

RESEARCH ARTICLE

## Efisiensi Energi Melalui *Wireless Charging* pada *Smart Watch*

Muhammad Bayu Adi Negoro, Setyorini\* and Erwid Musthofa Jadied

Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

\* Corresponding author: [setyorini@telkomuniversity.ac.id](mailto:setyorini@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

*Nowadays we always need technology, one of which is a smartwatch, nowadays the relationship of this kind of device with the natural environment is becoming more important to study because the power extraction that is commonly used is through non-renewable energy. Recently, there has been a shift in the way batteries are charged on some devices, including smartwatches, from wired to wireless charging. Wireless Charging is considered a transformational technology in the world, many major manufacturers have invested in this technology. However, the current wireless charging mechanism is considered slow and energy inefficient compared to wired charging. Such inefficiencies may in turn exacerbate the adverse impact of smartwatches on the environment. This paper addresses the issue of energy inefficiency during wireless charging of smartwatches by comparing different charging practices to identify energy saving opportunities. Overall the wireless off state charging experiment was found to be more energy efficient than the other two states potentially saving 0.098 Wh and likewise the wired based charging potentially saving 0.096 Wh. The highest average energy consumption in wired and wireless charging occurs when the smartwatch is ON + WiFiON where wireless charging consumes 0.228 Wh while wired charging consumes 0.205 Wh.*

**Key words:** *Wireless Charging, Smartwatch, Energy Efficiency, Power Consumption, Battery*

### Pendahuluan

*Smartwatch* (jam tangan pintar) atau sebagian lagi menyebut *watch-phone* (jam tangan ponsel) memindahkan fungsi dasar *smartphone* ke dalam sebuah jam tangan. Perangkat ini bergantung pada baterai untuk pengoperasiannya dan tujuan baterai ini adalah untuk menyimpan energi dan mengubah energi yang disimpan ke dalam bentuk listrik kapan pun dibutuhkan. Telah terjadi pergeseran cara pengisian dan penggunaan baterai yaitu dari teknologi pengisian berkabel menjadi pengisian nirkabel untuk beberapa perangkat teknologi salah satunya *smartwatch*. Pengisian daya baterai secara nirkabel atau *wireless* belum bisa dikatakan efisien untuk mentransfer energi dalam jumlah besar. Saat ini banyak energi yang hilang sebagai akibat pada saat sebuah *smartwatch* didekatkan pada *coil wireless* pada saat pengisian daya dan terlebih lagi jika saat pengisian tidak menyelaraskan perangkat dengan benar. Oleh karena itu, mekanisme pengisian nirkabel saat ini dikenal lambat dan tidak efisien dibandingkan dengan pengisian berbasis kabel.

Padahal konsep fundamental dibalik pengisian nirkabel telah dipahami sejak lebih dari satu abad, konsep itu sampai sekarang masih diperdebatkan bahwa para ilmuwan belum menemukan cara untuk melakukannya secara efisien untuk mentransfer energi dalam jumlah besar melalui penggunaan teknik ini [1]. Konsep dibalik pengisian daya nirkabel berasal dari tahun 1981 ketika Nikola Tesla mendemonstrasikan transmisi daya nirkabel dengan menyalakan lampu listrik tanpa menggunakan kabel [1]. Pengisian daya nirkabel memanfaatkan medan

elektromagnetik untuk perpindahan energi antara dua benda [1]. Dalam usaha ini digunakan induktor yang berbentuk kawat penghantar yang berbentuk kumparan yang melingkar di sekitar magnet. Ketika arus listrik lewat melalui induktor, sebuah medan elektromagnetik *electromotive force* (EMF) atau Gaya Gerak Listrik dibuat sekitar magnet. EMF ini kemudian dapat digunakan untuk mentransfer sebuah tegangan atau muatan ke objek terdekat tanpa benar-benar menyentuhnya. Berbagai standar pengisian nirkabel telah muncul dimana yang terbaik antara lain termasuk Qi dan *Power Matters Alliance* (PMA). Standar ini bervariasi dalam hal transmisi frekuensi dan protokol koneksi yang digunakan dalam perangkat proses komunikasi dan kontrol manajemen daya [1]. Maka dari itu menjadi penting untuk mempelajari bagaimana penggunaan akhir dapat menggunakan energi secara efisien dari teknologi ini.

Inefisiensi energi dalam pengisian daya nirkabel dapat memperburuk dampak buruk yang sudah ada pada lingkungan. Ini karena pengisian melibatkan penggunaan listrik, yang sebagian besar dihasilkan menggunakan sumber daya yang tidak terbarukan (misalnya batu bara atau minyak). Salah satu solusi yang diakui untuk mengurangi biaya energi sekaligus mengurangi dampak lingkungan adalah peningkatan dalam faktor efisiensi energi nya. Efisiensi energi didefinisikan oleh *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL) sebagai: "penggunaan energi yang lebih sedikit untuk menyediakan hal atau layanan yang sama" [1]. Berdasarkan definisi ini, efisiensi energi *wireless charging* mengacu pada penggunaan energi yang lebih rendah untuk mengisi daya sepenuhnya dalam kondisi yang sama. Untuk mengatasi inefisiensi energi pada pengisian nirkabel, penelitian yang

