

ỨNG DỤNG MÔ PHÒNG SỰ KIỆN RỜI RẠC ĐỂ PHÂN TÍCH ĐIỂM NGHẼN VÀ CÂN BẰNG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT MAY: NGHIÊN CỨU TÌNH HUỐNG TẠI MỘT HỘ KINH DOANH Ở THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

● LÊ THỊ NGỌC LAN

Khoa Kỹ thuật và Quản lý Công nghiệp,
Trường Đại học Văn Lang, Thành phố Hồ Chí Minh
Email: lan.ltn@vlu.edu.vn

TÓM TẮT:

Nghiên cứu ứng dụng phương pháp mô phỏng sự kiện rời rạc để phân tích hiệu quả vận hành và xác định nút thắt cổ chai trong dây chuyền sản xuất may tại một hộ kinh doanh nhỏ trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh. Dữ liệu thời gian xử lý tại 18 công đoạn được thu thập thực địa, làm sạch bằng Boxplot và mô hình hóa phân phối đầu vào bằng Input Analyzer. Kết quả mô phỏng xác định công đoạn may quai túi áo là nút thắt chính, gây ùn ứ hàng chờ và mất cân bằng trong dây chuyền. Hai phương án cải tiến, gồm bổ sung thợ chuyên trách và phân công kiêm nhiệm, được kiểm nghiệm thông qua mô phỏng và đều cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc giảm tồn đọng, nâng cao mức độ sử dụng nguồn lực. Nghiên cứu minh chứng mô phỏng là công cụ hỗ trợ ra quyết định phù hợp cho các cơ sở sản xuất may quy mô nhỏ.

Từ khóa: mô phỏng sự kiện rời rạc, AnyLogic, nút thắt cổ chai, cân bằng dây chuyền, sản xuất may mặc.

1. Đặt vấn đề

Dệt may là một trong những ngành xuất khẩu chủ lực của Việt Nam, với kim ngạch ước đạt 46 tỷ USD vào năm 2025 và tạo việc làm cho hơn 2,5 triệu lao động (VITAS, 2025). Tuy nhiên, các cơ sở may quy mô nhỏ phải đối mặt với nhiều thách thức vận hành xuất phát từ đặc trưng của dây chuyền may: các công đoạn liên tục và phụ thuộc lẫn nhau, khiến bất kỳ sự chậm trễ cục bộ nào cũng kéo theo

ùn ứ hàng chờ và làm giảm năng suất của toàn hệ thống. Các nghiên cứu về hệ thống sản xuất cho thấy mất cân bằng dây chuyền, thời gian chờ tích lũy và phân bổ lao động chưa hợp lý là những nguyên nhân quan trọng làm giảm năng suất, gia tăng chi phí vận hành và ảnh hưởng đến tiến độ giao hàng (Banks et al., 2010; Law, 2015). Thực trạng này cũng được ghi nhận trong ngành dệt may Việt Nam (VITAS, 2025).

Mô phỏng sự kiện rời rạc (DES) là công cụ được ứng dụng rộng rãi để phân tích các hệ thống sản xuất phức tạp, cho phép đánh giá và thử nghiệm cải tiến trong môi trường ảo mà không gián đoạn sản xuất thực tế (Banks et al., 2010; Law, 2015). Trong lĩnh vực may mặc, nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của phương pháp này: từ việc xây dựng mô hình DES từ dữ liệu thời gian thực (Jung et al., 2022), cân bằng chuyền trong điều kiện thời gian gia công ngẫu nhiên (Bongomin et al., 2020), đến việc cải thiện năng suất tại nhà máy quy mô vừa (Yemane et al., 2020). Các ứng dụng phần mềm cũng được ghi nhận tích cực, với Arena giúp sản lượng dây chuyền may áo polo tăng từ 288 lên 381 sản phẩm và hiệu suất chuyền tăng từ 39,06% lên 55,64% (Teshome et al., 2024); trong khi đó, AnyLogic được xác nhận là nền tảng hiệu quả để kiểm nghiệm các kịch bản cải tiến trong điều kiện nhu cầu biến động (Rahman et al., 2023).

