



Optimalisasi proses *rapid prototyping* dan *user experience testing* dalam pengembangan produk *keyboard mechanical* modular MEYKE A.01 V2

Alvian Fajar Setiawan,^{1*} Chris Chalik,² Terbit Setya Pambudi,³ Jaisy Muzaffar Safruddin⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Desain Produk, Fakultas Industri Kreatif, Telkom University, Bandung, Indonesia

Abstract

This study discusses the integration of rapid prototyping and user experience testing in the development of the MEYKE A.01 modular mechanical keyboard. Rapid prototyping is applied to produce prototypes quickly and iteratively through 3D modeling and additive manufacturing, enabling early evaluation of the physical design, casing structure, and modular system. User experience testing is then conducted to assess typing comfort, switch responsiveness, keycap stability, and overall ergonomics. This research employs a qualitative approach involving concept development, prototype fabrication, user testing, and evaluation analysis. The results indicate that integrating these methods enhances the alignment of the design with user needs and accelerates the identification and refinement of design issues. Thus, this approach is effective in producing a modular keyboard that is functional, ergonomic, and user-experience oriented.

Keywords: *rapid prototyping, user experience testing, mechanical keyboard, modular design, product development*

Abstrak

Penelitian ini membahas integrasi metode *rapid prototyping* dan *user experience testing* dalam pengembangan produk *keyboard mechanical modular* MEYKE A.01. *Rapid prototyping* digunakan untuk menghasilkan prototipe secara cepat dan iteratif melalui pemodelan 3D dan pencetakan berbasis *additive manufacturing*, sehingga memungkinkan evaluasi awal mengenai desain fisik, struktur *casing*, serta sistem modularitas. Selanjutnya, *user experience testing* diterapkan untuk menilai aspek kenyamanan mengetik, *respons switch*, kestabilan *keycap*, dan ergonomi keseluruhan. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan tahapan perancangan konsep, pembuatan prototipe, pengujian pengguna, dan analisis hasil evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi kedua metode ini mampu meningkatkan kesesuaian desain dengan kebutuhan pengguna serta mempercepat proses identifikasi dan penyempurnaan masalah desain. Dengan demikian, pendekatan ini efektif dalam menghasilkan *keyboard* modular yang fungsional, ergonomis, dan berorientasi pada pengalaman pengguna

Kata kunci: *rapid prototyping, user experience testing, keyboard mechanical, desain modular, pengembangan produk*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi manufaktur dalam satu dekade terakhir telah membawa perubahan besar dalam cara perancang produk mengembangkan sebuah konsep hingga mencapai bentuk final yang siap digunakan. Salah satu perubahan paling signifikan terlihat pada semakin mudahnya akses terhadap teknologi *rapid prototyping*, khususnya melalui pemanfaatan pemodelan 3D dan perangkat *additive manufacturing* seperti 3D printing. Teknologi ini memungkinkan seorang desainer melakukan

eksplorasi bentuk, konstruksi, dan fungsi dengan lebih cepat tanpa harus bergantung pada proses manufaktur konvensional yang cenderung memakan waktu lama dan membutuhkan biaya tinggi. Cara perancang produk dalam merealisasikan konsep telah mengalami evolusi besar seiring dengan hadirnya dukungan sistem manufaktur digital modern yang lebih terintegrasi (Egorov et al., 2016). Dalam konteks pengembangan perangkat elektronik seperti *keyboard mechanical*, kemampuan iterasi cepat menjadi sangat penting karena produk jenis ini membutuhkan ketelitian pada banyak aspek, mulai dari desain fisik, kenyamanan

* Corresponding author e-mail : alvianfsetaiwan@telkomuniversity.ac.id

mengetik, stabilitas struktur, hingga kualitas *tactile feedback*.

Keyboard mechanical berkembang pesat sebagai perangkat yang tidak hanya berfungsi sebagai alat input komputer, tetapi juga sebagai media ekspresi bagi penggunanya. Industri *keyboard custom* telah melahirkan komunitas besar yang sangat kritis terhadap detail mulai dari profil *keycap*, *switch feel*, akustik, hingga ergonomi keseluruhan (Hoyle et al, 2013). Dengan tuntutan pasar yang semakin tinggi tersebut, pengembangan produk *keyboard* modular seperti MEYKE A.01 yang dapat dilihat pada Gambar 1 memerlukan pendekatan desain yang tidak hanya mengutamakan estetika, tetapi juga mampu merespons kebutuhan pengguna secara langsung.

Oleh karena itu, metode *user experience testing* menjadi relevan pada pengembangan *keyboard* MEYKE A.01. Pengguna dapat memberikan masukan nyata mengenai kenyamanan, fungsi modular, kemudahan penggantian komponen, serta kesan keseluruhan selama penggunaan (Norman, 2016). Kombinasi antara *rapid prototyping* dan *user experience testing* menciptakan siklus desain yang lebih adaptif, fleksibel, dan dekat dengan pengalaman nyata pengguna.

Pendekatan iteratif semacam ini sebenarnya bukan hal yang benar-benar baru dalam dunia desain produk. Metode desain moderen telah lama menekankan pentingnya proses pengembangan yang berulang agar produk final mampu menjawab kebutuhan pasar secara lebih tepat (Ulrich & Eppinger, 2016). Namun, perbedaannya pada era sekarang terletak pada kecepatan dan efisiensi proses. Jika pada masa lalu pembuatan prototipe membutuhkan waktu berminggu-minggu dan biaya produksi yang tidak sedikit, saat ini prototipe dapat dihasilkan dalam hitungan jam atau hari dengan biaya yang jauh lebih terjangkau. Situasi ini membuat para desainer dapat menguji banyak versi desain sebelum memutuskan bentuk akhir yang paling

optimal. Proses iteratif yang dulu sulit dilakukan kini menjadi bagian yang wajar dalam siklus pengembangan produk.