berbeda berusaha untuk mentransfer secara efisien jumlah daya yang lebih tinggi. Namun, solusi komersial yang cocok dengan efisiensi energi pengisian daya berbasis kabel belum ditemukan dan dirilis. Sampai solusi tersebut dirilis, pengguna akhir dari pengisi daya nirkabel perlu memanfaatkan teknologi tersebut secara efisien untuk menghemat biaya sementara juga mengurangi terkait dampak lingkungan. Untuk itu, praktik *wireless charging* menjadi penting untuk dipelajari. Lebih jauh lagi, menganalisis konsumsi energi secara kuantitatif dari pengisian daya *smartwatch* dapat membantu mengidentifikasi peluang untuk penghematan energi [1]. Dengan demikian, makalah ini secara kuantitatif menyelidiki penggunaan pengisian daya nirkabel yang hemat energi dengan membandingkan praktik pengisian daya yang berbeda untuk mengidentifikasi peluang penghematan energi.

### Topik dan Batasannya

Berdasarkan latar belakang diatas, maka makalah ini akan membahas dan menyelidiki terkait masalah inefisiensi energi selama pengisian daya nirkabel pada *smartwatch* dengan membandingkan berbagai praktik pengisian daya yang berbeda untuk mengidentifikasi peluang penghematan energi. Pada kasus ini implementasi efisiensi energi yang diuji adalah sistem pengisian daya secara *wireless charging* / (nirkabel) pada *smartwatch*. Dalam tugas akhir ini untuk menghindari penyimpangan materi maupun pelebaran pokok masalah maka ada beberapa batasan masalah diantaranya karena keterbatasan pasar penelitian tentang pendekatan pengisian daya yang digunakan oleh end-user (pengguna akhir) *smartwatch*, maka harus menyusun skenario umum tentang bagaimana pengguna *smartwatch* mengisi daya perangkat mereka. *Smartwatch* dan *wireless charging* yang diuji adalah rakitan pribadi dan bukan buatan pabrik, tetapi pembuatan *wireless charging* sudah menggunakan bahan yang mempunyai standar Qi (standar pengisian pada *wireless charging*) dan *smartwatch* menggunakan kapasitas baterai 3.500 mAh, 3,7V. Alat ukur yang dipakai adalah multimeter bukan wattmeter sehingga nilai hasil harus dihitung kembali.

### Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan antara lain:

- Mengimplementasi sistem *wireless charging* pada *smartwatch* yang telah dirakit untuk mengetahui efisiensi energinya.
- Menganalisis hasil implementasi dari efisiensi energi *smartwatch* dengan *wireless charging* dan dibandingkan dengan hasil dari efisiensi energi pada pengisian daya dengan menggunakan wired (kabel).
- Mengetahui skenario mana yang menggunakan daya paling sedikit / paling hemat energi.

### Tinjauan Pustaka

Meskipun konsep dasar dibalik pengisian daya nirkabel telah dipahami sejak lebih dari satu abad, namun telah diperdebatkan bahwa para ilmuwan belum menemukan cara untuk mentransfer daya dalam jumlah besar melalui penggunaan teknik ini [1]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Girish Bekaroo and Amar Seeam dengan judul "*Improving wireless charging energy efficiency of mobile phones: analysis of key practices*"; untuk semua skenario yang diselidiki daya maksimum yang tercatat adalah pada percobaan menit ke-5 dengan 9,3 W (untuk S6) untuk pengisian daya nirkabel dan 16,9 W (untuk S1 dan S3) untuk pengisian daya berkabel. Daya maksimum yang dicapai kemudian menjadi stabil disebagian besar skenario sebelum terjadi penurunan secara tiba-tiba. Penurunan ini lebih signifikan dalam skenario yang terkait dengan pengisian daya nirkabel jika dibandingkan dengan pengisian daya berkabel. Dalam hal durasi, dibutuhkan waktu

sekitar 206 menit untuk mengisi daya ponsel secara nirkabel dibandingkan dengan 86 menit saat menggunakan pengisian daya berkabel. Selain itu, pengisian daya ponsel sedikit lebih cepat dalam kondisi mati dibandingkan dengan kondisi lainnya. Untuk pengisian daya nirkabel, hasilnya menunjukkan bahwa ada perbedaan minimal dalam konsumsi energi dalam kondisi ponsel dihidupkan (S4) dan WiFi diaktifkan (S6). Dengan pengisian daya nirkabel, konsumsi energi terendah ditemukan pada saat kondisi mati (S2) dan tertinggi saat Wi-Fi diaktifkan (S6) pada ponsel. Namun, hasil ini berbeda dengan pengisian daya berkabel yang tidak menunjukkan perbedaan selama berbagai skenario yang diselidiki, dimana nilai konstan 0,014 kWh dicatat untuk S1, S3, dan S5 [1].

