

Pemahaman Interaksi Elektromagnetik melalui Pendekatan Inkuiri

Triyanta^{1,2,a,b)}

¹ Kelompok Keilmuan Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi, FMIPA-ITB

Gedung Fisika, FMIPA-ITB, Jalan Ganesha 10 Bandung

² SEAMEO Regional Centre for QITEP in Science

Jalan Diponegoro 12 Bandung

Email: ^{a)} triyanta@fi.itb.ac.id, ^{b)} director@qitepinscience.org

Abstrak

Pembelajaran sains berbasis inkuiri merupakan salah satu pendekatan pembelajaran sains di antara sejumlah pendekatan atau metode pembelajaran sains yang dikenal. Di dalam pembelajaran sains berbasis inkuiri, pembelajar membangun sebuah pengetahuan seperti yang dilakukan para ilmuwan dalam memahami alam semesta. Keuntungan dari pendekatan ini adalah, selain membangun pengetahuan, pembelajar sekaligus juga membangun sikap ilmiah dan kemampuan berproses ilmiah. Keberhasilan penerapan pendekatan inkuiri di dalam kelas sangat bergantung pada kemampuan guru berinkuiri dan keseriusan guru dalam mempersiapkan rencana kegiatan inkuiri siswa. Tulisan ini akan menyajikan uraian singkat tentang pembelajaran berbasis inkuiri, kegiatan peningkatan profesional guru sains yang berkaitan dengan inkuiri oleh Regional Centre for QITEP in Science, dan menyajikan satu contoh usaha pemahaman interaksi elektromagnetik yang lebih dalam melalui pendekatan inkuiri. Contoh ini berguna bagi guru dan dosen pembelajar, dalam bidang fisika.

Kata kunci: inkuiri, guru pembelajar, interaksi elektromagnetik.

PENDAHULUAN

Sains atau ilmu pengetahuan menggambarkan pemahaman manusia terhadap gejala-gejala atau perilaku-perilaku yang terjadi di sekitarnya, baik perilaku alam, termasuk yang berada di dalam diri manusia itu sendiri maupun perilaku masyarakat atau kelompok manusia. Sains dikelompokkan atas sains sosial dan sains alam. Sains alam sering disebut secara singkat sebagai sains saja. Itulah kenapa di sekolah, matapelajaran-matapelajaran, selain matapelajaran umum seperti agama dan bahasa, dikelompokkan ke dalam kelompok matapelajaran ilmu pengetahuan sosial (IPS, sains sosial) dan kelompok matapelajaran ilmu pengetahuan alam (IPA, sains alam). Proses-proses untuk mendapatkan pemahaman perilaku alam atau perilaku kelompok manusia dinamakan metode ilmiah. Dasar dari metode ilmiah adalah mematuhi bukti dan nalar (reason) [Kosso]. Proses tersebut dimulai dengan pengenalan terhadap gejala atau situasi atau lingkungan yang menjadi titik perhatian yang kemudian memunculkan sejumlah pertanyaan yang jawabannya, yang diperoleh melalui serangkaian penyelidikan, akan membawa manusia pada pemahaman yang lebih rinci, lebih mendalam tentang gejala yang menjadi perhatian tersebut. Ini adalah proses yang dilakukan ilmuwan dalam mendapatkan ilmu pengetahuan [Kosso, Olson]. Keseluruhan proses tersebut juga dikatakan sebagai inkuiri ilmiah karena bertujuan untuk mendapatkan pengetahuan atau jawaban atas pertanyaan atau keingintahuan yang timbul atas suatu gejala atau perilaku alam [Olson]. Proses inkuiri ilmiah tersebut mengandung tiga aspek: produk, proses, dan sikap [Tho]. Dengan demikian pembelajaran sains di sekolah yang dilakukan melalui pendekatan inkuiri ini tidak hanya akan memberikan pengetahuan (produk) kepada siswa tetapi

sekaligus juga membangun kemampuan berproses dan memiliki sikap ilmiah yang diperlukan di dalam kehidupan sehari-hari.

