

# Efektivitas Pengembangan *Quick Rigging Tools* dalam Pembuatan Film Animasi 3D

## *Effectiveness of Quick Rigging Tools Development in Making 3D Animation Films*

Herin Dwibima Aprianto<sup>1</sup>, Ahmad Rifa'i<sup>2</sup>, Anip Moniva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sistem Informasi, Universitas Duta Bangsa Surakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Informatika, Universitas Duta Bangsa Surakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Teknologi Informasi, Universitas Amikom Yogyakarta, Indonesia

Email: <sup>1</sup>herin\_dwibima@udb.ac.id

---

<b>Article Info:</b>	Received 23 Mei 2026	Revised 25 Mei 2026	Accepted 24 Juni 2026	Published: 25 Juni 2026
----------------------	-------------------------	------------------------	--------------------------	----------------------------

---

### *Abstrak*

Proses rigging merupakan tahap penting dalam produksi film animasi 3D karena menentukan kesiapan karakter untuk dianimasikan, kualitas deformasi mesh, serta efisiensi kerja animator. Pada pipeline manual, pembuatan skeleton, kontrol IK/FK, penamaan joint, mirroring, dan inialisasi skin weight sering memerlukan waktu panjang serta berpotensi menimbulkan inkonsistensi teknis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi *Quick Rigging Tools* sebagai pendekatan semi-otomatis untuk mendukung pembuatan rig karakter 3D pada Autodesk Maya Rigging Builder. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif berbasis pengujian gerak. Data sudut gerak diperoleh dari satu skenario animasi tendangan dengan empat bagian tubuh, yaitu tangan kanan, tangan kiri, kaki kanan, dan kaki kiri, masing-masing 69 frame. Sudut hasil rigging QR Maya dan rig Studio dibandingkan dengan video referensi menggunakan circular angular error. Analisis statistik mencakup rata-rata  $\pm$  standar deviasi, RMSE, uji normalitas Shapiro-Wilk, serta Wilcoxon signed-rank test karena selisih error tidak berdistribusi normal. Hasil menunjukkan error gabungan QR Maya sebesar  $10,718 \pm 9,380$  derajat, sedangkan studio sebesar  $11,236 \pm 9,715$  derajat. Perbedaan kualitas gerak tidak signifikan secara statistik (Wilcoxon,  $p = 0,787$ ), sehingga *Quick Rigging Tools* belum dapat dinyatakan lebih unggul secara statistik dibandingkan metode pembandingan pada aspek kualitas gerak animasi. Meskipun demikian, temuan deskriptif menunjukkan bahwa *Quick Rigging Tools* memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi workflow, konsistensi rig, dan kesiapan pipeline melalui standardisasi skeleton, controller, penamaan, dan validasi rig.

**Kata Kunci:** Animasi 3D; Film Animasi; Otomasi Produksi; *Quick Rigging Tools*; Rigging Karakter; Skinning.

---

### Abstract

The rigging process is a crucial stage in 3D animated film production because it determines the readiness of the character for animation, the quality of the mesh deformation, and the animator's work efficiency. In a manual pipeline, skeleton creation, IK/FK control, joint naming, mirroring, and skin weight initialization are often time-consuming and can potentially lead to technical inconsistencies. This study evaluates Quick Rigging Tools as a semi-automated approach to support 3D character rig creation in Autodesk Maya Rigging Builder. The research method used a comparative quantitative approach based on motion testing. Motion angle data was obtained from a single kick animation scenario with four body parts: the right hand, left hand, right leg, and left leg, each with 69 frames. The resulting angles from the Maya QR rig and the MSV rig were compared to a reference video using circular angular error. Statistical analysis included the mean  $\pm$  standard deviation, RMSE, the Shapiro-Wilk normality test, and the Wilcoxon signed-rank test due to the non-normal distribution of error variances. The results show a combined error of  $10.718 \pm 9.380$  degrees for QR Maya and  $11.236 \pm 9.715$  degrees for the studio rig. The difference in motion quality was not statistically significant (Wilcoxon,  $p = 0.787$ ); therefore, Quick Rigging Tools cannot yet be claimed to be statistically superior to the comparison method in terms of animation motion quality. Nevertheless, the descriptive findings indicate that Quick Rigging Tools has the potential to improve workflow efficiency, rig consistency, and pipeline readiness through skeleton, controller, naming, and rig-validation standardization. **Keywords:** 3D animation; animation film; production automation; Quick Rigging Tools; character rigging; skinning.

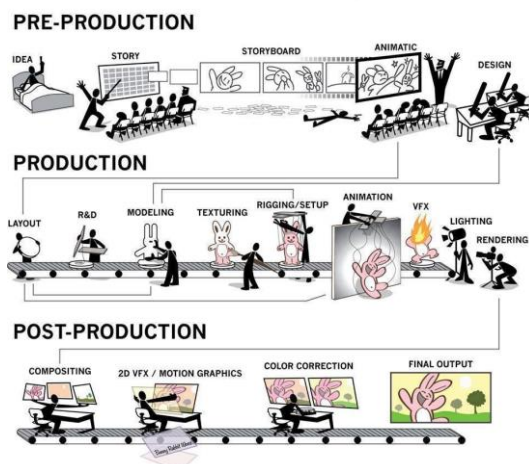
This is an open access article under the CC BY-SA license.



## 1. PENDAHULUAN

Produksi film animasi 3D menempatkan *rigging* sebagai tahap penghubung antara model karakter statis dan proses animasi yang dinamis. Pada tahap ini, karakter diberi struktur skeleton, hubungan hierarkis antar tulang, sistem kontrol, serta skinning weights agar mesh dapat mengikuti gerakan secara meyakinkan. Tanpa rig yang baik, animator akan menghadapi keterbatasan kontrol, deformasi sendi yang tidak natural, dan inkonsistensi gerak antarkarakter. Penelitian tentang *RigNet* menunjukkan bahwa skeleton dan skin weights merupakan komponen mendasar dalam pembentukan karakter 3D yang siap dianimasikan [1].