Ada beberapa penelitian yang mengusulkan dapat meningkatkan efisiensi pada sistem pengisian daya nirkabel seperti penelitian yang dilakukan oleh C. C. Lee dkk dengan judul "*Development of New Wireless Charging System with Improved Energy Efficiency for Electric Vehicles*", pada penelitian ini jumlah lilitan dengan struktur kumparan yang berbeda juga dibahas karena menurut peneliti dapat mempengaruhi efisiensi daya. Sebuah metode baru dengan menggunakan berbagai jumlah batang magnet di bawah konfigurasi kumparan dan membentuk fluks magnetik juga diusulkan dan ditujukan untuk mencapai efisiensi daya yang lebih tinggi. Efisiensi energi sebesar 82,5 dengan peningkatan sebesar 7,45 % tercapai pada penelitian ini. Metode yang digunakan untuk meningkatkan pengisian daya nirkabel adalah dengan menempatkan pemancar dan penerima kumparan di antara dua lembaran besi, dan menambahkan beberapa batang besi di bawah kumparan untuk memandu fluks magnetik. Metode tersebut dapat meningkatkan efisiensi transfer dengan meningkatkan fluks magnetik yang dihasilkan oleh kumparan pemancar yang melewati penerima koil. Namun, metode tersebut juga memiliki kelemahan seperti kehilangan daya karena pemanasan yang dihasilkan oleh arus eddy dalam besi lembaran dan batangan [2].

Sedangkan pada penelitian Peyman Darvish dkk dengan judul "*A Novel S-S-LCLCC Compensation for Three-Coil WPT to Improve Misalignment and Energy Efficiency Stiffness of Wireless Charging System*" peneliti mengatakan studi terbaru telah membuktikan bahwa desain *three-coil wireless power transfer* (WPT) atau desain transfer daya nirkabel tiga kumparan menunjukkan kinerja yang lebih baik dan memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan desain dua koil kumparan, terutama ketika resistansi sumber dan jarak transmisi antara primer dan penerima kumparan meningkat. Desain dari eksperimen ini secara keseluruhan menunjukkan efisiensi yang diusulkan lebih tinggi dari desain konvensional karena beban berkurang dan sistem baru memiliki sekitar 10% efisiensi yang lebih tinggi ketika beban setara baterai resistansi mencapai  $222\Omega$  [3]. Ada juga penelitian dari Chien Aun Chan dkk yang menguji efisiensi sistem pengisian daya nirkabel untuk aplikasi pakaian pintar dengan judul "*Wireless Charging of Smartwear for Health and Safety Monitoring System*". Peneliti juga mendemonstrasikan prototipe yang berfungsi dari perangkat pengisian daya nirkabel 5-Watt yang digunakan oleh perangkat pengisian daya nirkabel untuk *Health and Safety Monitoring System*. Melalui pengukuran daya modul yang dapat dikenakan, peneliti menemukan bahwa modul gelang diperkirakan akan mengkonsumsi 0,0222 Ah kapasitas baterai dan 0,1064 Wh daya. Untuk modul lutut, karena perlu mengirimkan data menggunakan koneksi *wide-area* NB-IoT, modul ini mengkonsumsi kapasitas baterai yang sedikit lebih tinggi di 0,0287 Ah dan daya 0,1374 Wh [4].

## Metodologi Penelitian

### Pembuatan Model (Framework Penelitian)

Metodologi yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian ini ditunjukkan pada diagram alur pada gambar 1.

**Table 1.** Skenario Pengisian Daya *Smartwatch*

No	Skenario	Keterangan
S1	Berbasis kabel dengan <i>smartwatch</i> OFF	Mengisi daya <i>smartwatch</i> berbasis kabel dari 1% sampai 100% (FULL) dengan <i>smartwatch</i> dimatikan.
S2	Berbasis wireless dengan <i>smartwatch</i> OFF	Mengisi daya <i>smartwatch</i> berbasis wireless dari 1% sampai 100% (FULL) dengan <i>smartwatch</i> dimatikan.
S3	Berbasis kabel dengan <i>smartwatch</i> ON	Mengisi daya <i>smartwatch</i> berbasis kabel dari 1% sampai 100% (FULL) dengan <i>smartwatch</i> dinyalakan.
S4	Berbasis wireless dengan <i>smartwatch</i> ON	Mengisi daya <i>smartwatch</i> berbasis wireless dari 1% sampai 100% (FULL) dengan <i>smartwatch</i> dinyalakan.
S5	Berbasis kabel dengan <i>smartwatch</i> ON +WiFi	Mengisi daya <i>smartwatch</i> berbasis kabel dari 1% sampai 100% (FULL) dengan <i>smartwatch</i> dinyalakan dan terkoneksi dengan jaringan.
S6	Berbasis wireless dengan <i>smartwatch</i> ON +WiFi	Mengisi daya <i>smartwatch</i> berbasis wireless dari 1% sampai 100% (FULL) dengan <i>smartwatch</i> dinyalakan dan terkoneksi dengan jaringan.

