

Pembuatan *Ergonomic Mechanical Keyboard* untuk Mengurangi Cidera Tangan Menggunakan Teknologi Arduino

Muhammad Akbar Maulana

Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Institut Teknologi Tangerang Selatan, Tangerang Selatan
e-mail : makbar513@gmail.com.

* Penulis korespondensi.

Artikel ini diajukan 24 Juli 2023, direvisi 8 Agustus 2023, diterima 9 Agustus 2023, dan dipublikasikan 30 September 2023.

Abstract

In our daily lives, computers and keyboards are essential tools for both work and gaming. However, despite the variety of keyboards available on the market, few consider the comfort and needs of individual users. To solve this issue, a mechanical keyboard that can be adjusted in width, shape, and positioning is required to lessen hand injuries when used for extended periods. This research produces a mechanical keyboard hardware prototype using Arduino as the main component. The device will be connected to an electronic circuit and use C Language as supporting software. Tests were conducted to compare existing keyboards on the market related to function tests, compatibility, usability, and performance tests. The results show that all hardware components function perfectly at 98% capacity.

Keywords: *Mechanical Keyboard, Arduino, Ergonomic, Productivity, Injured, C Language*

Abstrak

Dalam aktivitas sehari-hari, komputer dan *keyboard* adalah alat yang sangat penting, baik untuk bekerja maupun bermain *game*. Namun, terlepas dari beragam *keyboard* yang tersedia di pasaran, hanya sedikit yang mempertimbangkan kenyamanan dan kebutuhan pengguna individu. Mengatasi masalah ini, diperlukan sebuah *keyboard* mekanis yang dapat menyesuaikan lebar, bentuk, dan penempatan yang tepat agar dapat mengurangi cidera pada tangan ketika digunakan dalam waktu yang lama. Penelitian ini menghasilkan *prototype hardware keyboard* mekanis dengan menggunakan Arduino sebagai komponen utama. Perangkat akan dihubungkan dengan rangkaian elektronik dan menggunakan Bahasa C sebagai perangkat lunak pendukung. Pengujian dilakukan dengan perbandingan *keyboard* yang sudah ada dipasaran terkait uji fungsi, kompatibilitas, kegunaan, dan tes kinerja. Hasilnya menunjukkan bahwa semua komponen perangkat keras berfungsi dengan sempurna pada kapasitas 98%.

Kata Kunci: *Keyboard Mekanis, Arduino, Ergonomis, Produktifitas, Cidera, Bahasa C*

1. PENDAHULUAN

Komputer dan *keyboard* telah menjadi elemen yang tidak terpisahkan dalam kegiatan sehari-hari, baik itu saat bekerja, belajar, maupun bermain *game*. *Keyboard* sebagai salah satu perangkat keras utama dalam penggunaan komputer, memiliki peran sentral dalam memberikan input dan interaksi antara pengguna dengan sistem komputer (Handayani & Wardoyo, 2021).

Meskipun pasar telah menyediakan berbagai macam jenis *keyboard* dengan berbagai fitur dan desain yang berbeda, ternyata masih sedikit yang mempertimbangkan tingkat ergonomis dan kebutuhan pengguna secara individual (Hemati et al., 2020). Penggunaan ergonomis *keyboard* secara signifikan meningkatkan pergerakan baik sendi pergelangan maupun sendi lengan sehingga lebih nyaman dan mengurangi cidera berlebih ketika menggunakan *keyboard* dengan durasi mengetik yang panjang (Lin et al., 2015).