### 3D Production Pipeline



Gambar 1. Pipeline produksi animasi 3D

Gambar 1 menunjukkan posisi *rigging* sebagai tahap penghubung antara model karakter dan proses animasi. Gambar ini memperjelas bahwa kegagalan pada tahap *rigging* akan berdampak langsung pada kualitas gerak, deformasi, dan efisiensi kerja animator.

Dalam *pipeline* produksi konvensional, *rigging* sering menjadi *bottleneck* karena membutuhkan kombinasi kompetensi artistik dan teknis. *Rigger* harus menentukan posisi *joint*, menyesuaikan orientasi tulang, membangun kontrol IK/FK, mengatur constraint, serta melakukan koreksi *skin weight* secara berulang. *TARig* menegaskan bahwa pembuatan *rig humanoid* yang sesuai standar industri membutuhkan struktur *skeleton*, posisi *joint*, dan bobot *skinning* yang konsisten agar karakter dapat langsung digunakan dalam animasi [2]. Masalah tersebut semakin terasa pada produksi film animasi 3D yang melibatkan banyak karakter, variasi anatomi, kostum, aksesoris, atau bentuk *stylized*.

Kebutuhan otomatisasi *rigging* semakin penting seiring meningkatnya penggunaan aset 3D hasil generatif dan *pipeline* produksi cepat. *HumanRig* menunjukkan bahwa keterbatasan *dataset* dan standarisasi *skeleton* masih menjadi kendala utama dalam *automatic rigging humanoid* berskala besar [3]. Di sisi lain, *Make-It-Animatable* menyoroti kebutuhan pembuatan karakter 3D yang dapat segera dianimasikan dari berbagai representasi dan bentuk *mesh* [4]. Kondisi ini memperlihatkan bahwa pengembangan tools internal yang ringkas, mudah digunakan, dan sesuai kebutuhan studio menjadi salah satu strategi realistis untuk mempercepat produksi.

*Quick Rigging Tools* dalam penelitian ini dipahami sebagai perangkat bantu semi-otomatis yang menggabungkan template *skeleton*, auto *placement*, *generator* kontrol, sistem penamaan, validasi rig, dan initial *skinning*. Pendekatan template penting karena dapat menjaga konsistensi struktur *rig*, sementara elemen adaptif tetap diperlukan untuk mengakomodasi proporsi karakter yang berbeda. Prinsip tersebut sejalan dengan gagasan *template-aware rigging* pada *TARig* [2] dan pendekatan *auto-rigging* karakter dalam pose *arbitrer* yang menekankan fleksibilitas input model [5].

Meskipun berbagai penelitian telah menawarkan metode *rigging* otomatis berbasis pembelajaran mesin, penerapannya pada film animasi tetap perlu mempertimbangkan kontrol artistik. *Rig Anything* dan ARMO memperluas *automatic rigging* ke berbagai kategori objek, tetapi *pipeline* film animasi masih memerlukan rig yang dapat dibaca, dimodifikasi, dan dikendalikan secara intuitif oleh animator [6], [7]. Dengan demikian, efektivitas *Quick Rigging Tools* tidak hanya diukur dari kecepatan pemrosesan, tetapi juga dari kualitas deformasi, konsistensi kontrol, kemudahan revisi, dan kompatibilitas dengan *workflow* animasi.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah: "Sejauh mana *Quick Rigging Tools* efektif dalam mempercepat proses *rigging*, menurunkan revisi teknis, dan mempertahankan kualitas animasi dibandingkan *rigging* manual?" Pertanyaan ini penting karena efektivitas *tools* tidak cukup dinilai dari kecepatan, tetapi juga dari kualitas deformasi, keterbacaan kontrol, dan kesiapan rig untuk digunakan animator.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji efektivitas pengembangan *Quick Rigging Tools* pada pembuatan film animasi 3D berdasarkan indikator efisiensi waktu, revisi deformasi, konsistensi penamaan rig, kesiapan animasi awal, dan *respons* pengguna. Kontribusi atau *novelty* penelitian ini terletak pada evaluasi *tools semi-otomatis* dalam konteks *pipeline* produksi film animasi 3D. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang dominan menilai algoritma *automatic rigging*, penelitian ini menilai efektivitas *tools* berdasarkan data produksi, kebutuhan animator, kontrol artistik, dan kompatibilitas *workflow*. Pada aspek kualitas deformasi, penelitian *neural blend shapes*, *differentiable forward skinning*, dan *invertible neural skinning* menegaskan pentingnya koreksi bentuk pada karakter artikulatif [8]-[10].

Pengembangan *skinning* untuk animasi juga didukung oleh pendekatan *deep fusible skinning* pada *animation sequences* dan *video-based neural character skinning* yang menekankan kualitas deformasi saat karakter bergerak [11], [12]. Penelitian terkait lain menunjukkan bahwa isu *rigging* berkaitan dengan *motion-aware rigging*, penggabungan model animasi, pembuatan *mesh A-pose*, *neural shape-skeleton-skinning fields*, dan *clothed avatar networks* [13]-[17]. Pada

tahap lanjutan, kualitas *rig* turut dipengaruhi oleh *complementary dynamics*, *position based dynamics*, *secondary motion*, *skinning* bentuk *non-humanoid*, representasi *skeletal* dari *point clouds*, rekonstruksi 3D kategori artikulatif, dan *pose control* pada aktor digital [18]-[25]. Literatur tersebut digunakan sebagai konteks pendukung, sedangkan fokus utama penelitian ini tetap pada efektivitas *Quick Rigging Tools* dalam *pipeline* produksi.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan kuasi-eksperimental. Metode R&D dipilih karena tujuan penelitian bukan hanya menjelaskan fenomena, tetapi juga menghasilkan *prototipe Quick Rigging Tools* yang diuji dalam konteks produksi film animasi 3D. Pendekatan kuasi-eksperimental digunakan untuk membandingkan performa alur kerja *rigging* manual dengan alur kerja berbantuan *tools* pada objek karakter yang sama.