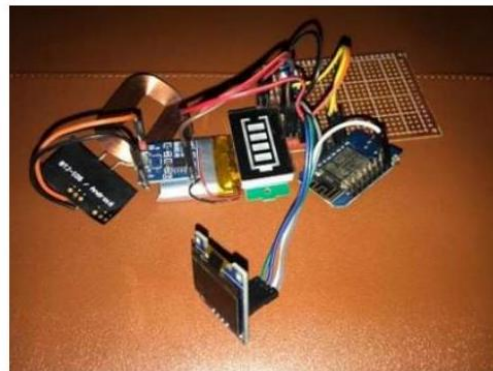
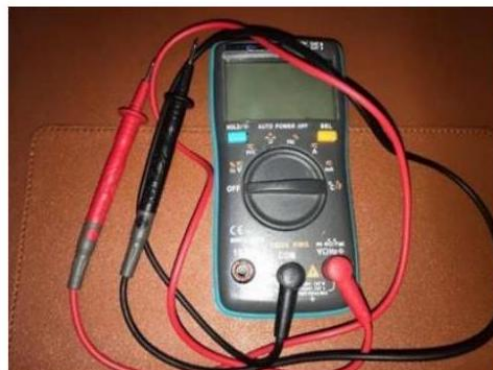
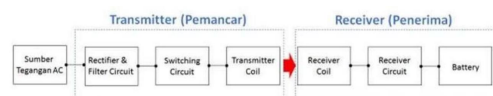
**Gambar 1.** Diagram Alur Riset Framework.

### Metode dan Skenario

Untuk menentukan efisiensi energi secara kuantitatif selama praktik pengisian *wireless* (nirkabel), daftar skenario pengisian yang digunakan oleh pengguna *smartwatch* harus disiapkan. Skenario atau praktik pengisian disini berkaitan dengan cara pengguna akhir / *end-user* mengisi daya *smartwatch* mereka. Namun karena keterbatasan pasar penelitian tentang pendekatan pengisian daya yang digunakan oleh pengguna akhir / *end-user smartwatch*, jadi pada tugas akhir ini harus menyusun skenario umum tentang bagaimana pengguna *smartwatch* mengisi daya perangkat mereka. Ada 3 skenario yang dipertimbangkan yaitu, pengisian saat *smartwatch* menyala dan saat *smartwatch* mati, selain itu juga dilakukan pengisian saat *smartwatch* menyala dengan Wi-Fi diaktifkan. Selain itu, untuk mengukur kinerja energi pengisian *wireless* (nirkabel) untuk masing-masing 3 skenario ini, dilakukan kembali tetapi dengan menggunakan charger konvensional atau dengan berbasis kabel untuk menjadi bahan pertimbangan. Jadi ada 6 skenario yang disusun, untuk lebih jelasnya diperlihatkan pada tabel 1.

### Device Under Test

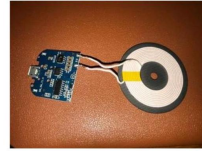
Untuk percobaan, pengisi daya didasarkan pada standar Qi karena lebih dari 80 model *smartwatch* telah menyematkan standar ini pada pengisi daya nirkabel mereka. Dengan demikian, untuk perangkat yang ingin diuji, perangkat memiliki standar Qi tertanam dipengisi daya nirkabelnya. Pada saat pengujian karena kekuatan medan elektromagnetik selama pengisian daya *wireless* (nirkabel) yang dikhawatirkan tidak stabil, perangkat masih harus dekat dengan pengisi daya untuk mendapatkan daya maksimum. Karena itu, *smartwatch* 2 perlu terhubung sepenuhnya dengan stasiun pengisian daya. Konsumsi energi masing-masing skenario yang sudah dibuat harus diukur. Untuk ini, alat pengukur 3 multimeter digunakan karena akurasi yang berkaitan dengan kekuatan dan energi pengukuran. Alat pengukur multimeter memiliki kemampuan untuk mengukur konsumsi daya dalam Volt (V) dan Ampere (A) pada interval setiap detik. Kemudian Volt (V) dan Ampere (A) tersebut akan dihitung untuk mendapatkan kilowatt

**Gambar 2.** *Smartwatch* Buatan yang Akan Diuji**Gambar 3.** Alat Pengukur**Gambar 4.** Proses Pengisian Daya Secara *Wireless Charging* (Nirkabel).

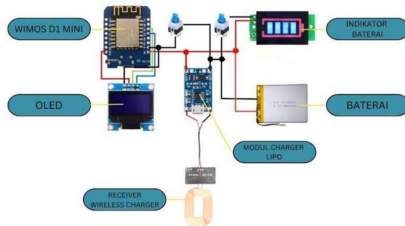
*hour* (kWh). Untuk studi ini, kWh telah dipilih sebagai metrik karena penggunaannya yang umum dalam tagihan listrik.



Gambar 6. Receiver



Gambar 5. Transmitter



Gambar 5. a. Receiver, b. Transmitter, c. Rancangan Rangkaian Smartwatch

Seperti terlihat pada Gambar 5 rangkaian yang telah dikonfigurasi dengan menggunakan Arduino IDE dihubungkan ke perangkat lainnya melalui Breadboard (papan rangkaian) untuk dioperasikan. Setelah sistem berhasil menyala kemudian lepas semua komponen yang berada pada breadboard lalu solder semua komponen untuk dirakit menjadi *smartwatch*.