INKUIRI DALAM KELAS

Rasa ingin tahu atau inkuiri merupakan fitrah manusia yang membantu manusia memahami perilaku alam di sekitarnya sehingga manusia mampu beradaptasi terhadap lingkungan dan mampu mempertahankan kelangsungan hidupnya. Oleh karena itu penerapan pendekatan inkuiri di dalam kelas akan membantu mempersiapkan pembelajar atau siswa dalam menghadapi dunia yang sebenarnya. Selain mendapatkan pengetahuan (produk), siswa yang berinkuiri di dalam kelas juga mendapatkan kesempatan untuk mengembangkan kemampuan-kemampuan menggunakan metode ilmiah seperti mengukur, mengembangkan daya nalar, dan menganalisis data, serta mengembangkan sikap positif seperti sikap keingintahuan (*curiosity*), kemampuan bekerjasama, jujur, dan ulet [Tho]. Ketika berinkuiri siswa akan mengalami atau melakukan langkah-langkah kegiatan berikut:

1. pengamatan suatu gejala alam atau objek perhatian,
2. membuat pertanyaan-pertanyaan sebagai wujud dari keingintahuan yang berkaitan dengan objek pengamatan,
3. melakukan pengukuran, pengamatan lebih lanjut, studi pustaka, dan perhitungan
4. membuat kesimpulan
5. melakukan publikasi

Kegiatan berinkuiri umumnya dilakukan berkelompok. Pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya akan membantu siswa dalam merencanakan kegiatan pengukuran dan kegiatan lainnya dalam rangka menjawab pertanyaan. Publikasi di antaranya dilakukan dalam bentuk paparan hasil berinkuiri di hadapan siswa-siswa lainnya. Bergantung pada objek pengamatannya ada kemungkinan kegiatan berinkuiri tersebut memberikan dampak positif pada publik atau pihak lain, misalkan menghasilkan saran kepada penjaga sekolah tentang berapa sering penyiraman tanaman di sekolah dilakukan. Ini juga bentuk lain dari publikasi. Dari uraian di atas dapat dipahami bahwa inkuiri di dalam kelas mengandung ciri-ciri sebagai berikut[Olson]:

- a. Pembelajar terikat dalam pertanyaan-pertanyaan berbasis ilmiah
- b. Pembelajar memberikan prioritas pada pembuktian dalam menanggapi pertanyaan
- c. Pembelajar membuat penjelasan-penjelasan berdasarkan bukti -bukti yang diperoleh
- d. Pembelajar menghubungkan penjelasan dengan pengetahuan ilmiah
- e. Pembelajar mengkomunikasikan

Cara atau strategi yang dapat dilakukan guru dalam membawa peserta didik berinkuiri dapat bervariasi [Chiappetta], namun biasanya dimulai dengan membuat pertanyaan. Pertanyaan merupakan inti dari proses berinkuiri, karena ia akan mendorong munculnya pemikiran dan langkah-langkah aksi [Chiappetta]. Secara konseptual, pembelajaran berbasis inkuiri merupakan proses pembelajaran yang baik karena pembelajar akan mendapatkan kemampuan dalam tiga aspek yang telah diungkapkan di atas. Dan hasil sejumlah penelitian, lihat misalnya [Daphne, Gibson, Olson, Geier, Marx], mendukung kesimpulan tersebut dan membuat pemahaman siswa terhadap materi lebih baik, sehingga peneliti mendorong dijalankannya pendekatan inkuiri di dalam kelas. Meskipun demikian bukan berarti bahwa semua materi dalam kurikulum harus disampaikan melalui pendekatan inkuiri. Beberapa materi saja yang diberikan melalui pendekatan inkuiri saya kira sudah cukup baik. Ini telah dapat memberikan kesempatan siswa untuk berinkuiri, melakukan penelitian, dan mengalami pengembangan sikap ilmiah. Beberapa kegiatan pembelajaran berbasis inkuiri diharapkan sudah dapat membawa pandangan positif siswa terhadap matapelajaran sains, yaitu sains adalah matapelajaran yang menarik dan menyenangkan; suatu pandangan yang berbeda dengan pandangan umum yang telah berlangsung sampai saat ini.

