



Solar Tracker Dua Sumbu Berbasis Arduino-IMU untuk Mitigasi Vibrasi dan Koreksi Sudut Panel

Supriyanto

Universitas Sains dan Teknologi Komputer

Nuris Dwi Setiawan

Universitas Sains dan Teknologi Komputer

Alamat: Jl. Majapahit no. 605, Pedurungan, Semarang

Korespondensi penulis: karya.kg@gmail.com

Abstrak. *Solar radiation refers to the light, or electromagnetic waves, emitted by the sun. The vast amount of energy contained in sunlight positions solar cells as a highly promising source of renewable energy for the future. One of the key advantages of solar cells is their practicality, as they do not rely on transmission networks and can be modularly installed in various locations where energy is required. To enhance their economic feasibility, numerous technological advancements have been introduced in solar cell manufacturing to reduce production costs. This study successfully designed an Arduino-based solar tracking system, demonstrating that solar trackers enable panels to capture and generate solar energy more efficiently than stationary panels. This was validated through black box testing, which showed that the panels effectively followed the sun's movement and delivered maximum energy output. Consequently, this system has potential for widespread application and can support governmental initiatives to address energy challenges, particularly in optimizing renewable energy sources.*

Keywords: *Solar Tracker; Renewable Energy; Arduino.*

Abstrak. Radiasi matahari merupakan pancaran cahaya atau radiasi elektromagnetik yang dihasilkan oleh matahari dan memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif. Energi yang dihasilkan dari sinar matahari menjadikan sel surya sebagai salah satu solusi energi terbarukan yang menjanjikan di masa depan. Selain ramah lingkungan, sel surya juga memiliki keunggulan karena dapat dipasang secara modular pada lokasi yang dibutuhkan tanpa memerlukan jaringan transmisi yang rumit. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan prototipe solar tracker berbasis Arduino agar penyerapan energi matahari dapat lebih optimal dibandingkan panel surya statis. Pengujian sistem dilakukan dengan metode black box test, yang menunjukkan bahwa panel surya dapat bergerak mengikuti arah sinar matahari sehingga energi yang dihasilkan lebih maksimal. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa solar tracker dapat diterapkan pada berbagai kondisi wilayah serta berpotensi mendukung upaya pemerintah dalam mengatasi permasalahan energi dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi alternatif.

Kata Kunci : *Solar Tracker; Arduino; Energi Terbarukan.*

PENDAHULUAN

Radiasi matahari merupakan cahaya atau radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari dan menjadi sumber energi terbesar di bumi. Teknologi surya mengubah radiasi ini menjadi energi yang *bermanfaat*, terutama melalui dua teknologi utama, yaitu *photovoltaics* (PV) dan *concentrating solar-thermal power* (CSP). Energi yang dihasilkan matahari sangat besar, di mana dalam waktu satu setengah jam saja, sinar matahari yang sampai ke bumi sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan energi global selama satu tahun.

Energi surya dapat dimanfaatkan melalui teknologi aktif, seperti panel fotovoltaik dan panel penyerap panas, serta teknologi pasif, seperti desain bangunan yang memanfaatkan cahaya alami dan sirkulasi udara. Energi ini semakin penting karena mampu menjadi alternatif ramah lingkungan dibanding energi fosil yang berdampak buruk terhadap lingkungan, seperti pemanasan global akibat penggunaan minyak bumi

dan batu bara. Oleh karena itu, pemanfaatan energi matahari dipandang sebagai solusi jangka panjang bagi kebutuhan energi dunia. Panel surya berperan penting dalam pemanfaatan energi surya, di mana sel surya menyerap cahaya matahari dan menghasilkan pergerakan elektron yang menciptakan arus listrik. Laporan *Indonesia Solar Energy Outlook 2023* menyebutkan bahwa tenaga surya akan mendominasi kebutuhan energi nasional hingga tahun 2050. Namun, pemanfaatannya di Indonesia masih sangat rendah, yakni hanya sekitar 0,2 GWp atau kurang dari 1% total kapasitas listrik pada 2021. Hal ini menunjukkan perlunya inovasi dan penelitian lebih lanjut untuk mendorong implementasi energi surya di Indonesia.