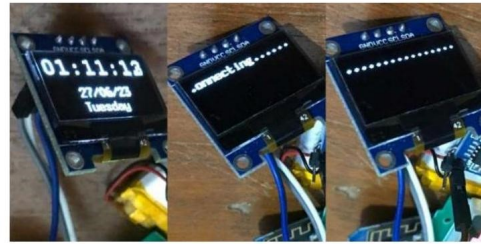
### Parameter Uji

Percobaan dimulai dengan memilih skenario pertama pada Tabel 1. *Smartwatch* diambil sambil memastikan bahwa tingkat baterainya sudah 0%. Pengisi daya kemudian dihubungkan ke *Smartwatch*, Pengukur multimeter kemudian disiapkan untuk dihubungkan dengan baterai *Smartwatch*. Setelah siap, kemudian multimeter elektronik dihidupkan, yang juga bersamaan dengan dimulainya pengisian daya pada *Smartwatch*. Pada waktu yang sama, stopwatch pun dimulai. Pada saat proses pengisian daya dimulai, pembacaan daya dari meteran dicatat dengan interval setiap 5 menit hingga perangkat terisi penuh. Pada saat pengisian daya dipastikan bahwa *Smartwatch* dibiarkan tidak disentuh dan dipindahkan selama proses pengisian daya untuk menghindari fluktuasi daya. Setelah *Smartwatch* terisi penuh, konsumsi energi dari multimeter dicatat dan juga total waktu yang dibutuhkan untuk mengisi daya *Smartwatch*. Percobaan dimulai dari skenario 1 sampai pengisian daya terisi penuh setelah itu direkam / dicatat dan dianggap selesai. Hal yang sama dilakukan untuk semua skenario yang ada, daya dan energi rata-rata untuk mengisi penuh daya *Smartwatch* kemudian dihitung. Parameter yang diuji adalah rata-rata konsumsi daya (W), waktu pengisian daya (Menit) dan rata-rata konsumsi energi ( kWh ) yang dikonversi menjadi ( Wh ), untuk alat pengukur yang dipakai adalah multimeter dan karena keterbatasan alat pengukur pada multimeter yang hanya bisa mengambil data volt (V), dan ampere (A) maka digunakan rumus:

$$\text{Watt} = \text{Ampere} \times \text{Volt} \quad (1)$$

$$\text{kWh} = \left( \frac{\text{Watt}}{1.000} \right) \times \left( \text{Jumlah Jam} \left( \frac{\text{Jumlah Menit}}{60} \right) \right) \quad (2)$$

Untuk mendapatkan nilai Watt digunakan rumus (1), setelah nilai Watt didapatkan kemudian nilai Watt dimasukkan ke rumus (2) untuk mendapatkan nilai kWh. Kilo Watt per Hour adalah pemakaian daya / Watt sebanyak 1 Kilo (1.000 Watt) dalam rentang waktu 1 jam (Hour) atau 60 menit. Untuk mengetahui nilai pemakaian daya / Watt sebuah perangkat elektronik ke dalam format nilai *Kwh*, maka kita juga



Gambar 6. Layar OLED Smartwatch



Gambar 7. Percobaan Pengisian Daya pada Smartwatch

harus mengetahui lama waktu pemakaian perangkat elektronik tersebut setiap jam-nya. Dengan demikian, default nilai waktu dan pembagi untuk meng-konversikan jumlah pemakaian Watt perangkat elektronik ke dalam nilai kWh adalah setiap Watt yang terpakai selama 1 jam harus dibagi 1.000 (kilo). Jika nilai lama waktu pemakaian Watt kurang dari 1 jam atau dalam satuan menit, maka terlebih dulu nilai tersebut dikonversikan ke dalam satuan jam (dibagi 60 menit). Setelah skenario pertama selesai, dimana nilai volt (V) dan Ampere (A) didapatkan dan dimasukkan kedalam rumus (2) dan nilai Watt (W) dan (kWh) juga sudah didapat maka skenario berikutnya dari Tabel 1 dilakukan hingga semua skenario selesai diselidiki dan data yang terkumpul dianalisis secara statistik. Setelah semua skenario dilakukan dan data pada semua skenario telah terkumpul pengambilan data diulang kembali sebanyak 3 kali pada semua skenario yang ada untuk mendapatkan keakuratan data.

## Hasil dan Pembahasan

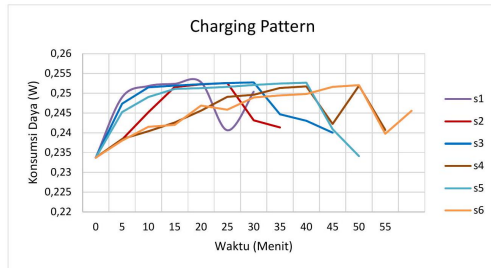
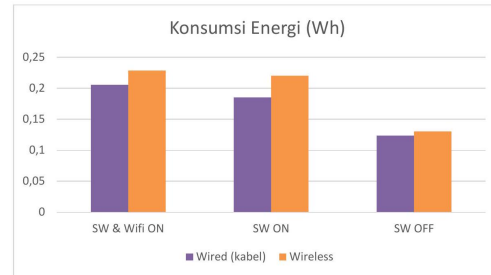
### Uji Fungsionalitas

Gambar 6 adalah gambar dari OLED *Smartwatch* yang telah dirangkai. Gambar (kiri) adalah OLED *Smartwatch* dengan baterai yang telah terhubung dengan WiFi, saat terhubung dengan Wifi layar OLED akan menampilkan waktu, tanggal, dan hari yang datanya diambil secara online sesuai dengan program yang sudah dibuat. Gambar (tengah) adalah saat *Smartwatch* sedang mencari jaringan WiFi dan OLED akan menampilkan tulisan (Connecting.....). Sementara gambar (kanan) adalah saat *Smartwatch* tidak mendapatkan jaringan WiFi dan OLED akan menampilkan tulisan.

