

Rancang Bangun Sistem Kontrol *Conveyor return side gum* Berbasis PLC Allen Bradley untuk Meningkatkan Produktivitas Mesin *Ply Cutting* Pada Manufaktur Ban

Design and Development of a PLC-Based Control System for the Return Side Gum Conveyor to Improve the Productivity of the Ply Cutting Machine in Tire Manufacturing

Muhammad Ali Barokah^{1*}, Henri P. Uranus², Mario Gracio³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan; Jl. M. H. Thamrin Boulevard 1100 Lippo Village Tangerang 15811 Indonesia; Telp (021) 546 0901

Dikirim:
18 Juli 2025

Direvisi:

Diterima:
28 Agustus 2025

* **Email Korespondensi:**

01035230012@student.uph.edu

Henri.uranu@uph.edu

Mario.thzm@uph.edu



Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol otomatis berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) *Allen Bradley* pada conveyor return side gum. Proses pengambilan *side gum* yang sebelumnya memakan waktu hingga 16 menit per roll, mengakibatkan tingginya *downtime*. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis berbasis PLC *Allen Bradley* yang dirancang dan diimplementasikan berfungsi dengan baik dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas sistem conveyor return side gum di industri manufaktur ban. Sistem yang dirancang mampu berjalan dalam mode manual maupun otomatis dengan pengendalian terpusat melalui PLC. Pengujian menunjukkan bahwa sensor *proximity* mendeteksi logam secara akurat dan motor dapat beroperasi sesuai frekuensi yang diprogram melalui VFD, dengan tingkat kesalahan kecepatan yang sangat kecil (di bawah 0,01%). Pengujian *delay stop conveyor* 1 menemukan bahwa pengaturan *delay* optimal adalah 1 s dengan *speed conveyor* 15 Hz atau actual speed 14,08 MPM (meter per menit), yang memastikan material *side gum* dapat ditarik dengan baik tanpa kerusakan. Secara keseluruhan, sistem kontrol otomatis ini berhasil mengurangi *downtime* 100%, dengan peningkatan produktivitas yang signifikan. Rata-rata produksi meningkat pada bulan November 2024 sampai dengan bulan Mei 2025 dimana *schedule* PPC tertinggi yaitu sebanyak 1775 m dan actual produksi tertinggi yaitu 1821,66 m.

Kata kunci: Conveyor return side gum, Programmable Logic Controller (PLC), Allen Bradley, Mesin *ply cutting*, Sensor *proximity*, Motor tiga phase, Variable Frequency Drive (VFD), RSLogix 5000.

Abstract: This study aims to design and implement an automatic control system based on a Programmable Logic Controller (PLC) Allen Bradley for the conveyor return side gum. The side gum retrieval process previously took up to 16 minutes per roll, resulting in high downtime. This research demonstrates that the PLC-based automatic control system designed and implemented functions effectively in improving the efficiency and productivity of the conveyor return side gum system in the tire manufacturing industry. The system is capable of operating in both manual and automatic modes, with centralized control through the PLC. Testing showed that the proximity sensor accurately detects metal, and the motor operates according to the programmed frequency via the Variable Frequency Drive (VFD), with a very small speed error rate (less than 0.01%). The delay stop test on conveyor 1 revealed that the optimal delay setting is 1 second with a conveyor speed of 15 Hz or an actual speed of 14,08 MPM (meter per minute), ensuring that the side gum material is pulled properly without damage. Overall, the automatic control system successfully reduced downtime by 100%, with a significant increase in productivity. Average production increased from November 2024 to May 2025, with the highest PPC schedule reaching 1775 m and the highest actual production reaching 1821,66 m.

Keywords: Return side gum conveyor, Programmable Logic Controller (PLC), Allen Bradley, Ply cutting machine, Proximity sensor, Three-phase motor, Variable Frequency Drive (VFD), RSLogix 5000.

1. PENDAHULUAN

Pada proses manufaktur ban terdapat beberapa jenis *steel* yang digunakan pada kontruksi ban diantaranya yaitu *steel calender*. *Steel calender* merupakan *input* produk dari mesin *ply cutting*, di mana mesin *ply cutting* memegang peran penting

dalam proses pemotongan material. Conveyor *return side gum* adalah salah satu komponen krusial yang berfungsi untuk mengembalikan potongan material (*side gum*) ke jalur produksi, sehingga mempercepat siklus produksi dan meningkatkan produktivitas. Namun, pada

manufaktur ban PT. M berdasarkan data rata-rata produksi aktual dari bulan Juli hingga September 2024, target produksi belum tercapai. Pada bulan Juli, target produksi adalah 1.405 m, tetapi hanya menghasilkan 1.384,17 m. Untuk meningkatkan efisiensi mesin *ply cutting* dan mencapai target produksi, dilakukan analisis waktu siklus (*cycle time breakdown*).

Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang dihabiskan untuk pengambilan *side gum* menggunakan *winder* mencapai 16 menit per roll, jauh lebih tinggi dibandingkan proses lainnya, seperti perbaikan *conveyor* dan pengaturan material, yang hanya memakan waktu 2–4 menit. Tingginya waktu ini disebabkan oleh keharusan membuka *safety door* saat pengambilan *side gum*, yang mengakibatkan mesin harus berhenti. Berdasarkan data tersebut, dilakukan analisis 4M (*Man, Method, Material, Machine*) menggunakan metode *fishbone* diagram, dengan fokus pada permasalahan utama yaitu lamanya waktu pengambilan *side gum* saat menggunakan *winder*. Masalah ini memengaruhi efisiensi produksi yang belum mencapai target.