Salah satu solusi untuk menciptakan *keyboard* yang sesuai dengan kebutuhan pengguna adalah dengan memanfaatkan Arduino, salah satu *daughterboard* yang dapat digunakan untuk membuat *mechanical keyboard*. Dengan Arduino, pengguna dapat merancang *keyboard* mekanis yang



sepenuhnya disesuaikan dengan preferensi dan kebutuhan masing-masing individu (Asikhia & Ehondor, 2010)

Keberadaan *ergonomic keyboard* hadir sebagai upaya untuk meningkatkan efektivitas kerja dan mencegah kelelahan pada tangan ketika digunakan dalam jangka waktu yang lama serta memberikan postur tangan yang sesuai dengan bentuk awal (Aschim et al., 2019). Desain *ergonomic keyboard* mempertimbangkan faktor kenyamanan dan keselamatan pengguna, sehingga pengguna dapat bekerja dengan lebih efisien dan mengurangi risiko cedera atau kelelahan yang disebabkan oleh penggunaan *keyboard* dalam jangka waktu yang panjang (Baker & Redfern, 2009; Dennerlein, 2015; Ripat et al., 2006).

Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk menggali lebih dalam tentang pembuatan *keyboard* ergonomis dan kebutuhan pengguna dalam pengembangan *mechanical keyboard*. Selain itu, penelitian ini juga akan menjelaskan penggunaan Arduino sebagai platform untuk merancang *mechanical keyboard* yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan individu pengguna. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efektivitas kerja dan kenyamanan pengguna melalui penggunaan *ergonomic mechanical keyboard*.

2. METODE PENELITIAN

Pembuatan *mechanical keyboard* dapat menggunakan *handwiring* atau pembuatan PCB, pada pembuatan ini akan mengarah langsung ke pembuatan PCB (Huda et al., 2019). Adapun alur pembuatan *mechanical keyboard* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Alur Pembuatan *Keyboard*

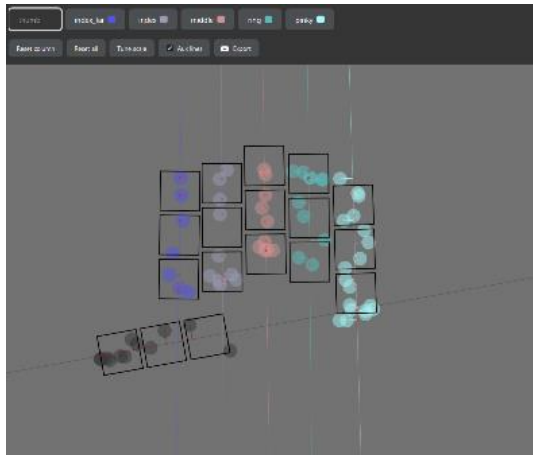
2.1 Perancangan Desain PCB

Tahap awal dari pembuatan PCB adalah merancang tata letak tombol dan bentuk dari *keyboard*. Untuk mempermudah penentuan bentuk *keyboard*, dapat menggunakan web untuk menyimpan pergerakan tangan (Trudeau et al., 2013). Alat yang dibutuhkan pada bagian ini adalah tablet atau layar sentuh seukuran dengan lebar tangan seperti pada Gambar 2. Hasil dari 5 jari yang digunakan lebih sering menekan tombol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, maka dari itu *keyboard* ini akan dibuat seperti bentuk sesuai dengan gambar tersebut (Glushkov, 2021).

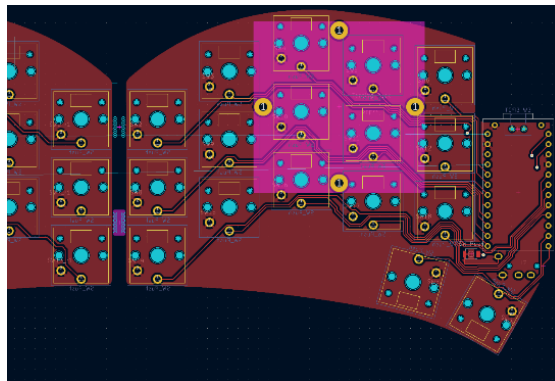
2.2 Pembuatan Alur PCB

Dari hasil Gambar 3, kita akan mengarah ke kicad untuk pembuatan PCB dengan basic Arduino Pro Micro. Untuk menyambungkan inputan *keyboard* bagian kanan dan kirinya yang terpisah ini dibutuhkan Jack TRRS sebagai penghubung. Hal ini digunakan agar tidak terlalu banyak menggunakan kabel USB ke komputer. Hasil akhir dari PCB ini terinspirasi oleh *keyboard sweep* (Chevalier et al., 2023).