Gambar 7 adalah salah satu contoh percobaan pengisian pengisian daya *Smartwatch* dengan menggunakan Wired / berbasis kabel (gambar kiri). Kabel pengisian daya dihubungkan dengan baterai *Smartwatch* dimana jika indikator OLED pada module charger berwarna merah berarti menandakan sedang berlangsungnya proses pengisian daya dan baterai belum terisi penuh. Jika proses pengisian daya tidak terjadi maka indikator OLED pada module charger tidak akan menyala dan jika proses pengisian daya telah selesai atau baterai sudah terisi penuh maka indikator OLED pada module charger akan menyala berwarna biru. Sedangkan untuk pengisian daya *Smartwatch* dengan menggunakan *Wireless Charging* (gambar tengah), pada

Table 2. Hasil Percobaan

Skenario	Rata-rata Konsumsi Daya (W)	Waktu Pengisian Daya (Menit)	Rata-rata Konsumsi Energi (Wh)
S1	0,247232238	30	0,123616
S2	0,244757833	32	0,130538
S3	0,246981717	45	0,185236
S4	0,244771806	54	0,220295
S5	0,246747697	50	0,205623
S6	0,245002872	56	0,228669

Gambar 8. Percobaan Pengisian Daya pada *Smartwatch*

Gambar 9. Konsumsi Energi (kWh)

proses pengisian daya dengan menggunakan *Wireless Charging* ini kabel dihubungkan dengan Transmitter dan Transmitter didekatkan atau ditempelkan dengan Receiver. Indikator OLED yang berwarna merah pada Transmitter (gambar kanan) berfungsi untuk menandakan bahwa kabel telah mengalirkan daya ke Transmitter dan Transmitter berfungsi dengan sempurna, dan indikator OLED berwarna biru pada Transmitter menandakan adanya perpindahan daya dari Transmitter ke Receiver. Jika Transmitter tidak mendapatkan daya maka indikator OLED tidak akan menyala.

### Hasil Pengujian

Setelah pengisian daya dilakukan untuk setiap skenario, telah diamati bahwa pada saat pembacaan daya dimulai dari diatas 0 W hingga secara progresif mencapai nilai maksimum. Untuk semua skenario yang diselidiki, pembacaan daya dicatat meningkat secara bertahap dan konstan sampai mencapai nilai maksimum. Daya maksimum yang tercatat adalah pada menit ke-25 percobaan dengan 0,25258 W (S2) dan menit ke-50 dengan 0,25204 W (S6) untuk pengisian daya nirkabel dan pada menit ke-20 percobaan dengan 0,25278 W (S1) begitu juga menit ke-30 percobaan dengan 0,25274 W (S3) dan ke-40 dengan 0,25266 W (S5) untuk pengisian daya berkabel. Hal ini juga menyoroti karakteristik transfer daya yang rendah dan lama dari pengisian daya nirkabel yang telah dibahas sebelumnya [1]. Daya maksimum yang dicapai kemudian terjadi penurunan secara berkala pada semua skenario kemudian naik kembali dan stabil sampai mencapai baterai penuh. Penurunan ini terjadi lebih signifikan dalam skenario yang terkait dengan pengisian daya berbasis kabel dibandingkan dengan pengisian daya nirkabel. Untuk semua skenario pengisian daya berbasis kabel dan pengisian daya nirkabel, penurunan pembacaan daya secara bertahap dicatat sampai baterai terisi penuh. Untuk semua skenario, konsumsi daya terbukti konstan hingga baterai mencapai maksimum. Pola konsumsi daya dari waktu ke waktu untuk berbagai skenario yang diselidiki diberikan pada Gambar Konsumsi daya dan konsumsi energi rata-rata, selain itu juga durasi rata-rata dalam setiap skenario yang berbeda diperlihatkan pada tabel 2.

Dalam hal durasi, dibutuhkan waktu rata-rata sekitar 47 menit untuk mengisi daya *Smartwatch* secara nirkabel dibandingkan dengan 41 menit saat menggunakan pengisi daya berkabel. Hasil ini juga menunjukkan bahwa pengisi daya nirkabel membutuhkan waktu lebih lama 6 menit dari waktu yang dibutuhkan untuk mengisi daya *Smartwatch* melalui pengisian daya berbasis kabel. Hal ini juga disebabkan oleh karakteristik daya yang rendah pada pengisi daya nirkabel, seperti yang diidentifikasi Tabel 2. Karena secara teoritis, daya yang rendah disebabkan oleh jumlah kumparan yang ada didalam pengisi daya, jumlah muatan listrik dikirimkan sebanding dengan jumlah kumparan yang ada didalam pengisi daya nirkabel [1]. Selain itu, pengisian daya sedikit lebih cepat untuk mengisi daya *Smartwatch* dalam keadaan mati dibandingkan dengan skenario yang lain. Hal ini disebabkan oleh lebih sedikitnya operasi latar belakang yang terjadi ketika *Smartwatch* dimatikan dibandingkan dengan saat percobaan pada skenario yang lain.