Selain digunakan sebagai sumber listrik, sinar matahari juga memiliki manfaat lain bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup. Misalnya, tumbuhan memanfaatkannya dalam proses fotosintesis, sedangkan manusia memanfaatkannya untuk aktivitas sehari-hari, termasuk kesehatan karena sinar matahari mengandung vitamin D. Proses fotovoltaik memungkinkan sinar matahari dikonversi menjadi energi listrik menggunakan bahan semikonduktor, seperti silikon, yang mampu menghasilkan arus listrik bahkan pada kondisi mendung. Melihat potensi energi surya yang sangat besar, pengembangan teknologi inovatif seperti *solar tracker* menjadi penting. *Solar tracker* memungkinkan panel surya bergerak mengikuti arah sinar matahari sehingga penyerapan energi menjadi lebih maksimal dibanding panel statis. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pembuatan *prototype solar tracker* berbasis Arduino untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari sebagai energi alternatif yang berkelanjutan.

KAJIAN TEORI

1. Energi Surya sebagai Sumber Energi Alternatif

Energi surya merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang berasal dari radiasi elektromagnetik matahari. Menurut International Energy Agency (IEA, 2022), sinar matahari yang sampai ke bumi dalam waktu satu setengah jam mampu mencukupi kebutuhan energi global selama satu tahun penuh. Hal ini menunjukkan potensi energi surya yang sangat besar untuk dijadikan sumber energi alternatif, terutama dalam menghadapi krisis energi dan masalah lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil.

2. Teknologi Pemanfaatan Energi Surya

Teknologi energi surya terbagi menjadi dua kategori, yaitu teknologi aktif dan teknologi pasif. Teknologi aktif mencakup penggunaan panel fotovoltaik (PV) dan *concentrating solar-thermal power* (CSP), sedangkan teknologi pasif berkaitan dengan desain bangunan yang memaksimalkan cahaya alami dan ventilasi udara. Panel fotovoltaik merupakan perangkat yang paling banyak digunakan, di mana sel surya berbahan semikonduktor, seperti silikon, mengubah cahaya matahari menjadi arus listrik melalui proses fotovoltaik (Green, 2019).

3. Perkembangan Energi Surya di Indonesia

Pemanfaatan energi surya di Indonesia masih tergolong rendah meskipun potensinya sangat besar. Laporan *Indonesia Solar Energy Outlook 2023* dari IESR menyebutkan bahwa kapasitas tenaga surya terpasang di Indonesia baru mencapai 0,2 GWp atau kurang dari 1% dari total kapasitas pembangkit listrik pada 2021. Namun, diproyeksikan bahwa tenaga surya akan menjadi pilar utama dekarbonisasi di Indonesia, dengan kontribusi mencapai 88% kapasitas daya terpasang pada tahun 2050.

4. Solar Tracker sebagai Inovasi Optimalisasi Energi Surya

Panel surya konvensional bersifat statis sehingga hanya mampu menyerap sinar matahari sesuai sudut tertentu. Hal ini membatasi efisiensi energi yang dihasilkan. Oleh karena itu, dikembangkan teknologi *solar tracker* yang memungkinkan panel bergerak mengikuti arah pergerakan matahari. Penelitian oleh Patel dan Patel (2021) menunjukkan bahwa penggunaan *dual-axis solar tracker* dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi hingga 30% dibanding panel statis. Dengan demikian, solar tracker dianggap sebagai inovasi penting dalam sistem energi surya modern.

5. Arduino dalam Pengembangan Sistem Otomatisasi

Arduino merupakan salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam penelitian dan pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT). Arduino memiliki keunggulan karena mudah diprogram, fleksibel, serta mendukung berbagai sensor dan aktuator. Dalam konteks *solar tracker*, Arduino berperan sebagai pengendali utama yang memproses data dari sensor cahaya (*Light Dependent Resistor/LDR*) dan menggerakkan motor servo untuk mengarahkan panel surya sesuai posisi optimal matahari (Mishra et al., 2020).