Pembelajaran berbasis inkuiri membuat siswa menjadi aktif. Guru lebih berperan sebagai fasilitator. Namun demikian tidak berarti guru menjadi lebih santai. Bagaimana pun guru harus mempersiapkan diri dengan baik. Termasuk di antaranya adalah menentukan topik-topik selama satu semester, mencatat kemungkinan pertanyaan-pertanyaan inkuiri yang muncul dan kemungkinan penyelidikan yang harus dilakukan untuk menjawab pertanyaan. Ketika pembelajaran berbasis inkuiri berlangsung, guru harus mengarahkan siswa bila pertanyaan-pertanyaan yang muncul melenceng dari materi dalam kurikulum yang menjadi perhatian, memperhatikan dari segi keamanan terhadap rencana kegiatan penelitian setiap kelompok,

dan mencatat semua aspek yang berkaitan dengan penilaian (asesmen). Perlu diperhatikan bahwa penilaian terhadap siswa dalam pembelajaran berbasis inkuiri tidak hanya berupa penilaian pemahaman siswa terhadap konsep sains tetapi juga kemampuan yang menunjukkan kinerja inkuiri sains.

INKUIRI DAN QITEP IN SCIENCE

SEAMEO Regional Centre for QITEP in Science, disingkat Seaqis, adalah sebuah pusat di antara dua puluh satu pusat dari Organisasi Menteri-Menteri Pendidikan Asia Tenggara (SEAMEO). Misi Seaqis adalah menyediakan berbagai aktivitas untuk pengembangan profesional guru sains dan tenaga kependidikan, seperti pelatihan guru, kepala sekolah, dan tenaga kependidikan, penelitian dan pengembangan, penyusunan bahan ajar, dan lain-lain. IBSE (*Inquiry Based-Science Education*) menjadi unsur penting dalam sejumlah program peningkatan profesional guru yang diselenggarakan Seaqis. Di antaranya adalah pelatihan tentang pendidikan tentang energi terbarukan yang diselenggarakan bersama-sama dengan Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, pelatihan pengembangan kemampuan berpikir untuk pendidikan melalui IBSE yang diselenggarakan bersama-sama dengan LAMAP Perancis dan ISTIC-UNESCO Malaysia, serta pelatihan regular tentang pendidikan lingkungan hidup dan pendidikan bumi dan antariksa yang diselenggarakan dengan mengundang sejumlah pakar dari perguruan tinggi. Seaqis juga menawarkan kegiatan penelitian berbasis IBSE kepada para guru.

PEMAHAMAN INTERAKSI ELEKTROMAGNETIK MELALUI PENDEKATAN INKUIRI

Dalam usaha menjawab pertanyaan-pertanyaan yang muncul setelah pengamatan atau analisis terhadap objek penelitiannya seorang ilmuwan mungkin perlu melakukan penelitian dalam bentuk eksperimen atau observasi di dalam sebuah laboratorium atau lapangan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dan kemudian digunakan untuk menjawab pertanyaan. Studi pustaka menjadi bagian penting kegiatan ilmuwan baik sebelum rencana penelitian dilakukan maupun sepanjang penelitian berlangsung. Mungkin pula pertanyaan-pertanyaan tersebut dapat dijawab tanpa harus melakukan eksperimen atau observasi di dalam laboratorium atau lapangan. Dalam kasus ini ilmuwan dapat menjawab pertanyaan cukup dengan melakukan perhitungan dan analisis dari hasil studi pustaka. Contoh-contoh pembelajaran berbasis inkuiri di pustaka umumnya melibatkan kegiatan pengukuran sehingga di sini saya akan memberikan satu contoh pembelajaran berbasis inkuiri yang tidak memerlukan kegiatan pengukuran di dalam laboratorium atau di lapangan. Persoalan yang ditinjau lebih cocok untuk dilakukan oleh guru fisika atau bahkan dosen fisika karena tingkat kesulitan yang tinggi untuk siswa. Ini juga merupakan contoh bahwa guru harus pula melakukan pembelajaran berbasis inkuiri. Pengalaman melakukan inkuiri akan sangat membantu guru dalam membawa siswa melakukan kegiatan inkuiri.