Dalam konteks *keyboard mechanical modular* MEYKE A.01, *rapid prototyping* membuka ruang eksperimen terhadap berbagai bentuk *casing*, mekanisme modul, struktur rangka, serta skema tata letak tombol. Karena *keyboard* modular mengharuskan pengguna dapat mengganti atau menambah komponen tertentu tanpa kesulitan, prototipe perlu diuji secara fisik untuk memastikan bahwa sistem bongkar-pasang bekerja dengan baik. Hal ini didasari oleh limitasi ilmiah dalam menduplikasi resonansi psikoakustik serta dinamika haptik yang terjadi pada *mechanical keyboard* melalui simulasi digital semata. Strategi dalam merancang antarmuka pengguna telah berevolusi menjadi disiplin yang mengutamakan keterlibatan pengguna melalui sistem yang responsif dan cerdas. Efektivitas desain antarmuka sangat bergantung pada penerapan taktik interaksi yang tepat untuk menjembatani antara kebutuhan manusia dan kapabilitas sistem (Pitale & Bhungara, 2019). Gejala seperti getaran mikro dalam sistem modular maupun karakteristik akustik yang muncul dari peredaman suara antar-komponen bersifat non-linier dan *broadband*, sehingga pemodelan isolasi suara dalam ruang virtual seringkali tidak mencukupi untuk aplikasi teknik yang kompleks (Zhang et al., 2024). Di samping itu, validasi ergonomis yang melibatkan aspek *proprioception* yakni sensitivitas motorik pengguna terhadap tekanan dan posisi jari memerlukan umpan balik haptik langsung untuk meningkatkan persepsi taktil yang akurat terhadap objek fisik (Son & Park, 2018). Oleh karena itu, prototipe fisik menjadi mutlak diperlukan untuk menjembatani *gap* antara data kuantitatif simulasi dan persepsi kualitatif pengguna. Pengujian ini tidak dapat dilakukan secara optimal hanya melalui simulasi digital, sehingga pembuatan prototipe fisik menjadi mutlak diperlukan. Selain itu, aspek ergonomi seperti sudut kemiringan *keyboard*, tinggi profil, hingga kenyamanan pergelangan tangan hanya dapat dievaluasi secara akurat melalui interaksi langsung pengguna dengan produk.

Tahap berikutnya adalah *user experience testing* yang mendorong pengguna terlibat secara aktif dalam proses evaluasi. Pengalaman mengetik merupakan hal yang sangat subjektif, sehingga masukan dari pengguna menjadi sumber informasi utama untuk memahami apa yang dianggap nyaman atau tidak. Beberapa pengguna, misalnya, lebih menyukai *keyboard* dengan respons yang ringan dan suara yang halus, sedangkan sebagian lainnya mengutamakan *clickiness* atau bunyi yang lebih tegas. Perbedaan

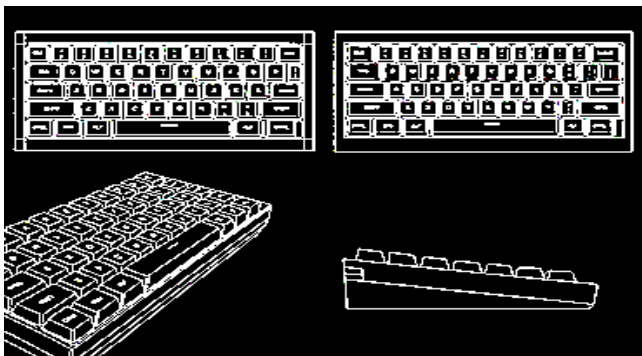


Gambar 1. Foto *keyboard* modular MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

preferensi ini perlu dianalisis melalui observasi, wawancara, serta sesi pengujian langsung. Dari hasil uji tersebut, desainer dapat memahami kecenderungan pengguna dan menyesuaikan desain produk agar mampu memenuhi kebutuhan mayoritas tanpa menghilangkan fleksibilitas modular yang menjadi keunggulan utama MEYKE A.01.

Integrasi *rapid prototyping* dan *user experience testing* memberikan keuntungan yang signifikan karena kedua metode tersebut saling melengkapi. *Rapid prototyping* menyediakan prototipe fisik yang dapat diuji dengan cepat, sementara *user experience testing* memberi perspektif pengguna terhadap prototipe tersebut. Ketika prototipe pertama dianggap kurang nyaman atau memiliki kekurangan struktural, proses perbaikan dapat segera dilakukan dan prototipe berikutnya dapat dibuat secara cepat. Siklus ini berlangsung terus hingga didapatkan desain yang dianggap paling ideal baik dari sisi fungsional, estetika, maupun ergonomi. Dengan demikian, proses desain menjadi lebih efisien karena potensi kesalahan dapat dikenali sejak tahap awal dan diperbaiki sebelum memasuki proses produksi yang lebih mahal dan kompleks.

Selain keuntungan praktis, integrasi kedua metode ini juga memberikan nilai lebih dalam hal kepekaan desain. Produk yang dikembangkan bukan hanya berdasarkan asumsi desainer, tetapi berdasarkan pengalaman nyata pengguna. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *human-centered design* yang menempatkan pengguna sebagai fokus utama proses perancangan (Boy, 2017). Produk seperti *keyboard mechanical modular* memang sangat cocok dikembangkan dengan pendekatan ini karena keberhasilan produk tidak hanya ditentukan oleh bentuk fisiknya, tetapi juga oleh bagaimana pengguna merasakan pengalaman mengetik yang optimal. *Keyboard* yang secara visual menarik tetapi tidak nyaman digunakan tentu tidak akan berhasil di pasar.