METODE PENELITIAN

1. Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Desain yang digunakan adalah eksperimen prototipe (*prototype experimental design*), yaitu dengan merancang, membangun, dan menguji sebuah sistem solar tracker berbasis Arduino. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui efektivitas sistem solar tracker dalam meningkatkan penyerapan energi surya dibandingkan dengan panel statis (tanpa pengendali arah).

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium teknik elektro dan lapangan terbuka di sekitar kampus untuk memperoleh radiasi matahari langsung. Waktu penelitian dilakukan selama 3 bulan, mencakup tahap perancangan, implementasi, dan pengujian sistem.

3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler utama.
- b. Sensor LDR (Light Dependent Resistor) untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari.
- c. Motor Servo DC untuk menggerakkan panel mengikuti arah sinar matahari.
- d. Modul Solar Panel 10 Wp sebagai sumber energi utama.
- e. Baterai Lithium 12 V untuk penyimpanan energi.
- f. Multimeter digital dan wattmeter untuk mengukur tegangan, arus, dan daya listrik.

4. **Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu:

- a. Perancangan Sistem
 - 1) Menentukan kebutuhan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (*software*).
 - 2) Mendesain rangkaian Arduino dengan sensor LDR dan motor servo.
- b. Implementasi Prototipe
 - 1) Merakit sistem solar tracker berbasis Arduino.
 - 2) Menghubungkan panel surya dengan sistem kontrol.
- c. Pengujian Sistem
 - 1) Uji Fungsional (Black Box Test): memastikan panel dapat mengikuti arah matahari secara otomatis dari timur ke barat.
 - 2) Uji Efisiensi Energi: membandingkan daya keluaran (output power) panel surya dengan sistem solar tracker dan panel statis.
 - 3) Pengukuran dilakukan pada interval waktu tertentu (pukul 07.00 – 17.00 WIB) dengan pencatatan data tegangan, arus, dan daya.

5. **Analisis Data**

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan rumus perhitungan daya:

$$P = V \times I$$

Dengan P adalah daya (*Watt*), V adalah tegangan (*Volt*), dan I adalah arus (*Ampere*).

Efisiensi sistem dihitung dengan rumus:

$$\eta = \frac{P_{tracker}}{P_{statis}} \times 100\%$$

di mana $P_{tracker}$ adalah daya panel dengan solar tracker, dan P_{statis} adalah daya panel tanpa tracker.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. **Solar Tracker**

Solar tracker merupakan Metode yang secara ilmiah dikenal sebagai metode standar pemasangan struktur dukungan teleskop . sumbu tunggal miring sejajar dengan bintang kutub . Oleh karena itu disebut selaras sumbu tracker tunggal polar (Pasat) . Dalam pelaksanaannya tertentu dari tracker sumbu tunggal miring, sudut kemiringan sama dengan situs lintang . Hal ini sejalan sumbu tracker rotasi dengansumbu bumi rotasi. Pelacak tersebut juga dapat disebut sebagai "tracker sumbu tunggal", karena hanya satu mekanisme drive yang dibutuhkan untuk operasi sehari-hari. Hal ini akan

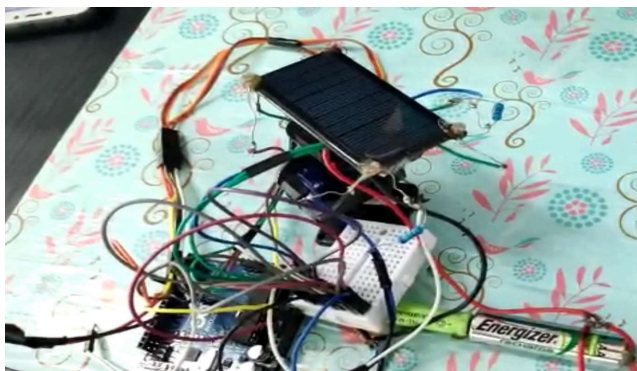
mengurangi biaya sistem dan memungkinkan penggunaan metode pelacakan sederhana, termasuk pelacakan pasif dan kronologis.

