

Pengetahuan Prinsip Kimia Hijau - Pencegahan, Atom Ekonomi dan Penggunaan Sumber Bahan Mentah Boleh Diperbaharui dalam Kalangan Murid Tingkatan 4 di Malaysia

Knowledge of Green Chemistry Principles - Prevention, Atom Economy, and the Use of Renewable Raw Materials among Form 4 Students in Malaysia

Kartini Abdull Patah¹, Mohammad Yusof Arshad², Mohd Shafie Rosli^{1*}

^{1,2,3}Jabatan Pendidikan Sains, Matematik dan Multimedia Kreatif, Fakulti Sains Sosial & Kemanusiaan, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Skudai, Johor, MALAYSIA

*Corresponding Author

DOI: <https://doi.org/10.30880/jstard.2023.05.02.005>

Diserah 5 Oktober 2023; Diterima 14 Oktober 2023; Diterbitkan 4 Disember 2023

Abstrak: Kimia hijau merupakan satu pendekatan pembelajaran penting yang memberi pendidikan mengenai kelestarian alam sekitar melalui implimentasi 12 prinsip yang diperkenalkan sejak penghujung 1990an. Namun kejayaan pendekatan ini bergantung kepada tahap pengetahuan murid-murid terhadap ke semua prinsip yang terkandung dalam kimia hijau. Kajian ini bertujuan mengkaji tahap pengetahuan tiga prinsip kimia hijau dalam kalangan murid tingkatan empat yang mengambil mata pelajaran kimia di sekolah. Tiga prinsip tersebut ialah pencegahan, atom ekonomi dan penggunaan sumber bahan mentah daripada sumber yang boleh diperbaharui. Kajian berbentuk kualitatif dijalankan melibatkan 80 murid sekolah menengah. Satu set solan Ujian Pengetahuan Kimia Hijau (UP_KH) di tadbirkan di dalam kajian ini. Data di analisis secara analisis kandungan. Dapatan kajian menunjukkan pelajar memiliki pengetahuan yang rendah terhadap prinsip kimia hijau iaitu pencegahan, atom ekonomi dan penggunaan sumber bahan mentah daripada sumber tenaga yang boleh diperbaharui. Pengetahuan murid mengenai prinsip pencegahan adalah bersifat umum untuk mencegah pencemaran alam sekitar. Ia memfokuskan tiga aspek umum iaitu tindakan undang-undang, kempen dan pengurusan sisa. Murid mempunyai pengetahuan yang rendah dalam prinsip atom ekonomi dan tidak dapat membuat perkaitan yang betul di antara nilai atom ekonomi dengan tahap keberkesanan suatu tindak balas. Pengetahuan murid juga didapati rendah mengenai sumber bahan mentah boleh diperbaharui dan kepentingan implimentasinya dalam sesuatu tindak balas kimia. Pengetahuan mengenai prinsip-prinsip kimia hijau adalah sangat penting untuk memberi pendedahan awal kepada para pelajar mengenai kedah pencegahan peringkat awal bagi mengatasi masalah pencemaran alam sekitar.

Kata kunci: Kimia hijau, prinsip kimia hijau, ujian pengetahuan kimia hijau

Abstract: Green chemistry is an important learning approach that provides education on environmental sustainability through the implementation of 12 principles introduced since the late 1990s. However, the success of this approach depends on the level of students' knowledge of all the principles contained in green chemistry. This study aims to examine the level of knowledge of the three principles of green chemistry among fourth grade students who take chemistry subjects at school. The three principles are prevention, atom economy and the use of raw materials from renewable sources. A qualitative study was conducted involving 80 high school students. A set of questions for the Knowledge Test _Kimia Hijau (UP_KH) was administered in this study. The data was analyzed by content analysis. The findings of the study show that students have a low knowledge of the principles of green chemistry, namely prevention, atom economy and the use of raw materials from renewable energy sources. Students' knowledge of the principle of prevention is general to prevent environmental pollution. It focuses on three general aspects namely legal action, campaigning and waste management. Pupils have low knowledge in the principle of economic atoms and cannot make the correct connection between the value of economic atoms and the level of effectiveness of a reaction. Students' knowledge was also found to be low regarding renewable raw material sources and the importance of their implementation in a chemical reaction. Knowledge about the principles of green chemistry is very important to give early exposure to students about the need for early-stage prevention to overcome environmental pollution problems.

Keywords: Green chemistry, green chemistry principles, green chemistry knowledge test

1. Pengenalan

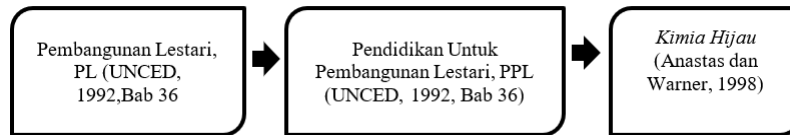
Pencemaran alam sekitar pada hari ini banyak berkait rapat dengan aktiviti-aktiviti berasaskan tindak balas kimia yang membebaskan bahan merbahaya. Pendidikan kimia hijau dilihat sebagai satu platform yang sesuai diaplikasikan bagi menangani isu-isu berkaitan krisis alam sekitar (Anis Zafirah, Muhamad Amin dan Rusmawati, 2021; Yakob, Ismail dan Razak, 2012 ; Karpudewan, Ismail dan Mohamed, 2009). Ini kerana ianya adalah satu pendekatan yang diintegrasikan daripada konsep pendidikan lestari, PL. Bagi mencapai tujuan ini, *kimia hijau* berperanan melalui pendekatan penghasilan rekabentuk produk kimia dan proses seiring dengan implimentasi prinsip-prinsip kimia hijau sebagai usaha untuk menyingkirkan dan mengurangkan penghasilan bahan merbahaya dalam menangani masalah berkaitan isu alam sekitar yang dialami di dunia sejagat perlu dilaksanakan (Karpudewan, Ismail dan Mohamed, 2011a; Agbayewa, Oloruntegbe dan Alake, 2013).