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan sistem kontrol otomatis yang andal dan efisien agar proses pengambilan *side gum* dapat dilakukan tanpa menghentikan mesin. Penggunaan Programmable Logic Controller (PLC) tipe Allen Bradley dipilih karena keandalannya dalam aplikasi industri dan fleksibilitasnya dalam mengendalikan sistem yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol *conveyor return side gum* berbasis PLC Allen Bradley, yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas proses *ply cutting* secara signifikan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian yang dilakukan oleh H. Utomo, A. Sadnowo, dan S. R. Sulistiyanti berjudul "Implementasi Automatic Transfer Switch berbasis PLC pada Laboratorium Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung" [1], dijelaskan bagaimana penerapan PLC dapat meningkatkan efisiensi pengoperasian sistem kelistrikan secara otomatis. Meskipun konteksnya berbeda, yaitu pada sistem transfer daya otomatis, prinsip dasar pemrograman PLC dan pengendalian perangkat secara otomatis sangat relevan untuk diterapkan pada proyek pengembangan sistem kontrol *conveyor return side gum*. Penerapan PLC dalam penelitian tersebut menunjukkan bagaimana logika kontrol dapat dioptimalkan untuk mendeteksi kondisi tertentu dan menginisiasi aksi sesuai program, yang juga menjadi inti dari sistem otomatis pada proyek ini.

Dalam buku berjudul "*Instant PLC Programming with RSLogix 5000*" oleh Austin Scott [2], dijelaskan secara komprehensif bagaimana membuat program PLC menggunakan RSLogix 5000, khususnya untuk sistem berbasis Allen Bradley.

Buku ini menekankan penggunaan *user-defined tags*, pembuatan *ladder diagram*, serta pemrograman terstruktur dalam RSLogix. Selain itu, dijelaskan juga bagaimana melakukan konfigurasi I/O, komunikasi antar modul, dan strategi debugging untuk memastikan sistem kontrol berjalan optimal. Pengetahuan ini menjadi landasan penting dalam pengembangan sistem *conveyor* berbasis PLC Allen Bradley karena sistem yang dirancang menggunakan prinsip modular dan fleksibilitas RSLogix 5000.

Sementara itu, dalam penelitian oleh K. Lakshmi dkk. berjudul "*Speed Control of Three Phase Induction Motors using PowerFlex 525 Compact AC Drive*" [3], dibahas mengenai pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan VFD PowerFlex 525 yang dikonfigurasi melalui CompactLogix PLC dan software Studio 5000. Penelitian ini memberikan gambaran teknis bagaimana param pengendalian motor dikonfigurasi dan diintegrasikan dengan PLC melalui protokol Ethernet/IP. Hasilnya adalah sistem kendali motor yang lebih efisien, akurat, dan mudah diintegrasikan dengan sistem kontrol industri secara keseluruhan. Hal ini sangat relevan karena dalam proyek *conveyor return side gum*, pengaturan kecepatan motor konveyor juga dilakukan menggunakan inverter PowerFlex 525 yang terintegrasi dengan PLC Allen Bradley.

2.1 PLC (Programmable Logic Controller)

PLC (*Programmable Logic Controller*) merupakan perangkat untuk mengendalikan sistem kontrol suatu mesin atau proses. Sebuah perangkat berbasis mikroprosesor yang mudah digunakan, PLC adalah komputer khusus dengan kemampuan kontrol dari berbagai jenis dan tingkat kompleksitas. Program pada PLC berfungsi untuk mengolah sinyal masukan dan keluaran sesuai dengan tujuan pengguna [4]. Gambar 1 yang merupakan *hardware PLC Allen-Bredley*.



Gambar 1. PLC (*Programmable Logic Controller*)

2.2 Proximity Sensor

Proximity sensor adalah sensor non-kontak yang mampu mendeteksi keberadaan atau kedekatan suatu objek tanpa perlu menyentuh

objek tersebut secara fisik. Sensor ini bekerja dengan mengirimkan sinyal elektromagnetik atau medan listrik/magnetik, kemudian mendeteksi perubahan yang terjadi ketika ada objek yang mendekat. *Proximity* sensor biasanya digunakan untuk mendeteksi objek berbahan logam (*inductive sensor*) atau bahan non-logam (*capacitive sensor*), dan sangat andal digunakan dalam lingkungan industri karena ketahanannya terhadap kondisi lingkungan yang keras seperti debu, kotoran, atau getaran [5].

Sensor *proximity* bekerja dengan mendeteksi keberadaan objek tanpa menyentuhnya, menggunakan berbagai prinsip fisika seperti induksi elektromagnetik, kapasitansi, atau gelombang ultrasonik. Sensor ini mengirimkan sinyal dan mendeteksi perubahan yang terjadi ketika objek mendekat dalam jangkauan deteksinya. Pada sensor induktif, medan elektromagnetik dihasilkan oleh kumparan di dalam sensor. Ketika objek logam masuk ke dalam medan tersebut, arus eddy terbentuk di permukaan objek, mengubah medan elektromagnetik dan memungkinkan sensor mendeteksinya. Sementara itu, sensor kapasitif bekerja dengan mendeteksi perubahan kapasitansi antara sensor dan objek, sehingga bisa digunakan untuk mendeteksi bahan non-logam seperti plastik atau cairan. Ketika sensor mendeteksi objek, sinyal keluaran berubah, biasanya dalam bentuk sinyal listrik yang dikirim ke sistem kontrol seperti PLC untuk mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat tertentu. Dengan keunggulan seperti kecepatan, keandalan, dan ketahanan terhadap keausan mekanis, sensor *proximity* banyak digunakan dalam industri manufaktur, otomasi, dan kendaraan untuk aplikasi seperti deteksi benda, posisi, atau batas pergerakan suatu sistem. Gambar 2 merupakan gambar sensor *proximity*.



Gambar 2. *Proximity* sensor

2.3 Motor 3 Phase

Motor 3 phase adalah jenis motor listrik yang beroperasi menggunakan arus tiga fasa sebagai sumber tenaga. Motor ini merupakan salah satu jenis motor yang paling umum digunakan di industri karena efisiensi, daya tinggi, dan keandalannya dalam menggerakkan beban berat. Motor tiga fasa bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana arus listrik tiga fasa yang diberikan ke motor akan menciptakan medan magnet yang berputar. Medan magnet ini kemudian memutar rotor, yang

merupakan bagian berputar dari motor. Keunggulan motor tiga fasa dibandingkan motor satu fasa adalah kemampuan untuk menghasilkan daya lebih besar dengan lebih sedikit getaran, membuatnya ideal untuk aplikasi industri skala besar [6]. Gambar 3 merupakan gambar motor tiga phase.