Gambar 2. Model digital *keyboard modular* MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memahami bagaimana *rapid prototyping* dan *user experience testing* dapat digabungkan secara efektif dalam pengembangan produk *keyboard mechanical modular* MEYKE A.01. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap ilmu desain produk, khususnya pada pengembangan perangkat elektronik yang membutuhkan ketelitian tinggi dan berorientasi pada pengalaman pengguna. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi desainer lain yang ingin mengembangkan produk serupa menggunakan pendekatan metode yang lebih responsif, efisien, dan berfokus pada kebutuhan pengguna.

2. Metode

Penelitian ini dirancang untuk memahami bagaimana integrasi *rapid prototyping* dan *user experience testing* dapat digunakan untuk mengembangkan *keyboard mechanical modular* MEYKE A.01. Metode yang diterapkan menggabungkan pendekatan teknis dan pendekatan berbasis pengalaman pengguna, sehingga proses pengembangan dapat diamati secara menyeluruh. Dengan kombinasi dua metode tersebut, penelitian ini tidak hanya menilai keandalan struktur fisik *keyboard*, tetapi juga meninjau bagaimana pengguna berinteraksi dengan produk secara nyata. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif karena sifat masalah yang dikaji lebih menekankan pada pemahaman mendalam, bukan pengukuran statistik. Pendekatan ini memungkinkan peneliti menggali pengalaman subjektif pengguna ketika mengetik, menilai kenyamanan tangan, serta menafsirkan komentar pengguna mengenai bentuk, suara, dan modularitas *keyboard*. Pendekatan kualitatif relevan ketika peneliti ingin menelusuri fenomena yang tidak dapat diwakili angka secara sederhana, terutama yang berkaitan dengan perilaku manusia dan preferensi desain (Creswell, 2017). Tahap pertama metode penelitian ini dimulai melalui penerapan *rapid prototyping*. Metode ini dipilih agar konsep *keyboard* dapat divisualisasikan dan diuji dalam waktu singkat. Proses dibuka dengan pembuatan model digital menggunakan *software CAD* seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Digitalisasi model produk menjadi tahapan krusial dalam menjamin akurasi purwarupa yang dihasilkan. Pemanfaatan perangkat lunak desain digital seperti Rhinoceros terbukti efektif dalam memfasilitasi pengembangan model 3D yang detail, yang sangat

dibutuhkan oleh desainer produk untuk memvalidasi aspek visual dan konstruksi (Setiawan & Chalikh, 2020). Pendekatan ini diterapkan secara intensif dalam riset ini guna memastikan bahwa setiap dimensi pada sistem pengunci modular *keyboard* dapat berfungsi dengan presisi saat direalisasikan dalam bentuk fisik. Pada tahap ini, peneliti merancang bentuk dasar *casing*, letak lubang sekrup, ruang bagi komponen elektronik, serta mekanisme sistem modul yang dapat diganti. Model digital menjadi acuan untuk memeriksa kesesuaian ukuran dan bentuk sebelum diproduksi dalam bentuk fisik. *Prototyping* digital berperan penting karena mengurangi risiko kesalahan struktural sebelum proses cetak dilakukan (Lengua, 2017). Setelah model digital siap, prototipe fisik dicetak menggunakan printer 3D. Proses pencetakan menggunakan teknologi FDM dengan material PLA karena bahan ini mudah dicetak, biaya terjangkau, dan cukup kuat untuk kebutuhan uji awal.

Meskipun produk final mungkin menggunakan material seperti aluminium, penggunaan PLA dalam penelitian ini tetap relevan secara saintifik. Pemanfaatan teknologi cetak 3D dalam pengembangan perangkat haptik telah terbukti mampu mereplikasi persepsi taktil yang akurat melalui struktur fisik yang presisi (Borse et al, 2025). Karakteristik mekanis PLA memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi feedback haptik dan kenyamanan ergonomis secara nyata, karena material ini mampu menyalurkan gaya tekan jari dengan cara yang serupa dengan material yang lebih keras. Oleh karena itu, penggunaan PLA di tahap ini memberikan jaminan bahwa data kualitatif mengenai kenyamanan dan fungsi modular tetap valid untuk dijadikan acuan pengembangan produk selanjutnya.

Pada tahap ini, peneliti mengevaluasi ketepatan ukuran, kekuatan struktur *casing*, kecocokan komponennya, serta bagaimana modul dapat dipasang dan dilepas. *Rapid prototyping* memungkinkan peneliti memperbaiki desain secara cepat. Salah satu keunggulan metode ini adalah kemampuannya menghasilkan iterasi yang dapat diuji dalam hitungan hari (Chua & Leong, 2016). Setiap prototipe diperiksa secara menyeluruh. Misalnya, jika modul terlalu longgar, peneliti mengubah toleransi ukuran pada bagian soket. Jika bentuk *casing* terasa kurang stabil saat mengetik, ketebalan dinding diperkuat. Koreksi dilakukan berulang hingga bentuk prototipe mendekati desain yang dianggap paling representatif. Tahap iterasi ini penting karena membuat peneliti dapat menguji desain secara langsung sambil menemukan masalah yang tidak terlihat pada visualisasi digital.