Contoh yang akan saya sampaikan berikut ini adalah tentang interaksi elektromagnetik. Di dalam gejala elektromagnetisme, muatan listrik merupakan kuantitas fundamental yang bertanggung jawab terhadap terjadinya interaksi elektromagnetik antara dua atau lebih objek, seperti massa di dalam interaksi gravitasi. Untuk selanjutnya muatan listrik disebut sebagai muatan saja. Interaksi direpresentasikan oleh gaya. Dalam gejala elektromagnetisme dikenal gaya Coulomb, gaya Lorentz, dan gaya magnetik dengan ungkapan matematikanya sebagai berikut:

Langkah 1:

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2 \hat{r}}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{q_1 q_2 \vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad \text{Gaya Coulomb}$$

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{Gaya Lorentz} \quad (1)$$

$$\vec{F} = I \int_C d\vec{l} \times \vec{B} \quad \text{Gaya magnetik}$$

Pada ungkapan gaya Coulomb, q_1 dan q_2 adalah dua muatan titik yang saling berinteraksi. Keduanya terpisah oleh jarak r . Vector satuan \hat{r} pada gaya Coulomb sejajar dengan garis hubung antara kedua muatan

titik dan berarah menjauh dari kedua muatan, dan $\vec{r} = r\hat{r}$ sedangkan ϵ_0 adalah permitivitas listrik dalam vakum. Pada ungkapan gaya Lorentz, q adalah muatan titik yang mengalami gaya Lorentz. Muatan tersebut bergerak dengan kecepatan \vec{v} di bawah pengaruh medan listrik \vec{E} dan medan magnetik \vec{B} . Pada ungkapan gaya magnetik, distribusi muatan yang direpresentasikan oleh arus listrik I yang bergerak sepanjang sebuah lintasan C mengalami gaya magnetik ketika ditempatkan di dalam daerah bermedan magnetik \vec{B} . $d\vec{l}$ adalah elemen lintasan yang dilalui arus listrik. Karena yang menjadi perhatian kita adalah interaksi elektromagnetik maka ketiga bentuk gaya di atas menjadi objek perhatian kita, sebagai Langkah 1 dari proses berinkuiri. Langkah berikutnya adalah membuat pertanyaan yang berkaitan dengan objek pengamatan. Pertanyaan-pertanyaan tentang ketiga gaya tersebut di antaranya adalah

Langkah 2 :

- (1) Kenapa tiga gaya, tidak satu gaya?
- (2) Apa perbedaan antara ketiga gaya tersebut?
- (3) Gaya elektromagnetik adalah salah satu dari empat gaya fundamental (tiga yang lain adalah gaya gravitasi, gaya kuat, dan gaya lemah). Manakah yang paling fundamental di antara ketiganya?

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dilakukan dengan studi pustaka dengan berbekal pada pengetahuan yang telah dimiliki. Pertanyaan-pertanyaan di atas dapat diramu untuk menghasilkan sebuah hipotesis yang akan dibuktikan pada langkah-langkah berikutnya. Dalam hal ini hipotesisnya adalah: Seperti dalam gejala gravitasi, hanya terdapat satu gaya fundamental dalam gejala elektromagnetisme. Ini adalah Langkah 3 dari proses inkuiri. Selama dan setelah studi pustaka kita mungkin perlu melakukan perhitungan matematis dan analisis untuk menarik kesimpulan. Bisa terjadi selama kegiatan tersebut timbul pertanyaan-pertanyaan baru yang mempertajam pertanyaan sebelumnya. Tentunya kita tidak merencanakan untuk melakukan eksperimen karena eksperimen tidak relevan dengan atau tidak akan menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas.

