

Persamaan ini berlaku untuk semua gas ideal (gas-gas yang memiliki lebih dari satu atom per molekul dan juga gas ideal monoatomik). Persamaan (2.40) untuk menyatakan kalor jenis molar pada volume konstan sebagai

$$C_v = \frac{1}{n} \frac{dE_{dalam}}{dT} \quad (2.42)$$

Energi dalam dari persamaan (2.39) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.42) dapat dituliskan

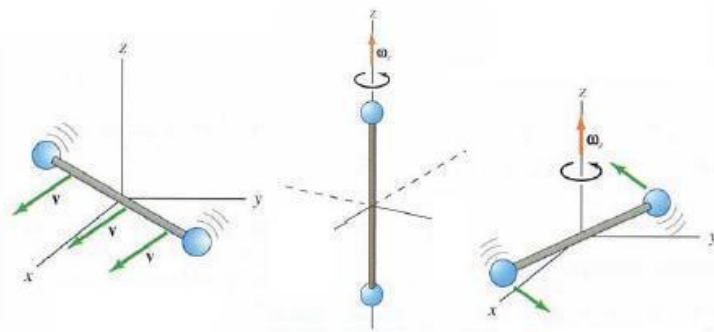
$$C_v = \frac{3}{2}R \quad (2.43)$$

Nilai $C_v = \frac{3}{2}R = 12,5 \frac{J}{mol} \cdot K$ untuk semua gas monoatomik. Perkiraan ini sangat sesuai dengan nilai kalor jenis molar yang diukur untuk gas-gas seperti helium, neon, argon, dan xenon pada jangkauan suhu yang luas.⁶⁰

⁶⁰ *Ibid*, h. 97-99.

9. Energi Dalam

Sejauh ini, telah diasumsikan bahwa satu-satunya kontribusi yang diberikan oleh energi dalam dari suatu gas adalah energi kinetik translasi molekul. Namun, pada energi dalam dari suatu gas juga terdapat kontribusi dari gerak translasi, getaran dan rotasi dari molekul. Gerak rotasi dan getaran dapat dihasilkan oleh tumbukan. Teorema ekipartisi menyatakan bahwa pada keadaan setimbang, setiap derajat kebebasan memberikan kontribusi energi sebesar $\frac{1}{2}k_B T$ per molekul.



Gambar 2.6 Kemungkinan gerak dari sebuah molekul diatomik

Suatu gas diatomik, yang dapat digambarkan sebagai suatu molekul berbentuk seperti batang pendek dengan pemberat atom pada kedua ujungnya (seperti barbel pada angkat besi) yang terlihat seperti pada Gambar 2.4. Pusat massa molekul dapat bertranslasi pada arah x , y dan z dalam model tersebut (Gambar sebelah kiri). Molekul tersebut juga dapat berotasi bersamaan disekitar ketiga sumbu tegak lurus nya (Gambar ditengah). Rotasi disekitar sumbu y dapat diabaikan karena momen inersia I_y dari molekul dan energi rotasi $\frac{1}{2}I_y \omega^2$ disekitar sumbu ini jauh lebih kecil dibandingkan momen inersia dan energi rotasi pada

sumbu x dan z . Gas diatomik memiliki lima derajat kebebasan untuk translasi dan rotasi: tiga derajat kebebasan berhubungan dengan gerak translasi dan dua derajat kebebasan berhubungan dengan gerak rotasi. Setiap derajat kebebasan memberikan kontribusi rata-rata sebesar $\frac{1}{2}k_B T$ per molekul, maka energi dalam untuk suatu sistem dengan N molekul, jika mengabaikan getarannya adalah

$$E_{dalam} = 3N \left(\frac{1}{2} k_B T \right) + 2N \left(\frac{1}{2} k_B T \right) = \frac{5}{2} N k_B T = \frac{5}{2} nRT \quad (2.45)$$

Kalor jenis molar pada volume konstan untuk gas diatomik adalah

$$C_v = \frac{1}{n} \frac{dE_{dalam}}{dT} = \frac{1}{n} \frac{d}{dT} \left(\frac{5}{2} nRT \right) = \frac{5}{2} R \quad (2.46)$$

Pada model untuk getaran, kedua atom dihubungkan oleh pegas khayal (Gambar sebelah kanan). Gerak getaran menambah dua derajat kebebasan lagi, yang berhubungan dengan energi kinetik dan energi potensial akibat getaran disepanjang molekulnya. Fisika klasik dan teorema ekipartisi pada model yang melibatkan tiga jenis gerak di dalamnya memperkirakan bahwa energi dalam total adalah

$$\begin{aligned} E_{dalam} &= 3N \left(\frac{1}{2} k_B T \right) + 2N \left(\frac{1}{2} k_B T \right) + 2N \left(\frac{1}{2} k_B T \right) \\ E_{dalam} &= \frac{7}{2} N k_B T = \frac{7}{2} nRT \end{aligned} \quad (2.47)$$

Kalor jenis molar pada volume konstan untuk gas poliatomik adalah

$$C_v = \frac{1}{n} \frac{dE_{dalam}}{dT} = \frac{1}{n} \frac{d}{dT} \left(\frac{7}{2} nRT \right) = \frac{7}{2} R \quad (2.48)^{61}$$

⁶¹ *Ibid*, h. 104-105.