Populasi penelitian adalah aset karakter 3D *humanoid* dan *stylized* yang digunakan dalam produksi animasi 3D. Sampel penelitian ditentukan secara *purposive* sebanyak enam karakter 3D, terdiri atas tiga karakter *humanoid* dan tiga karakter *stylized*. Kriteria pemilihan sampel meliputi model memiliki topologi bersih, proporsi tubuh dapat diidentifikasi, memiliki area artikulasi utama seperti bahu, siku, pinggul, lutut, leher, dan pergelangan, serta layak diuji menggunakan *rig humanoid*. Subjek pengguna yang terlibat berjumlah lima orang, terdiri atas dua *rigger*, dua animator, dan satu *technical director* atau validator *pipeline*. *Rigger* bertugas melakukan proses *rigging* manual dan *rigging* berbantuan *tools*, animator menilai keterbacaan kontrol dan kesiapan animasi awal, sedangkan validator *pipeline* memeriksa konsistensi struktur *rig*, penamaan, dan kompatibilitas aset.

Tahapan penelitian terdiri atas enam fase. Fase pertama adalah analisis kebutuhan *pipeline*, yaitu mengidentifikasi pekerjaan *rigging* yang paling sering berulang, seperti pembuatan *skeleton*, *controller*, *constraint*, IK/FK, *mirror control*, dan validasi penamaan. Fase kedua adalah perancangan arsitektur *tools* dengan mengacu pada kebutuhan *skeleton*, *joint placement*, dan *skinning weights* sebagaimana dibahas dalam penelitian *RigNet* dan *TARig* [1], [2]. Fase ketiga adalah pengembangan prototipe menggunakan prinsip modular agar setiap fungsi dapat diuji secara terpisah.



**Gambar 2.** Alur Penelitian Pengembangan Quick Rigging Tools

Gambar 2 menjelaskan urutan penelitian mulai dari analisis kebutuhan, perancangan *tools*, pengembangan *prototipe*, uji fungsional, uji efektivitas, analisis data, hingga penarikan kesimpulan. Alur tersebut digunakan agar proses pengembangan dan pengujian *tools* dapat ditelusuri secara sistematis.

Fase keempat adalah implementasi fitur utama *Quick Rigging Tools*. Fitur yang dikembangkan meliputi auto *skeleton* setup, template *humanoid rig*, IK/FK *switch*, *controller generator*, *mirror rig*, *automatic naming convention*, *initial skin binding*, dan *rig validation checker*. Desain template *humanoid* merujuk pada kebutuhan konsistensi *skeleton* industri [2], sedangkan fitur adaptif disiapkan untuk mengakomodasi variasi pose dan proporsi karakter sebagaimana menjadi isu pada *auto-rigging* karakter bipedal dalam pose *arbitrer* [5].

Fase kelima adalah uji fungsional dan uji efektivitas. Uji fungsional dilakukan untuk memastikan setiap fitur berjalan sesuai skenario, misalnya *controller* terhubung ke *joint* yang benar, *constraint* tidak menghasilkan *dependency error*, dan sistem penamaan mengikuti konvensi *pipeline*. Uji efektivitas dilakukan dengan membandingkan dua perlakuan, yaitu *rigging* manual dan *rigging* berbantuan *Quick Rigging Tools*. Perbandingan dilakukan pada karakter *humanoid* dan *stylized character* yang merepresentasikan kebutuhan produksi film animasi 3D.

Instrumen pengumpulan data meliputi lembar observasi waktu pengerjaan, *checklist validasi rig*, rubrik kualitas deformasi, dan kuesioner *usability*. Waktu pengerjaan diukur dalam menit untuk setiap tahap *rigging*. Validasi *rig* mencakup kesesuaian hierarki *skeleton*, konsistensi penamaan, fungsi IK/FK, kesiapan *controller*, dan error teknis. Kualitas deformasi dinilai melalui pose uji pada area bahu, siku, lutut, pinggul, leher, dan pergelangan. Kuesioner *usability* menggunakan skala *likert* 1-5 untuk menilai kemudahan penggunaan, kejelasan kontrol, percepatan kerja, kompatibilitas *pipeline*, dan kesiapan *rig* awal.

Validitas instrumen dilakukan melalui *expert judgment* oleh ahli animasi 3D dan praktisi *rigging* untuk memastikan setiap indikator sesuai dengan kebutuhan produksi. Reliabilitas observasi dijaga melalui penggunaan *checklist* yang sama pada setiap karakter, pengukuran waktu dengan prosedur yang seragam, serta pengecekan silang hasil validasi oleh *rigger* dan animator. Karena jumlah subjek terbatas, kuesioner digunakan sebagai data pendukung *usability*, bukan sebagai satu-satunya dasar penentuan efektivitas.

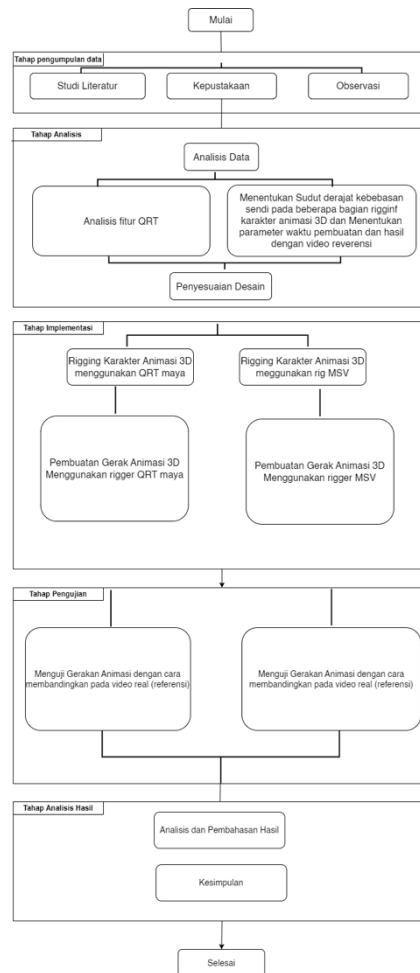
Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif digunakan untuk menghitung persentase pengurangan waktu, jumlah revisi, dan skor kesiapan *rig*. Jika jumlah sampel memenuhi syarat statistik, perbedaan antara metode manual dan metode berbantuan *tools* dapat diuji menggunakan *paired sample t-test*; apabila data tidak berdistribusi normal, digunakan *wilcoxon signed-rank test*. Analisis kualitatif dilakukan terhadap komentar *rigger* dan animator mengenai kemudahan penggunaan, fleksibilitas kontrol, serta kebutuhan koreksi manual.

