

Optimalisasi Parameter Laminating Pada Kartu Bank Menggunakan Metode Taguchi

Iqbal Kurniawan¹, Tri Ngudi Wiyatno², Fibi Eko Putra³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

Jl. Inspeksi Kalimalang No.9, Cibatu, Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530

Email: iqbal62528@gmail.com, tringudi@pelitabangsa.ac.id, fibi@pelitabangsa.ac.id

ABSTRAK

Proses laminating merupakan tahapan krusial dalam produksi kartu bank di PT. XYZ, di mana ketidakstabilan parameter proses sering kali memicu timbulnya produk cacat seperti delaminasi dan gelembung udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter proses laminating guna menurunkan persentase cacat dan meningkatkan kualitas produk serta efisiensi produksi menggunakan metode Taguchi. Faktor-faktor yang diuji dalam penelitian ini meliputi temperatur, tekanan, dan waktu laminasi. Berdasarkan hasil analisis nilai rata-rata dan Signal to Noise Ratio (S/N Ratio), ditemukan bahwa temperatur merupakan faktor yang paling dominan mempengaruhi kualitas hasil laminating dengan nilai delta sebesar 6,66. Kombinasi parameter optimum yang direkomendasikan adalah A3B2C1, yang merepresentasikan pengaturan temperatur 150°C, tekanan 40 Bar, dan waktu laminasi 15 menit. Pada kondisi temperatur 150°C, ikatan antar lapisan PVC menjadi lebih sempurna, sementara tekanan 40 Bar memberikan distribusi tekanan yang merata tanpa mendegradasi material, dan waktu 15 menit mampu mencegah pemanasan berlebih (overheating). Implementasi kombinasi parameter optimal ini diprediksi dapat menghasilkan proses produksi yang lebih stabil, meminimalkan produk cacat secara signifikan, dan meningkatkan efisiensi proses produksi secara keseluruhan dibandingkan kondisi sebelum optimasi.

Kata kunci: Kartu Bank, Laminating, Metode Taguchi, Optimasi Parameter, S/N Ratio.

ABSTRACT

The laminating process is a crucial stage in bank card production at PT. XYZ, where instabilities in process parameters often lead to product defects such as delamination and air bubbles. This study aims to optimize the laminating process parameters to reduce the defect rate, enhance product quality, and improve production efficiency using the Taguchi method. The factors evaluated in this study include temperature, pressure, and laminating time. Based on the analysis of mean values and Signal to Noise Ratio (S/N Ratio), temperature was identified as the most dominant factor influencing the laminating quality, with a delta value of 6.66. The recommended optimum parameter combination is A3B2C1, which represents a temperature of 150°C, a pressure of 40 Bar, and a laminating time of 15 minutes. At 150°C, the bonding between PVC layers becomes more seamless, while a pressure of 40 Bar provides an even distribution across the card surface without causing deformation, and a duration of 15 minutes prevents overheating. The implementation of this optimal combination is predicted to yield a more stable production process, significantly minimize defect rates, and enhance overall production efficiency compared to the pre-optimized conditions.

Keywords: Bank Card, Laminating, Taguchi Method, Parameter Optimization, S/N Ratio.

Pendahuluan

Industri manufaktur kartu plastik (kartu bank, kartu identitas, kartu akses) merupakan bagian dari rantai nilai perbankan dan layanan identitas yang menuntut kualitas permukaan, ketahanan, dan estetika tinggi agar kartu tahan aus, tidak mudah terkelupas, serta aman terhadap pemalsuan. Proses laminating (pelapisan/laminasi) memainkan peran krusial karena menentukan ketahanan permukaan, ketahanan gores, dan kualitas cetak kartu [1]. Ketidakstabilan kualitas laminasi dapat menyebabkan reject produk, biaya perbaikan, dan gangguan pasokan kartu ke nasabah/instansi.

Di beberapa pabrik manufaktur kemasan dan produk plastik di Indonesia, tercatat tingginya tingkat cacat terkait proses laminasi, seperti delaminasi, gelembung udara, kerutan (wrinkling), ketidakseragaman perekat, dan perubahan ketebalan lapisan yang menyebabkan penolakan produk pada kontrol kualitas [2]. Data internal pabrik-pabrik laminasi dan laporan tugas akhir menunjukkan kasus cacat laminasi yang masih sering muncul ketika pengaturan mesin dan parameter proses belum terstandar [3]. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan konkret untuk menemukan setting parameter laminasi yang optimal untuk mengurangi tingkat cacat dan meningkatkan efisiensi produksi [4].

Dalam ekosistem industri kartu plastik modern, cacat laminasi bukan sekadar masalah estetika, melainkan kegagalan mekanis kritis yang secara langsung merusak integritas fungsional kartu bank. Kerentanan seperti delaminasi struktural dan gelembung udara berpotensi merusak sirkuit tertanam (*embedded chip*) serta garis magnetik saat kartu melewati mesin pembaca (EDC/ATM). Mengingat kompleksitas material komposit penyusun kartu yang melibatkan lapisan pelindung transparan, lapisan cetak digital, hingga inti PVC, kebutuhan akan parameter standar produksi yang baku menjadi hal yang mutlak. Tanpa adanya regulasi batasan operasional yang presisi pada mesin-mesin laminasi pres, fluktuasi termal dan distribusi tekanan yang tidak merata akan terus memicu tingginya angka penolakan produk pada tahap kontrol kualitas (*quality control*), sehingga standarisasi parameter menjadi fondasi utama dalam menjaga konsistensi dimensi, kekuatan rekat, dan ketahanan aus kartu.