Gambar 3. Motor 3 phase

2.4 AC Drive

AC Drive, juga dikenal sebagai *Variable Frequency Drive* (VFD), adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol kecepatan dan torsi motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan mengatur frekuensi dan tegangan yang dipasok ke motor. Dalam sistem kontrol motor, AC drive sangat berguna karena memberikan fleksibilitas dalam mengontrol kecepatan motor sesuai kebutuhan proses, tanpa harus mengubah tegangan listrik secara *manual* atau memerlukan mekanisme pengaturan yang rumit. Ini sangat penting untuk aplikasi yang memerlukan perubahan kecepatan motor yang dinamis, seperti pada *conveyor* atau pompa [6]. Gambar 4 memperlihatkan gambar AC drive.



Gambar 4. AC Drive

2.5 Selektor Switch

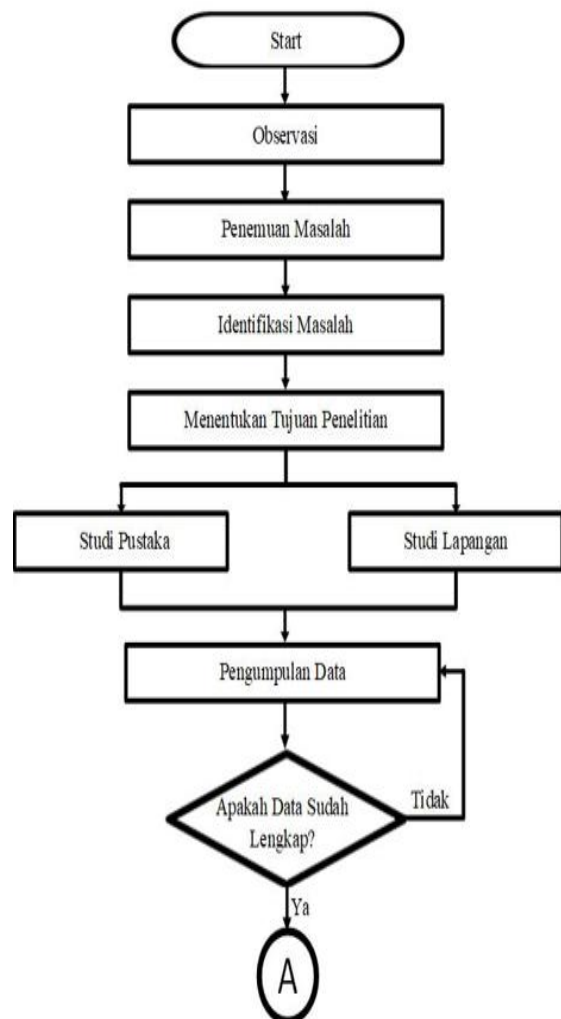
Selektor *switch* adalah sebuah sakelar yang digunakan untuk memilih atau mengalihkan sirkuit listrik ke jalur tertentu di antara beberapa pilihan yang tersedia. Alat ini berfungsi untuk mengontrol berbagai fungsi dalam sistem listrik atau elektronik, seperti mengalihkan aliran listrik, memilih mode operasi, atau mengatur pengaturan tertentu. Selektor *switch* biasanya memiliki beberapa posisi yang dapat dipilih, seperti *ON/OFF*,

Low/Medium/High, atau mode kerja tertentu lainnya, dan dioperasikan secara *manual* dengan cara memutar atau menggeser sakelar. Alat ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pada panel kendali mesin untuk mengatur mode kerja (*manual*, otomatis, atau berhenti), sistem elektronik untuk memilih *input* atau *output* perangkat, atau jaringan listrik untuk mengalihkan sumber daya antara jaringan utama dan generator. Dengan konstruksi mekanikal yang tahan lama, selektor *switch* dirancang untuk mendukung pengendalian sistem secara efisien dan berulang [7]. Gambar 5 merupakan gambar selektor *switch*.