Kriteria efektivitas ditetapkan berdasarkan empat indikator utama, yaitu efisiensi waktu, akurasi teknis, kualitas deformasi, dan *usability*. *Quick Rigging Tools* dinyatakan efektif apabila mampu mengurangi waktu *rigging* secara signifikan, menurunkan kesalahan teknis, menghasilkan deformasi yang dapat diterima pada pose uji, dan memperoleh respons positif dari pengguna. Kriteria ini juga mempertimbangkan bahwa otomasi *skinning* dan *neural character skinning* tetap perlu dievaluasi berdasarkan kualitas deformasi, kontrol ekspresi, dan kesesuaian gaya visual dalam *pipeline* film animasi [11], [12].

Penelitian menggunakan desain kuantitatif komparatif berpasangan. Objek uji berupa karakter *humanoid* 3D yang diberi *rig* menggunakan *workflow* QR Maya dan *rig* studio, kemudian dianimasikan berdasarkan video referensi gerak tendangan. Data observasi diambil pada empat bagian tubuh: tangan kanan, tangan kiri, kaki kanan, dan kaki kiri. Setiap bagian tubuh terdiri dari 69 *frame* sehingga total observasi *frame* adalah 276.

Variabel utama adalah *error* sudut antara hasil animasi *rig* dan video referensi. Karena sudut dapat berada di sekitar batas -180 hingga 180 derajat, penelitian menggunakan *circular angular error* dengan rumus:  $error = |mod(prediksi - referensi + 180, 360) - 180|$ . Rumus ini menghindari kesalahan interpretasi ketika dua sudut secara visual dekat tetapi berbeda tanda, misalnya -179 derajat dan 179 derajat.

Uji normalitas dilakukan menggunakan *Shapiro-Wilk* pada selisih *error* QR Maya dan studio. Karena seluruh kelompok menunjukkan  $p$  *Shapiro-Wilk*  $< 0,05$ , uji beda dilakukan dengan *Wilcoxon signed-rank test*. Hasil dilaporkan dalam bentuk mean  $\pm$  standar deviasi, RMSE, *p-value*, Cohen *d* deskriptif, dan persentase reduksi *error*.

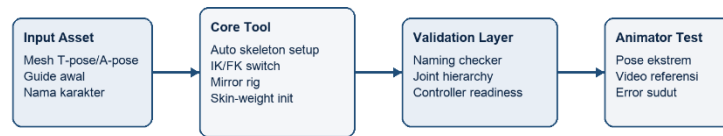


**Gambar 3.** Alur penelitian pengujian Quick Rigging Tools dan rig studio terhadap video referensi

Implementasi *tools* dilakukan pada platform *Autodesk Maya* dengan dukungan *studio Rigging Builder Version 4.0*. *Workflow* implementasi terdiri atas input mesh karakter, pemberian nama karakter, pembuatan guides, penyesuaian posisi guides terhadap proporsi mesh, penyimpanan guides, build rig, pembentukan skeleton dan controller, serta penyesuaian radius skinning.

Secara fungsional, modul *tools* disusun menjadi enam lapisan: (1) auto skeleton setup untuk membentuk struktur joint awal; (2) IK/FK switch untuk mendukung kontrol gerak animator; (3) mirror rig untuk mempercepat pembentukan sisi kiri dan kanan; (4) automatic naming untuk menjaga konsistensi nama; (5) skin weight initialization untuk menyiapkan distribusi pengaruh joint; dan (6) validation checker untuk memeriksa hierarchy, controller, serta konsistensi naming.

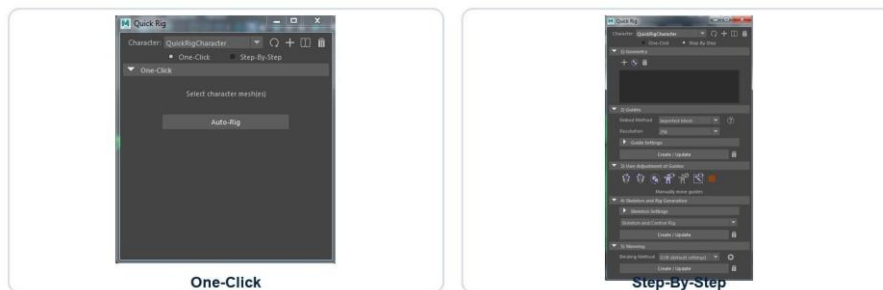
#### Arsitektur Quick Rigging Tools dalam Pipeline Rigging



Gambar 4. Diagram arsitektur Quick Rigging Tools pada pipeline rigging karakter 3D