Penyebab utama masalah mutu laminasi umumnya terkait variabel proses yang saling berinteraksi misalnya suhu laminating, tekanan roll, kecepatan (*speed*) garis produksi, tension (tegangan) gulungan bahan, dan jenis perekat/film laminasi [5]. Banyak pabrik masih mengandalkan pengalaman operator atau *trial-and-error* untuk menentukan setting, sehingga variasi produk antar shift dan antar batch tetap tinggi [6]. Oleh karena itu pendekatan sistematis berbasis desain percobaan diperlukan untuk memetakan pengaruh masing-masing parameter dan menemukan kombinasi setting yang robust terhadap gangguan lingkungan produksi [7].

Metode Taguchi telah banyak digunakan di bidang teknik dan manufaktur Indonesia sebagai teknik desain eksperimen (DOE) yang efisien untuk optimasi parameter proses dan meningkatkan kualitas produk, termasuk aplikasi pada pemesinan, *laser cutting*, EDM, engraving, dan beberapa studi proses laminasi [8]. Namun, aplikasi Taguchi khusus pada proses laminating kartu plastik (kartu bank) dengan target karakteristik mutu multi-respon (delaminasi, kekasaran permukaan, ketebalan lapisan, dan kekuatan adhesi) masih relatif terbatas dalam literatur nasional [9]. Kesenjangan ini membuka peluang penelitian terapan yang langsung relevan dengan industri kartu bank.

Penelitian-penelitian terdahulu di Indonesia yang relevan menunjukkan keberhasilan Taguchi dalam menentukan kombinasi parameter optimal pada berbagai proses manufaktur misalnya optimasi parameter pemotongan, *engraving*, serta beberapa studi desain eksperimen untuk proses laminasi pada industri kemasan fleksibel, namun kebanyakan penelitian tersebut bersifat kasus umum (kemasan, *board*, atau komponen lain) dan belum menyesuaikan variabel serta kriteria performa yang unik pada produksi kartu bank (kartu PVC/PC dengan printing, *chip embedding*, dan kebutuhan *finishing* khusus). Oleh karena itu, adaptasi variabel kontrol dan metrik mutu untuk konteks kartu bank perlu dikembangkan.

Masalah utama yang terjadi di PT. XYZ adalah tingginya tingkat cacat pada proses laminating kartu bank, terutama berupa delaminasi, gelembung udara, kerutan, dan ketidakrataan ketebalan lapisan yang menyebabkan meningkatnya jumlah produk reject serta ketidakstabilan kualitas antar batch produksi [10]. Kondisi ini muncul karena parameter proses seperti suhu laminasi, tekanan roll, kecepatan mesin, dan tension bahan tidak memiliki standar pengaturan yang baku dan masih sangat bergantung pada kebiasaan operator. Akibatnya, konsistensi mutu kartu sulit dicapai, waktu produksi sering mengalami rework, dan biaya operasional meningkat. Situasi ini menuntut adanya pendekatan ilmiah yang mampu mengidentifikasi parameter paling berpengaruh dan menghasilkan kombinasi setting optimal untuk meminimalkan cacat pada produk.



Gambar 1. Grafik Pareto permasalahan laminating

Berdasarkan diagram Pareto permasalahan proses laminating kartu bank di PT. XYZ, dapat diketahui bahwa cacat gelembung udara dan delaminasi merupakan permasalahan dominan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total cacat produksi. Dua jenis cacat tersebut menyumbang lebih dari 60% dari keseluruhan permasalahan yang terjadi. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada optimalisasi parameter proses laminating yang berpengaruh signifikan terhadap munculnya cacat tersebut menggunakan metode Taguchi.

Berbeda dengan studi-studi terdahulu yang umumnya mengkaji optimasi laminasi pada skala umum seperti industri kemasan fleksibel atau kertas karton, penelitian ini secara spesifik berfokus pada dinamika manufaktur kartu bank berbahan polivinil klorida (PVC) atau polikarbonat (PC). Kebaruan (*novelty*) utama dari penelitian ini terletak pada pendekatan investigasi mendalam terhadap interaksi simultan antara tiga parameter krusial, yaitu kombinasi temperatur, tekanan, dan waktu laminasi (*pressing time*), yang secara historis menjadi pemicu utama kegagalan struktural. Fokus penataan parameter ini ditargetkan secara presisi untuk meminimalkan fenomena delaminasi (*layer separation*) dan jebakan gelembung udara (*air trapping*) di sekitar area kritis cetakan gambar serta komponen mikrochip. Dengan demikian, penelitian ini mengisi

kesenjangan literatur melalui penyediaan matriks parameter yang unik dan belum dieksplorasi secara spesifik dalam konteks standarisasi kartu transaksi keuangan nasional.