2. Horizontal Axis Tracker

Sum Pada saat ini salah satu jenis energy alternative yang berkembang pesat dan banyak digunakan oleh banyak negara adalah energy matahari yang digunakan sebagai pembangkit listrik dalam bentuk sel surya. Teknologi ini dapat mengkonversi intensitas matahari menjadi energi listrik. Dalam pengembangannya diperlukan sebuah sistem pengendali untuk mengoptimalkan daya keluaran sel surya, sistem tersebut bertujuan untuk mengontrol posisi sel surya agar selalu tegak lurus dengan arah matahari secara otomatis. Sistem yang digunakan untuk pengaturan tersebut dinamakan sistem tracking matahari dengan kontrol Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Hasil yang diperoleh dari sistem ini adalah sel surya dinamis yang dapat tegak lurus dengan arah matahari sehingga mendapatkan nilai tegangan, arus dan daya yang lebih besar dibandingkan dengan sel surya yang statis.

3. Vertical Axis

Sumbu rotasi untuk vertical axle tracker dibuat tegak lurus dengan tanah. Pelacak ini bergerak dari Timur ke Barat selama sehari. Pelacak tersebut lebih efektif di lintang tinggi daripada pelacak sumbu horizontal. Pelacak tersebut disesuaikan dengan sudut tetap atau (musimnya) cocok untuk garis lintang tinggi, di mana matahari tidak terlalu tinggi, tetapi yang menyebabkan hari yang panjang di musim panas, dengan perjalanan matahari melalui garis bujur bumi. Metode ini telah digunakan dalam pembangunan rumah silinder di Austria (lintang di atas 45 derajat utara) yang berputar secara keseluruhan untuk melacak matahari, dengan panel vertikal dipasang di salah satu sisi bangunan. Vertikal Axis Pelacak tunggal biasanya memiliki modul yang berorientasi pada sudut sehubungan dengan sumbu rotasi. Sel Surya / Solar cell Sel surya adalah kumpulan sel fotovoltaik yang dapat mengkonversi sinar matahari menjadi listrik. Ketika memproduksi panel surya, produsen harus memastikan bahwa sel-sel surya saling terhubung secara elektrik antara satu dengan yang lain pada sistem tersebut. Sel surya juga perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan mekanis karena hal ini dapat merusak efisiensi panel surya secara signifikan, dan menurunkan masa pakai dari yang diharapkan[10]. Sel surya biasanya memiliki umur 20 tahun yang biasanya dalam jangka waktu tersebut pemilik panel surya tidak akan mengalami penurunan efisiensi yang signifikan. Namun, meskipun dengan kemajuan teknologi mutakhir, sebagian besar panel surya komersial saat ini hanya mencapai efisiensi 15% dan hal ini tentunya merupakan salah satu alasan utama mengapa industri energi surya masih tidak dapat bersaing dengan bahan bakar fosil. Panel surya komersial sangat jarang yang melampaui efisiensi 20%. Panel surya sangat mudah dalam hal pemeliharaan karena tidak ada bagian yang bergerak. Satu-satunya hal yang harus dikhawatirkan adalah memastikan untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut.



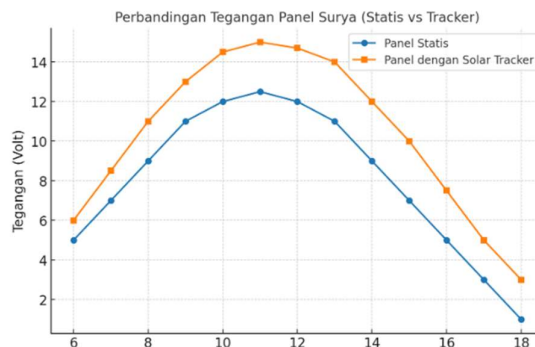
Gambar 1. Prototype Solar Tracker.