Gambar 2 Pembuatan Tata Letak



Gambar 3 Alur PCB

2.3 Pembuatan *Firmware*

Keyboard split ergonomic membutuhkan aplikasi pendukung untuk mengingat dan mengirim *keystroke* fisik ke komputer. Pembuatan *firmware* menggunakan bahasa pemrograman C dengan deklarasi awal seperti pada Gambar 3. Hasil dari deklarasi *syntax* dapat membuat *layout* sesuai kebutuhan seperti Gambar 4, setiap Arduino dapat menampung hingga 4 *layout* berbeda dengan menekan tombol *function* tertentu yang diprogram pada awal deklarasi.

```
#include QMK_KEYBOARD_H

#define KC_CTSC RCTL_T(KC_SCLN)
#define KC_CTLA LCTL_T(KC_A)
    #define KC_LSHZ LSFT_T(KC_Z)
#define KC_RLSH RSFT_T(KC_SLSH)
    #define KC_SPM2 LT(2, KC_SPC)
#define KC_BSM1 LT(1, KC_BSPC)
#define KC_GUTA GUI_T(KC_TAB)
#define KC_CLGV CTL_T(KC_GRV)
```

Gambar 4 Deklarasi Awal Pembuatan *Firmware*

```
const uint16_t PROGMEM keymaps[][MATRIX_ROWS][MATRIX_COLS] = {
  [0] = LAYOUT(
    KC_Q,  KC_W,  KC_E,  KC_R,  KC_T,          KC_Y,  KC_U,  KC_I,  KC_O,  KC_P,
    KC_CTLA, KC_S,  KC_D,  KC_F,  KC_G,          KC_H,  KC_J,  KC_K,  KC_L,  KC_SCLN,
    KC_LSHF, KC_X,  KC_C,  KC_V,  KC_B,          KC_N,  KC_M,  KC_COMM, KC_DOT, KC_RLSH,
                                     KC_CLGV, KC_BSM1, KC_SPM2, KC_GUTA
  ),
  [1] = LAYOUT(
    KC_1,  KC_2,  KC_3,  KC_4,  KC_5,          KC_6,  KC_7,  KC_8,  KC_9,  KC_0,
    QC_GESC, KC_HOME, KC_PGDN, KC_PGUP, KC_END,    KC_LEFT, KC_DOWN, KC_UP,  KC_RIGHT, KC_QUOT,
    KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_BTN1, KC_BTN2,    KC_MS_L, KC_MS_D, KC_MS_U, KC_MS_R, KC_ENT,
                                     KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS
  ),
  [2] = LAYOUT(
    KC_F1,  KC_F2,  KC_F3,  KC_F4,  KC_F5,          KC_F6,  KC_F7,  KC_F8,  KC_F9,  KC_F10,
    KC_TAB, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS,    KC_MINS, KC_EQL,  KC_LBRC, KC_RBRC, KC_PIPE,
    KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS,    KC_UNDS, KC_PLUS, KC_TRNS, KC_TRNS, QC_BOOT,
                                     KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS
  ),
  [3] = LAYOUT(
    KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS,    KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS,
    KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS,    KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS,
    KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS,    KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS,
                                     KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS, KC_TRNS
  ),
};
```

Gambar 5 Deklarasi Mapping Keyboard

2.4 Pengumpulan Bahan dan Komponen

Pembuatan *keyboard mechanical* ini membutuhkan beberapa piranti perangkat keras dalam penyelesaiannya. Komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan keyboard antara lain seperti Arduino, *switch*, *keycap*, dan TRRS *socket*. Penjelasan selengkapnya mengenai komponen-komponen tersebut sebagai berikut.