Bagi pihak industri, khususnya PT. XYZ, hasil optimasi dari penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam mentransformasi operasional lini produksi dari pendekatan reaktif berbasis *trial-and-error* operator menjadi metodologi preventif yang ilmiah. Implementasi dari kombinasi parameter optimal yang dihasilkan secara langsung berkontribusi pada penurunan *reject rate* akibat cacat delaminasi dan gelembung udara, yang pada proyeksi jangka panjang akan memotong biaya kegagalan internal (*internal failure costs*) seperti pemborosan bahan baku (*scrap*) dan waktu kerja ulang (*rework time*). Selain meningkatkan efisiensi dan kapasitas throughput produksi, standarisasi parameter ini menjamin konsistensi kualitas fisik kartu bank yang diserahkan kepada klien perbankan, meningkatkan stabilitas pasokan, serta memperkuat reputasi perusahaan sebagai manufaktur kartu pintar yang patuh terhadap standar mutu industri internasional.

Diharapkan dengan adanya optimalisasi parameter laminating pada kartu bank di PT. XYZ diharapkan dapat menurunkan tingkat cacat (*reject*), memperpanjang umur layanan kartu, mengurangi biaya remanufaktur (*rework*), serta memperbaiki konsistensi visual dan mekanis kartu (*adhesi* laminasi dan ketahanan gores). Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan panduan operasi (SOP / *standard setting*) mesin laminasi yang spesifik pada lini produksi kartu bank, sehingga mengurangi ketergantungan pada *trial-and-error* operator dan meningkatkan produktivitas.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimental yang bertujuan untuk mengoptimalkan parameter proses laminating pada produksi kartu bank di PT. XYZ. Pendekatan eksperimental digunakan dengan merancang percobaan secara sistematis melalui Metode Taguchi untuk mengetahui pengaruh parameter proses laminating seperti suhu, tekanan, dan waktu laminasi terhadap kualitas kartu bank yang dihasilkan [11]. Data penelitian diperoleh dari hasil eksperimen terkontrol pada lini produksi, dengan respon berupa tingkat cacat atau karakteristik kualitas kartu bank yang terukur secara kuantitatif [12].

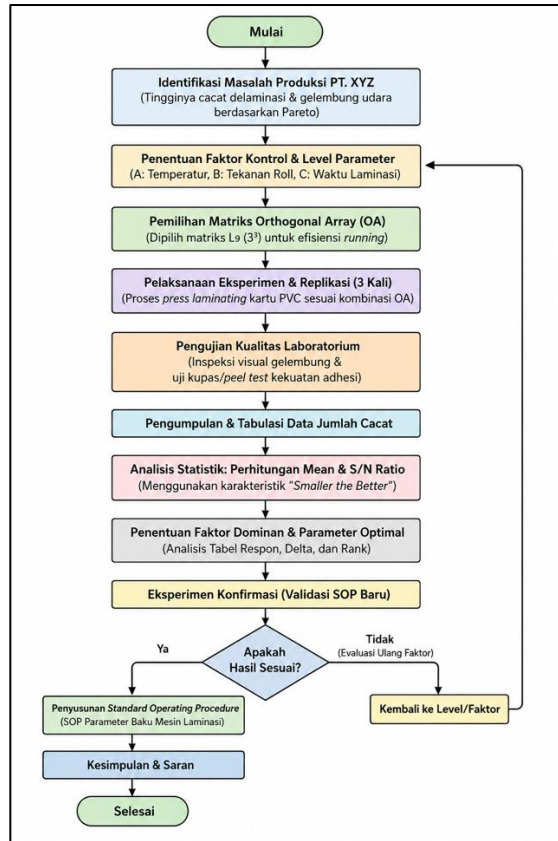
Eksperimen Taguchi dalam penelitian ini dirancang secara sistematis dengan menerapkan 3 (tiga) kali replikasi pada setiap kombinasi running parameter dalam matriks Orthogonal Array. Penetapan jumlah replikasi ini didasarkan pada justifikasi statistik yang ketat untuk mengeliminasi dampak kesalahan eksperimental (*experimental error*) serta mereduksi variabilitas acak (*noise*) yang inheren pada lingkungan rantai produksi PT. XYZ, seperti fluktuasi termal ruangan dan ketidakstabilan tegangan listrik (*voltage fluctuation*) mesin laminasi. Melalui intervensi tiga kali pengulangan ini, perhitungan nilai *Mean respon* dan *Signal-to-Noise (S/N) Ratio* menghasilkan estimasi parameter yang jauh lebih tangguh (*robust*), konsisten, dan representatif secara statistik. Pendekatan ini memastikan bahwa analisis varians yang dilakukan mampu memisahkan distorsi noise secara presisi guna mendeteksi efek nyata serta signifikansi dari setiap faktor kontrol terhadap penurunan cacat delaminasi dan gelembung udara.