Langkah 3 :

- (1) Studi pustaka
- (2) Perhitungan dan analisis

Salah satu yang harus diperhatikan sebelum kita melakukan analisis terhadap gaya-gaya di atas adalah tentang batasan keberlakuannya. Pada gaya Coulomb misalnya, kedua muatan, q_1 dan q_2 adalah dua muatan titik, yaitu muatan dari dua partikel berukuran sangat kecil. Jika salah satu atau keduanya bukan partikel titik maka formula di atas tidak berlaku. Ini yang kurang dipahami oleh banyak mahasiswa (tentunya juga siswa). Selain itu, kedua muatan harus dalam keadaan diam [Giancoli, Jackson]. Ini akan menjamin gaya Coulomb pada muatan q_1 dan muatan q_2 sama besar dan berlawanan arah. Sebenarnya yang harus diam adalah muatan sumber sedangkan muatan uji tidak harus diam [Griffiths]. Medan listrik \vec{E} didefinisikan sebagai gaya Coulomb \vec{F} per satuan muatan q

$$\vec{F} = q\vec{E} \tag{2}$$

sedangkan medan magnetik \vec{B} berkaitan dengan muatan-muatan sumber yang bergerak, misalnya arus listrik. Muatan q yang diam tidak dipengaruhi medan magnetik, tetapi bila bergerak dengan kecepatan \vec{v} muatan q dipengaruhi medan magnetik melalui gaya magnetik

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}. \tag{3}$$

Gabungan dari keduanya tidak lain adalah gaya Lorentz. Dari sini tampak bahwa gaya Lorentz merupakan gaya yang dialami sebuah muatan uji yang bergerak di dalam daerah di sekitar muatan-muatan sumber yang sebagian diam dan sebagian bergerak. Ketika semua muatan sumber diam maka gaya Lorentz mereduksi menjadi gaya Coulomb sedangkan bila semua muatan sumber bergerak maka gaya Lorentz mereduksi menjadi gaya magnetik. Analisis tersebut membawa ke kesimpulan sementara dalam proses berinkuiri: dengan demikian gaya Lorentz tampak lebih fundamental daripada gaya Coulomb. Namun apakah memang demikian? Ini adalah pertanyaan lanjutan yang muncul untuk mendapatkan kesimpulan akhir yang meyakinkan.

Sebelum menjawab pertanyaan tersebut ada pertanyaan tambahan lain yang perlu pula dijawab: bagaimana hubungan antara gaya magnetik (3) dengan gaya magnetik pada persamaan (1)? Untuk menjawab pertanyaan ini kita perlu memperhatikan ungkapan kedua bentuk gaya magnetik. Keduanya mengandung medan magnetik sedangkan kuantitas-kuantitas lainnya mengingatkan kita pada salah satu konsep dasar gerak sebuah partikel, yaitu kecepatan dan konsep arus listrik:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}, \quad I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (4)$$

Maka

$$\vec{F} = q \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \times \vec{B} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} \Delta \vec{r} \times \vec{B}. \quad (5)$$

Tanpa mengubah makna, muatan titik q telah diganti dengan elemen muatan Δq yang juga partikel titik. Pembagi Δt telah digeser mendekati muatan sehingga memunculkan kuantitas arus listrik. Arus listrik berkaitan dengan sejumlah muatan-muatan yang mengalir beriringan, yang masing-masing muatan mengalami gaya magnetik. Total gaya magnetik menjadi