2.4.1 Arduino Pro Micro

Salah satu varian dari *daughter board* yang memiliki ukuran kecil dan dukungan untuk USB. *Board* ini dirancang dengan mikrokontroler ATmega32U4 seperti pada Gambar 6. *Board* tersebut dapat digunakan untuk menyimpan *firmware* dan otak dari *keyboard*.



Gambar 6 Arduino Pro Micro

2.4.2 Switch

Switch merupakan komponen mekanis yang terdapat di bawah setiap *keycap*. *Switch* pada Gambar 7 berfungsi untuk mengubah tekanan fisik yang dihasilkan oleh penekanan tombol menjadi sinyal listrik yang diterima oleh komputer (Asundi & Odell, 2011). Perangkat ini juga ambil adil dalam tingkat pengurangan cedera pada jari dikarenakan *switch* memiliki berat yang berbeda (Rempel et al., 1997). Saat tombol ditekan, *switch keyboard* akan menyambungkan sirkuit listrik yang terhubung ke tombol tersebut, dan sinyal tersebut akan dikirimkan ke komputer sebagai input (Gerard et al., 1999).





Gambar 7 Switch Low Profile

2.4.3 Keycap

Keycap merupakan bagian dari *keyboard* yang terletak di atas *switch*. Mereka adalah tombol-tombol individu yang biasanya terbuat dari plastik atau bahan lainnya. *Keycap*, seperti Gambar 8, memiliki berbagai bentuk dan ukuran, yang sering kali mencerminkan tata letak tombol yang umum digunakan, seperti QWERTY (Agustin & Megawati, 2022).



Gambar 8 Keycaps Low Profile

2.4.4 TRRS socket

TRRS socket adalah jenis konektor audio yang sering digunakan dalam perangkat elektronik untuk menghubungkan *headphone*, mikrofon, dan perangkat audio lainnya. Selain audio, *socket* juga dapat menyambungkan antar *keyboard*. Contoh *socket* ditunjukkan pada Gambar 9.

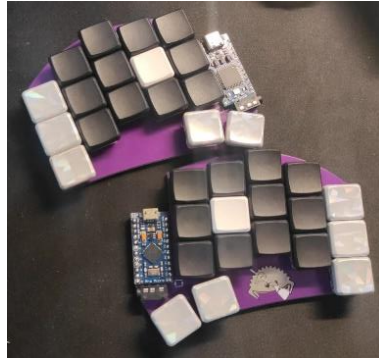


Gambar 9 Socket TRRS



2.5 Pemasangan *Part*

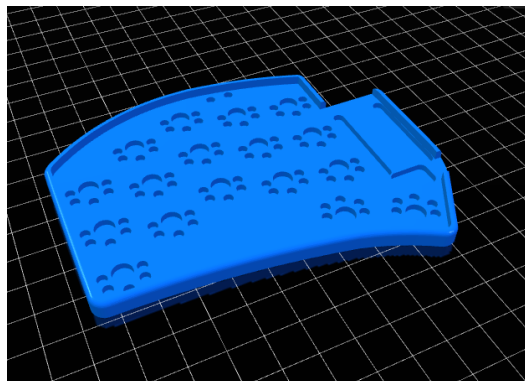
Semua bahan telah terkumpul selanjutnya dilakukan pemasangan dari semua komponen yang telah dikumpulkan. Solder dibutuhkan untuk menyatukan seluruh bahan seperti PCB, *switch*, dan TRSS *socket*. Gambar 10 menunjukkan hasil pemasangan semua komponen tersebut.



Gambar 10 Memasang Semua Komponen

2.6 Pembuatan *Case*

Case dibuat menggunakan bahan 3D *print* dengan bahan PLA. Aplikasi yang digunakan dapat berupa Inventor maupun Blender. Contoh desain pembuatan *case* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Pembuatan *Case*

2.7 Pengujian dan Pengaturan

Setelah perakitan selesai, akan dilakukan uji fungsi, kompatibilitas, kegunaan, dan tes kinerja. Pengujian ini dilakukan untuk menguji *keyboard* dapat berfungsi dengan baik dan memastikan respons sesuai dengan yang diharapkan (Rohan et al., 2022). Hasil akhir dari *keyboard* yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 12.