Setelah prototipe dianggap cukup fungsional,

penelitian memasuki tahap *user experience testing*. Pada tahap ini, fokus beralih dari aspek teknis ke pengalaman pengguna. Partisipan dipilih dari tiga kelompok pengguna *keyboard mechanical*: pengguna pemula, pengguna reguler, dan kalangan *enthusiast* yang terbiasa memodifikasi *keyboard*. Keragaman ini dipilih agar peneliti dapat mengumpulkan sudut pandang yang berbeda terkait preferensi suara, rasa tombol, dan kenyamanan bentuk *casing*.

Setiap partisipan menjalani sesi pengujian dengan mengetik selama 20 hingga 30 menit menggunakan prototipe *keyboard* MEYKE A.01. Hal ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengamati respons motorik yang stabil setelah subjek melampaui masa penyesuaian terhadap tata letak *keyboard*. Mengacu pada prinsip pencapaian sinyal dan respon yang konstan dalam interaksi perangkat (Ajami et al, 2018), waktu tersebut memungkinkan munculnya umpan balik yang lebih objektif terkait kenyamanan jangka panjang dan efektivitas sistem modular. Data dikumpulkan melalui instrumen terstruktur yang terdiri dari tugas pengetikan spesifik, pencatatan observasi langsung, dan sesi tanya-jawab kualitatif untuk mengevaluasi fungsionalitas purwarupa. Selama pengujian, peneliti memperhatikan bagaimana pengguna meletakkan tangan, bagaimana mereka merespons suara ketikan, serta seberapa mudah mereka memahami mekanisme modul. Pengamatan langsung dilakukan untuk menangkap hal-hal spontan, misalnya komentar kecil mengenai ketinggian *keyboard* atau kesan awal terhadap suara *switch*. Pengamatan perilaku nyata pengguna sering kali memberikan informasi lebih kaya dibandingkan hanya bertanya secara lisan (Norman, 2016). Setelah sesi mengetik selesai, wawancara semi terstruktur dilakukan. Partisipan diminta menjelaskan kenyamanan tangan mereka, pendapat mengenai tampilan *keyboard*, kemudahan modularitas, serta bagian mana yang menurut mereka perlu diperbaiki. Dengan metode wawancara semi terstruktur, peserta diberi ruang bercerita lebih bebas namun tetap dalam konteks penelitian (Ginn & Munn, 2019). Komentar verbal ini menjadi bahan penting untuk memahami preferensi pengguna yang sifatnya sangat subjektif.

Tahap berikutnya adalah analisis data. Semua temuan dari observasi, komentar spontan, dan hasil wawancara dikumpulkan lalu dianalisis menggunakan pendekatan tematik. Beberapa tema yang muncul antara lain ergonomi, stabilitas modul, kenyamanan mengetik, hingga estetika tampilan. Temuan-temuan tersebut dibandingkan satu sama lain untuk melihat pola berulang atau ketidaksesuaian antar partisipan. Analisis tematik membantu peneliti menemukan inti

permasalahan dan menghasilkan interpretasi yang lebih terstruktur (Miles et al, 2014). Untuk memastikan keandalan hasil, penelitian menggunakan teknik triangulasi, yaitu membandingkan data dari berbagai sumber dan metode. Dengan cara ini, kesimpulan yang diperoleh tidak hanya berdasarkan satu jenis data, tetapi diverifikasi melalui kombinasi observasi, prototipe, dan wawancara. Triangulasi meningkatkan validitas temuan dan memperkuat dasar analitis penelitian.

3. Hasil dan pembahasan

Pengembangan *keyboard* modular MEYKE A.01 melalui pendekatan *rapid prototyping* menghasilkan serangkaian temuan yang memperlihatkan bagaimana iterasi cepat dapat memperbaiki desain dalam waktu singkat. Pada tahap awal, prototipe pertama yang diuji menunjukkan beberapa kelemahan yang cukup menonjol, terutama pada struktur *casing* dan sistem pengunci antar modul yang terlihat pada Gambar 3. Dimana ketika pengguna menekan tombol pada bagian sudut *keyboard*, modul sering bergeser atau menimbulkan celah kecil yang terasa mengganggu saat mengetik. Situasi ini memberi sinyal bahwa kekokohan desain belum optimal.

Masukan dari penguji yang terdiri dari pengguna *keyboard* mekanis dengan tingkat pengalaman berbeda menjadi kunci untuk mengarahkan perbaikan pada iterasi berikutnya. Sistem pengunci kemudian dirancang ulang dengan menambahkan mekanisme kontra *lock* dan mempertebal dinding modul. Setelah perubahan tersebut, stabilitas modul meningkat signifikan dan tidak lagi menimbulkan gerakan lateral yang mengganggu. Temuan ini memperlihatkan bagaimana proses iteratif memungkinkan identifikasi kelemahan fisik sejak tahap paling awal, sebelum desain masuk ke fase produksi lebih lanjut.

Pengalaman *tactile* dan preferensi *switch* pengguna

Salah satu keunggulan utama desain modular adalah kebebasan pengguna untuk mengatur sendiri kombinasi *switch* sesuai gaya mengetik mereka. Ketika prototipe diuji, peserta langsung menyoroti variasi sensasi tekan antar-*switch* yang digunakan dalam modul. Beberapa penguji mencoba kombinasi unik seperti yang terlihat pada Gambar 4, dimana *switch linear* digunakan pada area huruf yang membutuhkan kecepatan, *switch tactile* digunakan pada tombol fungsi seperti *Enter*, serta *switch clicky* pada area *keyboard* yang jarang digunakan.