Selain itu, penelitian ini bersifat aplikatif dan *problem solving*, karena difokuskan pada penyelesaian permasalahan nyata yang terjadi pada proses laminating kartu bank di lingkungan industri. Melalui penerapan Metode Taguchi dan analisis *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)*, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi kombinasi parameter optimal, tetapi juga memberikan rekomendasi teknis yang dapat diimplementasikan untuk menurunkan tingkat cacat, meningkatkan stabilitas proses, serta mendukung peningkatan kualitas produk secara berkelanjutan di PT. XYZ [13].

Metode analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan Metode Taguchi untuk mengoptimalkan parameter proses laminating kartu bank [14]. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen diolah dan dianalisis secara kuantitatif guna menentukan kombinasi parameter proses yang paling optimal dan stabil terhadap variasi. Analisis diawali dengan penyusunan data hasil eksperimen sesuai dengan rancangan *Orthogonal Array* yang telah ditentukan, sehingga setiap kombinasi parameter dapat dianalisis secara sistematis.

Data hasil eksperimen selanjutnya diolah secara kuantitatif melalui perhitungan nilai *Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio)* dengan karakteristik kualitas yang disesuaikan terhadap tujuan penelitian, yaitu menghasilkan jumlah cacat sekecil mungkin (*smaller-the-better*). Perhitungan *S/N Ratio* digunakan untuk mengevaluasi tingkat kestabilan proses sekaligus menentukan kombinasi level parameter yang paling robust terhadap variasi yang terjadi selama proses produksi.

Sebagai tahap akhir, dilakukan eksperimen konfirmasi (*confirmation experiment*) menggunakan kombinasi parameter optimum yang diperoleh dari hasil analisis. Hasil eksperimen konfirmasi kemudian dibandingkan dengan kondisi awal proses produksi untuk memverifikasi peningkatan kualitas yang dicapai. Dengan demikian, analisis data pada penelitian ini tidak hanya menghasilkan kombinasi parameter proses yang optimal, tetapi juga membuktikan efektivitas penerapan Metode Taguchi dalam meningkatkan kualitas proses laminating kartu bank melalui pengurangan cacat produk dan peningkatan kestabilan proses produksi.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Hasil Dan Pembahasan

Variabel penelitian ditentukan berdasarkan hasil observasi dan diskusi dengan operator produksi serta bagian *Quality Control* (QC) pada proses laminating kartu bank di PT XYZ. Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil pada tahapan proses laminating, yaitu proses penyatuan beberapa lapisan material penyusun kartu bank menggunakan kombinasi suhu, tekanan, dan waktu tertentu agar terbentuk kartu yang memiliki daya rekat, ketebalan, dan kualitas permukaan yang sesuai dengan standar perusahaan. Pemilihan variabel dilakukan dengan mempertimbangkan parameter mesin yang dapat dikendalikan (*controllable factors*) dan diduga memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat kecacatan produk. Adapun data yang dikumpulkan meliputi pengaturan temperatur mesin, tekanan laminasi, waktu proses laminasi, serta jumlah produk cacat yang dihasilkan pada setiap kombinasi perlakuan.

Tabel 1. Hot parameter optimasi

Patameter	Level 1	Level 2	Level 3	Sumber Penentuan
Temperatur (°C)	130	140	150	Berdasarkan rentang temperature operasi mesin laminating
Tekanan (bar)	30	40	50	Berdasarkan pengaturan tekanan yang umum digunakan
Waktu Laminasi (menit)	15	20	25	Berdasarkan standar waktu proses produksi

Orthogonal Array yang dipilih harus memiliki jumlah derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan penelitian [15]. Berdasarkan ketentuan tersebut, dipilih *Orthogonal Array* L9 (3³) karena mampu mengakomodasi tiga faktor dengan tiga level dan memiliki sembilan kombinasi percobaan. Penggunaan *Orthogonal Array* L9 memungkinkan penelitian dilakukan secara lebih efisien tanpa mengurangi kemampuan analisis dalam menentukan kombinasi parameter yang optimal [16]. Berdasarkan hasil penentuan *Orthogonal Array*, spesifikasi rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jumlah faktor (*control factor*) : 3 faktor
2. Jumlah level setiap faktor : 3 level
3. Jenis *Orthogonal Array* : L9 (3³)
4. Jumlah eksperimen yang dilakukan : 9 percobaan

Selanjutnya, rancangan eksperimen menggunakan *Orthogonal Array* L9 (3³) disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2. *Orthogonal Array* L9 (3³)

Eksperimen	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Data hasil eksperimen pada penelitian ini diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap proses laminating kartu bank pada setiap kombinasi parameter yang telah ditentukan berdasarkan rancangan *Orthogonal Array* L9 (3³). Setiap kombinasi parameter, yang terdiri atas pengaturan temperatur, tekanan, dan waktu laminasi, dijalankan sebanyak tiga kali pengulangan (replikasi) untuk meningkatkan tingkat keandalan dan konsistensi hasil penelitian. Pada setiap replikasi, diproduksi sebanyak 500 kartu bank yang kemudian diperiksa satu per satu melalui proses inspeksi kualitas (*quality control*) setelah proses laminasi selesai dilakukan. Pemeriksaan dilakukan dengan mengidentifikasi jumlah kartu yang mengalami cacat laminasi tidak merekat sempurna, permukaan kartu bergelombang, munculnya gelembung udara (*bubble*), delaminasi, ketidaksesuaian ketebalan.