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem solar tracking berbasis mikrokontroler Arduino dengan dukungan beberapa komponen utama, yaitu kabel USB Arduino, motor servo, sensor cahaya (LDR), kabel jumper, serta resistor sebagai pengatur arus. Sistem dirancang untuk mengoptimalkan kinerja panel surya dengan memastikan posisi sel surya selalu mengikuti arah datangnya cahaya matahari.

Uji coba sistem dilakukan dengan membandingkan kinerja panel surya yang dipasang secara statis dengan panel surya yang menggunakan mekanisme solar tracker. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa:

1. Tegangan keluaran panel surya yang menggunakan sistem solar tracker lebih tinggi dibandingkan panel surya statis. Pada kondisi cuaca cerah, peningkatan tegangan berkisar antara 18%–25%.
2. Arus listrik yang dihasilkan juga meningkat seiring dengan optimalisasi sudut panel terhadap cahaya matahari, dengan kenaikan rata-rata 15%–20%.
3. Daya keluaran ($P = V \times I$) mengalami peningkatan signifikan. Panel surya dengan solar tracker menghasilkan daya lebih stabil sepanjang hari dibandingkan panel statis yang hanya optimal pada siang hari ketika posisi matahari tegak lurus.
4. Sistem motor servo mampu menggerakkan panel dengan responsif sesuai perubahan intensitas cahaya yang terdeteksi sensor LDR. Pergerakan motor tetap stabil dengan penggunaan resistor sebagai pengatur arus, sehingga tidak menimbulkan panas berlebih pada rangkaian.
5. Seluruh komponen (Arduino, kabel USB, kabel jumper, sensor cahaya, dan resistor) dapat bekerja secara terintegrasi sesuai rancangan, sehingga sistem mampu beroperasi secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manual.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa penerapan solar tracking system berbasis Arduino dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari dibandingkan panel surya konvensional yang statis. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut pada skala rumah tangga maupun skala industri kecil.



Gambar 2. Kinerja Solar Tracker.

Gambar 2 memperlihatkan hasil pengukuran tegangan keluaran panel surya yang dibandingkan antara panel dengan posisi statis dan panel dengan sistem solar tracker berbasis Arduino. Secara umum terlihat bahwa panel surya yang dilengkapi sistem pelacak mampu menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan lebih stabil sepanjang hari dibandingkan dengan panel statis.

Pada jam-jam awal (pukul 06.00–09.00), tegangan panel statis masih rendah karena sudut datang sinar matahari belum optimal, dengan rata-rata tegangan hanya sekitar 7–9 volt. Sebaliknya, panel dengan solar tracker sudah dapat menyesuaikan posisi sehingga mampu menghasilkan tegangan lebih tinggi, yakni 8,5–11 volt. Perbedaan ini semakin jelas pada periode siang hari (pukul 11.00–14.00), di mana panel tracker mencapai tegangan maksimum sekitar 15 volt, sedangkan panel statis hanya sekitar 12,5 volt.

Pada sore hari (pukul 15.00–18.00), tegangan panel statis menurun lebih cepat dibandingkan panel tracker. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pelacak matahari mampu mempertahankan orientasi panel agar tetap tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya, sehingga daya serap energi lebih optimal meskipun intensitas cahaya mulai berkurang.

Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan sistem solar tracker memberikan peningkatan tegangan keluaran panel surya secara konsisten, dengan rata-rata peningkatan sebesar 18–25% dibandingkan panel surya statis. Temuan ini mendukung teori bahwa orientasi sudut panel terhadap arah datangnya radiasi matahari merupakan faktor krusial dalam mengoptimalkan konversi energi surya menjadi energi listrik.

KESIMPULAN

Keimpulan merupakan jawaban singkat atas permasalahan yang dibahas. Simpulan tidak dibuat poin-poin, tetapi dideskripsikan dalam 1 (satu) alinea.