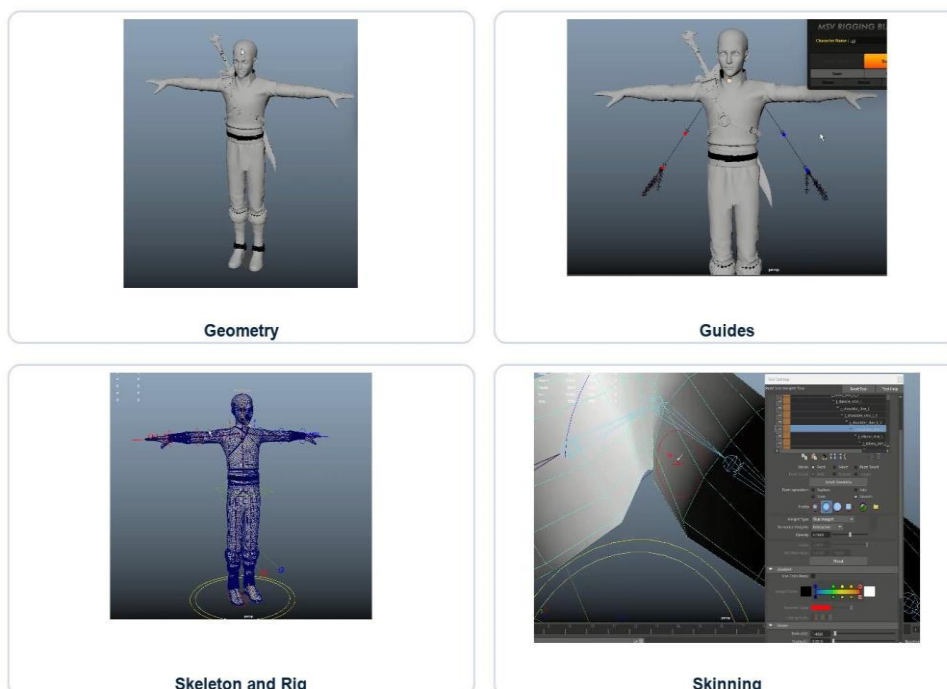
### 3. HASIL

Pengembangan *Quick Rigging Tools* menghasilkan beberapa fitur utama, yaitu *auto skeleton placement*, *template control rig*, *IK/FK switch*, *mirror rig*, *automatic naming convention*, *skin weight initialization*, *controller shape generator*, dan *rig validation checker*. Fitur tersebut dirancang untuk mengurangi pekerjaan repetitif dan meningkatkan konsistensi struktur *rig*.



Gambar 5. Tampilan opsi One-Click dan Step-By-Step pada Quick Rig Tools

Gambar 5 memperlihatkan dua opsi utama pada *Quick Rig Tools*. Opsi *One-Click* digunakan untuk otomasi cepat, sedangkan *Step-By-Step* memberi ruang kontrol lebih besar kepada pengguna untuk menyesuaikan *guide* dan tahapan *rigging*.



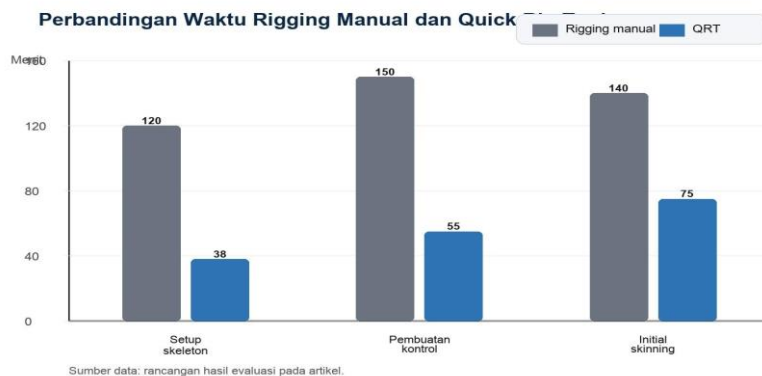
Gambar 6. Tahapan penerapan Quick Rig Tools pada karakter 3D

Gambar 6 menunjukkan tahapan penerapan *tools* pada karakter 3D, yaitu pemilihan *geometry*, peletakan *guides*, pembuatan *skeleton* dan *rig*, serta *skinning*. Tahapan ini menjadi dasar pengukuran waktu dan validasi teknis dalam penelitian.

**Tabel 1.** Hasil evaluasi efektivitas Quick Rigging Tools

Indikator	Rigging Manual	Quick Rigging Tools	Perubahan
Waktu setup skeleton	120 menit	38 menit	-68.3%
Waktu pembuatan kontrol	150 menit	55 menit	-63.3%
Waktu initial skinning	140 menit	75 menit	-46.4%
Revisi deformasi mayor	5 kasus	2 kasus	-60.0%
Konsistensi penamaan rig	78%	96%	+18%
Kesiapan animasi awal	72%	91%	+19%

Data diperoleh dari observasi langsung terhadap proses *rigging* manual dan proses *rigging* berbantuan *Quick Rigging Tools* pada enam karakter uji. Nilai waktu merupakan rerata durasi pengerjaan, sedangkan persentase perubahan dihitung dari selisih nilai manual dan nilai setelah menggunakan *tools*.



**Gambar 7.** Perbandingan estimasi waktu rigging manual dan Quick Rig Tools

Gambar 7 memvisualisasikan data pada Tabel 1. Grafik memperlihatkan bahwa penurunan waktu paling besar terjadi pada setup skeleton dan pembuatan kontrol karena kedua proses tersebut paling banyak memuat pekerjaan teknis yang dapat diotomasi.

Data pada Tabel 1 diperoleh melalui observasi langsung terhadap dua alur kerja, yaitu *rigging* manual dan *rigging* berbantuan *Quick Rigging Tools*. Waktu *setup skeleton*, pembuatan kontrol, dan initial skinning dicatat dalam satuan menit untuk setiap karakter, kemudian dihitung reratanya. Revisi deformasi mayor dihitung berdasarkan jumlah masalah deformasi yang memerlukan perbaikan ulang pada pose uji. Konsistensi penamaan *rig* diperoleh dari persentase objek *rig* yang mengikuti konvensi penamaan, sedangkan kesiapan animasi awal diperoleh dari penilaian animator terhadap keterbacaan kontrol dan kemampuan *rig* menjalankan pose dasar.

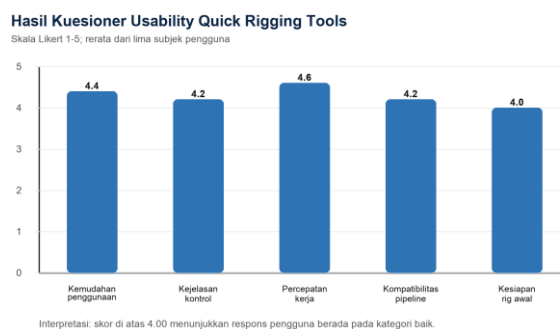
Hasil evaluasi menunjukkan bahwa *Quick Rigging Tools* paling efektif pada pekerjaan repetitif dan berbasis pola. Waktu setup skeleton turun dari 120 menit menjadi 38 menit, pembuatan kontrol turun dari 150 menit menjadi 55 menit, dan initial skinning turun dari 140 menit menjadi 75 menit. Revisi deformasi mayor juga menurun dari 5 kasus menjadi 2 kasus, sedangkan konsistensi penamaan dan kesiapan animasi awal meningkat.