Krisis alam sekitar yang berlaku pada hari ini adalah disebabkan oleh sikap manusia yang lebih suka untuk merosakkan berbanding untuk memperbaiki atau mencegah daripada berlakunya pencemaran dan kerosakan ke atas alam sekitar. Di Malaysia, kurikulum pendidikan alam sekitar telah digubal oleh Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) sejak tahun 1990an. Konsep asas telah mula diperkenalkan dalam pelbagai cabang pendidikan sains di sekolah merentasi beberapa mata pelajaran seperti pendidikan kesihatan, pendidikan sivik, fizik, kimia dan biologi (Auliah, Muharram dan Mulyadi, 2018) namun tidak memberi penekanan secara spesifik kepada aspek pecegahan terhadap pencemaran yang berlaku menggunakan kaedah-kaedah atau panduan yang spesifik seperti mana yang terkandung dalam 12 prinsip kimia hijau.

2. Kimia Hijau

Di Malaysia, konsep kelestarian dan kimia hijau telah diserapkan dalam kurikulum pendidikan di mana ia terkandung dalam Polisi Kebangsaan berkenaan alam sekitar (2002) melalui pembentukan kurikulumnya seawal tahun 1990-an dan bersifat merentas kurikulum di peringkat sekolah rendah dan menengah. Selain daripada pendidikan alam sekitar, pelaksanaan PPL dan *kimia hijau* dapat dilaksanakan melalui mata pelajaran kimia di sekolah. Mengapa matapelajaran kimia dipilih? Ini kerana pembangunan sesebuah negara berkait rapat dengan kepesatan industri yang sebahagian besarnya berasaskan kimia dan isu-isu pencemaran yang diakibatkan olehnya. Oleh itu, pendidikan kimia merupakan satu cabang pendidikan yang paling sesuai dalam mengetengahkan isu-isu yang berkaitan dengan alam sekitar dan kelestarian (Sjostrom, Rauch, dan Eilks, 2015) disebabkan peranannya yang besar dalam pembangunan ekonomi sesebuah negara (Jumbam, 2015).

Kimia hijau dikenali sebagai *sustainable chemistry* (Roon, Goovers dan Weenen, 2001; Ithnin, Shousuke dan Shizuo, 2011; Karpudewan, Ismail & Mohamed, 2011a) dan *environmental chemistry* (Cummins, Green dan Elliott, 2004; Woodhouse, 2005). Idea pembentukan kimia hijau berkembang daripada konsep PL dan PPL seperti di dalam Rajah 1.



Rajah 1 - Perkembangan kimia hijau

Kimia hijau merupakan pendekatan pembelajaran yang berteraskan kepada pencegahan kepada sebarang bentuk pencemaran dan penggunaan produk yang tidak mencemarkan alam sekitar dikenali sebagai “*green consumerism*” (Hjeresen, Schutt dan Boese, 2000; Mohamad Fazli Sabri dan Teoh Yong Yong, 2006; Andraos dan Dicks, 2012). Matlamat utamanya adalah untuk menghasilkan produk yang lebih selamat, tidak membahayakan alam sekitar, menjimatkan tenaga dan air yang akhirnya akan membawa kepada pembangunan yang lestari. Matlamat ini dapat direalisasikan melalui implimentasi 12 prinsip kimia hijau dalam mereka bentuk suatu tindak balas kimia.

Pendekatan kimia hijau yang diimplimentasikan dalam kalangan murid-murid dilihat mampu membimbing mereka untuk membuat perkaitan antara apa yang dipelajari di dalam kelas dengan persekitaran harian yang dilalui oleh mereka (Braun *et al.*, 2006). Pendidikan kimia merupakan bidang paling sesuai untuk mempraktikkan dan mempromosikan pendidikan kimia hijau (Sjostrom, Rauch dan Eilks, 2015) disebabkan peranan besar yang dimainkan oleh kimia dalam sektor perindustrian dan kelestarian memandangkan kebanyakan produk kegunaan harian dan sektor perindustrian adalah berasaskan kimia (Jegstad dan Sinnes, 2015). Penghasilan sisa-sisa buangan industri, pencemaran dan gangguan terhadap kesihatan manusia dapat dikurangkan, dicegah dan diatasi pendidikan dan kesedaran dalam kalangan masyarakat khususnya murid-murid melalui pendidikan kimia hijau.

Justeru, ini membuka peluang kepada implimentasi prinsip-prinsip kimia hijau (Paul & Anastas, 1998) dalam kalangan murid-murid di sekolah kerana kimia hijau dapat membantu mewujudkan kesedaran dalam kalangan murid untuk mengutamakan penggunaan bahan kimia, aplikasi proses kimia dan amalan mencegah penghasilan bahan kimia merbahaya (Astuti, Sukmatullah, Asmawardani dan Subarkah, 2020). Selain itu ia dapat meningkatkan perkembangan kemahiran kognitif aras tinggi pelajar contohnya komunikasi, penyelesaian masalah dan kebolehan membuat keputusan (Anne, 2007).

Pendidikan kimia hijau juga merupakan medium terbaik untuk membincangkan ketiga-tiga elemen yang terkandung di dalam pembangunan kelestarian, PL (Karpudewan, Ismail dan Mohamed, 2009). Walau bagaimanapun, terdapat beberapa cabaran untuk mengimplimentasikan pendidikan kimia hijau serta prinsip-prinsip yang terkandung di dalamnya disebabkan kurangnya penekanan kepada pendidikan kimia hijau di sekolah serta tahap pengetahuan murid-murid dan guru yang rendah.

3. Objektif Kajian

Kajian ini dijalankan bertujuan untuk untuk mengetahui;

1. Pengetahuan murid-murid tingkatan empat terhadap prinsip kimia hijau - pencegahan,
2. Pengetahuan murid-murid tingkatan empat terhadap prinsip kimia hijau - atom ekonomi,
3. Pengetahuan murid-murid tingkatan empat terhadap prinsip kimia hijau - penggunaan sumber bahan mentah boleh diperbaharui.