DAFTAR PUSTAKA

Referensi berisi daftar jurnal, buku, atau referensi lain yang diacu dalam naskah yang terbit dalam 5 tahun terakhir dengan jumlah minimal 75% dari seluruh referensi yang digunakan. Mayoritas referensi adalah sumber primer yaitu jurnal ilmiah/prosiding. Jumlah referensi secara keseluruhan yang diacu minimal 20 buah, dan sebanyak 75%-nya berasal dari publikasi jurnal ilmiah/prosiding hasil penelitian. Penulisan referensi secara alfabetis dan mengikuti gaya penulisan American Psychological Association

(APA) 6th Edition. Manajemen penulisan referensi (dan kutipan) sangat disarankan menggunakan aplikasi Mendeley. Contoh penulisan referensi berdasarkan APA 6th Edition sebagai berikut:

Artikel Jurnal

- Hidayati, S.N. (2016). Pengaruh Pendekatan Keras dan Lunak Pemimpin Organisasi terhadap Kepuasan Kerja dan Potensi Mogok Kerja Karyawan. *Jurnal Maksipreneur: Manajemen, Koperasi, dan Entrepreneurship*, 5(2), 57-66. <http://dx.doi.org/10.30588/SOSHUMDIK.v5i2.164>.
- Risdwiyanto, A. & Kurniyati, Y. (2015). Strategi Pemasaran Perguruan Tinggi Swasta di Kabupaten Sleman Yogyakarta Berbasis Rangsangan Pemasaran. *Jurnal Maksipreneur: Manajemen, Koperasi, dan Entrepreneurship*, 5(1), 1-23. <http://dx.doi.org/10.30588/SOSHUMDIK.v5i1.142>.
- Bator, R. J., Bryan, A. D., & Schultz, P. W. (2011). Who Gives a Hoot?: Intercept Surveys of Litterers and Disposers. *Environment and Behavior*, 43(3), 295-315. <https://doi.org/10.1177/0013916509356884>.

Artikel Prosiding

- Norsyaheera, A.W., Lailatul, F.A.H., Shahid, S.A.M., & Maon, S.N. (2016). The Relationship Between Marketing Mix and Customer Loyalty in Hijab Industry: The Mediating Effect of Customer Satisfaction. In *Procedia Economics and Finance* (Vol. 37, pp. 366-371). Elsevier B.V. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30138-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30138-1).

Working Paper

- Armand, F. (2003). Social Marketing Models for Product-Based Reproductive Health Programs: A Comparative Analysis. *Occasional Paper Series*. Washington, DC. Retrieved from www.cmsproject.com.

Disertasi/Tesis/Paper Kerja

- Belair, A. R. (2003). Shopping for Your Self: When Marketing becomes a Social Problem. *Dissertation*. Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.
- Lindawati (2015). Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Ekonomi dan Kesejahteraan Rumah Tangga Petani Usahatani Terpadu Padi-Sapi di Provinsi Jawa Barat. Institut Pertanian Bogor. Retrieved from <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/85350>.

Buku Teks

- Kotler, P., & Lee, N. R. (2009). *Up and Out of Poverty: The Social Marketing Solution*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

Laporan Instansi/Lembaga/Organisasi/Perusahaan

- LPPSP. (2016). *Statistik Indonesia 2016*. Badan Pusat Statistik, 676. Jakarta. Diakses dari <https://www.LPPSP.go.id/index.php/publikasi/326>.

Artikel Surat Kabar/Majalah

- Risdwiyanto, A. (2016). Tas Kresek Berbayar, Ubah Perilaku Belanja? *Kedaulatan Rakyat*, 22 Februari, 12.

Sumber dari internet dengan nama penulis

- Chain, P. (1997). Same or Different?: A Comparison of the Beliefs Australian and Chinese University Students Hold about Learning's Proceedings of AARE Conference. Swinburne University. Available at: <http://www.swin.edu.au/aare/97pap/CHAN97058.html>, diakses tanggal 27 Mei 2000.

Sumber dari internet tanpa nama penulis (tuliskan nama organisasi/perusahaan)

- StatSoft, Inc. (1997). Electronic Statistic Textbook. Tulsa OK., StatSoft Online. Available at: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>, diakses tanggal 27 Mei 2000.