Menariknya, mayoritas pengguna menunjukkan



Gambar 3. Prototipe pertama *keyboard* modular MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)



Gambar 4. Kombinasi beberapa *switch keyboard* modular MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

pola preferensi yang serupa mereka lebih nyaman jika tombol-tombol yang sering ditekan menggunakan *switch* yang ringan dan tidak terlalu berbunyi. Hal ini sejalan dengan gagasan Donald Norman yang menekankan pentingnya *user control* dalam desain interaktif, di mana pengguna merasa lebih puas ketika mereka dapat menyesuaikan bagian tertentu dari sistem sesuai kebiasaan (Norman, 2016). Umpan balik ini memperkuat pentingnya modularitas sebagai nilai tambah MEYKE A.01. Tidak hanya menghadirkan fleksibilitas teknis, tetapi juga menciptakan pengalaman mengetik yang benar-benar personal.

Perbaikan ergonomi dan sudut kemiringan

Isu ergonomi menjadi perhatian utama pada tahap pengujian awal. Banyak peserta menganggap sudut kemiringan versi pertama “terlalu datar”, sehingga

pergelangan tangan cepat terasa tegang setelah mengetik sekitar 15 sampai 20 menit. Kondisi ini mendorong tim pengembang untuk merancang ulang profil *keyboard* dengan menambahkan sudut kemiringan $6,5^\circ$ pada iterasi berikutnya, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Implementasi sudut baru ini kemudian divalidasi kembali melalui sesi uji coba lanjutan dengan durasi yang lebih panjang, yakni 20 hingga 30 menit per partisipan, guna memastikan stabilitas kenyamanan haptik dan meminimalisir risiko kelelahan otot pada penggunaan jangka panjang.

Ketika sudut baru diuji, sebagian besar pengguna melaporkan bahwa rasa lelah pada pergelangan tangan berkurang, dan posisi tangan terasa lebih alami. Temuan ini selaras dengan penelitian Robert Bridger yang menjelaskan bahwa sudut elevasi dan tinggi permukaan merupakan faktor penting untuk mengurangi ketegangan otot pada pengguna perangkat input (Bridger, 2017). Dengan demikian, penyesuaian ergonomi pada MEYKE A.01 bukan sekadar respons terhadap masukan pengguna, tetapi juga merupakan langkah yang konsisten dengan prinsip ergonomi moderen.



Gambar 5. Perbaikan ergonomi dan sudut kemiringan *keyboard* MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)



Gambar 6. Penambahan busa sebagai peredam pada *casing* *Keyboard* MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Pengendalian suara dan getaran

Responsivitas suara dan getaran juga menjadi aspek penting dalam pengembangan produk. Pada prototipe awal, beberapa pengguna mengeluhkan munculnya gema (*pinging*) yang terdengar setelah tombol ditekan. Suara ini muncul akibat ruang kosong di bawah *plate* dan *casing* yang terbuat dari bahan plastik. Sebagai respons, tim menambahkan material peredam berupa busa densitas tinggi pada bagian bawah *casing* yang dapat dilihat pada Gambar 6. Setelah modifikasi ini, suara ketikan terdengar lebih “penuh” dan tidak menimbulkan getaran berlebih. Uji coba lanjutan menunjukkan bahwa sebagian besar peserta menilai suara pada versi ketiga lebih halus dan cocok untuk digunakan di lingkungan kerja atau ruang publik.

Kualitas suara pada *keyboard* mekanik sangat dipengaruhi oleh kemampuan material interior dalam mengelola gelombang akustik. Penggunaan busa fleksibel (seperti silikon atau busa densitas tinggi lainnya) terbukti efektif dalam meningkatkan penyerapan suara karena karakteristik struktur selnya yang mampu mereduksi refleksi kebisingan (Abbad et al, 2018). Dalam pengembangan MEYKE A.01, penambahan peredam ini berfungsi untuk mengeliminasi gangguan suara berfrekuensi tinggi (gema), sehingga menghasilkan impresi suara yang lebih 'berat' dan 'padat'. Data ini memberikan pembenaran teknis bahwa pemilihan material damping bukan sekadar aspek estetika, melainkan kebutuhan teknis untuk mencapai stabilitas audio-taktil yang diinginkan pengguna.

Perbaikan ini memperlihatkan bagaimana *rapid prototyping* memberikan ruang eksperimen sensorik yang cepat dan efektif, terutama dalam aspek *audio-tactile* yang sering menjadi ciri pembeda *keyboard* mekanis berkualitas.

Penyesuaian layout dan jarak antar tombol

Selain tampilan fisik dan sensasi tekan, jarak antar tombol (*key spacing*) menjadi faktor yang cukup memengaruhi akurasi dan kenyamanan mengetik. Pengguna yang terbiasa dengan *layout* 75% menyampaikan bahwa jarak antar tombol pada prototipe pertama sedikit lebih rapat dari standar umum, sehingga memicu kesalahan tekan saat mengetik cepat.

Setelah dilakukan pengukuran ulang dan perbandingan dengan *layout* 75% modern, jarak horisontal dan vertikal disesuaikan agar mendekati standar *keyboard* mekanis komersial. Penyesuaian ini menghasilkan peningkatan akurasi pengguna saat mengetik, serta akurasi dalam bermain permainan video, hal ini sesuai dengan pendapat Chris Chalikh

yang menyatakan bahwa kenyamanan bermain adalah salah satu faktor dalam menghasilkan pengalaman pengguna yang baik dalam permainan (Chalik, 2024). Perbaikan *layout keyboard* ini juga mempercepat adaptasi pengguna baru. Hal ini sesuai dengan catatan Keren Nivasch dan Amos Azaria, yang menegaskan bahwa konsistensi *layout* adalah salah satu faktor yang paling memengaruhi kecepatan belajar dan efektivitas penggunaan *keyboard* (Nivasch & Azaria, 2023).