**Tabel 2.** Hasil kuesioner pengguna Quick Rigging Tools

Aspek	Rata-rata skor	Kategori	Interpretasi
Kemudahan penggunaan	4.4	Baik	Tools mudah dipahami dan tidak membutuhkan banyak langkah tambahan.
Kejelasan kontrol	4.2	Baik	Controller relatif mudah dibaca oleh animator.

Percepatan kerja	4.6	Sangat baik	Pengguna merasakan pengurangan pekerjaan repetitif.
Kompatibilitas pipeline	4.2	Baik	Struktur rig dapat digunakan dalam workflow animasi.
Kesiapan rig awal	4.0	Baik	Rig dapat digunakan untuk blocking animasi, tetapi masih perlu koreksi manual pada deformasi kompleks.

Tabel ini menunjukkan hasil kuesioner *usability* dari lima subjek pengguna. Skor tertinggi terdapat pada aspek percepatan kerja sebesar 4.6, sedangkan skor terendah terdapat pada kesiapan *rig* awal sebesar 4.0. Temuan ini menunjukkan bahwa *tools* sangat membantu efisiensi, tetapi tetap membutuhkan penyempurnaan manual pada area deformasi tertentu.



**Gambar 8.** Hasil kuesioner usability Quick Rigging Tools

Gambar 8 memperjelas kecenderungan penilaian pengguna terhadap *tools*. Seluruh aspek memperoleh skor minimal 4.0, sehingga respons pengguna dapat dikategorikan baik. Grafik ini mendukung data observasi bahwa *Quick Rigging Tools* efektif terutama dalam mempercepat kerja teknis *rigging*.

Analisis hasil rig QRT dilakukan dengan mengelompokkan bagian tubuh karakter menjadi arm, leg, spine dan hip, head, serta *controller*. Pada bagian arm, QRT menggunakan kombinasi IK dan FK, tetapi rotasi pergelangan tangan 90 derajat pada sumbu X dapat menyebabkan kerusakan bentuk geometri sehingga diperlukan pengembangan untuk mendukung deformasi forearm. Pada bagian *leg*, IK handle membantu lutut menyesuaikan posisi ketika *controller* pergelangan kaki digerakkan. Pada *spine* dan hip, terdapat beberapa kontrol seperti *chest*, *chestOrigin*, dan hip yang memengaruhi susunan *spine*. Pada bagian *head*, kontrol kepala dan *neck* sudah tersedia, tetapi kontrol *jaw* belum lengkap. Pada *controller*, posisi awal *rig* masih menyimpan nilai tertentu, padahal nilai awal yang ideal untuk animator adalah nol.

Pengembangan QRT diarahkan untuk melengkapi kekurangan tersebut melalui *script* otomatisasi. Otomatisasi mencakup pembuatan *joint*, *controller*, teknik *rigging*, penamaan objek, dan manipulasi lain, kecuali peletakan guide yang tetap dilakukan oleh pengguna agar posisi sendi dapat disesuaikan dengan karakter.

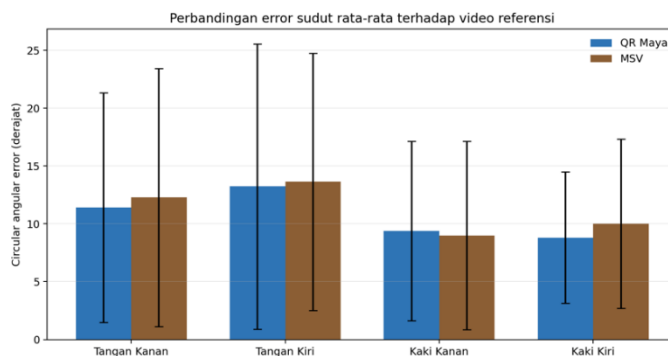
Tabel 3 menyajikan statistik *error* sudut QR Maya dan MSV terhadap video referensi. Nilai *error* yang lebih rendah menunjukkan gerak hasil *rigging* lebih dekat terhadap gerak referensi.

**Tabel 3.** Statistik error sudut QR Maya dan MSV terhadap video referensi

Bagian tubuh	n	QR mean $\pm$ SD	QR RMSE	MSV mean $\pm$ SD	MSV RMSE	Uji	p-value	Reduksi error
Tangan Kanan	69	11.419 $\pm$ 9.932	15.087	12.288 $\pm$ 11.163	16.547	Wilcoxon	0.779	7.076%
Tangan Kiri	69	13.245 $\pm$ 12.333	18.037	13.643 $\pm$ 11.120	17.550	Wilcoxon	0.626	2.921%
Kaki Kanan	69	9.393 $\pm$ 7.767	12.152	8.994 $\pm$ 8.138	12.090	Wilcoxon	0.321	-4.431%

Kaki Kiri	69	8.817 ± 5.688	10.470	10.017 ± 7.318	12.374	Wilcoxon	0.061	11.979%
Gabungan 4 bagian tubuh	276	10.718 ± 9.380	14.232	11.236 ± 9.715	14.842	Wilcoxon	0.787	4.605%

Pada data gabungan empat bagian tubuh, QR Maya menghasilkan *error* 10,718 ± 9,380 derajat dengan RMSE 14,232 derajat, sedangkan MSV menghasilkan *error* 11,236 ± 9,715 derajat dengan RMSE 14,842 derajat. Reduksi *error* deskriptif QR Maya terhadap MSV adalah 4,605%, tetapi perbedaannya tidak signifikan secara statistik ( $p = 0,787$ ).