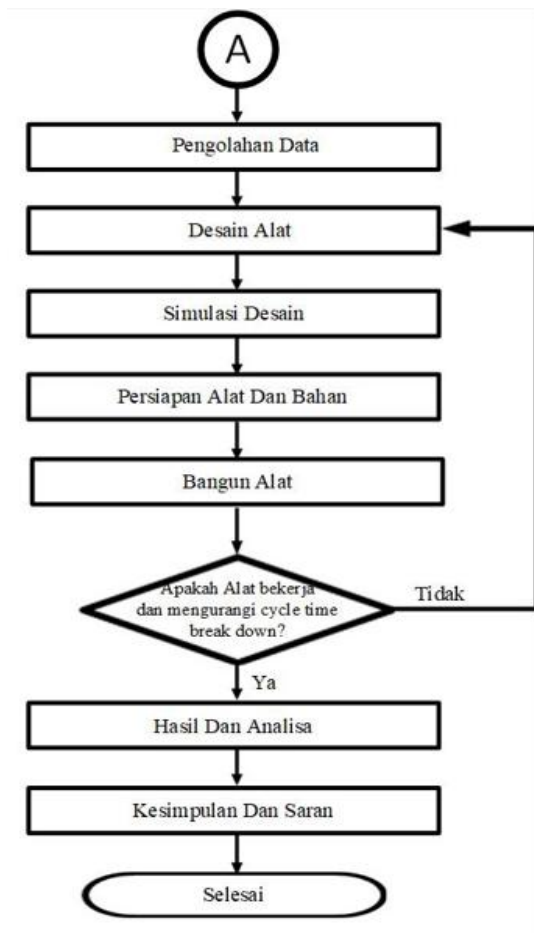


Gambar 5. Selektor *switch*

3. METODE PENELITIAN

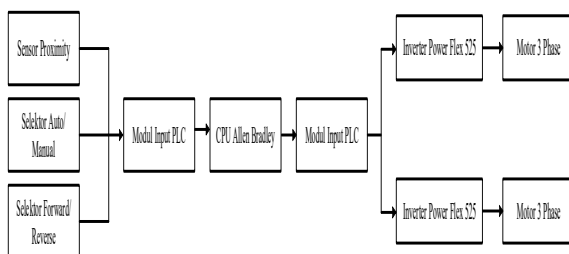


Gambar 6. Flow Chart alur penelitian



Gambar 7. Flow Chart alur penelitian

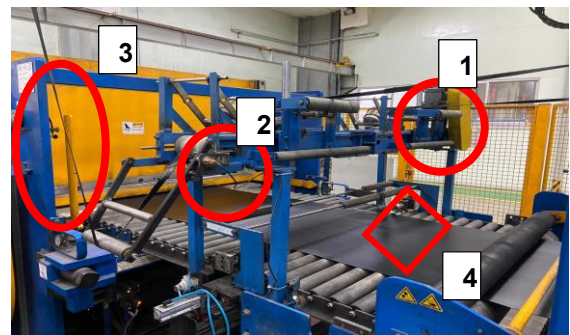
Penelitian ini diawali dengan tahap observasi untuk mengenali permasalahan yang ada, kemudian dilanjutkan dengan penetapan tujuan penelitian. Setelah itu, dilakukan kajian pustaka dan observasi lapangan guna mendukung proses pengumpulan data. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dimanfaatkan dalam tahap perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap perangkat yang telah dirancang. Jika hasil pengujian menunjukkan keberhasilan, maka data dianalisis untuk memperoleh kesimpulan serta memberikan saran yang sesuai.



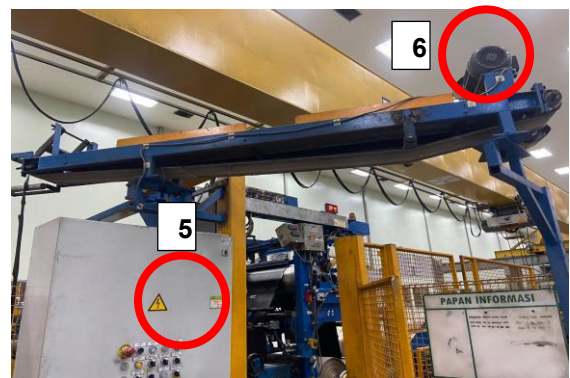
Gambar 8. Diagram blok sistem

Gambar 8 menunjukkan diagram blok sistem kontrol otomatis berbasis PLC Allen Bradley yang dirancang untuk mengoperasikan dua motor tiga fasa menggunakan inverter PowerFlex 525. Sistem ini dimulai dari beberapa perangkat input, yaitu sensor proximity, selektor *auto/manual*, dan

selektor *forward/reverse*. Sensor proximity berfungsi untuk mendeteksi objek pada jalur conveyor dan memberikan sinyal ke PLC, sedangkan selektor *auto/manual* memungkinkan operator memilih antara mode pengoperasian otomatis atau *manual*. Selektor *forward/reverse* berperan dalam menentukan arah putaran motor, apakah maju atau mundur. Semua sinyal dari sensor dan selektor dikumpulkan oleh modul input PLC dan diteruskan ke CPU PLC Allen Bradley. PLC ini kemudian memproses sinyal tersebut berdasarkan logika program yang telah dirancang sebelumnya. Hasil dari pemrosesan ini dikirimkan ke *inverter* melalui modul komunikasi Ethernet. Komunikasi Ethernet digunakan karena mampu memberikan kecepatan dan stabilitas dalam pengiriman data secara *real-time*, sehingga sistem menjadi responsif dan efisien dalam pengendalian motor. Output dari PLC selanjutnya dikirim ke dua *inverter* PowerFlex 525 yang masing-masing mengatur satu motor tiga fasa. Inverter bertugas mengontrol kecepatan dan arah putaran motor sesuai dengan instruksi dari PLC. Akhirnya, motor tiga fasa akan beroperasi secara otomatis sesuai dengan kondisi yang terdeteksi oleh sensor dan pilihan pengaturan dari operator. Sistem ini memberikan solusi kontrol yang terintegrasi dan efisien untuk meningkatkan keandalan dan produktivitas proses di lini produksi. Hasil rancang bangun tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Conveyor return side gum.



Gambar 10. Conveyor return side gum.

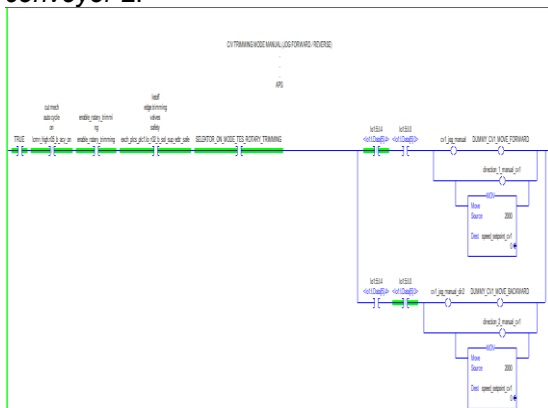
Pada Gambar 9 dan Gambar 10 ditunjukkan bagian-bagian mesin *ply cutting area conveyor return side gum* dengan komponen yang diberi nomor berikut.

1. Motor 3 phase yang berfungsi untuk menggerakkan *conveyor return side gum 1* dan membawa material *side gum* ke *conveyor return side gum 2*.
2. Sensor *proximity* yang berfungsi sebagai deteksi material *side gum* sudah sampai dan melewati *conveyor return side gum 1*.
3. Material *side gum*.
4. Material *body ply*.
5. Selector switch yang berfungsi untuk mengubah *mode auto* ataupun *manual* serta untuk *jog forward* dan *reverse*.
6. Motor 3 phase yang berfungsi untuk menggerakkan *conveyor return side gum 2* dan membawa material *side gum* pada bak penampungan.