Desain final MEYKE A.01 menunjukkan harmoni antara bentuk fisik dan tata letak grafis. Kualitas sebuah karya desain sangat bergantung pada efektivitas komposisi visualnya dalam menjalin komunikasi dengan pengguna (Chalik & Atamtajani, 2023). Implementasi prinsip *layout* yang rapi pada sistem modular ini tidak hanya memberikan kesan profesional, tetapi juga mencerminkan ketelitian desain dalam memperhatikan detail terkecil yang memengaruhi persepsi kepuasan pengguna secara keseluruhan.

Evaluasi konektor dan stabilitas modul

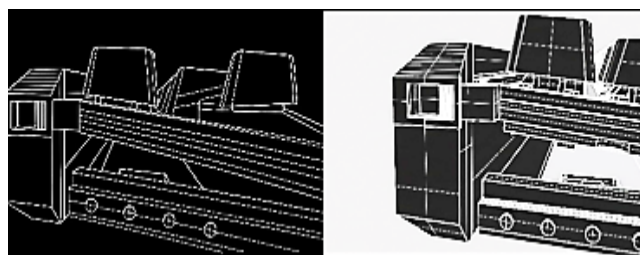
Uji coba konektor antar modul menunjukkan variasi hasil yang cukup drastis antara iterasi pertama dan iterasi berikutnya. Pada prototipe awal, modul sering terlepas atau longgar ketika pengguna mengetik dengan tekanan kuat. Ketika modul diuji menggunakan tekanan diagonal atau benturan kecil, hubungan antar modul tidak selalu stabil. Untuk mengatasi hal ini, tim menambah dua jalur pengunci tambahan dan memperkuat struktur modul dengan bahan yang lebih tebal seperti yang terlihat pada Gambar 7.

Hasil uji selanjutnya menunjukkan bahwa modul tidak lagi bergeser meskipun pengguna memberikan tekanan keras pada tombol sudut. Peningkatan ini sejalan dengan prinsip dalam literatur *rapid prototyping* yang menekankan pentingnya memvalidasi aspek struktural sejak tahap awal sebelum masuk ke fase produksi massal (Zivanovic et al., 2020).

Prototipe terakhir memperkenalkan mekanisme pemasangan modul yang lebih sederhana yang dapat dilihat pada Gambar 8. Jika pada versi awal pengguna harus menekan dengan kuat atau bahkan menggunakan alat kecil untuk melepaskan modul, pada versi terbaru modul dapat dipasang dan dilepas menggunakan tekanan ringan. Pengguna menyatakan bahwa perubahan ini membuat sistem modular terasa lebih intuitif dan tidak mengganggu alur kerja mereka. Hal ini sesuai dengan pandangan Bardzell dkk yang menyebutkan bahwa penyederhanaan interaksi dapat meningkatkan kenyamanan dan memperkecil beban kognitif pengguna (Bardzell et al, 2018). Dengan kata lain, semakin sedikit langkah atau usaha yang

diperlukan untuk mengoperasikan sistem, semakin tinggi tingkat kepuasan pengguna.

Bagian lain yang mendapat perhatian khusus adalah pemilihan warna untuk *casing* dan *keycaps*. Dalam tahapan ini, beberapa skema warna diuji melalui rendering digital dan *dummy keycaps* yang dicetak menggunakan printer 3D. Seperti yang tampak pada Gambar 9, pengguna diminta menilai kombinasi warna berdasarkan kesan visual, kenyamanan jangka panjang, dan kesesuaian tema dengan identitas MEYKE A.01.



Gambar 7. Penambahan busa sebagai peredam pada *casing Keyboard* MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)



Gambar 8. Perbaikan modul pada prototipe *casing Keyboard* MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)



Gambar 9. Skema pemilihan warna pada *Keyboard* MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)



Gambar 10. Hasil pengembangan Keyboard MEYKE A.01
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Mayoritas peserta memilih warna dasar putih gading yang dipadukan dengan *casing* hitam *matte*. Mereka berpendapat bahwa warna putih memberikan kesan bersih dan memudahkan visibilitas legenda tombol, sementara hitam *matte* memberikan kesan kokoh dan profesional. Secara psikologis, kombinasi warna netral memang dikenal sebagai pilihan paling aman ketika produk harus diterima oleh kelompok pengguna yang luas (Granger, 1955; Prasetya, 2007). Keterkaitan antara aspek estetika dan hasil manufaktur aditif menjadi poin krusial dalam validitas pengujian ini. Akurasi tekstur pada objek cetak 3D memainkan peran vital dalam membentuk pemahaman taktil dan visual pengguna terhadap sebuah produk (Barros et al, 2023). Pilihan warna hitam dengan *finishing matte* pada bagian *casing* bertujuan untuk menciptakan kualitas permukaan yang lebih profesional, di mana tekstur mikro dari printer 3D justru dimanfaatkan untuk memberikan kesan kokoh. Dengan demikian, preferensi warna yang muncul bukan merupakan kompensasi atas kekurangan prototipe, melainkan hasil dari persepsi sensorik yang matang terhadap interaksi antara material, warna, dan tekstur. Selain itu, pengguna menyampaikan bahwa warna dengan tingkat kontras tinggi lebih nyaman digunakan dalam waktu lama karena mengurangi usaha mata dalam mengenali tombol. Berdasarkan masukan tersebut, versi final produk menggunakan *keycaps* berwarna terang dengan legenda hitam dan *casing* gelap yang tidak memantulkan cahaya. Pemilihan warna ini bukan hanya didasarkan pada estetika, tetapi juga pada kenyamanan visual dan kebutuhan fungsional. Beberapa peserta mengusulkan varian warna khusus, seperti biru kelam atau abu-abu gelap, untuk pengguna yang ingin nuansa lebih personal. Namun, sebagian tetap menekankan bahwa identitas visual utama sebaiknya mempertahankan kesan profesional dan tidak terlalu mencolok. Keputusan akhir mengenai estetika visual MEYKE A.01 sangat dipengaruhi oleh