Mặc dù DES đã được ứng dụng rộng rãi trong các nhà máy may quy mô vừa và lớn (Bongomin et al., 2020; Teshome et al., 2024; Rahman et al., 2023), các nghiên cứu tập trung vào hộ kinh doanh hoặc cơ sở may quy mô nhỏ vẫn còn hạn chế, đặc biệt trong bối cảnh Việt Nam. Do đặc điểm nguồn lực hạn chế và cơ cấu lao động linh hoạt, kết quả từ các nhà máy quy mô lớn khó có thể áp dụng trực tiếp cho nhóm đối tượng này. Hơn nữa, quan sát thủ công không đủ để định lượng chính xác vị trí và mức độ ảnh hưởng của nút thắt cổ chai đối với toàn bộ hệ thống. Đây là khoảng trống mà nghiên cứu này hướng đến, nhằm lấp đầy bằng cách xây dựng mô hình DES trên AnyLogic (AnyLogic Company, 2023) cho dây chuyền 18 công đoạn tại một hộ kinh doanh may ở Thành phố Hồ Chí Minh. Dữ liệu thời gian xử lý được thu thập tại thực địa, làm sạch bằng Boxplot và mô hình hóa phân phối đầu vào bằng Input Analyzer (Kelton et al., 2015). Với kịch bản cơ sở, nghiên cứu xác định bottleneck (nút thắt cổ chai) chính, đề xuất và đánh giá 2 phương án cải tiến thông qua mô phỏng thực nghiệm nhằm hỗ trợ ra quyết định mà không gây gián đoạn sản xuất (Kim & Kim, 2023).

2. Tổng quan tài liệu

2.1. Mô phỏng sự kiện rời rạc

Mô phỏng sự kiện rời rạc (DES) là phương pháp mô phỏng trong đó trạng thái của hệ thống chỉ thay đổi tại các thời điểm xảy ra các sự kiện cụ thể như entity đến, bắt đầu xử lý hoặc rời khỏi hệ thống (Banks et al., 2010; Law, 2015). Phương pháp này phù hợp với các hệ thống sản xuất có dòng công việc liên tục, hàng chờ và nguồn lực hữu hạn, cho phép phân tích các hiện tượng như thời gian chờ, mức độ sử dụng nguồn lực và sự hình thành nút thắt cổ chai mà không cần can thiệp vào hệ thống thực tế (Banks et al., 2010; Law, 2015). AnyLogic là phần mềm mô phỏng đa phương pháp hỗ trợ DES, mô phỏng hệ động lực và mô phỏng đa tác tử trong cùng một môi trường, đặc biệt phù hợp với các bài toán sản xuất và logistics có cấu trúc phức tạp (AnyLogic Company, 2023).

2.2. Cân bằng dây chuyền và phân tích bottleneck

Cân bằng dây chuyền là quá trình phân bổ công việc và nguồn lực hợp lý giữa các công đoạn nhằm tối thiểu hóa thời gian chờ, giảm tồn đọng bán thành phẩm và nâng cao năng suất tổng thể (Bongomin et al., 2020). Trong hệ thống sản xuất nhiều công đoạn, bottleneck là công đoạn có năng lực xử lý thấp nhất so với tốc độ đầu vào, quyết định sản lượng đầu ra của toàn hệ thống. Lý thuyết hàng chờ cung cấp các chỉ tiêu định lượng như hệ số sử dụng (ρ), chiều dài hàng đợi trung bình (L_q) và thời gian chờ trung bình (W_q) để đánh giá mức độ tắc nghẽn và hỗ trợ lựa chọn phương án cải tiến (Banks et al., 2010; Law, 2015). Tuy nhiên, các mô hình lý thuyết thường dựa trên nhiều giả định lý tưởng và khó phản ánh đầy đủ sự biến động thực tế; vì vậy, mô phỏng được sử dụng để bổ sung cho phân tích lý thuyết trong các hệ thống phức tạp (Kelton et al., 2015).