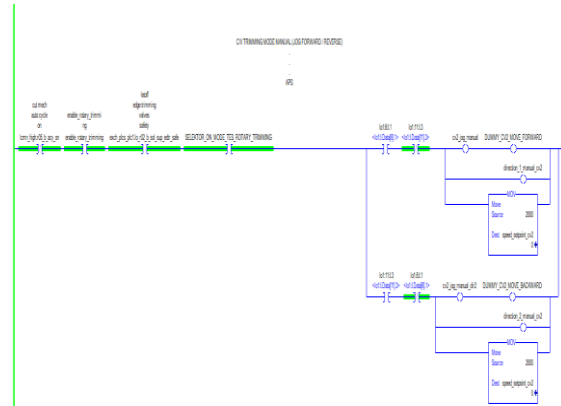
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Program Jog Manual Forward Dan Reverse

Program *jog manual* dirancang untuk memberikan kontrol langsung pada gerakan *conveyor*, baik maju maupun mundur. Mode ini sangat berguna saat operator perlu mengatur ulang posisi *conveyor* atau memindahkan material secara *manual* dalam kondisi tertentu. Dalam mode *forward*, *conveyor* bergerak maju untuk membawa material ke tujuan, sedangkan dalam mode *reverse*, *conveyor* mundur untuk memperbaiki atau mengatur ulang posisi. Program ini memanfaatkan *Ladder Diagram* untuk memberikan kontrol yang intuitif dan stabil. Pengoperasian *manual* ini menjadi solusi cadangan yang praktis jika mode otomatis mengalami kendala dan program *manual* ini dapat digunakan juga apabila terjadi *set up* ulang produksi atau ketika material *side gum* putus. Gambar 11 merupakan program *jog manual conveyor 1* dan Gambar 12 merupakan program *jog manual conveyor 2*.



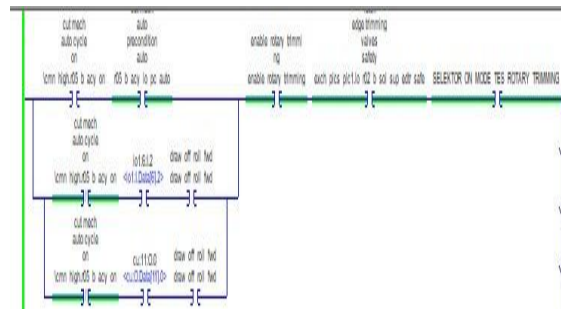
Gambar 11. Program jog manual conveyor 1



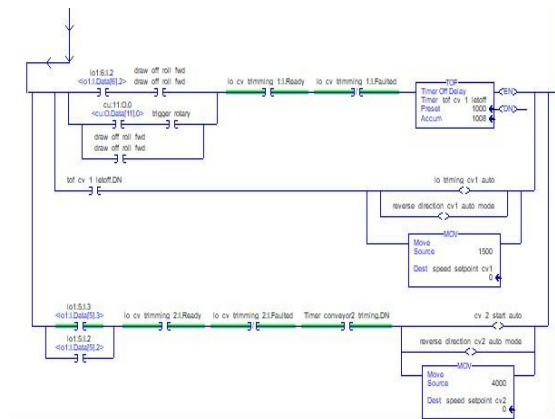
Gambar 12. Program jog manual conveyor 2

4.2 Program Automatic

Program otomatis dikembangkan untuk menjalankan *conveyor* secara mandiri tanpa intervensi operator. Sistem ini memanfaatkan *input* dari sensor *proximity* untuk memantau keberadaan material secara *real-time*, memastikan *conveyor* hanya bergerak saat diperlukan. Pengaturan otomatis ini memaksimalkan efisiensi dengan meminimalkan waktu tunggu dan energi yang terbuang. Selain itu, integrasi program ini dengan logika kontrol memastikan *conveyor* beroperasi dengan urutan yang tepat, mengurangi potensi kesalahan. Program ini menjadi komponen inti yang meningkatkan keandalan dan produktivitas sistem. Untuk program otomatis ini *conveyor 1* bergerak maju apabila syarat dari program bawaan mesin yaitu motor *draw of roll running* maka *conveyor 1* *running*, dan untuk *conveyor 2* *running* apabila material sudah ditransfer oleh *conveyor 1* dan *proximity* sudah mendeteksi bahwa material sudah ditransfer maka *proximity* menjadi *trigger conveyor 2* *running*. Untuk berhenti *conveyor 1* memiliki *delay* agar material *side gum* lebih tertarik oleh *conveyor 1*. Gambar 13 merupakan program syarat otomatis *conveyor* dan Gambar 14 merupakan program *output mode* otomatis



Gambar 13. Program syarat otomatis conveyor



Gambar 14. Program output auto mode

4.3 Pengujian Sensor Proximity

Pengujian sensor *proximity* ini merupakan pengujian komponen atau sensor *proximity* dapat mendeteksi logam atau besi dan memberikan inputan pada modul input PLC. Berikut tabel 1 pengujian sensor *proximity*.

Tabel 1. pengujian sensor *proximity*

N o.	Tegangan input	Deteksi logam/besi	Tegangan output	Pembacaan input PLC (Boolean)	Status / Keterangan
1	24 volt	iya	24 volt	1	OK
2	24 volt	tidak	0 volt	0	OK

Tabel 1 pengujian di atas menggambarkan hasil uji performa sensor *proximity* dalam mendeteksi keberadaan logam atau besi. Tegangan input yang digunakan untuk mengoperasikan sensor adalah 24 volt, yang merupakan nilai standar untuk memastikan sensor berfungsi optimal. Sensor *proximity* mendeteksi keberadaan logam dengan output berupa tegangan 24 volt jika logam terdeteksi, dan 0 volt jika tidak ada logam. Output ini kemudian diterjemahkan oleh PLC dalam bentuk sinyal Boolean, di mana angka "1" menunjukkan keberadaan logam, sedangkan angka "0" menandakan tidak ada deteksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *proximity* berhasil mendeteksi logam secara konsisten ketika logam berada dalam jangkauan deteksi. Pembacaan input PLC mencerminkan output sensor dengan akurasi penuh, di mana semua kasus deteksi logam menghasilkan sinyal "1" dan kasus tanpa deteksi logam menghasilkan sinyal "0". Tegangan output yang sesuai pada masing-masing kondisi memastikan bahwa sistem dapat berfungsi secara otomatis dan akurat berdasarkan data yang diberikan oleh sensor.