Gambar 12 Hasil Akhir *Keyboard*

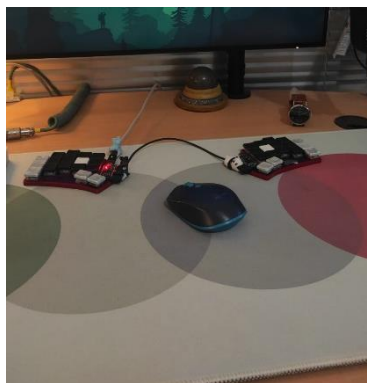
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *prototype* dari penelitian ini telah diimplementasikan dan diprogram ke dalam PCB dan mikrokontroler Arduino untuk menciptakan *keyboard* mekanis yang disesuaikan dengan tahapan yang telah dilakukan. *Keyboard* berhasil dirakit seperti Gambar 13 menggunakan 1 kabel dengan spesifikasi *type C* ke komputer dan antara *keyboard* terhubung kabel jack 3,5mm TRSS. Dimensi per bagian dari alat ini P 11cm x L 9cm x T 1,5cm, sehingga membuat *keyboard* mudah dibawa dan dimasukkan ke dalam tas maupun tempat lain.

Upaya untuk mengurangi cedera pada tangan dan pergeseran yang berlebih seperti penelitian sebelumnya, maka setiap jari diberikan 3 tombol dan ibu jari diberikan 2 tombol sesuai dengan Gambar 14. Hasil dari beberapa penelitian terbukti *layout* ini sangat optimal tetapi butuh penyesuaian untuk mengetik.

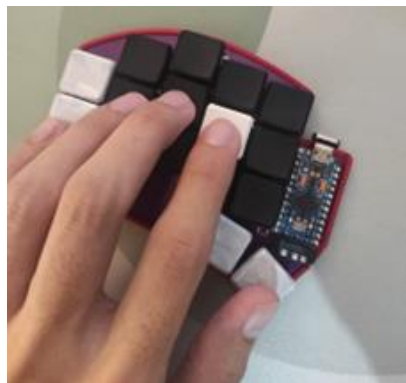
Dimensi *keyboard* yang kompak dan ringkas, seperti Gambar 15, memiliki keunggulan dalam mengoptimalkan penggunaan ruang, sehingga memungkinkan penempatan lebih efisien dan fleksibel pada berbagai bidang. Hal ini berkaitan dengan mengoptimalkan postur mengetik dan mengurangi cedera pada tangan.

Keyboard mekanikal *custom* hanya memiliki 36 tombol sehingga membutuhkan *mapping* yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16. Sehingga *keyboard* tersebut membutuhkan tes lebih lanjut untuk pengoptimalan *software*.



Gambar 13 *Keyboard* Terkoneksi





Gambar 14 Perbandingan Tangan dengan Keyboard



Gambar 15 Perbandingan Keyboard 75% dengan Ergonomic Keyboard



Gambar 16 Mapping Ergo Keyboard

Pengujian keseluruhan *keyboard* bertujuan untuk memastikan alat dapat berfungsi dengan semestinya dan dapat mengurangi cedera pada tangan pada saat mengetik. Berlandaskan pada hasil penelitian ini, dapat terlihat pada Tabel 1, hasil uji coba tidak ada yang menunjukkan kegagalan. Hanya saja pada bagian *keyboard* sebelah kanan jika terkoneksi akan terbalik, hal ini dikarenakan deklarasi awal pada *keyboard*, yaitu *master*, ada pada bagian kiri, sedangkan kanan sebagai *slave*.