2.3. Tổng quan các nghiên cứu liên quan

Các nghiên cứu ứng dụng DES trong sản xuất may mặc đã được công bố ngày càng nhiều trong những năm gần đây. Jung et al. (2022) xây dựng mô hình DES từ dữ liệu thời gian thực thu thập trực tiếp từ máy may, cho kết quả dự báo chính xác hơn 18,8% so với phương pháp truyền thống. Bongomin

et al. (2020) đề xuất phương pháp cân bằng chuyền kết hợp tối ưu hóa dựa trên mô phỏng cho dây chuyền lắp ráp quần phức tạp gồm 69 trạm, khẳng định DES là công cụ phù hợp để xử lý bài toán cân bằng chuyền trong điều kiện thời gian gia công ngẫu nhiên. Yemane et al. (2020) cải thiện năng suất dây chuyền may tại một nhà máy quy mô vừa thông qua việc kết hợp cân bằng chuyền thủ công và mô phỏng, ghi nhận mức tăng đáng kể về hiệu quả sử dụng nguồn lực. Kim & Kim (2023) chứng minh việc phân công đồng thời công việc và lao động trên dây chuyền lắp ráp áo sơ mi có thể rút ngắn đáng kể tổng thời gian sản xuất. Teshome et al. (2024) ứng dụng Arena cho dây chuyền may áo polo, ghi nhận sản lượng tăng từ 288 lên 381 sản phẩm và hiệu suất chuyền tăng từ 39,06% lên 55,64%. Rahman et al. (2023) ứng dụng AnyLogic cho ngành may mặc thành phẩm và xác nhận đây là nền tảng hiệu quả để kiểm nghiệm các kịch bản cải tiến trong điều kiện nhu cầu thị trường biến động.

Nhìn chung, các công trình trên cho thấy DES là công cụ đáng tin cậy để phân tích bottleneck và đánh giá các phương án cải tiến dây chuyền may. Tuy nhiên, phần lớn tập trung vào các nhà máy quy mô lớn hoặc trung bình ở các nước phát triển. Nghiên cứu ứng dụng cho hộ kinh doanh may nhỏ tại Việt Nam vẫn còn rất hạn chế. Khoảng trống này là cơ sở để nghiên cứu hiện tại triển khai mô hình DES bằng AnyLogic cho bối cảnh cụ thể của ngành may quy mô nhỏ tại Thành phố Hồ Chí Minh (AnyLogic Company, 2023).

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Quy trình nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp mô phỏng sự kiện rời rạc (DES) để tái hiện và phân tích dây chuyền sản xuất may (Banks et al., 2010; Law, 2015), đồng thời triển khai mô hình trên nền tảng AnyLogic (AnyLogic Company, 2023). Phương pháp này phù hợp với đặc điểm của xưởng may, nơi sản phẩm đi qua nhiều công đoạn liên tiếp với thời gian xử lý ngẫu nhiên, nguồn lực hữu hạn và dễ phát sinh xếp hàng cục bộ (Law, 2015). Quy trình được thực hiện theo bảy bước liên tiếp, có cơ chế phản hồi giữa bước thu

thập dữ liệu và bước kiểm tra cỡ mẫu nhằm đảm bảo tính đầy đủ của dữ liệu đầu vào.