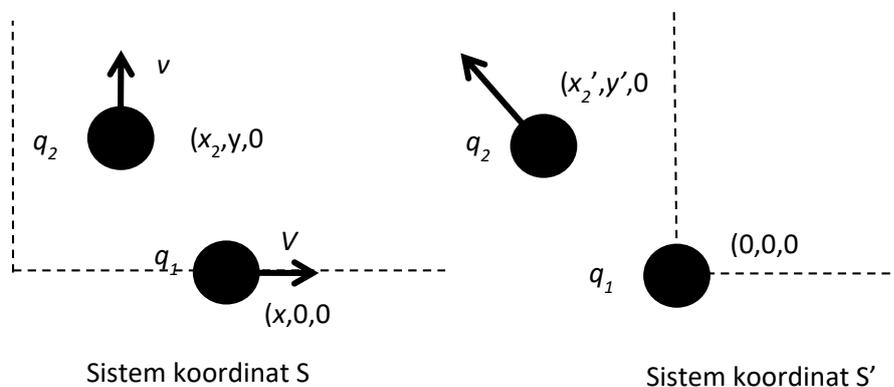
$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{\Delta q} \frac{\Delta q}{\Delta t} \Delta \vec{r} \times \vec{B} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{\Delta \vec{r}} \frac{\Delta q}{\Delta t} \Delta \vec{r} \times \vec{B}. \quad (5)$$

Dalam persamaan terakhir penjumlahan terhadap Δq dapat diganti dengan penjumlahan terhadap $\Delta \vec{r}$ karena $\Delta \vec{r}$ menggambarkan kedudukan Δq . Ungkapan terakhir ekuivalen dengan

$$I \int_C d\vec{l} \times \vec{B}$$

Setelah simbol $\Delta \vec{r}$ diganti dengan simbol $d\vec{l}$ sedangkan C adalah lintasan yang dilalui elemen-elemen muatan Δq (yang direpresentasikan oleh arus listrik I). Dari sini dapat disimpulkan bahwa gaya magnetik pada persamaan (1) sama dengan jumlah gaya-gaya magnetik (3) yang bekerja pada muatan-muatan uji Δq . Dengan demikian gaya Lorentz sudah mencakup gaya magnetik pada persamaan (1): gaya magnetik pada persamaan (1) bukan gaya fundamental.

Sekarang kita mengerucut ke dua gaya pertama pada persamaan (1). Terdapat perbedaan pokok antara dinamika muatan sumber pada kedua gaya. Pada gaya Coulomb muatan sumber diam sedangkan pada gaya Lorentz muatan sumber bergerak (sebagian atau semua). Melihat hal ini maka ada kemungkinan, dan ini adalah suatu hipotesis bahwa kedua gaya pada dasarnya adalah gaya yang sama hanya dilihat dari kerangka koordinat yang berbeda. Sekarang kita buktikan hipotesis tersebut dengan meninjau interaksi antara dua muatan titik q_1 dan q_2 yang berturut-turut bergerak dengan kecepatan konstan $(V,0,0)$ dan $(0,v,0)$. Ambil sistem koordinat S sehingga q_1 bergerak sepanjang sumbu x dengan posisi awal di $x=0$ dan q_2 bergerak sepanjang garis sejajar sumbu y . Maka posisi q_1 dan q_2 pada saat t berturut-turut adalah $(x_1=x(t),0,0)$ dan $(x_2, y(t),0)$, x_2 konstan. Kita ingin menentukan gaya Coulomb yang bekerja pada muatan q_2 . Ini berarti q_1 berperan sebagai muatan. Karena muatan sumber tidak diam dalam sistem koordinat (x,y) maka kita perlu berpindah ke sistem koordinat $S'=(x',y')$ yang diam terhadap muatan sumber q_1 (bergerak bersama-sama q_1). Mula-mula kedua sistem koordinat berimpit sehingga muatan sumber selalu berada pada pusat koordinat S' . Jadi sistem koordinat S' bergerak dengan kecepatan $(V,0,0)$ terhadap S dan muatan uji q_2 bergerak dengan kecepatan $(v_x',v_y',0)$. Situasi gerak menurut kedua sistem koordinat dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar: Situasi gerak kedua muatan menurut system koordinat S dan S'.