Tabel 1 Hasil Uji Coba *Keyboard* Mekanik Ergonomis

No.	Skenario Pengujian	Test Case	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Validitas	Persentase
1	Dapat diketik sesuai keinginan	<i>Register</i>	Komputer dapat mengenali input yang di tekan	Sesuai	Valid	100%
2	Bentuk sesuai anatomi	Jari	Mulai ibu jari hingga kelingking tidak ada pergeseran untuk mengurangi cedera sendi	Sesuai	Valid	100%
		Sendi	Pergelangan tangan dan pergelangan siku tidak bergerak jauh	Sesuai	Valid	100%
3	Posisi mengetik	Duduk	<i>Keyboard</i> dapat digunakan diatas meja posisi duduk	Sesuai	Valid	100%
		Pangkuan	<i>Keyboard</i> dapat digunakan di atas paha	Sesuai	Valid	100%
		Berdiri	<i>Keyboard</i> dapat digunakan diatas meja posisi berdiri	Sesuai	Valid	100%
4	<i>Keyboard</i> dapat dipisah	Hanya bagian kanan	Dapat terkoneksi dan mengenali inputan ke komputer dengan baik	Sesuai	Valid	80%
		Hanya bagian kiri	Dapat terkoneksi dan mengenali inputan ke komputer dengan baik	Sesuai	Valid	100%
5	<i>Keyboard</i> saling terhubung	Jarak <30 cm	Tidak ada <i>delay</i> pada koneksi maupun inputan ke komputer	Sesuai	Valid	100%
		Jarak >30 cm	Tidak ada <i>delay</i> pada koneksi maupun inputan ke komputer	Sesuai	Valid	100%
6	Mendukung Beberapa <i>Device</i>	Dapat menyimpan <i>layout</i> dan terkoneksi dengan baik	<i>Keyboard</i> dapat langsung digunakan jika terkoneksi dengan HP, Windows, Mac, Smart TV, Tablet	Sesuai	Valid	100%
7	Input tombol dapat dirubah	<i>Remapping layout keyboard</i>	Tombol dapat dirubah sesuai kebutuhan	Sesuai	Valid	100%
Total						98%

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah *prototype keyboard* yang sesuai dengan anatomi tangan dan postur pergelangan tangan dengan beberapa kesimpulan yaitu:

- 1) Alat berhasil dengan baik dijalankan walaupun terdapat kendala pada saat digunakan hanya sebelah kanan saja. Tetapi secara keseluruhan *keyboard* dapat digunakan dengan baik dan tidak memiliki kekurangan dalam mengenali inputan.
- 2) *Layout keyboard* terlalu kecil sehingga butuh penyesuaian yang lama agar mahir dalam mengetik. Sebaiknya dalam penelitian selanjutnya tombol akan ditambahkan untuk mempermudah dalam pengetikan.