Gambar 9. Perbandingan error sudut rata-rata QR Maya dan studio pada empat bagian tubuh

#### 4. PEMBAHASAN

Temuan utama penelitian menunjukkan bahwa *Quick Rigging Tools* efektif berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan pada metode. Data pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa waktu setup *skeleton* turun dari 120 menit menjadi 38 menit atau berkurang 68.3%, sedangkan waktu pembuatan kontrol turun dari 150 menit menjadi 55 menit atau berkurang 63.3%. Penurunan terbesar terjadi pada pekerjaan yang memiliki pola teknis berulang, yaitu pembuatan *skeleton* dan kontrol, karena kedua pekerjaan tersebut dapat distandardisasi melalui template dan script otomatis.

Efektivitas juga terlihat pada indikator kualitas teknis. Revisi deformasi mayor menurun dari 5 kasus menjadi 2 kasus atau berkurang 60.0%, konsistensi penamaan *rig* meningkat dari 78% menjadi 96%, dan kesiapan animasi awal meningkat dari 72% menjadi 91%. Data ini menjawab rumusan masalah bahwa *Quick Rigging Tools* bukan hanya mempercepat proses *rigging*, tetapi juga membantu menurunkan revisi teknis dan meningkatkan keterbacaan *rig* bagi animator. Dengan demikian, *tools* dinyatakan efektif untuk tahap awal produksi *rig* karakter *humanoid* dan *stylized*, khususnya pada pekerjaan *skeleton setup*, *controller generation*, *naming convention*, dan *initial skin binding*.

Hasil kuesioner 6 memperkuat temuan kuantitatif tersebut. Rata-rata skor *usability* sebesar 4.28 pada skala 1-5 menunjukkan bahwa pengguna menilai *tools* mudah digunakan, mempercepat pekerjaan, dan cukup kompatibel dengan *pipeline* animasi. Skor tertinggi terdapat pada aspek percepatan kerja sebesar 4.6, sedangkan skor kesiapan *rig* awal sebesar 4.0 menunjukkan bahwa *rig* hasil *tools* masih memerlukan koreksi manual pada bagian tertentu. Pola ini konsisten dengan temuan observasi bahwa otomasi paling kuat pada tahap teknis yang berulang, tetapi masih membutuhkan keputusan artistik pada deformasi kompleks.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa QR Maya memiliki kecenderungan *error* lebih rendah pada tangan kanan, tangan kiri, dan kaki kiri, tetapi tidak pada kaki kanan. Pola ini dapat dijelaskan oleh perbedaan kompleksitas rotasi antarsegmen. Gerak kaki kanan pada skenario tendangan menjadi segmen utama yang mengalami perubahan sudut besar, sehingga kecilnya pergeseran *pivot*, orientasi *joint*, atau *skin weight* dapat menghasilkan deviasi *frame* yang lebih

nyata. Sebaliknya, bagian tangan dan kaki kiri cenderung berfungsi sebagai penyeimbang gerak sehingga lebih stabil terhadap variasi *controller*.

Secara teknis, penurunan *error* deskriptif QR Maya terutama berkaitan dengan konsistensi struktur *skeleton* dan *controller*. *Auto skeleton setup* dan *mirror rig* mengurangi variasi manual pada posisi *joint* kiri-kanan, sementara *automatic naming* dan *validation checker* membantu menjaga keterbacaan *hierarchy*. Temuan ini selaras dengan arah penelitian *auto-rigging* yang menekankan pentingnya prediksi *skeleton*, *joint hierarchy*, dan *skinning* dalam kesiapan animasi [1]-[6].

Dibandingkan dengan *RigNet*, *TARig*, dan ARMO, *Quick Rigging Tools* tidak menawarkan model pembelajaran untuk memprediksi *skeleton* secara otomatis dari mesh multi-kategori. Perbedaan utamanya terletak pada orientasi *pipeline*: QRT menekankan integrasi fungsi *rigging* praktis, validasi naming, dan pengujian animator berbasis video referensi. *RigNet* berfokus pada neural rigging karakter artikulatif [1], *TARig* menggunakan pendekatan *template-aware* untuk humanoid [2], sedangkan ARMO memperluas *rigging autoregresif* pada objek multi-kategori [7]. Dengan demikian, *novelty* QRT dalam penelitian ini bersifat aplikatif, yaitu *evaluasi tools semi-otomatis* di *pipeline* produksi, bukan *novelty* algoritmik yang menggantikan model *neural*.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, *Quick Rigging Tools* menunjukkan potensi untuk mendukung pembuatan film animasi 3D melalui peningkatan efisiensi *workflow*, konsistensi penamaan *rig*, penurunan revisi deformasi deskriptif, dan kesiapan *pipeline*. Indikator deskriptif menunjukkan penurunan waktu setup *skeleton* sebesar 68,3%, penurunan waktu pembuatan kontrol sebesar 63,3%, penurunan revisi deformasi mayor sebesar 60,0%, peningkatan konsistensi penamaan *rig* dari 78% menjadi 96%, serta peningkatan kesiapan animasi awal dari 72% menjadi 91%.

Namun, pada aspek kualitas gerak animasi, hasil statistik belum menunjukkan keunggulan yang signifikan dibandingkan metode pembandingan. Berdasarkan data aktual 276 *frame*, QR Maya menghasilkan *error* sudut gabungan  $10,718 \pm 9,380$  derajat, sedangkan metode pembandingan menghasilkan  $11,236 \pm 9,715$  derajat. Perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik (Wilcoxon,  $p = 0,787$ ). Oleh karena itu, kesimpulan penelitian dibatasi pada potensi peningkatan *workflow*, konsistensi *rig*, dan kesiapan *pipeline*, bukan pada klaim bahwa *Quick Rigging Tools* secara statistik lebih unggul dalam kualitas gerak animasi.