Gaya Coulomb yang bekerja pada muatan uji q_2 menurut S' adalah

$$\vec{F}' = \frac{q_1 q_2 \vec{r}'}{4\pi\epsilon_0 r'^3} = \frac{q_1 q_2 (x_2 \hat{i} + y' \hat{j})}{4\pi\epsilon_0 (x_2^2 + y'^2)^{3/2}} \quad (6)$$

Kerangka S dan S' adalah kerangka-kerangka inersia relatif satu terhadap yang lain, sehingga sistem koordinat kedua kerangka memenuhi persamaan transformasi Lorentz. Maka

$$x_2' = x_2 - x_1' = \gamma(x_2 - x_1),$$

$$y_2' = y_2 - y_1' = y' = y, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}} \quad (7)$$

Maka

$$\vec{F}' = \frac{q_1 q_2 (\gamma(x_2 - x_1) \hat{i} + y' \hat{j})}{4\pi\epsilon_0 (\gamma^2(x_2 - x_1)^2 + y'^2)^{3/2}} \quad (8)$$

atau

$$F'_x = \frac{q_1 q_2 \gamma (x_2 - x_1)}{4\pi\epsilon_0 (\gamma^2(x_2 - x_1)^2 + y'^2)^{3/2}},$$

$$F'_y = \frac{q_1 q_2 y'}{4\pi\epsilon_0 (\gamma^2(x_2 - x_1)^2 + y'^2)^{3/2}}, \quad F'_z = 0 \quad (9)$$

Dari transformasi Lorentz dapat diperoleh formula penjumlahan kecepatan dan hubungan antara percepatan menurut kedua kerangka. Dari sini diperoleh hubungan antara gaya menurut kedua kerangka. Ungkapannya adalah sebagai berikut [French, Triyanta]:

$$F_x = \frac{F'_x + (V/c^2) \vec{F}' \cdot \vec{v}'}{1 + V v'_x / c^2},$$

$$F_y = \frac{F'_y}{\gamma(1 + V v'_x / c^2)}, \quad (10)$$

$$F_z = \frac{F'_z}{\gamma(1 + V v'_x / c^2)}.$$

Substitusi (9) ke dalam (10) dan mengingat formula penjumlahan kecepatan dalam teori relativitas khusus maka gaya pada persamaan (10) pada saat $t=0$ menjadi

$$F_x = \frac{k q_1 q_2 \gamma V v}{y_0^2 c^2}, \quad F_y = \frac{k q_1 q_2 \gamma}{y_0^2}, \quad F_z = 0. \quad (11)$$

Dalam ungkapan di atas $y_0=y(0)$ dan x_2 telah dipilih sama dengan nol, artinya muatan uji bergerak sepanjang sumbu y . Kita bisa tuliskan

$$\vec{F}(t=0) = q_2 \vec{E} + q_2 \vec{v} \times \vec{B},$$

$$\vec{E} = \frac{k q_1 \gamma}{y_0^2} \hat{j}, \quad \vec{B} = \frac{k q_1 \gamma V}{y_0^2 c^2} \hat{k}. \quad (12)$$

Dari sini dapat disimpulkan bahwa interaksi antara dua muatan titik q_1 dan q_2 berbentuk gaya Coulomb di dalam kerangka diam muatan sumber q_1 (dalam hal ini kerangka S') dan berbentuk gaya Lorentz di dalam kerangka inersia yang lain (dalam hal ini kerangka S). Kita katakan bahwa gaya Lorentz dan gaya Coulomb adalah ekuivalen. Artinya hanya ada satu gaya fundamental di dalam elektromagnetisme, yaitu gaya Coulomb (boleh juga gaya Lorentz).

Urian yang terakhir tidak lain adalah Langkah 4 dalam proses berinkuiri:

Langkah 4:

- (1) Membuat kesimpulan akhir:
Hipotesis benar, bahwa hanya ada satu gaya fundamental dalam elektromagnetisme, dan gaya itu adalah gaya Coulomb.

Langkah selanjutnya adalah mempublikasikan atau mendeseminasikan hasil kerja berinkuiri. Publikasi dapat dalam bentuk tulisan ilmiah yang diterbitkan di dalam sebuah jurnal, presentasi di dalam seminar atau presentasi di antara guru-guru sejawat dalam lingkup MGMP.