- 3) *Software* dapat digunakan secara optimal tetapi belum dilakukan *testing* lebih dalam.
- 4) Tingkat ergonomis sudah sesuai baik dari segi kemiringan mengetik dan tinggi *keyboard*.
- 5) *Controller* Arduino cukup untuk membuat *keyboard* tetapi memiliki dimensi yang terlalu besar untuk *keyboard* yang kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada *mechanical keyboard* antusias dan grup Indonesia *mechanical keyboard* untuk selalu memberikan *update* tentang *keyboard* terbaru, baik itu di DIY maupun *keyboard pre-build*. Semoga dari jurnal ini dapat membuka penelitian lain yang berkaitan dengan *mechanical keyboard*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, H., & Megawati, S. (2022). Pembuatan Keycaps Berbahan Daur Ulang Plastik untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan. *Jurnal Strategi Desain Dan Inovasi Sosial*, 4(1), 62. <https://doi.org/10.37312/jsdis.v4i1.6126>
- Aschim, T. B., Gjerstad, J. L., Lien, L. V., Tahsin, R., & Sandnes, F. E. (2019). Are Split Tablet Keyboards Better? A Study of Soft Keyboard Layout and Hand Posture. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2019* (pp. 647–655). https://doi.org/10.1007/978-3-030-29387-1_37
- Asikhia, O. K., & Ehondor, S. E. (2010). Ergonomics Design of Computer Keyboard Layout. *Journal of Sciences and Multidisciplinary Research*, 2, 34–39. <https://www.cenresinjournal.com/wp-content/uploads/2020/03/page-34-39004.pdf>
- Asundi, K., & Odell, D. (2011). Effects of keyboard keyswitch design: A review of the current literature. *Work*, 39(2), 151–159. <https://doi.org/10.3233/WOR-2011-1161>
- Baker, N. A., & Redfern, M. (2009). Potentially Problematic Postures During Work Site Keyboard Use. *The American Journal of Occupational Therapy*, 63(4), 386–397. <https://doi.org/10.5014/ajot.63.4.386>
- Chevalier, P., Barr, D., Aji, I. D., & Duccio. (2023). *Sweep Mechanical Keyboard*. <https://github.com/davidphilipbarr/Sweep>
- Dennerlein, J. T. (2015). The state of ergonomics for mobile computing technology. *Work*, 52(2), 269–277. <https://doi.org/10.3233/WOR-152159>
- Gerard, M. J., Armstrong, T. J., Franzblau, A., Martin, B. J., & Rempel, D. M. (1999). The Effects of Keyswitch Stiffness on Typing Force, Finger Electromyography, and Subjective Discomfort. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 60(6), 762–769. <https://doi.org/10.1080/00028899908984499>
- Glushkov, P. (2021). *ErgoPad*. <https://pashutk.com/ergopad/>
- Handayani, A. D., & Wardoyo, R. (2021). DSS for Keyboard Mechanical Selection Using AHP and Profile Matching Method. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, 15(4), 369. <https://doi.org/10.22146/ijccs.67813>
- Hemati, K., Mirjalili, S., Ghasemi, M. S., Abdollahian, Y., Siroos, R., Sanati, P., Aghilinejad, M., & Dehghan, N. (2020). Functional parameters, wrist posture deviations and comfort: A comparison between a computer mouse and a touch pen as input devices. *Work*, 65(4), 701–706. <https://doi.org/10.3233/WOR-203124>
- Huda, A. S. M., Zuraiyah, T. A., & Hakim, F. L. (2019). Prototype Alat Pengukur Jarak Dan Sudut Kemiringan Digital Menggunakan Sensor Ultrasonik Dan Accelerometer Berbasis Arduino Nano. *BINA INSANI ICT JOURNAL*, 6(2), 75–84. <http://101.255.92.196/index.php/BIICT/article/view/1233>
- Lin, M.-I. B., Hong, R.-H., Chang, J.-H., & Ke, X.-M. (2015). Usage Position and Virtual Keyboard Design Affect Upper-Body Kinematics, Discomfort, and Usability during Prolonged Tablet Typing. *PLOS ONE*, 10(12), e0143585. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143585>
- Rempel, D., Serina, E., Klinenberg, E., Martin, B. J., Armstrong, T. J., Foulke, J. A., & Natarajan, S. (1997). The effect of keyboard keyswitch make force on applied force and finger flexor muscle activity. *Ergonomics*, 40(8), 800–808. <https://doi.org/10.1080/001401397187793>
- Ripat, J., Scatliff, T., Giesbrecht, E., Quanbury, A., Friesen, M., & Kelso, S. (2006). The Effect of Alternate Style Keyboards on Severity of Symptoms and Functional Status of Individuals



- with Work Related Upper Extremity Disorders. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 16(4), 707–718. <https://doi.org/10.1007/s10926-006-9054-z>
- Rohan, S., Roy, K., Saha, P. K., Hossain, S., Rahman, F., & Mohammed, N. (2022). Analysis of Bangla Keyboard Layouts Based on Keystroke Dynamics. In *Intelligent Systems and Sustainable Computing* (pp. 165–173). https://doi.org/10.1007/978-981-19-0011-2_15
- Trudeau, M. B., Catalano, P. J., Jindrich, D. L., & Dennerlein, J. T. (2013). Tablet Keyboard Configuration Affects Performance, Discomfort and Task Difficulty for Thumb Typing in a Two-Handed Grip. *PLoS ONE*, 8(6), e67525. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067525>