4. Metodologi

Kajian ini telah dijalankan menggunakan pendekatan rekabentuk kajian secara kualitatif. Sampel kajian adalah melibatkan murid-murid tingkatan empat daripada tiga buah sekolah menengah yang mengambil mata pelajaran kimia yang dipilih secara rawak menggunakan teknik persampelan bertujuan (purposive sampling) daripada populasi di Malaysia. Ini bertujuan untuk mendapatkan data yang kukuh, boleh dipercayai dan memenuhi tujuan serta objektif kajian (Farrugia, 2019; Cresswell dan Plano Clark, 2011). Alat kajian yang digunakan dalam kajian ini ialah Ujian Pengetahuan Kimia Hijau (UP_KH) yang telah dibangunkan dalam bahasa Melayu oleh penulis berdasarkan prinsip-prinsip kimia hijau. Daripada 12 prinsip (Anastas dan Warner, 1998), hanya 11 prinsip yang terkandung dalam ujian ini kerana UP_KH digubal mengikut kesesuaian dengan tahap pendidikan murid-murid di sekolah menengah di Malaysia. Namun demikian, artikel ini hanya akan membincangkan tiga prinsip kimia hijau iaitu pencegahan, atom ekonomi dan penggunaan sumber bahan mentah boleh diperbaharui. Kajian ini melibatkan pendekatan kualitatif. Dapatan kajian akan dianalisis menggunakan teknik analisis kandungan (Elo dan Kyngas, 2008).

4.1 Sampel Kajian

Sampel kajian merupakan murid-murid sekolah berasrama penuh. Seramai 80 orang murid tingkatan empat aliran sains tulen yang mengambil mata pelajaran kimia sebagai salah satu mata pelajaran elektif sains di sekolah terlibat dalam kajian ini. Mereka yang terlibat ini tidak terlibat dalam kajian sebenar. Sebanyak 3 buah sekolah berasrama penuh daripada 3 buah negeri terlibat di dalam kajian ini di mana hanya murid daripada dua kelas bagi setiap sekolah

sahaja yang terlibat. Pemilihan sekolah berasrama penuh ini telah mendapat keizinan dan kelulusan oleh pihak pentadbir sekolah yang terlibat. Pemilihan sekolah ini adalah berdasarkan kepada pencapaian murid-muridnya yang sederhana berdasarkan keputusan peperiksaan pertengahan tahun semasa kajian dijalankan.

4.2 Instrumen Kajian

Kajian ini menggunakan instrument dinamakan sebagai Ujian Pengetahuan Kimia Hijau (UP_KH) yang terdiri daripada lima belas soalan subjektif respon terbuka. Soalan-soalan UPKH dibina melalui adaptasi dan ubahsuai daripada Caruana (2015) di samping menumpukan kepada situasi saintifik iaitu situasi sains yang banyak berlaku dalam aktiviti kehidupan seharian manusia yang berlaku di mana sahaja termasuklah di luar bilik darjah seperti yang diimplimentasi dalam soalan PISA (OECD’s International Programme for Student Assessment). UP_KH terdiri daripada 15 soalan subjektif respon terbuka yang menguji pengetahuan kimia hijau serta 11 prinsip-prinsipnya. UP_KH ditadbirkan kepada murid-murid selama satu jam 30 minit.

Instrumen ini dibina untuk mengkaji pengetahuan murid-murid terhadap sebelas prinsip-prinsip kimia hijau. Kandungan UP_KH dijalankan bagi menentukan sejauh mana instrumen yang dibina menepati dan memenuhi perkara yang ingin dikaji. Persetujuan pakar rujuk yang merupakan dua orang pensyarah dalam bidang kimia digunakan untuk mengetahui sama ada item yang dibina mewakili skop kimia hijau yang dikaji khususnya mengukur apa yang perlu diukur selari dengan objektif kajian. Dua orang pakar dipilih telah menilai UP_KH dari segi kandungan konsep dan prinsip kimia hijau yang ingin disoal, struktur ayat, bahasa yang digunakan serta maksud dan ketepatan pengetahuan yang ingin diukur.

5. Keputusan dan Perbincangan

5.1 Pengetahuan Prinsip Kimia Hijau - Pencegahan

Prinsip pertama kimia hijau ialah pencegahan. Prinsip ini memberi penekanan terhadap kepentingan untuk mencegah sebarang penghasilan sisa buangan atau pembebasan bahan toksik daripada tindak balas kimia yang dijalankan. Soalan ini ingin mencungkil pengetahuan murid mengenai:

- 1a) Cadangan atau langkah untuk meminimalkan atau mencegah pencemaran alam sekitar semasa mengendalikan bahan kimia atau ,menjalankan tindak balas kimia,
- 1b) Penggunaan sukatan / amaun bahan kimia yang betul serta kesan akibat ketidak patuhan tersebut
- 1c) Prosedur yang betul dalam menangani sisa buangan bahan kimia daripada tindak balas kimia.

Idea dan pengetahuan murid mengenai prinsip pencegahan dapat dikenalpasti daripada jawapan-jawapan yang diberikan apabila pelajar dapat menyenaraikan sekurang-kurangnya tiga untuk mencegah pencemaran, mengetahui prosedur yang betul khususnya dalam penggunaan amaun bahan kimia bagi mengelakkan / meminimumkan penghasilan sisa buangan serta langkah yang betul dalam menguruskan sisa buangan bahan kimia.

Berdasarkan analisis terhadap soalan 1a), didapati bahawa kebanyakan respon yang diberikan oleh murid mengenai langkah pencegahan pencemaran adalah bersifat umum dan tidak menjurus kepada pencegahan dari segi tindak balas kimia. Ia menunjukkan murid-murid tidak mempunyai pengetahuan mengenai prinsip kimia hijau yang pertama iaitu pencegahan. Dapatan kajian menunjukkan idea mengenai pencegahan pencemaran yang dinyatakan oleh murid dapat dikategorikan kepada tiga iaitu melalui kaedah tindakan undang-undang, pelaksanaan kempen dan pengurusan sisa. Rajah 2 menunjukkan 3 contoh langkah pencegahan yang dapat dikategorikan yang diperolehi daripada respon murid.