Cụ thể, Bước 1 xác định 18 công đoạn cân mô phỏng thông qua khảo sát trực tiếp tại xưởng, từ thời điểm nguyên vật liệu xuất kho đến khi sản phẩm hoàn tất và được đóng gói. Bước 2 ghi nhận thời gian bắt đầu và kết thúc tại từng công đoạn trong nhiều ca sản xuất, với số mẫu dao động từ 19 đến hơn 100 quan sát tùy công đoạn. Bước 3: làm sạch dữ liệu bằng phương pháp Boxplot theo ngưỡng $Q1 - 1,5 \times IQR$ và $Q3 + 1,5 \times IQR$ (Kelton et al., 2015). Bước 4: kiểm tra cỡ mẫu; nếu chưa đủ điều kiện thống kê thì quay lại Bước 2. Bước 5: đưa dữ liệu vào Input Analyzer để xác định phân phối xác suất phù hợp cho từng công đoạn (Kelton et al., 2015). Bước 6: xây dựng và chạy mô hình DES trên AnyLogic. Bước 7: kiểm tra logic mô hình bằng cách đối chiếu kết quả mô phỏng với số liệu thực tế; mô hình chỉ được đưa vào phân tích khi đã xác nhận hoạt động đúng.

3.2. Hệ thống nghiên cứu

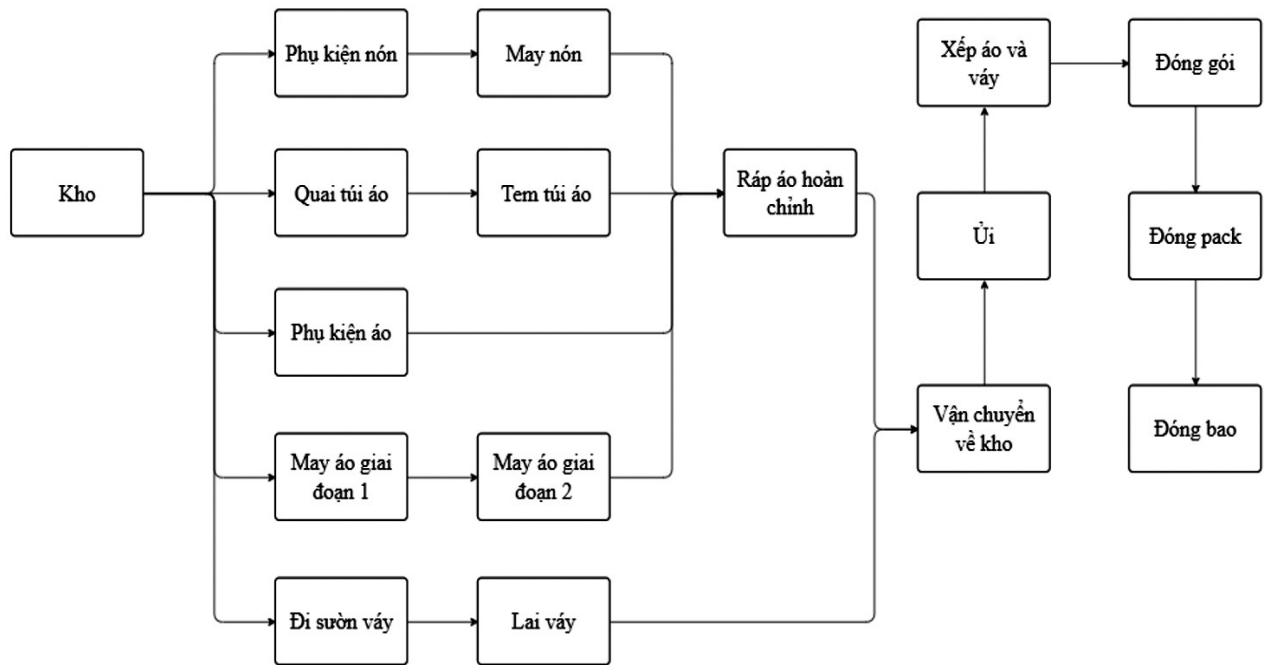
Đối tượng nghiên cứu là dây chuyền sản xuất bộ áo váy kèm nón tại một hộ kinh doanh nhỏ ở TP. Hồ Chí Minh. Từ kho nguyên liệu, dòng vật liệu được phân thành 5 nhánh gia công song song gồm nón, túi áo, phụ kiện áo, thân áo và váy, trước khi hội tụ tại công đoạn ráp áo hoàn chỉnh và đi vào chuỗi hoàn thiện. Luồng tổng quát của hệ thống như sau:

Kho $\rightarrow$ [5 nhánh song song] $\rightarrow$ Ráp áo hoàn chỉnh $\rightarrow$ Vận chuyển về kho $\rightarrow$ Ủi $\rightarrow$ Xếp $\rightarrow$ Bỏ vào bì $\rightarrow$ Đóng pack $\rightarrow$ Đóng bao

3.3. Mô hình hóa dữ liệu đầu vào và kiểm định mô hình

Sau khi làm sạch bằng Boxplot, dữ liệu được đưa vào Input Analyzer để xác định phân phối xác suất (Kelton et al., 2015). Kết quả cho thấy, các công đoạn tuân theo nhiều dạng phân phối khác nhau, phản ánh đặc tính vận hành đa dạng của từng trạm.

Trước khi đưa vào phân tích, mô hình được kiểm tra bằng cách so sánh sản lượng lý thuyết với sản lượng thực tế thu được từ mô phỏng. Kết quả cho thấy, sai lệch giữa 2 giá trị không đáng kể ở tất cả các công đoạn, qua đó xác nhận mô hình phản ánh đúng logic vận hành của hệ thống thực tế.

Hình 1: Hệ thống thực tế

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Kết quả kịch bản cơ sở

Kết quả kịch bản cơ sở cho thấy, dây chuyền mất cân bằng rõ rệt: một nhóm công đoạn như tem túi áo, phụ kiện áo, may áo giai đoạn 2, sườn váy và lai váy chỉ đạt utilization từ 29% đến 60%, trong khi phụ kiện nón, ráp áo hoàn chỉnh và xe về kho vận hành liên tục ở mức 95% đến 100%.

Bottleneck chính là công đoạn quai túi áo: 4.238 sản phẩm đầu vào nhưng chỉ 3.452 sản phẩm đầu ra, tồn đọng 786 sản phẩm với utilization gần 100%. Nguyên nhân là thời gian xử lý theo phân phối Gamma (khoảng 40 giây/sản phẩm) không đủ để đáp ứng tốc độ đầu vào từ nhánh túi áo, dẫn đến hàng chờ tích lũy và làm mất cân đối nguồn chi tiết tại công đoạn gom, khiến toàn bộ nhánh áo bị chậm trước khi vào ráp áo hoàn chỉnh. Công đoạn phụ kiện nón cũng chịu áp lực với khoảng 390 sản phẩm tồn đọng; ráp áo hoàn chỉnh đạt 99% và 90% utilization ở hai thợ, năng lực dự phòng gần như cạn kiệt; xe về kho đạt 95%, tiềm ẩn nguy cơ trở thành điểm giới hạn đầu ra. Ngược lại, đóng pack đạt khoảng 13% và đóng bao đạt khoảng 6% utilization, hoàn toàn không phải bottleneck.

4.2. Phương án thực nghiệm 1: Bổ sung thêm một thợ tại công đoạn quai túi áo

Phương án 1 bổ sung thêm một thợ chuyên trách tại công đoạn quai túi áo, nâng tổng số thợ tại đây lên 2 người, đồng thời điều chỉnh capacity của khối Seize và Delay tương ứng trong mô hình. Thời gian xử lý của thợ mới được giả định tương đương với thời gian xử lý của thợ cũ.

Kết quả mô phỏng sau khi áp dụng cho thấy sự cải thiện rõ rệt: đầu vào công đoạn quai túi áo đạt 4.151 sản phẩm, đầu ra đạt 4.140 sản phẩm, chênh lệch giảm từ 786 xuống chỉ còn 11 sản phẩm. 2 thợ tại công đoạn này đạt utilization lần lượt khoảng 59% và 58%, tải công việc được phân bổ đều, không còn tình trạng quá tải. Hàng chờ tại đây chỉ còn khoảng 8 sản phẩm vào thời điểm quan sát.