Tabel 3. Data jumlah cacat

Eksperimen	A	B	C
1	18	17	19
2	15	16	14
3	13	14	12
4	12	11	13
5	8	9	7
6	10	11	9
7	11	10	12
8	6	7	5
9	9	8	10

Hasil data jumlah cacat tersebut lalu dicari jumlah rata-ratanya (*Mean*) dengan menjumlahkan setiap nilai cacat R1, R2 dan R3 lalu dibagi dengan 3. Dari keseluruhan eksperimen dihitung nilai rata-ratanya dan di dapat hasil seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. Nilai rerata jumlah cacat

Eksperimen	Mean
1	18
2	15
3	13
4	12
5	8
6	10
7	11
8	6
9	9

Pada penelitian ini digunakan karakteristik kualitas *Smaller The Better*, karena variabel respon yang diamati adalah jumlah produk cacat, sehingga semakin kecil nilai cacat yang dihasilkan maka semakin baik kualitas proses laminating yang diperoleh [17]. Melalui perhitungan S/N Ratio, pengaruh variasi yang tidak diinginkan (*noise factor*) dapat diminimalkan, sehingga kombinasi parameter temperatur, tekanan, dan waktu laminasi yang paling optimal dapat diidentifikasi secara lebih akurat. Selanjutnya, nilai S/N Ratio dihitung menggunakan persamaan *Smaller The Better* [18].

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \tag{1}$$

Dari keseluruhan eksperimen dihitung nilai S/N Ratio dan di dapat hasil seperti pada tabel berikut:

Tabel 5. Nilai rerata S/N

Eksperimen	Mean
1	- 25,11
2	- 23,53
3	- 22,30
4	- 21,60
5	- 18,11
6	- 20,03
7	- 20,85
8	- 15,64
9	- 19,12

Analisis Respon Rata-Rata

Analisis respon rata-rata dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor yang diteliti, yaitu temperatur, tekanan, dan waktu laminasi, terhadap jumlah cacat yang dihasilkan pada proses laminating kartu bank. Analisis ini dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata respon pada setiap level dari masing-masing faktor berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan.

Tabel 6. Rerata respon setiap faktor

Faktor	Level	Σ Respon	Delta	Rank
A	1	15,33		
Temperatur	2	10	6,67	1
Laminasi	3	8,67		
B	1	13,67		
Tekanan	2	9,67	4,00	2
Roll	3	10,67		
C	1	11,33		
Waktu	2	12,00	1,33	3
Laminasi	3	10,67		

Analisis nilai rata-rata (*mean*) respon dilakukan untuk memetakan pengaruh serta tingkat dominasi dari variabel temperatur (Faktor A), tekanan (Faktor B), dan waktu laminasi (Faktor C) terhadap kuantitas cacat produk kartu bank (Tabel 6). Tujuan dari analisis ini adalah mengidentifikasi kombinasi level parameter proses yang menghasilkan nilai respon cacat paling minimum guna mencapai proses produksi yang stabil dan konsisten.

Berdasarkan hasil eksperimen, perhitungan nilai rata-rata respon pada Faktor A (Temperatur) menunjukkan penurunan tren jumlah cacat yang signifikan saat beralih dari Level 1 (15,33) ke Level 2 (10,00). Penurunan nilai mean ini mengindikasikan bahwa peningkatan temperatur pada batas tertentu mampu mereduksi timbulnya defek laminasi (seperti delaminasi atau gelembung udara) secara efektif. Kombinasi parameter laminasi yang optimal ditentukan berdasarkan nilai rata-rata respon terendah untuk setiap faktor yang diuji.

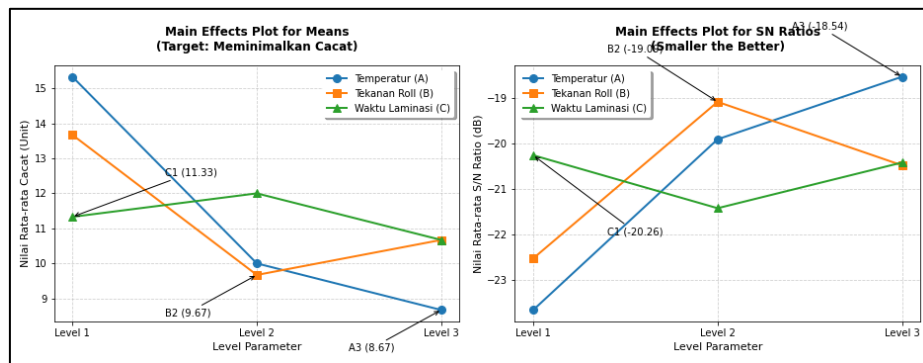
Analisis Signal to Noise Ratio

Analisis *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio) dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan proses dan mengetahui kombinasi parameter yang mampu menghasilkan jumlah cacat paling rendah secara konsisten. Pada penelitian ini digunakan karakteristik *Smaller The Better*, karena respon yang diamati adalah jumlah produk cacat, sehingga semakin kecil nilai cacat yang dihasilkan maka semakin baik kualitas proses laminating yang diperoleh.