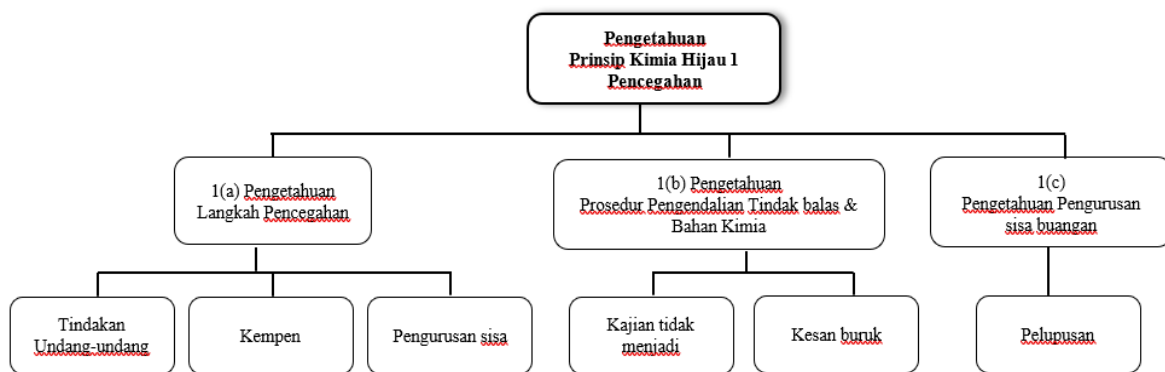
Rajah 2 - Tiga kategori langkah pencegahan yang dinyatakan oleh murid

Daripada contoh-contoh jawapan murid-murid di atas, didapati kebanyakan mereka mempunyai pengetahuan mengenai langkah pencegahan yang tidak memfokuskan kepada pencegahan atau meminimalkan penghasilan sisa buangan yang bersifat toksik. Pengetahuan mereka didapati tidak menumpukan kepada peringkat tindak balas atau proses kimia untuk mencegah pencemaran daripada berlaku.

Bagi soalan 1b), murid-murid didapati dapat mengenalpasti kesilapan dalam pengendalian bahan kimia iaitu dengan memberi respon yang menunjukkan penyukatan bahan kimia secara berlebihan dan tidak mengikut sukatan yang telah ditetapkan. Respon seperti “murid bersikap cuai, tidak mengikut arahan prosedur, tidak berdisiplin” adalah contoh-contoh yang diberikan oleh murid-murid dalam kekerapan yang tinggi. Mereka juga menyatakan kesan daripada tindakan pembaziran bahan kimia yang dilakukan hanya secara umum iaitu kajian / tindak balas tidak menjadi dan

beroleh kesan buruk. Kategori ini terhasil melalui pernyataan-pernyataan seperti “*mengundang padah*” dan “*hasil kajian tidak menjadi*”. Contoh-contoh jawapan seperti ini menunjukkan pengetahuan murid mengenai konsep pencegahan adalah bersifat umum kerana tidak mengutamakan prinsip pencegahan daripada proses / peringkat tindak balas kimia dijalankan seperti menyukat bahan kimia dengan tepat dan betul untuk mengelakkan pembaziran. Murid-murid didapati tidak dapat menghubungkan pembaziran tersebut dengan kesan dari segi daripada aspek prinsip kimia hijau yang pertama ini.

Bagi soalan 1b), murid-murid tidak dapat menyatakan dengan jelas tindakan yang perlu diambil untuk menangani sisa buangan yang terhasil daripada tindak balas kimia yang dijalankan. Respon yang diberikan oleh murid bersifat menyeluruh dan tidak berfokuskan prinsip kimia hijau. Pelupusan merupakan satu cara yang dinyatakan oleh murid tanpa penerangan yang lebih spesifik. Pengetahuan dalam prinsip-prinsip kimia hijau seperti pencegahan dapat membantu murid-murid merekabentuk eksperimen kimia hijau dengan melibatkan penggunaan bahan kimia secara efisien sekaligus meningkatkan amalan dan kesedaran mengenai isu-isu berkaitan alam sekitar se awal daripada peringkat sekolah (Taha et al, 2019; Li dan Eilks, 2021). Rajah 3 menunjukkan rumusan dapatan menunjukkan bahawa murid tidak mempunyai pengetahuan prinsip kimia hijau yang jelas mengenai pencegahan sisa bahan kimia dalam suatu tindak balas kimia yang dijalankan. Pengetahuan yang ditunjukkan lebih bersifat isu pencemaran alam sekitar secara umum.



Rajah 3 - Rumusan dapatan pengetahuan prinsip kimia hijau - pencegahan

5.2 Pengetahuan Prinsip Kimia Hijau - Atom Ekonomi

Prinsip kimia hijau yang ke dua ialah atom ekonomi. Ia merupakan satu konsep penggunaan atom secara efisien dalam sesuatu tindak balas kimia. Soalan 2 adalah untuk menguji pengetahuan pelajar mengenai “atom ekonomi”. Soalan ini bertujuan untuk mencungkil pengetahuan murid mengenai :

- Maksud “atom ekonomi”
- Membuat pengiraan nilai “atom ekonomi” bagi satu tindak balas kimia yang sering dilakukan di dalam makmal contohnya tindak balas peneutralan menggunakan rumus

$$\% \text{ atom ekonomi} = \frac{\text{Jisim molar hasil tindak balas}}{\text{Jisim molar semua bahan tindak balas}} \times 100\%$$

- Mengira nilai atom ekonomi bagi tindakbalas yang sama tetapi menggunakan bahan tindak balas yang berbeza serta membuat perbandingan tindak balas yang lebih efektif di antara kedua-duanya berdasarkan nilai peraus atom ekononmi yang diperolehi.

Bagi soalan 2(a), dapatan menunjukkan murid tidak dapat mendefisikan atom ekonomi dengan tepat dan betul. Lebih 90% murid mengaitkannya dengan jisim atom dan jisim produk. Murid mendefinisikan maksud atom ekonomi mengikut pemahaman sendiri dan berdasarkan pengetahuan sedia ada mengenai konsep jisim atom dalam suatu bahan yang dipelajari di sekolah. Jawapan-jawapan seperti ‘*atom yang bercampur dengan atom lain*’, ‘*atom yang tidak mencemarkan alam sekitar*’ dan ‘*atom yang kerap diguna*’ adalah yang kerap dinyatakan oleh murid.

Bagi soalan 2(b) dan 2c (i), sebahagian besar murid gagal membuat pengiraan nilai atom ekonomi bagi kedua-dua tindak balas dengan betul dan tepat. Berdasarkan respon yang diperolehi, didapati murid memberikan tiga jenis jawapan iaitu melibatkan pengiraan jisim molekul relatif bagi bahan tindak balas, hasil tindak balas dan hasil tambah jisim molekul relatif semua bahan dan hasil tindak balas sekaligus yang terdapat di dalam satu persamaan kimia. Murid didapati menggunakan pengetahuan sedia ada mereka untuk mengira jumlah jisim molekul relatif sebatian bagi semua

bahan tindak balas dan hasil tindak balas yang terlibat namun gagal menggunakan maklumat yang ada untuk mengira nilai atom ekonomi bagi contoh tindak balas yang diberikan menggunakan rumus yang betul.