Tác động tích cực còn lan tỏa sang công đoạn phía sau: tem túi áo đạt đầu ra 4.140 sản phẩm, dòng bán thành phẩm đi vào khu vực gom trở nên ổn định và liên tục hơn so với kịch bản cơ sở. Tuy nhiên, sau khi bottleneck tại quai túi áo được tháo gỡ, điểm nghẽn mới xuất hiện tại ráp áo hoàn chỉnh (chuyên 1), do công đoạn này vốn đã vận hành ở mức utilization gần 100%.

4.3. Phương án thực nghiệm 2: Phân công kiêm nhiệm

Phương án 2 không bổ sung nhân công mới mà chỉ điều chỉnh phân bổ nguồn lực hiện có: thợ tem túi áo được phép hỗ trợ công đoạn quai túi áo khi rảnh, được thiết lập trong AnyLogic bằng cách cho khối Seize tại quai túi áo chấp nhận cả hai nguồn lực thay thế cho nhau. Thời gian xử lý của thợ tem khi hỗ trợ được giả định là tương đương thợ quai.

Kết quả mô phỏng cho thấy, công đoạn quai túi áo được cải thiện: đầu vào và đầu ra đều đạt 4.067 sản phẩm, hàng chờ bằng 0, utilization của thợ quai giảm xuống 68%. Điều này xác nhận phương án điều phối linh hoạt nguồn lực có thể giải tỏa bottleneck mà không phát sinh chi phí tuyển dụng.

Tuy nhiên, tác động ngược chiều xuất hiện tại công đoạn tem túi áo: utilization của thợ tem tăng từ khoảng 34% lên 85%; công đoạn này ghi nhận 4.067 sản phẩm đầu vào nhưng chỉ 4.026 sản phẩm đầu ra, còn 39 sản phẩm tồn trong hàng chờ. Áp lực chuyển dịch từ quai túi áo sang tem túi áo vẫn chưa được giải quyết triệt để. Tại khu vực gom bán thành phẩm, đầu ra đạt khoảng 3.613 sản phẩm, nhưng một số hàng chờ vẫn còn tồn lại, đặc biệt tại Chờ 3 và Chờ 4, cho thấy sự mất cân đối giữa các nhánh chi tiết chưa được giải quyết triệt để.

4.4. Thảo luận

Cả 2 phương án đều giải quyết được bottleneck tại quai túi áo, song có sự đánh đổi rõ rệt. Phương án 1 mang lại hiệu quả toàn diện hơn: hàng chờ giảm 98,6%, dòng chảy nhánh áo thông suốt và áp lực không

bị chuyển sang các công đoạn khác. Phương án 2 không phát sinh chi phí nhân công mới nhưng chỉ dịch chuyển một phần vấn đề, utilization của thợ tem túi áo tăng từ 34% lên 85% và phát sinh 39 sản phẩm tồn trong hàng chờ, phù hợp với nhận định của Yemane et al. (2020) rằng việc điều phối nguồn lực chéo cần được theo dõi tác động lan tỏa sang các công đoạn lân cận.

Kết quả nghiên cứu nhất quán với các công trình quốc tế: Teshome et al. (2024) và Bongomin et al. (2020) đều chỉ ra, bottleneck tại công đoạn đơn lẻ là nguyên nhân chính làm giảm hiệu suất dây chuyền may, và thời gian gia công ngẫu nhiên đòi hỏi phân tích mô phỏng thay vì tính toán tĩnh. Kết quả này cũng bổ sung bằng chứng thực nghiệm cho nhận định của Rahman et al. (2023) về hiệu quả của AnyLogic trong việc tối ưu hóa dây chuyền may quy mô vừa và nhỏ. Đóng góp nổi bật của bài báo là cung cấp bằng chứng thực nghiệm trong bối cảnh hộ kinh doanh may nhỏ ở Việt Nam, một phân khúc còn ít được nghiên cứu, với dây chuyền 18 công đoạn cấu trúc 5 nhánh song song, qua đó cho thấy DES hoàn toàn khả thi và thiết thực ở quy mô này.