4.4 Pengujian Speed Conveyor 1

Pengujian *Speed* motor conveyor 1 ini merupakan pengujian kecepatan motor induksi 3 phase untuk conveyor 1. Pengujiannya dilakukan dengan cara membandingkan nilai *move decimal* pada program dengan nilai aktual frekuensi dari *variable frequency drive* (VFD). Berikut cara pengujian param kecepatan motor induksi 3 fasa.

Tabel 2. pengujian delay stop untuk conveyor 1.

N o	Nilai <i>move data decimal</i> program	Nilai Hz pada keypad VFD	Nilai speed perhitungan (Rpm)	Nilai speed aktual (Rpm)	Error speed	Error speed (%)
1	1000	10 Hz	300	297	3	0.01
2	2000	20 Hz	600	596	4	0.0067
3	3000	30 Hz	900	898	2	0.002
4	4000	40 Hz	1200	1195	5	0.004
5	5000	50 Hz	1500	1499	1	0.0006
6	6000	60 Hz	1800	1798	2	0.001
7	7000	70 Hz	2100	2098	2	0.0009
8	8000	80 Hz	2400	2397	3	0.0012
9	9000	90 Hz	2700	2699	1	0.0003
10	10000	100 Hz	3000	3000	0	0
11	11000	110 Hz	3300	3298	2	0.0006
12	12000	120 Hz	3600	3598	2	0.0005

Pada Tabel 2 yang disajikan menunjukkan hubungan antara nilai *input* digital dalam bentuk data desimal program (*move data*), frekuensi keluaran pada VFD (*Variable Frequency Drive*), kecepatan putaran motor secara teoritis, dan kecepatan aktual yang diukur di lapangan. Nilai *move data* berkisar dari 1000 hingga 12000, yang secara linier berbanding lurus dengan frekuensi keluaran VFD, dari 10 Hz hingga 120 Hz. Frekuensi ini secara langsung memengaruhi kecepatan putaran motor (RPM), yang dihitung berdasarkan rumus dasar motor induksi, yaitu $RPM = (120 \times \text{frekuensi}) / \text{jumlah kutub}$. Asumsi yang digunakan dalam tabel ini adalah motor 4 kutub, karena kecepatan teoritis mencapai 3000 RPM pada 100 Hz dan 3600 RPM pada 120 Hz.

Perbandingan antara nilai kecepatan hasil perhitungan dan kecepatan aktual menunjukkan

bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi. Selisih (error) antara RPM perhitungan dan aktual hanya berkisar antara 1 hingga 3 RPM pada seluruh pengujian. Persentase kesalahan pun sangat kecil, semuanya berada di bawah 0,01%. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan kecepatan motor melalui VFD berdasarkan input digital telah dikalibrasi dengan sangat baik. Tidak adanya fluktuasi besar atau penyimpangan signifikan menunjukkan bahwa baik sensor pengukuran kecepatan maupun kontrol VFD bekerja secara stabil dan andal.

Secara keseluruhan, tabel ini menggambarkan performa sistem pengendalian kecepatan motor berbasis VFD yang sangat baik. Linearitas antara *input* digital dan frekuensi, serta antara frekuensi dan kecepatan motor, terbukti konsisten. Nilai *error* yang sangat kecil menunjukkan bahwa sistem ini sangat cocok untuk diterapkan pada aplikasi *conveyor return side gum*. Pada *conveyor return side gum* 1 menggunakan nilai *move data* dari program yaitu 1500 atau 15 Hz. Karena nilai *move data* 1500 atau 15 Hz menghasilkan tarikan material *side gum* OK, tetapi nilai tersebut harus akan menjadi nilai ideal apabila menggunakan nilai *delay stop conveyor* selama 1 detik. Dapat dilihat pada Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian *delay stop* untuk *conveyor* 1.

4.5 Pengujian Speed Conveyor 2

Pengujian *Speed* motor *conveyor* 2 ini merupakan pengujian kecepatan motor induksi 3 phase untuk *conveyor* 2. Pengujiannya dilakukan dengan cara membandingkan nilai *move decimal* pada program dengan nilai aktual frekuensi dari *variable frequency drive* (VFD). Berikut cara pengujian param kecepatan motor induksi 3 fasa.

Tabel 3. pengujian *speed conveyor* 2

No	Nilai <i>move data decimal</i> program	Nilai Hz pada keypad VFD	Nilai speed perhitungan (Rpm)	Nilai <i>i speed actual</i> (Rpm)	Error	Error (%)
1	1000	10 Hz	300	298	2	0.006
2	2000	20 Hz	600	599	1	0.001
3	3000	30 Hz	900	898	2	0.002
4	4000	40 Hz	1200	1198	2	0.0016
5	5000	50 Hz	1500	1499	1	0.0006
6	6000	60 Hz	1800	1797	3	0.0016
7	7000	70 Hz	2100	2099	1	0.00047
8	8000	80 Hz	2400	2397	3	0.0012

9	9000	90 Hz	2700	2698	2	0.0007
10	10000	100 Hz	3000	2998	2	0.0006
11	11000	110 Hz	3300	3297	3	0.0009
12	12000	120 Hz	3600	3598	2	0.0005

Pada Tabel 3 yang disajikan menunjukkan hubungan antara nilai *input* digital dalam bentuk data desimal program (*move data*), frekuensi keluaran pada VFD (*Variable Frequency Drive*), kecepatan putaran motor secara teoritis, dan kecepatan aktual yang diukur di lapangan. Nilai *move data* berkisar dari 1000 hingga 12000, yang secara linier berbanding lurus dengan frekuensi keluaran VFD, dari 10 Hz hingga 120 Hz. Frekuensi ini secara langsung memengaruhi kecepatan putaran motor (RPM), yang dihitung berdasarkan rumus dasar motor induksi, yaitu $RPM = (120 \times \text{frekuensi}) / \text{jumlah kutub}$. Asumsi yang digunakan dalam tabel ini adalah motor 4 kutub, karena kecepatan teoritis mencapai 3000 RPM pada 100 Hz dan 3600 RPM pada 120 Hz.