Bagi soalan 2c(ii), respon yang diperolehi daripada murid mendapati nilai atom ekonomi adalah bersamaan dengan jisim molekul relatif bagi suatu sebatian dalam bahan tindak balas atau hasil tindak balas. Pengiraan ini adalah tidak tepat. Nilai atom ekonomi sebenar yang terhasil dalam sesuatu tindak balas kimia adalah peratus jisim molar hasil bahan tindakbalas (produk) per jisim molar bagi semua bahan tindak balas yang terlibat. Murid menyatakan bahawa apabila semakin tinggi nilai jisim molekul relative suatu sebatian bahan atau hasil tindak balas, maka semakin tinggi nilai atom ekonomi sesuatu tindak balas seterusnya semakin tinggi keefektifan atau keberkesanan suatu tindak balas. Hubungkait ini adalah tidak tepat. Keberkesanan atau keefektifan sesuatu tindak balas kimia adalah apabila peratus nilai atom ekonominya adalah tinggi kerana dapat menghasilkan sisa buangan yang minimum. Rumusan dapatan bagi pengetahuan pelajar mengenai prinsip atom ekonomi dapat dilihat dalam rajah 4.



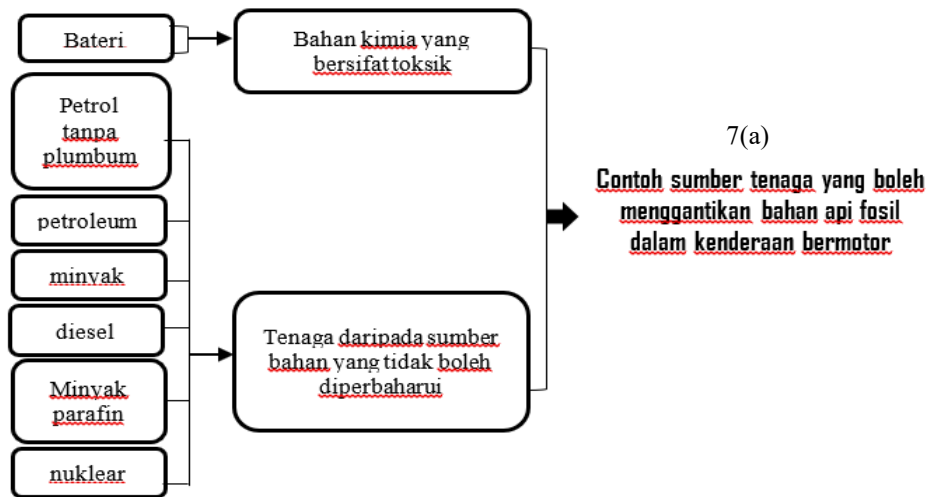
Rajah 4 - Rumusan dapatan pengetahuan prinsip kimia hijau - atom ekonomi

5.3 Pengetahuan Prinsip Kimia Hijau - Penggunaan Sumber Bahan Mentah Boleh Diperbaharui?

Prinsip ke tujuh kimia hijau adalah penggunaan bahan mentah daripada sumber yang boleh diperbaharui. Prinsip ini disoal di dalam UP_KH bertujuan untuk mencungkil pengetahuan murid mengenai :

- Contoh sumber tenaga yang boleh menggantikan sumber bahan api fosil sebagai bahan api
- Takrifan “tenaga daripada sumber bahan mentah yang boleh diperbaharui” serta contoh dan
- Bahan api bio, sumber bahan api bio dan kelebihan bahan api

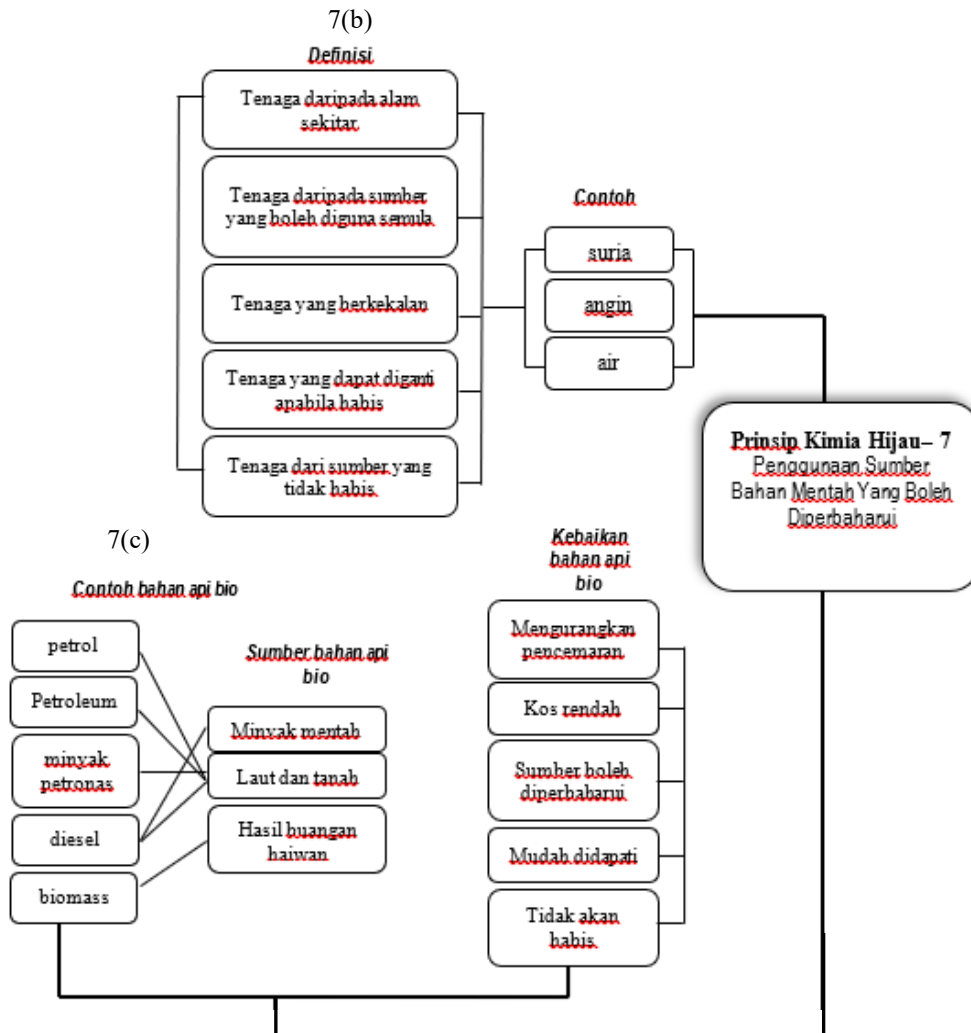
Bagi soalan 7a, dapatan kajian menunjukkan sebahagian besar murid memberikan contoh sumber tenaga daripada bahan seperti “bateri” “petrol tanpa plumbum”, “petroleum”, “minyak”, “diesel” dan “minyak paraffin” dan “nuclear”. seperti dalam rajah 5 sebagai sumber tenaga yang boleh menggantikan bahan api fosil. Jawapan-jawapan murid ini dapat dikategorikan kepada dua iaitu tenaga daripada bahan kimia yang bersifat toksik dan tenaga daripada sumber yang tidak boleh diperbaharui iaitu petroleum. Daripada respon yang dinyatakan oleh murid ini, ia menunjukkan bahawa mereka mempunyai kefahaman bahawa petroleum , minyak dan diesel adalah contoh sumber bahan yang berbeza daripada api fosil. Ini menunjukkan pengetahuan murid mengenai contoh bahan api fosil dan sumber tenaga lain yang boleh menggantikan bahan api fosil masih rendah.