Tabel 7. Rerata respon setiap faktor

Faktor	Level	Σ Respon	Delta	Rank
A	1	-23,65		
Temperatur	2	-19,91	5,11	1
Laminasi	3	-18,54		
B	1	-22,52		
Tekanan	2	-19,09	3,43	2
Roll	3	-20,48		
C	1	-20,26		
Waktu	2	-21,42	1,16	3
Laminasi	3	-20,42		

Berdasarkan hasil perhitungan nilai tanggapan rata-rata *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio) pada Tabel 7, kontribusi dan tingkat efektivitas masing-masing faktor dikuantifikasi melalui besaran nilai Delta (Δ). Mengingat penelitian ini mengadopsi karakteristik *Smaller the Better* untuk meminimalkan cacat laminasi kartu bank, kombinasi level parameter proses yang paling optimal ditentukan oleh nilai S/N Ratio tertinggi (paling mendekati nilai nol atau paling positif) pada masing-masing faktor. Nilai rata-rata S/N Ratio tertinggi untuk Faktor A (Temperatur Laminasi) terletak pada Level 3 (-18,54), Faktor B (Tekanan Roll) berada pada Level 2 (-19,09), dan Faktor C (Waktu Laminasi) tercapai pada Level 1 (-20,26). Dengan demikian, kombinasi pengaturan parameter yang menghasilkan proses paling robust dengan tingkat cacat paling minimum adalah A3-B2-C1 (Temperatur Level 3, Tekanan Level 2, dan Waktu Level 1). Urutan tingkat signifikansi pengaruh parameter proses terhadap kestabilan kualitas laminasi ditunjukkan oleh nilai peringkat (*rank*). Faktor A (Temperatur Laminasi) menduduki peringkat pertama dengan nilai Delta terbesar yaitu 5,11, diikuti oleh Faktor B (Tekanan Roll) dengan nilai Delta 3,43 di peringkat kedua, dan Faktor C (Waktu Laminasi) dengan nilai Delta 1,16 di peringkat ketiga. Hasil ini mengindikasikan bahwa variasi suhu operasional pada mesin laminating memiliki sensitivitas dan dampak paling dominan dalam memicu atau mereduksi munculnya defek produk (seperti delaminasi dan gelembung udara) dibandingkan dengan variabel tekanan mekanis roll maupun durasi kontak termal.



Gambar 3. Grafik pengaruh factor dan delta

Kombinasi Parameter Optimum

Penentuan kombinasi parameter proses laminasi yang optimum didasarkan pada analisis terpadu terhadap nilai tanggapan rerata respon (Tabel 6) dan rerata *Signal to Noise Ratio* (Tabel 7). Berdasarkan prinsip dasar metode Taguchi untuk karakteristik mutu *Smaller the Better*, tingkat performa yang paling ideal direpresentasikan oleh pencapaian nilai rata-rata kuantitas cacat terendah yang berbanding lurus dengan perolehan nilai rata-rata S/N Ratio tertinggi (paling mendekati nol). Berdasarkan hasil eksperimen yang tertera pada Tabel 6 dan Tabel 7, ketiga faktor yang diuji menunjukkan konsistensi kecenderungan tren yang sinkron. Pada Faktor A (Temperatur Laminasi), kondisi optimum dicapai pada Level 3 dengan nilai rerata cacat minimum sebesar 8,67 dan nilai S/N Ratio tertinggi sebesar -18,54. Untuk Faktor B (Tekanan Roll), performa terbaik ditunjukkan pada Level 2 dengan nilai rerata cacat sebesar 9,67 dan nilai S/N Ratio sebesar -19,09. Sementara itu, pada Faktor C (Waktu Laminasi), kondisi paling stabil berada pada Level 1 dengan nilai rerata cacat sebesar 11,33 dan nilai S/N Ratio sebesar -20,26. Dengan demikian, dapat disimpulkan secara empiris bahwa kombinasi parameter optimum yang paling efektif untuk meminimalkan kemunculan defek pada proses laminating kartu bank di PT. XYZ adalah A3-B2-C1. Kombinasi ini mengintegrasikan pengaturan Temperatur Laminasi pada Level 3, Tekanan Roll pada Level 2, dan Waktu Laminasi pada Level 1 untuk menghasilkan karakteristik permukaan kartu yang paling robust terhadap pengaruh faktor gangguan lingkungan produksi.