Seperti yang diharapkan, konsumsi energi pengisian daya nirkabel lebih banyak daripada pengisian daya berkabel untuk semua skenario yang diteliti. Untuk pengisian daya nirkabel, hasilnya menunjukkan bahwa konsumsi energi tertinggi berada pada percobaan (S6) yang dipengaruhi oleh lamanya waktu pengisian daya dan konsumsi energi terendah ditemukan selama *Smartwatch* dimatikan (S2). Begitu juga hasil yang diperlihatkan pada pengisian berbasis kabel, untuk pengisi daya berkabel menunjukkan konsumsi energi tertinggi berada pada percobaan (S5) dimana Wi-Fi *Smartwatch* diaktifkan, dan konsumsi energi terendah pada saat *Smartwatch* dimatikan (S1). Alasan perbedaan dalam setiap skenario pengisian daya nirkabel maupun berkabel adalah faktor-faktor diantaranya dapat dikaitkan dengan kehilangan daya dan panas yang terjadi pada kumparan yang ada dalam pengisian daya. Gambar 9 menunjukkan diagram batang yang membandingkan konsumsi energi berbagai skenario yang disusun berdasarkan jenis pengisi daya yang digunakan. Percobaan juga menunjukkan bahwa *Smartwatch* terus mengkonsumsi daya sampai baterai selesai terisi 100%. Daya yang dikonsumsi oleh pengisi daya berkabel dan nirkabel berbeda-beda untuk semua kondisi yang berbeda.

## Analisis Hasil Pengujian

Secara keseluruhan, pada percobaan yang telah diteliti pengisian daya dalam kondisi mati secara nirkabel ditemukan lebih hemat energi daripada dua kondisi lainnya yang berpotensi menghemat 0,098 Wh dan begitu juga pada pengisian daya berbasis kabel berpotensi menghemat 0,096 Wh. Rata-rata konsumsi energi tertinggi pada pengisian daya berkabel dan nirkabel terjadi pada saat *smartwatch ON + WiFi ON* dimana pada pengisian daya secara wireless (nirkabel) mengkonsumsi daya sebesar 0,228 Wh sedangkan pada pengisian daya berkabel sebesar 0,205 Wh. Meskipun angka ini tampaknya kecil, namun bisa menjadi signifikan jika dipertimbangkan dalam jangka waktu tahunan dan dengan jumlah populasi yang besar dan itu tidak dapat diabaikan. Tantangan utama yang dihadapi selama percobaan adalah menguras tingkat baterai hingga 0% sehingga skenario berikutnya dapat diselidiki. Ini adalah proses yang memakan waktu sangat panjang. Tantangan lainnya adalah bahwa percobaan ini memakan waktu yang cukup lama dimana pembacaan dilakukan secara manual pada setiap interval 5 menit.

Pada saat pengujian dikarenakan sangat sulit untuk menguras dan mengetahui tingkat baterai sudah 0% dan untuk perbandingan keakuratan data yang diambil maka untuk kondisi baterai kosong atau 0% bisa diukur dari posisi volt tertentu untuk memastikan kondisi yang sama dan terukur pada semua skenario yang diuji. Pengukuran pengosongan baterai dengan acuan dari multimeter ditetapkan pada tingkatan 4,100 volt dan setelah itu pembacaan mulai dilakukan pada setiap interval 5 menit sampai baterai terisi *FULL/100%*. Pengujian ini diulang 3 kali pada semua skenario yang ada untuk perbandingan keakuratan data yang diambil. Untuk semua variabel yang digunakan yaitu mulai dari S1 sampai S6 dipilih karena keterbatasan pasar penelitian tentang pendekatan pengisian daya yang digunakan oleh pengguna akhir (*end-user smartwatch*), maka harus menyusun skenario umum tentang bagaimana pengguna *smartwatch* mengisi daya perangkat mereka. Variabelvariabel ini berpengaruh terhadap perbandingan sebanyak apa konsumsi daya pada pengisian daya berbasis kabel / *wired* dan pengisian daya secara nirkabel / *wireless* dengan beberapa kondisi yang telah ditentukan sebelumnya mulai dari *smartwatch OFF*, *smartwatch ON*, dan *smartwatch ON + WiFi ON* untuk melihat perbandingan efisiensi daya dari kedua cara pengisian daya tersebut.

## Kesimpulan

Makalah ini membahas masalah energi yang terkait dengan pengisian daya nirkabel *smartwatch* dengan menyelidiki dan membandingkan praktik pengisian daya yang berbeda. Pada percobaan telah berhasil dilakukan pada *smartwatch* yang telah dirakit dan membandingkan konsumsi energi dari tiga praktik pengisian daya yang berbeda sekaligus membandingkannya dengan pengisian daya berbasis kabel untuk skenario yang sama. Pada hasil rata-rata yang dicatat untuk konsumsi energi tertinggi terjadi pada pengisian daya berkabel dan nirkabel saat *smartwatch ON + WiFi ON* dimana pada pengisian daya secara *wireless* (nirkabel) mengkonsumsi daya sebesar 0,228 Wh sedangkan pada pengisian daya berkabel sebesar 0,205 Wh. Pada saat pengujian pengisian daya dalam keadaan mati ditemukan paling hemat energi dalam kedua skenario nirkabel maupun berbasis kabel. Untuk hasil secara keseluruhan menunjukkan bahwa semua skenario pengisian daya nirkabel mengonsumsi jumlah energi yang berbeda, juga pada semua unit daya yang tercatat konsisten untuk semua skenario yang dilakukan.