Langkah 5: Publikasi

- (1) Menuliskan hasil berinkuiri dalam bentuk karya tulis dan/atau ppt presentasi
- (2) mempublikasikan di dalam jurnal ilmiah atau dalam seminar

KESIMPULAN

Pembelajaran sains berbasis inkuiri merupakan salah satu pendekatan pembelajaran sains di antara sejumlah pendekatan atau metode pembelajaran sains yang dikenal. Di dalam pembelajaran sains berbasis inkuiri, selain membangun pengetahuan, pembelajar sekaligus juga membangun sikap ilmiah dan kemampuan berproses ilmiah. Langkah-langkah kegiatan berinkuiri telah diuraikan. Contoh eksplisit pembelajaran berbasis inkuiri telah disampaikan. Uraian telah menggambarkan kemampuan berproses yang dapat dibangun pembelajar. Sikap ulet dan tekun dalam menghadapi persoalan teknis/matematis jelas diperlukan. Peran Regional Centre for QITEP in Science dalam mendorong guru sains untuk menerapkan pembelajaran berbasis inkuiri dilakukan dengan penyelenggaraan pelatihan-pelatihan bekerjasama dengan lembaga lain di dalam dan di luar negeri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih atas dukungan program Riset Desentralisasi DIKTI dan Riset Inovasi ITB

PUSTAKA

1. Steve Olson and Susan Loucks-Horsley, *Inquiry and the National Science Education Standards, A Guide for Teaching and Learning*, 2000, National Academies Press
2. Gregory J. Kelly, *Inquiry Teaching and Learning: Philosophical Considerations*, in *Handbook of Historical and Philosophical Studies in Science Education*, Michael R. Matthews (ed.), 2013, Springer
3. Helen L. Gibson and Christopher Chase, *Longitudinal Impact of an Inquiry-Based Science Program on Middle School Students' Attitudes Toward Science*, 2002, Wiley Periodicals, Inc.
4. Robert Geier, Phyllis C. Blumenfeld, Ronald W. Marx, Joseph S. Krajcik, Barry Fishman, Elliot Soloway, and Juanita Clay-Chambers, *Standardized Test Outcomes for Students Engaged in Inquiry-Based Science Curricula in the Context of Urban Reform*, *Journal of Research in Science Teaching*, 2008, Vol 45 No. 8 pp.922-939
5. Ronald W. Marx, Phyllis C. Blumenfeld, Joseph S. Krajcik, Barry Fishman, Elliot Soloway, Robert Geier, and Revital Tali Tal, *Inquiry-Based Science in the Middle Grades: Assessment of Learning in Urban Systemic Reform*, *Journal of Research in Science Teaching*, 2004, Vol 41 No. 10 pp.1063-1080
6. Daphne D. Minner, Abigail Jurist Levy, and Jeanne Century, *Inquiry-Based Science Instruction-What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002*, 2010, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol 47 No. 4 pp.474-496
7. Peter Kosso, *A Summary of Scientific Method*, ISBN 978-94-007-1613-1, 2011, Springer

8. Tho Lai Hoong, Ho Peck Leng, and Goh Nghoh Khang, Interactive Science 1, 2002, SNP Pan Pacific Publishing, Singapore
9. Eugene L. Chiappetta, Inquiry-Based Science, Strategies and Techniques for Encouraging Inquiry in the Classroom, Science Teacher, Oct 1997, v64 n7 p22-26
10. Douglas C. Giancoli, Physics-Principles with Applications, 1991, Prentice-Hall
11. John D. Jackson, Classical Electrodynamics, 1983, Wiley Eastern Limited
12. David J. Griffiths, Introduction to Elektrodynamics, 1999, Prentice-Hall
13. Anthony P. French, Special Relativity, 1968, W.W. Norton & Company Inc.
14. Triyanta, Medan Magnetik sebagai Efek Relativistik dari Gaya Coulomb dan Miskonsepsi yang Terkait dalam Pembelajaran Kemagnetan, 2011, Jurnal Inovasi Pembelajaran Sains JIPS 1 (1) 5-8CRC Press, Florida (2005)