Perbandingan antara nilai kecepatan hasil perhitungan dan kecepatan aktual menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi. Selisih (error) antara RPM perhitungan dan aktual hanya berkisar antara 1 hingga 3 RPM pada seluruh pengujian. Persentase kesalahan pun sangat kecil, semuanya berada di bawah 0,01%. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan kecepatan motor melalui VFD berdasarkan input digital telah dikalibrasi dengan sangat baik. Tidak adanya fluktuasi besar atau penyimpangan signifikan menunjukkan bahwa baik sensor pengukuran kecepatan maupun kontrol VFD bekerja secara stabil dan andal.

Secara keseluruhan, tabel ini menggambarkan performa sistem pengendalian kecepatan motor berbasis VFD yang sangat baik. Linearitas antara *input* digital dan frekuensi, serta antara frekuensi dan kecepatan motor, terbukti konsisten. Nilai *error* yang sangat kecil menunjukkan bahwa sistem ini sangat cocok untuk diterapkan pada aplikasi *conveyor return side gum*. Pada *conveyor return side gum* 2 menggunakan nilai *move data* dari program yaitu 4000 atau 40 Hz.

4.6 Pengujian Delay Stop Untuk Conveyor 1

Pengujian *delay stop conveyor* 1 ini merupakan pengujian waktu stop *conveyor* yang berfungsi untuk mencegah material *side gum* kendur atau terlalu tertarik sehingga bisa putus. Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian *delay stop* untuk *conveyor* 1.

Tabel 4. pengujian *speed conveyor* 2

No	Delay stop conveyor 1 (s)	Lebar material side gum	Lebar material side gum	Status / keterangan
----	---------------------------	-------------------------	-------------------------	---------------------

		sebelum tertarik conveyor or	sesudah tertarik conveyor or	
1	0.5	35 mm	35 mm	Material kurang tertarik
2	0.75	35 mm	35 mm	Material kurang tertarik
3	1	35 mm	32 mm	Material tertarik (OK)
4	1.25	35 mm	20 mm	Material tertarik/putus
5	1.5	35 mm	15 mm	Material tertarik/putus

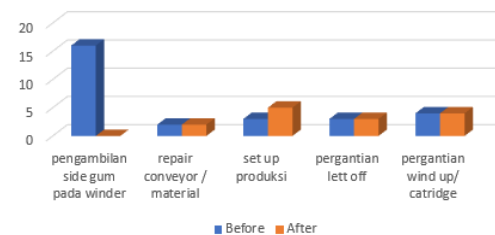
Tabel 4 menggambarkan hasil pengujian pengaturan *delay stop* pada conveyor 1 untuk mengontrol ketegangan material *side gum* saat ditarik oleh conveyor. Param utama yang diukur adalah lebar material *side gum* sebelum dan sesudah ditarik, yang mencerminkan seberapa efektif sistem menarik material tanpa menyebabkan kerusakan. *Delay stop conveyor* 1 diatur dalam rentang 0.5 hingga 1.5 detik (s) untuk mengidentifikasi pengaturan yang paling optimal.

Pada pengujian pertama dan kedua dengan *delay stop* masing-masing 0.5 s dan 0.75 s, lebar material tetap 35 mm sebelum dan sesudah ditarik, menunjukkan bahwa material kurang tertarik akibat durasi yang terlalu singkat. Ketika *delay* ditingkatkan menjadi 1 s, lebar material berkurang menjadi 32 mm, yang menunjukkan bahwa material tertarik secara optimal tanpa mengalami kerusakan. Hasil ini dinyatakan sebagai kondisi OK.

Namun, pada pengujian dengan *delay* 1.25 s dan 1.5 s, lebar material *side gum* berkurang secara signifikan menjadi masing-masing 20 mm dan 15 mm. Hal ini menunjukkan bahwa material tertarik secara berlebihan hingga mengalami kerusakan atau putus. Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa pengaturan *delay stop conveyor* 1 yang optimal adalah 1 s, karena pada pengaturan ini material tertarik dengan baik tanpa menyebabkan kerusakan, sehingga efisiensi dan keandalan sistem dapat terjaga. Dimana nilai 1 s dapat ideal harus berdampingan dengan nilai speed conveyor 1.

4.7 After Data Cycle Time Breakdown

Cycle time break down mesin RSC-PC1 (Menit/roll)

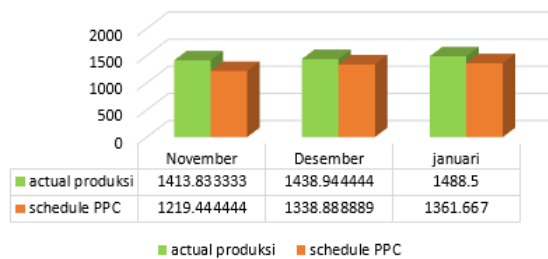


Gambar 15. Data cycle time break down sebelum dan sesudah dipasang alat

Gambar 15 merupakan data *cycle time breakdown*, yang menunjukkan rincian waktu yang diperlukan untuk berbagai aktivitas dalam proses produksi mesin *ply cutting*. Aktivitas pengambilan *side gum* pada *winder*, yang sebelumnya memakan waktu signifikan, kini telah digantikan oleh sistem conveyor *return side gum* berbasis PLC. Hal ini memungkinkan pengurangan *downtime* yang sebelumnya terjadi karena operator harus menghentikan mesin untuk membuka *safety door*. Selain itu, aktivitas lain seperti *repair conveyor/material* membutuhkan waktu 2 menit, *set up* produksi memakan waktu 5 menit, pergantian *lett off* memerlukan waktu 3 menit, dan pergantian *windup/catridge* membutuhkan 4 menit. Dengan implementasi sistem kontrol otomatis ini, waktu siklus keseluruhan menjadi lebih efisien, sehingga mendukung peningkatan produktivitas yang menjadi tujuan utama penelitian.

