

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka kesimpulan yang diperoleh dan sekaligus menjawab rumusan masalah penelitian dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Integrasi *Fire and Gas System* (FGS) dengan *Safety Instrumented System* (SIS) pada *CAM Building North Field Expansion Project* (NFXP) telah dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan prinsip keselamatan fungsional yang mengacu pada standar IEC 61511. *CAM Building* berfungsi sebagai pusat integrasi sistem keselamatan dan kontrol dengan arsitektur yang memisahkan secara jelas jaringan kontrol proses dan jaringan keselamatan. Pemisahan ini menjamin independensi sistem keselamatan terhadap sistem kontrol normal serta memastikan integritas fungsi keselamatan dalam mendeteksi dan merespons potensi kebakaran, sebagaimana dipersyaratkan dalam lifecycle keselamatan IEC 61511.
2. *Smoke detector* yang dipasang pada area kritis *CAM Building*, termasuk ruang listrik, ruang instrumen, *battery room*, serta jalur HVAC intake, telah teridentifikasi sebagai bagian dari *Safety Instrumented Function* (SIF) deteksi kebakaran. Subsistem sensor yang digunakan terdiri dari *smoke detector* konvensional dan VESDA yang memiliki karakteristik teknis sesuai untuk aplikasi industri. Penempatan sensor berdasarkan pembagian *fire zone* dan integrasinya dengan sistem HVAC serta *fire suppression*

menunjukkan bahwa fungsi deteksi dirancang untuk memberikan *early detection* dan mendukung aksi mitigasi bahaya secara otomatis. Identifikasi ini menegaskan bahwa SIF *smoke detector* memenuhi seluruh kriteria fungsi keselamatan, yaitu bekerja secara otomatis, independen dari sistem kontrol proses, serta memiliki aksi protektif yang jelas melalui *final control element*.

3. Berdasarkan analisis risiko menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA), ditetapkan bahwa skenario kebakaran pada CAM *Building* memerlukan tambahan pengurangan risiko melalui SIF *smoke detector*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebutuhan tingkat pengurangan risiko berada pada kategori *Safety Integrity Level* (SIL) 1 hingga SIL 2, tergantung pada tingkat konsekuensi dan keandalan lapisan proteksi lainnya. Penetapan SIL Target ini konsisten dengan hasil evaluasi risiko dan karakteristik area yang dilindungi.
4. Hasil verifikasi *Safety Integrity Level* (SIL) berdasarkan perhitungan *Probability of Failure on Demand average* (PFDavg) menunjukkan bahwa SIF *smoke detector* telah memenuhi SIL Target yang ditetapkan. Untuk konfigurasi sensor dengan *voting logic* 1oo2, diperoleh nilai PFDavg  $\approx 2,02 \times 10^{-2}$ , yang berada dalam rentang SIL 1 ( $10^{-2} \leq \text{PFDavg} < 10^{-1}$ ). Sementara itu, konfigurasi sensor dengan *voting logic* 2oo3 menghasilkan nilai PFDavg  $\approx 1,16 \times 10^{-2}$ , yang mendekati batas bawah SIL 2 dan memberikan margin keselamatan yang lebih baik. Dengan demikian, SIL *Achieved* dinyatakan telah memenuhi SIL Target secara kuantitatif dan fungsi keselamatan yang dianalisis layak secara teknis sesuai dengan persyaratan IEC 61511.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem dan penelitian lanjutan dirangkum sebagai berikut:

1. Disarankan agar keandalan *Safety Instrumented Function* (SIF) *smoke detector* pada *CAM Building* dikelola secara konsisten selama fase operasi melalui pengaturan *proof test interval*, evaluasi *diagnostic coverage*, serta pembaruan data keandalan komponen. Pengelolaan ini penting untuk memastikan nilai *Probability of Failure on Demand average* (PFDavg) dan *Safety Integrity Level* (SIL) *Achieved* tetap berada dalam rentang yang dipersyaratkan sesuai dengan standar IEC 61511.
2. *Cause and Effect Diagram* perlu ditinjau dan diperbarui secara berkala, khususnya apabila terjadi perubahan layout bangunan, sistem HVAC, atau filosofi operasi *CAM Building*.
3. Konfigurasi *voting logic sensor*, seperti 1oo2 dan 2oo3, disarankan untuk dioptimalkan berdasarkan tingkat risiko dan karakteristik area yang dilindungi. Untuk area dengan potensi *nuisance alarm* yang tinggi atau konsekuensi proteksi yang signifikan, penerapan konfigurasi 2oo3 dapat dipertimbangkan guna meningkatkan keandalan sistem tanpa mengurangi tujuan keselamatan.
4. Penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan data historis operasi, seperti kejadian *alarm*, *false trip*, dan hasil pengujian berkala, agar evaluasi kinerja SIF dapat dilakukan secara lebih representatif. Selain itu, lingkup penelitian dapat diperluas pada SIF lain dalam *Fire and Gas System* untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kinerja sistem keselamatan.