Rajah 5 - Rumusan dapatan bagi soalan 7a prinsip kimia hijau - penggunaan sumber bahan mentah daripada sumber boleh diperbaharui

Bagi soalan 7b, kebanyakan murid-murid tidak dapat untuk mentakrifkan “tenaga daripada sumber bahan mentah yang boleh diperbaharui” dengan tepat. Antara respon-respon yang diberikan adalah seperti yang tertera dalam rajah 6. Berdasarkan jawapan-jawapan yang diberikan, dapat disimpulkan bahawa murid mempunyai pengetahuan bahawa sumber yang boleh diperbaharui adalah sumber yang tidak akan kehabisan. Namun contoh yang diberikan (suria, angin, air) merupakan contoh yang tidak relevan untuk dijadikan sumber tenaga daripada bahan mentah. Murid tidak dapat mengaitkan sumber yang boleh diperbaharui yang mematuhi prinsip kimia hijau adalah daripada sumber haiwan dan tumbuhan.

Bagi soalan 7c, pengetahuan murid mengenai bahan api bio, iaitu contoh bahan api daripada sumber bahan mentah yang boleh diperbaharui adalah sangat lemah. Ini ditunjukkan apabila sebahagian besar murid didapati masih menyenaraikan contoh-contoh bahan api berasaskan petroleum (sumber yang tidak boleh diperbaharui) seperti *petroleum* dan *diesel* sebagai contoh bahan api bio. Malahan, murid-murid juga memberi contoh yang salah bagi sumber bahan api bio iaitu masih daripada sumber yang tidak boleh diperbaharui seperti *minyak mentah*. Contoh jawapan seperti *laut dan tanah* menunjukkan murid tidak dapat mempunyai pengetahuan mengenai contoh bahan api bio iaitu bahan api yang dapat dihasilkan daripada sumber haiwan dan tumbuhan seperti etanol daripada pokok tebu. Hanya sebilangan kecil mereka menyatakan *biomas* sebagai contoh bahan api bio namun bilangannya adalah terlalu kecil. Walau bagaimana pun, didapati kebanyakan murid dapat menyatakan kelebihan bahan api bio namun masih dalam bentuk pernyataan yang ringkas tanpa dapat menghuraikan kelebihan tersebut daripada konteks kimia hijau. Sebagai contoh, murid hanya menyatakan kebaikan bahan api bio iaitu dapat mengurangkan pencemaran namun tidak menghuraikan kesannya ke atas manusia dan alam sekitar. Rumusan pengetahuan prinsip kimia hijau ini ditunjukkan dalam rajah 6. Kesimpulannya murid didapati tidak mempunyai pengetahuan mengenai tenaga daripada sumber bahan mentah yang boleh diperbaharui terutamanya dari segi takrifan, sumber dan contoh sumber tersebut.



Rajah 6 - Rumusan dapatan bagi soalan 7b dan 7c prinsip kimia hijau - penggunaan

6. Kesimpulan

Berdasarkan keputusan yang diperolehi, didapati tahap pengetahuan mengenai prinsip-prinsip kimia hijau pencegahan, atom ekonomi dan penggunaan sumber bahan mentah daripada sumber boleh diperbaharui masih rendah dalam kalangan murid. Murid-murid didapati masih lemah untuk mengenal pasti jenis-jenis pencemaran yang sering dialami dalam kehidupan harian. Ini menyebabkan mereka tidak dapat menjana langkah-langkah untuk mencegah dan mengatasinya. Inilah yang menyebabkan kesedaran murid terhadap isi-isu alam sekitar adalah rendah (Jumintono dan Mohamad Rafizi, 2022). Maka penerapan prinsip kimia hijau pencegahan dilihat mampu memberi pengetahuan dan pendidikan kepada murid untuk mengimplimentasikan langkah pencegahan dalam semasa menjalankan tindak balas kimia di sekolah atau sebagai pengguna dalam masyarakat .

Dapatan ini dapat dijadikan sandaran oleh pengkaji untuk menyediakan satu intervensi yang dapat membantu meningkatkan pengetahuan murid mengenai prinsip-prinsip kimia hijau dengan lebih mendalam. Selain itu ia dapat menjadikan penglibatan murid-murid dalam isu-isu berkaitan sains dan alam sekitar menjadi lebih aktif (Parisitiowati et al, 2019) dan meningkatkan minat dan keseronokan mereka untuk mempromosikan dan mempraktikkannya di alam kehidupan sebenar. Ini adalah satu bentuk pembelajaran bermakna yang turut dapat meningkatkan tahap motivasi dan kreativiti murid-murid (Ciriminna et al., 2023). Oleh itu, prinsip-prinsip kimia hijau perlu diperkenalkan dan dipromosikan dalam kalangan murid. Mereka perlu diberi kesedaran bahawa pengetahuan dan implimentasi prinsip-prinsip kimia hijau dalam menjalankan eksperimen dan aktiviti berasaskan kimia hijau merupakan salah satu cara untuk menangani masalah yang berkaitan pencemaran alam sekitar.