Về giới hạn, mô hình chưa tính đến các yếu tố ngẫu nhiên như lỗi sản phẩm, máy hỏng, công nhân nghỉ đột xuất hay biến động đơn hàng theo mùa vụ; giả định thợ kiêm nhiệm có năng suất tương đương thợ chuyên trách (Phương án 2) cũng cần được kiểm chứng thực tế. Các hướng mở rộng tiếp theo bao gồm bổ sung các yếu tố trên vào mô hình, xem xét phương án cân bằng lại toàn bộ chuyền và triển khai kiểm chứng trực tiếp tại xưởng ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Hiệp hội Dệt May Việt Nam (VITAS). (2025). Báo cáo hoạt động sản xuất và xuất khẩu ngành dệt may Việt Nam năm 2019-2025. VITAS.
- AnyLogic Company. (2023). AnyLogic simulation software documentation. <https://www.anylogic.com>
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). Discrete-event system simulation (5th ed.). Pearson Education.
- Bongomin, O., Mwasiagi, J. I., Nganyi, E. O., & Nibikora, I. (2020). A complex garment assembly line balancing using simulation-based optimization. Engineering Reports, 2(11), e12258. <https://doi.org/10.1002/eng2.12258>
- Jung, W. K., Kim, H., Park, Y. C., Lee, J. W., & Suh, E. S. (2022). Real-time data-driven discrete-event simulation for garment production lines. Production Planning & Control, 33(5), 480–491. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1830194>

- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Zupick, N. B. (2015). *Simulation with Arena* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Kim, M., & Kim, S. (2023). Effects of step-by-step line balancing in apparel assembly line. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 18. <https://doi.org/10.1177/15589250231191196>
- Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Rahman, S. M. A., Rahman, M., Tseng, B., & Kamal, T. (2023). A simulation-based approach for line balancing under demand uncertainty in production environment. In *Proceedings of the 2023 Winter Simulation Conference (WSC)*. <https://doi.org/10.1109/WSC60868.2023.10408105>
- Teshome, M. M., Meles, T. Y., & Yang, C. (2024). Productivity improvement through assembly line balancing by using simulation modeling in case of Abay Garment Industry Gondar. *Heliyon*, 10(1), e23585. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23585>
- Yemane, A., Gebremicheal, G., Meraha, T., & Hailemicheal, M. (2020). Productivity improvement through line balancing by using simulation modeling (Case study: Almeda Garment Factory). *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 13(1), 153–165. <https://doi.org/10.22094/JOIE.2019.567816.1565>

Ngày nhận bài: 12/5/2026

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 26/5/2026

Ngày chấp nhận đăng bài: 11/6/2026

APPLICATION OF DISCRETE-EVENT SIMULATION TO ANALYZE BOTTLENECKS AND IMPROVE PRODUCTION LINE BALANCING IN GARMENT MANUFACTURING: A CASE STUDY OF A SMALL-SCALE ENTERPRISE IN HO CHI MINH CITY

● LE THI NGOC LAN

Faculty of Engineering and Industrial Management, Van Lang University

Email: lan.ltn@vlu.edu.vn

ABSTRACT:

This study applies discrete-event simulation to analyze operational efficiency and identify bottlenecks in a garment production line at a small-scale enterprise in Ho Chi Minh City. Processing time data from 18 operations were collected, cleaned using Boxplot, and modeled using Input Analyzer. The simulation results identify the pocket strap sewing process as the main bottleneck, causing congestion and imbalance in the production line. Two improvement scenarios, adding specialized workers and task reassignment, were tested and both significantly reduced work-in-progress inventory and improved resource utilization. The study demonstrates that simulation is an effective decision-support tool for small-scale manufacturing systems.

Keywords: discrete-event simulation, AnyLogic, bottleneck, line balancing, garment production.