4.8 After Data Rata-Rata Actual Produksi Dan Schedule PPC

Rata-Rata actual produksi & schedule PPC bulan
November - Desember 2024 mesin RSC-PC1
(meter)



Gambar 16. Data rata-rata *actual* produksi dan schedule PPC sesudah dipasang alat

Pada Gambar 16 merupakan Data sesudah pemasangan alat, data tersebut rata-rata *actual* produksi dan schedule PPC bulan November sampai Desember 2024 menunjukkan bahwa setelah pemasangan alat atau pemasangan *conveyor*, produksi meningkat sehingga *actual* produksi dapat tercapai,

4. KESIMPULAN

Berikut adalah kesimpulan dari pengujian sistem kontrol otomatis berbasis PLC Allen Bradley:

- Sensor *proximity* berfungsi dengan baik dalam mendeteksi logam, memberikan output yang akurat dan diterjemahkan dengan tepat oleh PLC.
- Pengujian *delay stop conveyor* 1 menunjukkan bahwa pengaturan *delay* optimal adalah 1 s, di mana material *side gum* dapat ditarik dengan baik tanpa kerusakan.
- Pengujian kecepatan motor *conveyor* 1 dan *conveyor* 2 menunjukkan bahwa nilai frekuensi yang terukur pada VFD sesuai dengan nilai yang diprogram, dengan akurasi 100%.
- Sistem dapat beroperasi dengan baik dalam mode manual maupun otomatis. Dalam mode manual, operator dapat mengontrol *conveyor* dengan respons cepat, sementara dalam mode otomatis, *conveyor* berjalan sesuai urutan yang ditentukan tanpa intervensi operator.
- Cycle time break down* turun dari 16 menit saat menggunakan *winder*, menjadi 0 menit saat menggunakan *conveyor return side gum*. Serta hasil produksi meningkat sebesar 16,58%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Prof. Dr. Henri P. Uranus selaku pembimbing utama, serta bapak Mario Gracio, M.T, selaku co-pembimbing, atas bimbingan, saran, dan

arahan yang telah diberikan selama proses penelitian hingga penulisan artikel ini. Selain itu, penulis menghaturkan penghargaan kepada seluruh dosen di Program Studi Teknik Elektro Universitas Pelita Harapan atas ilmu dan wawasan yang telah diberikan. Tak lupa, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, istri tercinta Umi Kulsum Latifah, serta rekan-rekan atas dukungan moral dan motivasi yang telah membantu kelancaran studi dan penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Utomo, A. Sadnowo, and S. R. Sulistiyanti, "Implementasi Automatic Transfer Switch berbasis PLC pada Laboratorium Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung," *J. Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 2, no. 2, 2014.
- [2] A. Scott, *Instant PLC Programming with RSLogix 5000*. Birmingham: Packt Publishing, 2013.
- [3] K. Lakshmi, K. Kumaresan, C. Sridhar, and K. Shylesh, "Speed control of three-phase induction motors using PowerFlex 525 compact AC drive," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 764, no. 1, p. 012038, Feb. 2020, IOP Publishing.
- [4] T. W. O. Putri and M. I. Mowaviq, "Prototipe Sistem Konveyor Otomatis dengan Kendali Kecepatan Berbasis Programmable Logic Controller," *Barometer*, vol. 6, no. 1, pp. 289–294, 2021.
- [5] Z. Chen and R. C. Luo, "Design and implementation of capacitive *proximity* sensor using microelectromechanical systems technology," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 45, no. 6, pp. 886–894, Dec. 1998.
- [6] T. Hammid, F. G. Saber, and A. A. Kadhim, "Star Delta Starter Motor System in Allen-Bradley PLC," *AL-Yarmouk Journal*, vol. 11, no. 1, 2019.
- [7] S. T. Kiswanto and L. Nugroho, "Pembuatan Panel Kontrol Otomatis pada Heater Filter Charcoal Sistem Ventilasi," *Semin. Nas. Sdm Teknol. Nukl.*, pp. 264–270, 2018.
- [8] W. S. Ocaña, Ó. Proaño, P. Salazar, E. Salazar, W. Loza, and J. E. Sánchez, "Distributed System SCADA using Multiple Industrial Communication Protocols on Allen Bradley Equipment," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 12, no. 14, 2019.
- [9] S. De Luca, "Communication interface between various drives and programmable

- logic controllers," Doctoral dissertation, Politecnico di Torino, 2019.
- [10] P. Chand and J. Sepulveda, "Automating a Festo Manufacturing Machine with an Allen-Bradley PLC," *Journal of Mechatronics and Robotics*, vol. 5, pp. 23-32, 2021.
- [11] K. Sasidhar, S. F. Hussain, S. A. Safdar, and M. A. Uddin, "Design and development of a PLC-based automatic object sorting," *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI)*, vol. 4, no. 12, 2017.
- [12] N. S. Nise, *Control Systems Engineering*, 6th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.
- [13] H. Alshareefi, H. Mamoori, and C. Lupu, "Switching of algorithms in the multiple models strategy by fuzzy logic through an Allen-Bradley PLC," in *Proc. 2017 14th Int. Conf. Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*, Oradea, Romania, Jun. 2017, pp. 79–82. doi: [10.1109/EMES.2017.7980406].
- [14] R. Grandgenett, R. Gandhi, and W. Mahoney, "Exploitation of Allen Bradley's implementation of EtherNet/IP for denial of service against industrial control systems," in *Proc. 9th Int. Conf. Cyber Warfare and Security (ICCWS)*, Reading, UK: Academic Conferences and Publishing Int. Ltd., Jan. 2014, pp. 58–65.
- [15] E. Korkmaz, M. Davis, A. Dolgikh, and V. Skormin, "Detection and mitigation of time delay injection attacks on industrial control systems with PLCs," in *Computer Network Security: Proc. 7th Int. Conf. Mathematical Methods, Models, and Architectures for Computer Network Security (MMM-ACNS)*, Warsaw, Poland, Aug. 28–30, 2017, pp. 62–74. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.