Penghargaan

Penulis ingin merakamkan ucapan penghargaan dan terima kasih kepada mantan pensyarah dan penyelia, Profesor Madya Dr Muhamad Yusof Arshad, Penyelia Dr Mohd Shafie bin Rosli, Profesor Madya Dr Nurbiha Abd Shukor Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) kerana memberi ruang dan peluang untuk terlibat di dalam penyelidikan ini.

Rujukan

- Agbayewa, J. O., Oloruntegbe, K. O., dan Alake, E. M. (2013). Incorporating Green Chemistry Concepts Into The Senior Secondary School Curriculum. *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education (IJCDSE)*, 3(3), 1490-1494.
- Aini, M.S., Fakhurul-Razi, A., Laily, H.J. dan Jariah, M. (2003), "Environmental Concerns, Knowledge and Practices Gap Among Malaysian Teachers", *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 4(4), 305-13.
- Anastas, P. T., dan Warner, J. C., (1998). *Green chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press.
- Andraos, J., & Dicks, A. P. (2012). Green Chemistry Teaching in Higher Education: A Review of Effective Practices. *Chemistry Education Research And Practice.*, 13(2), 69-79.
- Anis Z. J., Muhamad Amin, H., dan Rusmawati, O. (2021). Green Chemistry Education: Towards a Better Understanding of Environmental Knowledge. *Young Inventor Journal*. 2021: 33-40
- Anne, P. (2007), "Toward The Greening of Our Mind: A New Special Topics Course", *Journal of Chemical Education*, 84 (2), 245-7.
- Bell, P., Lewenstein, B., Shouse, A. W., dan Feder, M. a. (2009). Executive Summary. *Learning Science in Informal Environments: People, Places and Pursuits*, 1-21.
- Astuti, D.,D., Rahmatullah, S., Sukmawardani Y., dan Subarkah, C., Z. (2020). Utilization of E-module in Polymer Synthetic based on Green Chemistry to Improve Student High Level Thinking. Annual Conference on Science and Technology (ANCOSET 2020) *Journal of Physics: Conference Series* 1869 (2021) 012028 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1869/1/012028
- Auliah, A., Muharram & Mulyadi. (2018). Indonesian Teachers' Perceptions on Green Chemistry Principles: A Case Study of a Chemical Analyst Vocational School. 2nd International Conference on Statistics, Mathematics, Teaching, and Research 2017, ICSMTR 2017, 1028(1).
- Braun, B., R. Charney, A. Clarens, J. Farrugia, C. Kitchens, C. Lisowski, D. Naistat, dan A. O'Neil. (2006). Completing Our Education: Green Chemistry in the Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 83 (8), 1126-1129.
- Burmeister, M., dan Eilks, I. (2013). An Understanding of Sustainability and Education for Sustainable Development Among German Student Teachers and Trainee Teachers of Chemistry. *Science Education International*, 24(2), 167-194
- Burmeister, M., dan Eilks, I. (2012). An Example of Learning About Plastics and Their Evaluation As A Contribution To Education for Sustainable Development in Secondary School Chemistry Teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 93-102.
- Cannon, A. S., dan Warner, J. C. (2011). The Science of Green Chemistry and its Role in Chemicals Policy and Educational Reform. *NEW SOLUTIONS: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy*, 21(3), 499-517.
- Ciriminna, R., Ghahremani, G., Varmaghani, F., Karimi, B., dan Pagliaro, M. (2023). Improving Education Electrochemistry via a Modeling Approach and Focusing on Green Chemistry Applications. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 31 (2023) 100931. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100931>
- Cresswell, J. W., dan Plano Clark (2011). *Designing and Conducting Mixed Method Research*. 2nd SAGE. Thousand Oaks, CA:
- Cummins, R. H., Green, W. J., dan Elliott, C. (2004). "Prompted" Inquiry-Based Learning in the Introductory Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 81(2), 239.
- Caruana, M.F., 2015. Greening the Chemistry Curriculum in Maltese Educational Institutions: the Reaction of Pre-university Students to the Introduction of Green Chemistry: A Case Study from Malta [Doctoral Dissertation]. The University of York. <https://etheses.whiterose.ac.uk/10509/1/Complete%20Thesis%20-%20October%202015%20%28new%29.pdf>
- Farrugia, B. (2019). WASP (Write a Scientific Paper) : Sampling in Qualitative Research. *Early Human Development*, (133), 69-71. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.03.016>.
- Elo, S., & Kyngas, H. (2008). The Qualitative Content Analysis Process. *Journal of Advanced Nursing*, 62, 107-115. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>