bagaimana warna memengaruhi emosi dan ekspektasi partisipan. Persepsi terhadap sebuah objek sangat bergantung pada bagaimana skema warna tersebut mengkomunikasikan nilai-nilai tertentu secara intuitif kepada pengguna (Ciotti, 2018). Proses evaluasi ini menegaskan bahwa preferensi warna juga berkaitan dengan emosi dan suasana hati pengguna, bukan sekadar dekorasi permukaan. Sebagaimana dijelaskan oleh Atamtajani dan Chalikh, proses penciptaan karya tidak dapat dilepaskan dari upaya desainer dalam menemukan gaya yang tepat agar produk memiliki daya tarik personal (Atamtajani & Chalikh, 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi antara teknik *rapid prototyping* dan pengujian pengalaman pengguna memberikan dampak yang sangat besar terhadap kualitas akhir MEYKE A.01. Setiap iterasi mengungkapkan isu baru yang tidak terdeteksi pada tahap sebelumnya, sehingga tim dapat melakukan perbaikan yang lebih terarah. Pendekatan ini juga mengurangi risiko kesalahan desain pada tahap akhir, sekaligus mempercepat waktu pengembangan. Dengan adanya umpan balik langsung dari pengguna, keputusan mengenai ergonomi, modularitas, pemilihan material, mekanisme pengunci, hingga skema warna dapat dilakukan secara lebih akurat. Dari seluruh temuan, terlihat dengan jelas bahwa produk ini semakin mendekati kebutuhan nyata pengguna secara bertahap. Dengan demikian, proses pengembangan MEYKE A.01 tidak hanya menunjukkan keberhasilan desain produk, tetapi juga membuktikan nilai strategis integrasi dua pendekatan tersebut *rapid prototyping* dan *user centered design* dalam menghasilkan inovasi perangkat input modern.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian terhadap pengembangan keyboard modular MEYKE A.01 menunjukkan bahwa integrasi antara *rapid prototyping* dan pengujian berbasis pengalaman pengguna mampu menghasilkan peningkatan desain yang signifikan pada setiap iterasi. Prototipe awal mengungkap berbagai kelemahan struktural, seperti sistem pengunci yang kurang stabil, celah antar modul, serta gema suara akibat ruang kosong pada *casing*. Identifikasi dini terhadap permasalahan tersebut memungkinkan proses perbaikan dilakukan secara cepat dan terukur, menghasilkan peningkatan stabilitas dan kualitas rakitan pada versi berikutnya.

Aspek *tactile* dan preferensi *switch* memperlihatkan pentingnya fleksibilitas modular. Pengguna menunjukkan pola preferensi yang konsisten, yakni

memilih *switch* ringan dan minim suara pada tombol yang sering digunakan. Hal ini memperkuat nilai modularitas sebagai fitur utama MEYKE A.01 dalam menciptakan pengalaman mengetik yang personal. Di sisi ergonomi, penyesuaian sudut kemiringan menjadi 6,5° terbukti mampu mengurangi ketegangan pergelangan tangan, menunjukkan bahwa desain yang responsif terhadap kenyamanan fisik pengguna dapat meningkatkan performa penggunaan jangka panjang.

Perbaikan pada akustik dan getaran, melalui penambahan material peredam, menghasilkan respons suara yang lebih halus dan stabil. Sementara itu, penyesuaian *layout* dan jarak antar tombol meningkatkan akurasi mengetik dan mempercepat adaptasi pengguna. Evaluasi konektor dan pengunci modul menunjukkan bahwa penguatan struktur dan mekanisme pemasangan ulang telah berhasil menghilangkan pergeseran modul saat digunakan dengan tekanan tinggi.

Penting untuk dicatat bahwa efektivitas integrasi metode dalam studi ini sangat bergantung pada jenis produk yang dikembangkan. Pendekatan ini memiliki relevansi tinggi pada perangkat elektronik yang berfungsi sebagai antarmuka fisik antara manusia dan mesin, di mana kenyamanan pengguna dalam menyelesaikan tugas menjadi parameter utama (Baldassarre et al., 2022). Di sisi lain, keterbatasan penggunaan material polimer pada printer 3D dalam mereplikasi sifat mekanik akhir produk massal tetap menjadi tantangan dalam generalisasi kekuatan struktur jangka panjang (Ligon et al., 2017). Batasan ini mengisyaratkan bahwa fokus utama riset ini adalah pada optimalisasi fase desain awal dan interaksi pengguna, bukan pada pengujian material final.

Pemilihan warna juga menjadi komponen penting dalam persepsi visual, di mana kombinasi warna netral dipandang sebagai opsi paling nyaman dan profesional. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan iteratif berbasis *rapid prototyping*, dipadukan dengan prinsip *user-centered design*, mampu menghasilkan produk yang lebih matang, ergonomis, stabil, dan sesuai dengan kebutuhan aktual pengguna. MEYKE A.01 berkembang melalui siklus umpan balik berkelanjutan sehingga mencapai kualitas desain yang adaptif dan fungsional.