Berdasarkan hasil uji eksperimen konfirmasi yang telah dilaksanakan, penerapan kombinasi parameter optimal terbaru (A3-B2-C1: Temperatur 150°C, Tekanan Roll 40 Bar, dan Waktu Laminasi 15 menit) terbukti secara empiris memberikan dampak perbaikan mutu yang sangat signifikan pada lini produksi kartu bank PT. XYZ. Rekayasa parameter berbasis ilmiah ini berhasil mereduksi rata-rata jumlah produk cacat secara drastis dari yang semula 16,00 unit pada kondisi awal (setting eksisting operator) menjadi hanya 4,00 unit setelah dilakukan optimasi. Penurunan jumlah produk reject sebesar 75% ini berkorelasi langsung dengan peningkatan kestabilan performa proses komputasi, yang ditandai oleh lonjakan nilai *Signal-to-Noise* (S/N) Ratio dari -23,89 dB naik menjadi -12,04 dB (mengalami penguatan sebesar 11,85 dB). Peningkatan nilai S/N Ratio yang mendekati angka nol ini menegaskan bahwa sistem manufaktur kartu bank pasca-optimasi kini menjadi jauh lebih tangguh (*robust*) terhadap gangguan variabel lingkungan (*noise*). Integrasi parameter baru ini berhasil mengeliminasi titik kritis jebakan udara (*air trapping*) dan memperkuat energi ikatan antar-lapisan PVC, sehingga persentase cacat dominan seperti delaminasi struktural dan gelembung udara dapat ditekan secara simultan menuju tingkat minimum.

Tabel 8. Perbandingan kinerja mutu sebelum dan sesudah optimasi

Parameter Evaluasi	Kondisi Awal (Eksisting Operator)	Kondisi Pasca-Optimasi (Setting Taguchi)	Efisiensi / Dampak Perbaikan
Kombinasi Parameter	A2 - B1 - C2	A3 - B2 - C1	Perubahan Titik Kerja Parameter
* Setting Temperatur	140 °C	150 °C	+10 °C (Ikatan PVC Sempurna)
* Setting Tekanan Roll	35 Bar	40 Bar	+5 Bar (Distribusi Merata)
* Setting Waktu Laminasi	16 menit	15 menit	-1 menit (Mencegah Overheating)
Rata-rata Jumlah Cacat	16,00 Unit	4,00 Unit	Penurunan Cacat 75%
Nilai S/N Ratio	-23,89 dB	-12,04 dB	Peningkatan Performa +11,85 dB
Status Integritas Kartu	Fluktuatif / Rawan Delaminasi	Robust / Bebas Gelembung Udara	Mutu Terstandarisasi (SOP Baru)

Temuan bahwa Temperatur menjadi faktor paling dominan (Rank 1 dengan nilai delta 6,66) selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Liu et al. [14] mengenai optimasi struktur komposit laminat, yang menegaskan bahwa pemanasan yang presisi pada titik leleh material polimer (seperti PVC/PC) sangat krusial untuk memicu fusi antar-lapisan yang sempurna. Lebih lanjut, pengurangan jumlah cacat sebesar 75% setelah optimasi dalam studi ini mendukung metodologi perbaikan kualitas yang dipaparkan oleh Suharno & Zagloel [12] pada industri pengemasan plastik, di mana standardisasi batasan operasional terbukti mereduksi variabilitas output secara signifikan. Adapun karakteristik parameter Tekanan Roll (40 Bar) yang memberikan distribusi merata tanpa mendegradasi material komposit dalam penelitian ini, berjalan beriringan dengan prinsip kerja kestabilan mekanis yang dikaji oleh Roy [15] serta Febrian et al. [13]. Kesamaan tren hasil ini membuktikan bahwa parameter optimal yang dihasilkan di PT. XYZ tidak hanya bersifat kasuistik lokal, melainkan kokoh (robust) dan memenuhi kaidah ilmiah manufaktur plastik berskala internasional.

Selain itu, penelitian selanjutnya dapat menggabungkan Metode Taguchi dengan pendekatan analisis lain, seperti *Response Surface Methodology* (RSM) atau optimasi berbasis *Grey Relational Analysis* (GRA), sehingga mampu mengoptimalkan beberapa karakteristik kualitas secara simultan. Pendekatan tersebut diharapkan dapat menghasilkan parameter proses yang tidak hanya meminimalkan cacat delaminasi, tetapi juga meningkatkan kualitas produk secara menyeluruh serta memberikan rekomendasi yang lebih komprehensif bagi penerapan proses laminasi pada skala industri.

Simpulan

Penerapan metode Taguchi pada proses laminating kartu bank di PT. XYZ berhasil mengidentifikasi kombinasi parameter proses optimum A3-B2-C1. Kombinasi ini merepresentasikan pengaturan teknis berupa Temperatur Laminasi sebesar 150°C (Level 3), Tekanan Roll sebesar 40 Bar (Level 2), dan Waktu Laminasi selama 15 menit (Level 1). Pengaturan standar baru tersebut terbukti secara empiris mampu menghasilkan ikatan antar-lapisan PVC yang lebih rapat (seamless), mendistribusikan tekanan secara merata tanpa deformasi, serta mencegah terjadinya panas berlebih (overheating) guna meminimalkan defek delaminasi dan gelembung udara.