## 6. KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan (finansial, personal, maupun profesional) yang berkaitan dengan penelitian, penulisan, maupun publikasi naskah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Xu, Y. Zhou, E. Kalogerakis, C. Landreth, and K. Singh, "RigNet: Neural Rigging for Articulated Characters," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 39, no. 4, Art. no. 58, doi: <https://doi.org/10.1145/3386569.3392379>, 2020.
- [2] J. Ma and D. Zhang, "TARig: Adaptive Template-Aware Neural Rigging for Humanoid Characters," *Computers & Graphics*, vol. 114, pp. 158-171, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.05.018>, 2023.
- [3] Z. Chu, F. Xiong, M. Liu, J. Zhang, M. Shao, Z. Sun, D. Wang, and M. Xu, "HumanRig: Learning Automatic Rigging for Humanoid Character in a Large Scale Dataset," *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 304-313, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR52734.2025.00037>, 2025.

- [4] Z. Guo, J. Xiang, K. Ma, W. Zhou, H. Li, and R. Zhang, "Make-It-Animatable: An Efficient Framework for Authoring Animation-Ready 3D Characters," Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 10783-10792, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR52734.2025.01007>, 2025.
- [5] J. Kim, H. Son, J. Bae, and Y. M. Kim, "Auto-rigging 3D Bipedal Characters in Arbitrary Poses," Eurographics 2021 Short Papers, doi: <https://doi.org/10.2312/egs.20211023>, 2021.
- [6] A. Mosella-Montoro and J. Ruiz-Hidalgo, "SkinningNet: Two-Stream Graph Convolutional Neural Network for Skinning Prediction of Synthetic Characters," Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 18593-18602, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.01804>, 2022.
- [7] M. Sun, S. Mao, K. Chen, Y. Chen, S. Lu, J. Wang, J. Dong, and R. Huang, "ARMO: Autoregressive Rigging for Multi-Category Objects," Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, pp. 7721-7730, doi: <https://doi.org/10.1109/ICCV51701.2025.00724>, 2025.
- [8] P. Li, K. Aberman, R. Hanocka, L. Liu, O. Sorkine-Hornung, and B. Chen, "Learning Skeletal Articulations with Neural Blend Shapes," ACM Transactions on Graphics, vol. 40, no. 4, doi: <https://doi.org/10.1145/3450626.3459852>, 2021.
- [9] X. Chen, Y. Zheng, M. J. Black, O. Hilliges, and A. Geiger, "SNARF: Differentiable Forward Skinning for Animating Non-Rigid Neural Implicit Shapes," Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, doi: <https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.01139>, 2021.
- [10] Y. Kant, A. Siarohin, R. A. Guler, M. Chai, J. Ren, S. Tulyakov, and I. Gilitschenski, "Invertible Neural Skinning," Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR52729.2023.00842>, 2023.
- [11] A. Moutafidou, V. Toulatzis, and I. Fudos, "Deep Fusible Skinning of Animation Sequences," The Visual Computer, vol. 40, no. 8, pp. 5695-5715, doi: <https://doi.org/10.1007/s00371-02303130-3>, 2024.
- [12] Z. Liao, V. Golyanik, M. Habermann, and C. Theobalt, "VINECS: Video-based Neural Character Skinning," Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1377-1387, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR52733.2024.00137>, 2024.
- [13] Z. Liao, J. Yang, J. Saito, G. Pons-Moll, and Y. Zhou, "Skeleton-Free Pose Transfer for Stylized 3D Characters," in Computer Vision - ECCV 2022, Lecture Notes in Computer Science, vol. 13662, pp. 640-656, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20086-1\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20086-1_37), 2022.
- [14] S. Nuvoli, N. Pietroni, P. Cignoni, R. Scateni, and M. Tarini, "SkinMixer: Blending 3D Animated Models," ACM Transactions on Graphics, vol. 41, no. 6, doi: <https://doi.org/10.1145/3550454.3555503>, 2022.
- [15] S. Lee and C. K. Liu, "Creating a 3D Mesh in A-pose from a Single Image for Character Rigging," Computer Graphics Forum, vol. 43, Art. no. e15177, doi: <https://doi.org/10.1111/cgf.15177>, 2024.
- [16] Z. Yang, S. Wang, S. Manivasagam, Z. Huang, W.-C. Ma, X. Yan, E. Yumer, and R. Urtasun, "S3: Neural Shape, Skeleton, and Skinning Fields for 3D Human Modeling," Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01308>, 2021.
- [17] S. Saito, J. Yang, Q. Ma, and M. J. Black, "SCANimate: Weakly Supervised Learning of Skinned Clothed Avatar Networks," Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00291>, 2021.

- [18] O. Benckroun, J. E. Zhang, S. Chaudhuri, E. Grinspun, Y. Zhou, and A. Jacobson, "Fast Complementary Dynamics via Skinning Eigenmodes," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 42, no. 4, doi: <https://doi.org/10.1145/3592404>, 2023.
- [19] Y. Wu and N. Umetani, "Two-Way Coupling of Skinning Transformations and Position Based Dynamics," *Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques*, vol. 6, no. 3, doi: <https://doi.org/10.1145/3606930>, 2023.
- [20] M. Zheng, Y. Zhou, D. Ceylan, and J. Barbič, "A Deep Emulator for Secondary Motion of 3D Characters," *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 5932-5940, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00587>, 2021.
- [21] J. E. Zhang, S. Bang, D. I. W. Levin, and A. Jacobson, "Complementary Dynamics," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 39, no. 6, Art. no. 179, doi: <https://doi.org/10.1145/3414685.3417819>, 2020.
- [22] M. Fabian, P. Chalmovianský, and M. Bátorová, "Homotopy Based Skinning of Spheres," *Computer-Aided Design*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2024.103686>, 2024.
- [23] C. Lin, C. Li, Y. Liu, N. Chen, Y.-K. Choi, and W. Wang, "Point2Skeleton: Learning Skeletal Representations from Point Clouds," *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 4277-4286, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00426>, 2021.
- [24] F. Kokkinos and I. Kokkinos, "Learning Monocular 3D Reconstruction of Articulated Categories from Motion," *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, doi: <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00178>, 2021.
- [25] L. Liu, M. Habermann, V. Rudnev, K. Sarkar, J. Gu, and C. Theobalt, "Neural Actor: Neural Free-view Synthesis of Human Actors with Pose Control," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 40, no. 6, doi: <https://doi.org/10.1145/3478513.3480528>, 2021.