Daftar pustaka

- Ajami, S., Mahnam, A., & Abootalebi, V. (2018). Development of a practical high frequency brain-computer interface based on steady-state visual evoked potentials using a single channel of EEG. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 38(1), 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2017.10.004>
- Atamtajani, A. S. M., & Chalik, C. (2024). *Personality for different designers: Temukan gaya, ciptakan karya*. Deepublish.
- Atamtajani, A. S. M., & Chalik, C. (2024). *Eksperimen Desain: Strategi Inovatif dalam Penelitian dan Pengembangan Produk*. Bandung: Tel-U Press.
- Baldassarre, A., Lulli, L. G., Cavallo, F., Fiorini, L., Mariniello, A., Mucci, N., & Arcangeli, G. (2022). Industrial exoskeletons from bench to field: Human-machine interface and user experience in occupational settings and tasks. *Frontiers in Public Health*, 10, 1039680. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1039680>
- Bardzell, J., Bardzell, S., & Blythe, M. (Eds.). (2018). *Critical theory and interaction design*. MIT Press.
- Barros, G., Correia, W., & Teixeira, J. M. (2023). Towards the effectiveness of 3D printing on tactile content creation for visually impaired users. *Polymers*, 15(9), 2180. <https://doi.org/10.3390/polym15092180>
- Borse, P., Gupta, S., & Kandasubramanian, B. (2025). Advancement in Haptic Devices Integrating 3D Printing. *Journal of Advanced Manufacturing and Processing*, 7(4), e70047. <https://doi.org/10.1002/amp2.70047>
- Boy, G. A. (2017). A human-centered design approach. In *The handbook of human-machine interaction* (pp. 1-20). CRC Press.
- Bridger, R. (2017). *Introduction to human factors and ergonomics*. CRC press.
- Chua, C. K., & Leong, K. F. (2016). 3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications. World Scientific
- Chalik, C., & Atamtajani, A. S. M. (2023). Descriptive analysis of graphic layout in interior design catalog. In *Sustainable Development in Creative Industries: Embracing Digital Culture for Humanities* (pp. 164-169). Routledge.
- Chalik, C., Atamtajani, A., & Andrianto. (2024). *Main Mainan Permainan Teori dan Praktik*. Tel-U Press.
- Ciotti, G. (2018, March). *The psychology of color in marketing and branding*.
- Ciotti, G. (2018, March). *The psychology of color in marketing and branding*.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Egorov, S. B., Kapitanov, A. V., Mitrofanov, V. G., Shvartsburg, L. E., Ivanova, N. A., & Ryabov, S. A. (2016). Modern Digital Manufacturing Technical Support Centers. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 11(7), 2213-2225. <https://www.iejme.com/article/modern-digital-manufacturing-technical-support-centers>
- Ginn, G. M., & Munn, S. L. (2019). Book Review: Interviews: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing.
- Goldstein, E. B. (2019). *Sensation and Perception* (11th ed.). Cengage Learning.
- Granger, G. W. (1955). An Experimental Study of Colour Preferences. *The Journal of General Psychology*, 52(1), 3-20. <https://doi.org/10.1080/00221309.1955.9918340>
- Hoyle, W. S., Bartha, M. C., Harper, C. A., & Peres, S. C. (2013). Low Profile Keyboard Design: The Effect of Physical Key Characteristics on Typing Productivity and User Preference. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), 1348-1352. <https://doi.org/10.1177/1541931213571297>
- Lengua, C. A. G. (2017). History of rapid prototyping. In *Rapid prototyping in cardiac disease: 3D Printing the Heart* (pp. 3-7). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53523-4_1
- Ligon, S. C., Liska, R., Stampfl, J., Gurr, M., & Mülhaupt, R. (2017). Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing. *Chemical reviews*, 117(15), 10212-10290. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00074>

- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*. SAGE.
- Nivasch, K., & Azaria, A. (2023). Keyboard layout optimization and adaptation. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 32(05), 2360002. <https://doi.org/10.1142/S0218213023600023>
- Norman, D. A. (2016). *Living with complexity*. MIT press.
- Pitale, A., & Bhumgara, A. (2019, November). Human computer interaction strategies—designing the user interface. In *2019 international conference on smart systems and inventive technology (ICSSIT)* (pp. 752-758). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSSIT46314.2019.8987819>
- Prasetya, R. D. (2007). Pengaruh komposisi warna pada ruang kerja terhadap stres kerja. *LINTAS RUANG: Jurnal Penelitian dan Perancangan Interior*, 1(1), 07-16. <https://doi.org/10.24821/lintas.v1i1.13>
- Setiawan, A. F., & Chalik, C. (2020). Rhinoceros Software as A Digital Modeling Development of 3D Products Case Study: Students' Digital Model Design of Product Design Department Telkom University. *Balong International Journal of Design*, 3(1). <https://doi.org/10.25134/balong.v3i1.5474>
- Son, B., & Park, J. (2018, October). Haptic feedback to the palm and fingers for improved tactile perception of large objects. In *Proceedings of the 31st annual ACM symposium on user interface software and technology* (pp. 757-763). <https://doi.org/10.1145/3242587.324265>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development*. McGraw-Hill.
- Zhang, X., Yu, Q., Zhao, C., Shi, D., Geng, M., Zheng, J., ... & Wang, P. (2024). Modular reverse design of acoustic metamaterial and sound barrier engineering applications: High ventilation and broadband sound insulation. *Thin-Walled Structures*, 196, 111498. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.111498>
- Zivanovic, S. T., Popovic, M. D., Vorkapic, N. M., Pjevic, M. D., & Slavkovic, N. R. (2020). An Overview of Rapid Prototyping Technologies using Subtractive, Additive and Formative Processes. *Fme Transactions*, 48(1). <https://doi.org/10.5937/fmet2001246Z>