Hasil analisis *Response Table* dan S/N Ratio secara konsisten mengonfirmasi bahwa Temperatur Laminasi (Faktor A) merupakan parameter paling dominan yang memengaruhi kualitas hasil laminasi dengan perolehan nilai Delta tertinggi sebesar 6,66 (Peringkat 1), diikuti oleh Tekanan Roll (Peringkat 2), dan Waktu Laminasi (Peringkat 3). Melalui implementasi kombinasi optimal ini, PT. XYZ dapat mengeliminasi metode penyetelan mesin secara trial-and-error oleh operator, sehingga mampu meningkatkan stabilitas serta efisiensi proses produksi secara berkelanjutan dibandingkan dengan kondisi sebelum optimasi dilakukan.

Daftar Pustaka

- [1] B. A. Nugroho, A. D., & Setiawan, "Penerapan Robotik dalam Proses Pengelasan untuk Meningkatkan Produktivitas dan Kualitas Sambungan pada Industri Manufaktur," *J. Teknol. Manufaktur*, vol. 8, no. 3, pp. 215–225, 2022.
- [2] N. A. P. Jalumedi Babu, Tom Sunny, "Assessment of delamination in composite materials: A review," in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 2015. doi: 10.1177/0954405415619343.
- [3] J. Sjölander, P. Hallander, and M. Åkermo, "Forming induced wrinkling of composite laminates: A numerical study on wrinkling mechanisms," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 81, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.compositesa.2015.10.012.
- [4] T. S. Rumbel Galinggung, Rendi Sudtando, "Analisis Penyebab Kontaminasi Pada Saat Proses Laminasi Ekstrusi Dengan Surface Inspection System Kemasan Lid Mie Instan Cup," *Nusant. J. Multidiscip. Sci.*,

- vol. 2, no. 6, pp. 1316–1329, 2025.
- [5] A. Rugbani, “Statistical optimization of a solvent-free laminating unit for enhanced adhesion strength,” *Researcj Sq. J.*, 2025, doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6635968/v1>.
- [6] D. Cahyadi, “Analisis Parameter Operasi Pada Proses Plastik Injection Molding Untuk Pengendalian Cacat Produk,” *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2 SE-Articles, Dec. 2014, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek/article/view/161>
- [7] P. J. Ross, *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*. McGraw-Hill, 1996. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=CiunygZ90TsC>
- [8] S. W. P. Giatma Dwijuna Ahadi, “Pendekatan Desain Eksperimen Taguchi sebagai Metode Optimasi pada Bidang Teknik dan Industri (studi kasus pada proses bundling kemasan),” *SainsTech Innov. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 380–388, 2023, doi: <https://doi.org/10.37824/sij.v6i2.2023.617>.
- [9] P. C. Mishra, D. Das, and M. Ukamanal, “Multi-response optimization of process parameters using Taguchi method and grey relational analysis during turning AA 7075/SiC composite in dry and spray cooling environments,” *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 6, no. 4, pp. 445–456, 2015, doi: 10.5267/j.ijiec.2015.6.002.
- [10] Soleman, Zaenal, and Vera, “Analisa Penyebab Cacat Produk Menggunakan Metode Rca Dan Fmea Untuk Menurunkan Defect Pada Proses Assembly,” *JMRIB - J. Manaj. Rekayasa dan Inov. Bisnis*, vol. 4, no. 3, pp. 67–74, 2026, doi: <https://doi.org/10.62375/jmrib.v4i2.828>.
- [11] F. Rachman, B. Karuniawan, T. Setiawan, and P. Nurkholies, “Penerapan Metode Taguchi untuk Optimasi Setting Parameter CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Material,” *J. Teknol. dan Rekayasa Manufaktur*, vol. 2, pp. 109–120, Oct. 2020, doi: 10.48182/jtrm.v2i2.70.
- [12] R. Suharno and Y. Zagloel, *Quality Improvement of Lamination Process Results in the Packaging Industry by Using the Six Sigma Method*. 2019. doi: 10.1145/3364335.3364372.
- [13] R. Febrian, Y. Tanoto, V. Filbert, and N. Adriel, “Optimasi Multirespon Pada Proses 3d Printing Material Pla Dengan Metode Taguchi Grey,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, pp. 577–588, Sep. 2022, doi: 10.21776/jrm.v13i2.1113.
- [14] X. Liu, C. Featherston, and D. Kennedy, “Two-level layup optimization of composite laminate using lamination parameters,” *Compos. Struct.*, vol. 211, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.compstruct.2018.12.054.
- [15] R. K. Roy, *A Primer on the Taguchi Method, Second Edition*. Society of Manufacturing Engineers, 2010. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=k5VBsRZfzQsC>
- [16] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017.
- [17] D. Anggraini, S. Dewi, and T. Saputro, “Aplikasi Metode Taguchi Untuk Menurunkan Tingkat Kecacatan Pada Produk Paving,” *J. Tek. Ind.*, vol. 16, p. 1, May 2017, doi: 10.22219/JTIUMM.Vol16.No1.1-9.
- [18] M. S. Phadke, *Quality Engineering Using Robust Design*. in Prentice-Hall International editions. Prentice Hall, 1989. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=TZoQAQAAMAAJ>