- Garner, N., Siol, A., dan Eilks, I. (2015). The Potential of Non-Formal Laboratory Environments for Innovating the Chemistry Curriculum and Promoting Secondary School Level Students Education for Sustainability. *Sustainability*, 7, 1798-1818.
- Hjeresen, D. L., Boese, J. M., dan Schutt, D. L. (2000). Green Chemistry and Education. *Journal of Chemical Education*, 77(12), 1543.
- Holbrook, J. (2005). Making Chemistry Teaching Relevant. *Chemical Education International*, 6(1), 3-8.
- Ithnin, R., Shousuke, T dan Shizuo, M. (2011). Green and Sustainable Chemistry Through Inquiry: Engaging Students and Creating Awareness In The Quest for Sustainability in Malaysia Via A Lesson From Japan. International Workshop Report
- Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Pelajaran Malaysia, Institut Alam Sekitar dan Pembangunan (LESTARI) (2012). Asas pembentukan Sekolah Lestari Anugerah Alam Sekitar.(Ed.ke-3). Jabatan Alam Sekitar, Putrajaya.
- Jamilah Ahmad., Hasrina Mustafa, Hamidah Abdul Hamid, dan Juliana Abdul Wahab.(2011) Pengetahuan, Sikap dan Amalan Masyarakat Malaysia Terhadap Isu Alam Sekitar. *Akademika* 81(3),103-115
- Jegstad, K. M., dan Sinnes, A. T. (2015). Chemistry Teaching for the Future: A Model for Secondary Chemistry Education for Sustainable Development. *International Journal of Science Education*, 37(4), 655-683.
- Jumbam, N. D. (2015). Green Chemistry In Africa - Its Inception And Challenges. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 70 (2), 187-190.
- Jumintono dan Mohamad Rafizi, T. (2022) . Encouraging Awareness among Secondary School Students on Air Pollution in Supporting Environmental Protection. *Journal of Curriculum and Teaching*. 11 (7). Sepcial Issue, 2022
- Juntunen, M., dan Aksela, M. (2013). Life-cycle analysis and inquiry-based learning in chemistry teaching. *Science Education International*, 24(2), 150-166.
- Karpudewan, M., Ismail, Z. H., dan Mohamed, N. (2011a). Green Chemistry : Educating Prospective Science Teachers in Education for Sustainable Development at School of Educational Studies , USM. *Journal of Social Sciences*, 7(1), 42-50.
- Karpudewan, M., Hj Ismail, Z., dan Mohamed, N. (2011b). Greening a Chemistry Teaching Methods Course at the School of Educational Studies, Universiti Sains Malaysia. *Journal of Education for Sustainable Development*, 5(2), 197-214.
- Karpudewan, M., Ismail, Z. H., dan Mohamed, N. (2009). The Integration of Green Chemistry Experiments With Sustainable Development Concepts in Pre-service Teachers' Curriculum: Experiences from Malaysia. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 10(2), 118-135.
- Karpudewan, M., dan Keong, C. C. (2013). Pro-Environmental Concern Among Primary School Students. *Jurnal Teknologi, Penerbit UTM*, 2, 1-6.
- Karpudewan, M. Ismail, Z. dan Roth, W. (2012). The Efficacy of A Green Chemistry Laboratory-based Pedagogy: Changes In Environmental Values of Malaysia Pre-service Teachers. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(May 2010), 497-529.
- Karpudewan, M., Roth, W.-M., dan Abdullah, M. N. S. (2015). Enhancing Primary School Students' Knowledge about Global Warming and Environmental Attitude Using Climate Change Activities. *International Journal of Science Education*, 37(1), 31-54.
- Kasimov, N. S., Malkhazova, S. M., dan Romanova, E. P. (2015). Environmental Education for Sustainable Development in Russia Environmental Education for Sustainable Development in Russia. *Journal Geography In Higher Education*, 8265(October).
- Khan, G. N., dan Ali, A. (2012). Higher Secondary School Students ' Attitude towards Chemistry. *Asian Social Science*, 8(6), 165-169.
- Li, B. dan Eilks, I. (2021). A Systematic Review of the Green and Sustainable Chemistry Education Research Literature in Mainland China. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 21 (2021) 100446. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100446>
- Madhuri, G. V., Kantamreddi, V. S. S., dan Prakash Goteti, L. N. S. (2012). Promoting Higher Order Thinking Skills Using Inquiry-based Learning. *European Journal of Engineering Education*, 37(2), 117-123.
- Mahat, H., Ahmad, S., Suhaily, M., Che, Y., dan Ali, N. (2014). Pendidikan Pembangunan Lestari - Hubungan Kesedaran Antara Ibu Bapa dengan Pelajar, *Malaysian Journal of Society and Space*, 5(5), 71-84.

- Mohamad Fazli Sabri dan Teoh Yong Yong. (2006). Tahap Keprihatinan Alam Sekitar dan Amalan Kepenggunaan Hijau Pengguna di Petaling. *Pertanika Journal of Social Sciences & Humanities* 14(2), 95-109 (2006), 14(2), 95-109.
- Olsson, D., Gericke, N., dan Chang Rundgren, S.-N. (2015). The Effect of Implementation of Education for Sustainable Development in Swedish Compulsory Schools - Assessing Pupils' Sustainability Consciousness. *Environmental Education Research*, 4622(September), 1-27.
- Parisitiowati, M., Moersilah, M., Stephanie, M.M., Zulmanelis, Z., Idroes, R. dan Puspita, R. A. (2019). Rosa sp and Hibiscus sabdariffa L extract in ethanol fraction as acid base indicator: Application of green chemistry in education. *4th Annual Applied Science and Engineering Conference. Journal of Physics. Conference Series*. doi:10.1088/1742-6596/1402/5/055041
- Rahman, H. A. (2011). Public Involvement on Environmental Issues in Malaysia with Reference to Alor Star , Kedah. *International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology*, 16, 90-93.
- Rauch, F., dan Steiner, R. (2013). Competences for Education for Sustainable Development in Teacher Education. *Focus*, 3(1), 9-24.
- Roon, A. Van, Govers, H. a. J., R., J., dan Weenen, H. Van. (2001). Sustainable Chemistry: An Analysis of The Concept and Its Integration in Education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2(2), 161-180.
- Santos, I. M., & Ali, N. (2012). Exploring The Uses of Mobile Phones to Support Informal Learning. *Education and Information Technologies*, 17(2), 187-203.
- Sjostrom, J., Rauch, F., Eilks, I. (2015). Chemistry Education for Sustainability. In *Relevant Chemistry Education—From Theory to Practice*; Eilks, I., Hofstein, A., Eds.; Sense: Rotterdam, The Netherlands 163-184.
- Taha, H., Suppiah, V., Khoo, Y.Y., Yahaya, A., Lee, T.T dan Muhammad Damanhuri, M. (2019). Impact of student-initiated green chemistry experiments on their knowledge, awareness and practices of environmental sustainability. *International Conference of Chemistry (ICCHEM) 2018. Journal of Physics: Conf. Series* 1156 (2019) 012022 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1156/1/01202
- UNCED (2012). Sustainable Development in the 21st Century (SD21). Review of Implementation of Agenda 21 and The Rio Principles. Retrieved from: <http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/pdf>. (diakses pada 15 Okt 2015)
- Yakob, N., Ismail, Z. H., & Razak, N. A. (2012). Climate Change In The Chemistry Curriculum For Secondary Schools : Malaysian Context. *International Journal of Global Education*, 1(2), 28-35.
- Woodhouse, E. J. (2005). Green Chemistry as Social Movement? *Science, Technology & Human Values*, 30(2), 199-222.