Temuan dari penelitian ini dapat digunakan oleh pengguna akhir untuk meningkatkan praktik pengisian daya nirkabel mereka, selain itu nilai kuantitatif dari penelitian ini dapat digunakan dalam upaya untuk meningkatkan proses pengisian daya nirkabel.

Meskipun eksperimen mengkonfirmasi pengisian nirkabel itu kurang hemat energi dibandingkan dengan pengisian berkabel, beberapa praktik dapat diterapkan oleh pengguna akhir sehingga ada peluang untuk menghemat energi selama penggunaannya. Praktik-praktik ini disusun berdasarkan temuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Matikan perangkat saat mengisi daya secara nirkabel. Hasil percobaan menunjukkan bahwa jumlah energi dapat dikurangi saat mengisi daya secara nirkabel dikedua keadaan dimatikan. Dengan demikian, praktik yang baik untuk menghemat energi adalah dengan mematikan perangkat saat mengisi daya.
2. Cabut pengisi daya setelah terisi penuh. Eksperimen menunjukkan bahwa meskipun terisi penuh, kedua jenis pengisian terus mengkonsumsi energi jika *device* tetap tersambung ke sumber listrik. Sebagai penanggulangan untuk *trickle charging*, *smartwatch* harus dicabut dari pengisi daya setelah baterai terisi penuh. Namun, seringkali sulit untuk mengetahui seketika saat baterai terisi penuh. Sebagai solusinya, untuk *existing brand* atau perangkat dengan brand-brand yang sudah ada bisa menggunakan aplikasi seperti *Full Battery & Theft Alarm* dapat digunakan untuk memberi tahu pengguna setelah level baterai mencapai 100%.
3. Lepas semua penghalang atau *casing* saat mengisi daya secara nirkabel, literatur menunjukkan bahwa ada kebutuhan untuk melepas penutup / *casing* perangkat untuk meningkatkan kontak dengan perangkat. Dengan demikian, untuk meningkatkan pengisian efektivitas, *case* tebal dapat dilepas untuk meningkatkan kontak antara ponsel dan pengisi daya nirkabel.

## Daftar Pustaka

1. Bekaroo G, Seeam A. Improving wireless charging energy efficiency of mobile phones: Analysis of key practices. In: 2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech). Balaclava, Mauritius; 2016. p. 357-60.
2. Lee CC, Ouyang H, Che G. Development of New Wireless Charging System with Improved Energy Efficiency for Electric Vehicles. In: IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Singapore; 2020. p. 3617-21.
3. Darvish P, Mekhilef S, Illias HAB. A Novel S-S-LCLCC Compensation for Three-Coil WPT to Improve Misalignment and Energy Efficiency Stiffness of Wireless Charging System. IEEE Transactions on Power Electronics. 2021;36(2):1341-55.
4. Chan CA, Hao P, Gyax AF, Nirmalathas A. Wireless Charging of Smartwear for Health and Safety Monitoring System. In: 2020 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW). Seoul, Korea (South); 2020. p. 223-7.
5. Bi Z, Keoleian GA, Lin Z, Moore MR, Chen K, Song L, et al. Life cycle assessment and tempo-spatial optimization of deploying dynamic wireless charging technology for electric cars. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2019;100:53-67.
6. Dutot V, Bhatiasevi V, Bellallahom N. Applying the technology acceptance model in a three-countries study of smartwatch adoption. The Journal of High Technology Management Research. 2019;30(1):1-14.
7. Gökğöz F, Güvercin MT. Energy security and renewable energy efficiency in EU. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018;96:226-39.
8. Hsiao KL, Chen CC. What drives smartwatch purchase intention? Perspectives from hardware, software, design, and value. Telematics and Informatics. 2018;35(1):103-13.
9. Huang C, Zappone A, Alexandropoulos GC, Debbah M, Yuen C. Reconfigurable Intelligent Surfaces for Energy Efficiency in

- Wireless Communication. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2019;18(8):4157-70.
10. Kracheel M, Bronzi W, Kazemi H. A Wearable Revolution: Is the smartwatch the next small big thing? *IT One Magazine*. 2014 December;7:18-9.
  11. Mohamed AAS, Meintz A, Zhu L. System Design and Optimization of In-Route Wireless Charging Infrastructure for Shared Automated Electric Vehicles. *IEEE Access*. 2019;7:79968-79.
  12. Nascimento B, Oliveira T, Tam C. Wearable technology: What explains continuance intention in smartwatches? *Journal of Retailing and Consumer Services*. 2018;43:157-69.
  13. Rawassizadeh R, Tomitsch M, Nourizadeh M, Momeni E, Peery A, Ulanova L, et al. Energy-efficient integration of continuous context sensing and prediction into smartwatches. *Sensors*. 2015;15(9):22616-45.
  14. Sari D, Yuliharto HR. Faktor-faktor yang Memotivasi Penggunaan Berkelanjutan Jam Tangan Pintar di Indonesia. *Strategic: Jurnal Pendidikan Manajemen Bisnis*. 2020;20(2).
  15. Sun H, Edziah BK, Sun C, Kporsu AK. Institutional quality, green innovation and energy efficiency. *Energy Policy*. 2019;135:111002.